

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⁺) алюмоиттрийлік 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 ВеО 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

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

Г.М. Баубекова¹, А.Ч. Лущик², Р.Н. Асылбаев³, А.Т. Акылбеков¹¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан² Институт физики Тартуского университета, Тарту, Эстония³ Павлодарский государственный педагогический университет, Павлодар, Казахстан
(E-mail: guldar_87@mail.ru)**Создание радиационных дефектов в кристаллах MgO, облученных высокоэнергетическими ионами**

Аннотация. Процессы создания анионных дефектов Френкеля были исследованы в кристаллах MgO, облученных быстрыми ионами ^{132}Xe с энергией 0.23 ГэВ при комнатной температуре. Спектры оптического поглощения, измеренные при комнатной температуре в области 1.5-6.5 эВ с использованием двухлучевого спектрофотометра JASCO V-660, содержат несколько полос, приписываемых F^+ и F-центрам (кислородная вакансия с одним или двумя захваченными электронами соответственно) и простейшим агрегатным F_2 -центрам, а также полосу при 2.16 эВ. Полосы, связанные с примесями железа (около 3 ppm) располагаются около 4.26 и 5.74 эВ. Также были исследованы спектры поглощения кристалла MgO, облученного X-лучами. Спектры катодоллюминесценции (КЛ), измеренные при возбуждении электронами с энергией 10 кэВ при 5 К, содержат полосы излучения центров F^+ и F, максимумы которых расположены при 3.15 и 2.4 эВ соответственно.

Ключевые слова: MgO, широкозонные оксиды металлов, быстрые тяжелые ионы, дефектообразование, катодоллюминесценция, радиационные дефекты.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-128-3-41-48>

Введение. В настоящее время бинарные и более сложные широкозонные оксиды активно используются для различных технических применений. Данные материалы работают в высокой температурной области, могут быть легированы многими примесными ионами и доступны в виде монокристаллов, керамик, тонких пленок, нитевидных кристаллов и т.д. Широкозонные оксиды металлов применяются в качестве активных лазерных сред, люминофоров, материалов для плазменных дисплеев, оптических окон и волокон, сцинтилляторов, дозиметрических материалов, конструкционных и диагностических материалов для ядерной и термоядерной энергетики (см., например, [1,2]).

Во многих щелочно-галогидных кристаллах энергия создания анионных интерстициально-вакансионных пар дефектов Френкеля (ДФ) меньше ширины запрещенной зоны, $E_{FD} < E_g$. В этом случае энергия, выделяемая при рекомбинации полностью релаксированных электрона проводимости и валентной дырки (автолокализованной дырки) или распаде автолокализованного анионного экситона, уже достаточна для создания дефектов Френкеля [3]. В то же время монокристаллы MgO обладают высокой радиационной стойкостью к рентгеновским и γ -лучам. Согласно теоретическим расчетам $E_{FD} = 15.2 \text{ эВ} > E_g = 7.83 \text{ эВ}$ для анионной подрешетки MgO [4] и рекомбинация холодных (релаксированных) электронов и валентных дырок не вызывает создания дефектов Френкеля в регулярной решетке. В MgO анионные экситоны (энергия образования 7.7 эВ) не испытывают автолокализации, а их распад в объеме кристалла также не приводит к созданию ДФ (см., например, [1,3]).

Оксид магния - это бесцветный диэлектрический ионный кристалл, имеющий гранцентрированную кубическую структуру и относящийся к пространственной группе симметрии $Fm\bar{3}m(O_h^5)$. Кристалл состоит из двухзарядных ионов Mg^{2+} (ионный радиус $r_c = 0.74 \text{ \AA}$) и двухзарядных ионов O^{2-} ($r_a = 1.36 \text{ \AA}$). И катионы, и анионы расположены по закону кубической плотнейшей упаковки, ионы магния расположены в октаэдрических пустотах кислородной подрешетки. Тетраэдрические пустоты, где могли бы локализоваться междоузельные дефекты, имеют небольшой эффективный радиус - около 0.3 \AA . Каждый катион окружен 6 анионами и наоборот, т.е. координационное число равно 6, а постоянная решетки $a = 4.24 \text{ \AA}$ [5,6].

К настоящему времени выполнено несколько исследований по изучению процессов создания и отжига структурных дефектов в кристаллах MgO, подвергнутых ионному облучению. При облучении нейтронами, электронами, протонами или высокоэнергетическими ионами, как и в случае аддитивного окрашивания, в кристаллах MgO создаются кислородные (анионные) вакансии. В работах [1,7-10,11] показано, что доминирующая комплексная полоса поглощения с максимумом около 5.0 эВ представляет собой наложение полос поглощения F^+ -центров (максимум при 4.96 эВ) и F-центров (5.03 эВ) [10]. F^+ -центр представляет собой кислородную вакансию с одним захваченным электроном, а F-центр – кислородную вакансию с двумя электронами (т.е. нейтральный дефект относительно кристаллической решетки) [11,12].

После облучения кристаллов MgO тяжелыми ионами урана с энергией 2.225 GeV до флюенса 10^{12+} ион/см² при 300 К или быстрыми нейтронами деления (10^{17} - 10^{18} см⁻² при 330 К) в работе [8] была также зарегистрирована широкая комплексная полоса поглощения, содержащая полосы F^+ и F центров при 4.96 и 5.05 эВ.

В работе [13] сравниваются спектры катодолуминесценции (КЛ) для кристалла MgO, облученного быстрыми нейтронами или ионами ^{238}U (энергия 2,25 ГэВ, флюенс 2×10^{11} ион/см²). Спектры КЛ измерялись при возбуждении 5 кэВ электронами при 9 К. В этих спектрах четко выделяются свечения F^+ и F-центров (максимумы при 3.15 и 2.4 эВ, соответственно [10,11]), причем соотношение этих свечений различно в кристаллах MgO, предварительно облученных ионами урана или быстрыми нейтронами. Последний факт является подтверждением необходимости учета и неударных (ионизационных) механизмов создания дефектов в треках тяжелых высокоэнергетичных ионов [8,13].

В работе [14] с использованием сканирующего электронного микроскопа изучена КЛ номинально чистых монокристаллов MgO после различных обработок: термохимическое восстановление (аддитивное окрашивание), нейтронное облучение или резкое охлаждение от высоких температур (закалка). В термохимически восстановленных образцах наблюдаются полосы свечения с максимумами около 410 (3.02 эВ) и 520 нм (2.3 эВ). В нейтронно-облученных образцах доминирует полоса излучения с максимумом при 390 нм (3.18 эВ). Спектры закаленных кристаллов показывают две полосы около 420 (2.95 эВ) и 490 нм (2.53 эВ). Результаты анализируются на основе излучения центров F-типа, и сделан вывод, что облученные кристаллы содержат в основном F^+ -центры.

Радиационные повреждения в оксиде магния изучались в течение многих лет. Вместе с тем прояснение/уточнение многих деталей радиационных процессов в MgO должно быть продолжено. *Целью настоящего исследования* является изучение и анализ новых экспериментальных данных о создании структурных дефектов в кристаллах MgO при их облучении тяжелыми высокоэнергетичными ионами ^{132}Xe в широком диапазоне флюенсов.

Образцы и экспериментальные методы. В работе были исследованы монокристаллы кристаллы MgO. Чистые и легированные кристаллы служат в лаборатории физики ионных кристаллов Института физики Тартуского университета объектами многолетних экспериментальных исследований, в которых с применением ЭПР и высокочувствительных методик ВУФ спектроскопии изучаются процессы миграции, автолокализации, размножения, а также излучательного и безызлучательного распада собственных электронных возбуждений широкощелевых кристаллов. Для выращивания монокристаллов MgO в Тарту использовали усовершенствованный бестигельный метод роста из расплава, причем стенки емкости имели тот же состав, что и выращиваемое вещество и играли роль затравочного кристалла (см. более подробное описание в [15]). В основу метода положена методика роста по принципу Штебера [16], усовершенствованная в [17]. Для получения высоких температур была использована двухэлектродная дуговая печь (сила тока 250-300 А). Electroды ($20 \times 20 \times 200$ мм³) сделаны из графита марки МПГ-4, применялись также пакеты из 7 графитовых стержней (для спектрального анализа) диаметром 6 мм марки 7-3 или 7-4. Пакеты из графитовых стержней дали особенно хорошие результаты, обеспечивая более равномерное распределение температуры в зоне горения дуги. Кроме основных электродов использован добавочный графитовый стержень (электрод), который улучшает работу дуги при включении и в начальной стадии работы. Через 10-15 минут

добавочный электрод удаляли из системы. Образующийся при этом канал служил хорошим отводом для легколетучих, мешающих росту кристаллов, примесей. При использовании пакета графитовых электродов, добавочный электрод не применялся: между отдельными стержнями в пакете оставались каналы, через которые летучие примеси могли легко выходить. Рост монокристаллов происходит в водоохлаждаемом реакторе из нержавеющей стали, вмещающем около 10 кг MgO. Уменьшения количества мешающих катионных примесей в кристаллах удалось достичь, используя в качестве исходного материал, предварительно однократно или двухкратно перекристаллизованный из расплава. При выращивании максимально чистых MgO (стартовое сырье имело степень чистоты 99.99 %) особое внимание пришлось уделить удалению из кристаллов ионов гидроксила OH^- .

Кристаллы MgO были облучены на экспериментальном канале циклотрона DC-60 (Астана, Казахстан), предназначенном для проведения работ в области физики твердого тела. Диапазон ускоряемых ионов от ^{132}Li до ^{132}Xe , энергии варьируются от 0.35 до 1.75 МэВ/нуклон, а диапазон ускоряемых ионов по отношению массы к заряду – 4.3-10 [18]. Были использованы следующие параметры облучения: ион ^{132}Xe с энергией 1.75 МэВ/нуклон (что соответствует полной энергии иона 231 МэВ), зарядом 22+ и плотностью тока облучения 10 нА/см² в диапазоне флюенсов $5 \times 10^{11} - 1 \times 10^{14}$ ион/см².

Спектры оптического поглощения измерялись в области 1.5-6.5 эВ с использованием двухлучевого спектрофотометра JASCO V-660. В эксперименте по измерению спектров катодолуминесценции использовалась уникальная установка с двойным вакуумным монохроматором (диапазон энергии фотонов регистрируемой люминесценции 1.5-11 эВ). Облучение X-лучами проводилось на рентгеновской установке с использованием трубки БСВ-2 (W анод) при напряжении 40 кВ и токе 10 мА.

Результаты и обсуждение. В использованных монокристаллах MgO концентрации железа (Fe^{3+}) составляет около 3 ppm, а OH^- около 0.1 ppm. На рисунке 1 представлены спектры оптического поглощения кристалла MgO до облучения, (кривая 1) и облученного X-лучами при комнатной температуре (кривая 2). Спектр поглощения необлученного кристалла содержит типичные полосы с максимумами при 5.74 и 4.26 эВ, связанные с примесными ионами Fe^{3+} , а также полосу при 6.4 эВ, связанную с ионами гидроксида OH^- . Спектр оптического поглощения кристалла, облученного рентгеновскими лучами, содержит и дополнительную широкую полосу с максимумом при 2.3 эВ.

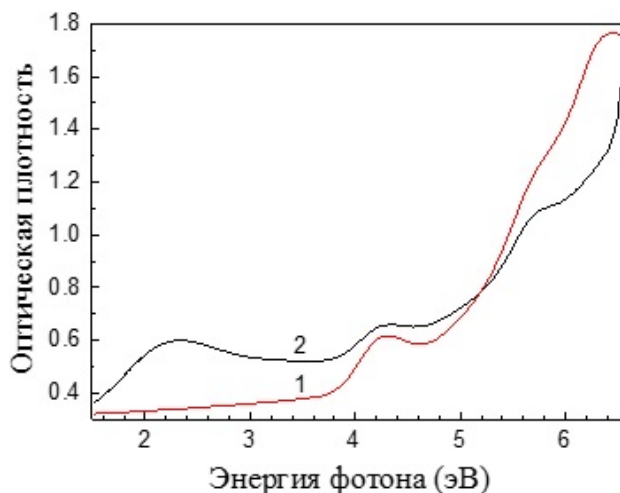


FIGURE 1 – Спектры оптического поглощения кристаллов MgO, измеренные при 295 К до (кривая 1) и после облучения X-лучами в течение 90 минут (2)

На рисунке 2 приведены спектры оптического поглощения кристаллов, облученных ионами ^{132}Xe . В кристаллах MgO, ионно-облученных до разных флюенсов, в спектре поглощения появляются полосы с максимумами при 4.92, 5.03, 3.51 и 2.16 эВ. В работах разных авторов [1,7-9,11] указано, что полосы при 4.92 и 5.03 эВ связаны с F^+ - и F^- -центрами соответственно,

полоса при 3.51 эВ связана с агрегатными F_2 -центрами (два рядом расположенных F-центра), а полоса при 2.16 эВ предположительно соответствует агрегатам вакансий [7-9,11,19]. На рисунке 2 четко видно, что с увеличением флюенса ионов ^{132}Xe растет и интенсивность наведенного облучением оптического поглощения (кривые 1-4).

При сравнении спектров поглощения образцов, облученных ионами ксенона и рентгеновскими лучами, можно заметить, что в X-облученном кристалла F и F^+ -центры не создаются. Таким образом, можно заключить, что только облучение ионами ^{132}Xe создает новые структурные дефекты, в то время как рентгеновское облучение способно только преобразовывать/перезаряжать уже имеющиеся дорадиационные/примесные дефекты.

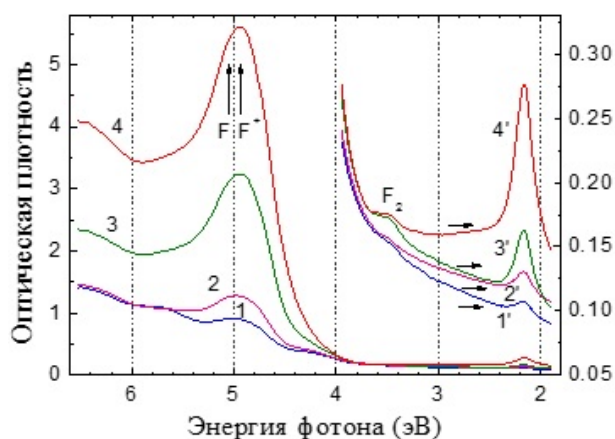


FIGURE 2 – Спектры оптического поглощения при 295 К, измеренные для кристаллов MgO, предварительно облученных ионами ^{132}Xe до разных флюенсов (5×10^{11} ион/см 2 – кривые 1, 1', 1×10^{12} ион/см 2 – кривые 2, 2', 1×10^{13} ион/см 2 – кривые 3, 3' и 1×10^{14} ион/см 2 – кривые 4, 4')

Для монокристалла MgO высокой чистоты (стартовое сырье имело степень чистоты 99.99%) были измерены также спектры КЛ (энергия электронов 10 кэВ, ток – 100 нА). На рисунке 3 представлены спектры КЛ необлученного MgO, измеренные при 5 К. В спектре видна узкая интенсивная полоса люминесценции около 7.62 эВ и широкие интенсивные полосы свечения с максимумами при 5.3 и 2.75 эВ. Свечение при 7.62 эВ связано со свободными высокоподвижными экситонами (точнее, связанными экситонами большого радиуса, см., например, [1,20]).

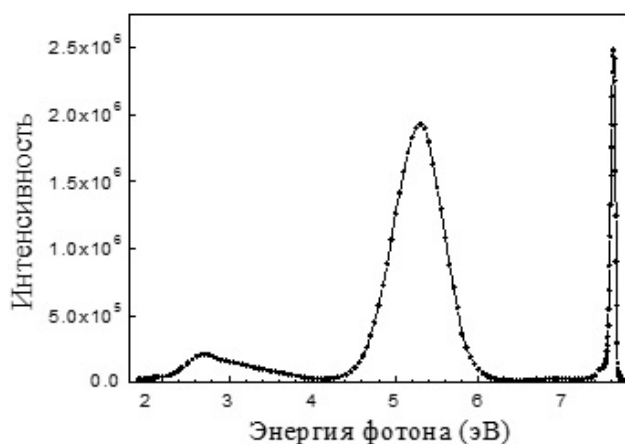


FIGURE 3 – Спектр катодолуминесценции необлученного образца MgO при 5 К

Отметим, что в спектре КЛ пластически деформированного MgO ранее было зафиксировано резкое усиление полос свечения с максимумами около 5.3 и 2.75 эВ [20,21]. Анализ спектров возбуждения этих свечений синхротронной радиацией позволил связать оба

этих свечения с возбуждением ионов кислорода около ассоциаций одиночных катионных и анионных вакансий (бивакансий), причем тип экситоноподобного свечения зависит от последовательности локализации электрона и дырки около бивакансии [20,21]. Так, если первым на бивакансии локализовался электрон, то при последующем подходе к такому центру дырки возникало рекомбинационное свечение 2.9 эВ.

На рисунке 4 представлены спектры КЛ необлученного образца MgO, измеренные при 5 К (кривая 1) и 300 К (кривая 2). Можно видеть, что при комнатной температуре интенсивность полосы люминесценции с максимумом при 5.3 эВ ниже, чем при 5 К, а для полосы около 2.9 эВ наблюдаем обратный эффект.

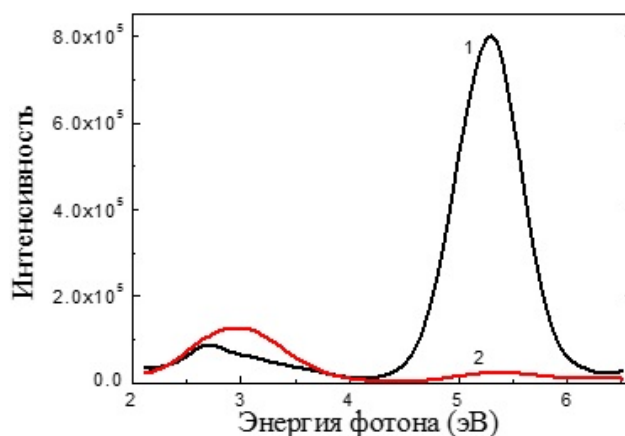


Figure 4 – Спектры катодолуминесценции необлученного образца MgO: кривая 1 – при 5 К, 2 – при 300 К

На рисунке 5 приведены спектр КЛ Хе-облученного MgO, возбуждаемого электронами с энергией 10 кэВ при 5 К, а также результаты аппроксимации данного спектра гауссовыми функциями. Спектры содержат полосы излучения F^+ - и F-центров, максимумы которых (после разложения) составляют 3.15 и 2.4 эВ, соответственно.

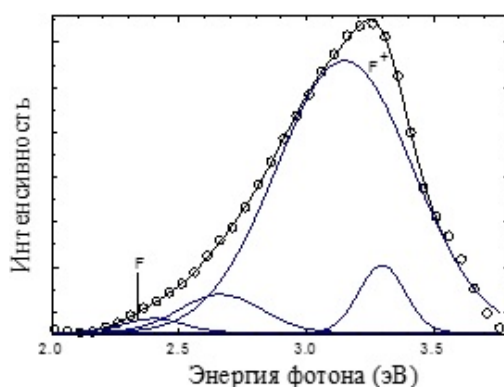


Figure 5 – Аппроксимация спектра катодолуминесценции облученного ионами ^{132}Xe кристалла MgO, измеренного при возбуждении электронами с энергией 10 кэВ при температуре 5 К (\circ – экспериментальный спектр, тонкие сплошные линии – компоненты разложения, жирная сплошная линия – суммарная кривая аппроксимации)

Как видно из рисунка 5, интенсивность свечения F^+ -центров (3.15 эВ) значительно выше, чем свечение F-центров (2.4 эВ). Отметим, что катодолуминесценция может возникать как результат вторичных реакций взаимодействия электронно-дырочных пар, эффективно возникающих в процессе возбуждения люминесценции электронным пучком, с созданными ионным облучением F^+ - и F-центрами (см., например, [8,13,22]). При таком подходе доминирование свечения F^+ -центров трактовалось как создание внутри ^{132}Xe ионных треков высокой концентрации анионных вакансий, которые служат эффективными радиационными ловушками для электронов. В то же время следует отметить, что в спектре

наведенного ионами ^{132}Xe оптического поглощения тоже доминирует полоса, связанная с F^+ -центрами, хотя и не так явно как в спектре КЛ (см. рисунок 5).

Облучение MgO быстрыми нейтронами или ионами ^{132}Xe безусловно приводит к радиационному созданию анионных вакансий, зарядовое состояние которых различается, что проявляется в спектрах КЛ и оптического поглощения (доминирование F^+ - и F -центров). Этот эффект требует дальнейшего изучения. Отметим также, что число бивакансий (и, соответственно, свечения 2.9 и 5.3 эВ) должно возрастать в результате ионного облучения. Вместе с тем последнее должно реабсорбироваться создаваемыми облучением F^+ - и F -центрами.

Заключение. После облучения X-лучами в спектре оптического поглощения MgO наводится только широкая полоса с максимумом при 2.3 эВ и связанная с преобразованием уже имеющихся дефектов/примесей, а F^+ - и F -центры не образуются. С другой стороны, после облучения высокоэнергетическими ионами ^{132}Xe в кристалле эффективно создаются структурные дефекты F -типа. В спектре индуцированного радиацией оптического поглощения наблюдаются доминирующая полоса при 4.96 эВ, являющаяся наложением полос поглощения F^+ (4.92 эВ) и F -центров (5.03 эВ), слабая полоса поглощения при 3.51 эВ, соответствующая агрегатным F_2 -центрам, а также комплексная полоса с максимумом около 2.1 эВ и окончательно не установленной природой. Спектры катодолюминесценции содержат полосы свечения F^+ и F -центров, максимумы которых расположены при 3.15 и 2.4 эВ, соответственно. Дальнейшее исследование будет направлено на более глубокое исследование и анализ как кинетики накопления центров окраски в процессе ионного облучения, так и на изучение процессов термического отжига радиационных дефектов в кристаллах MgO .

Благодарность: работа выполнена в рамках грантового проекта № AP05134257 «In-situ исследования структуры и механических напряжений в процессе облучения быстрыми тяжелыми ионами методами высокоэнергетической ионолюминесценции»

Список литературы

- 1 Lushchik Ch., Lushchik A., Kärner T., Kirm M., Dolgov S. Relaxation, self-trapping and decay of electronic excitations in wide-gap oxides. // *Russ. Phys. J. (USA)*. – 2000. – Vol. 43, №3. – p. 171–180.
- 2 Zimmerer G. Luminescence spectroscopy with synchrotron radiation: history, highlights, future. // *J. Lumin.* – 2006. – Vol. 119, № 120. – p. 1–7.
- 3 Lushchik Ch. B., Lushchik A. Ch. Decay of Electronic Excitations with Defect Formation in Solids. – Moscow: Nauka, - 1989.
- 4 Mackrodt W. C., Stewart R. F. Defect properties of ionic solids: 111. The calculation of the point-defect structure of the alkaline-earth oxides and CdO . // *J. Phys. C: Solid State Phys.* – 1979. – Vol. 12, № 23. – p. 5015-5035.
- 5 Kück S., Fornasiero L., Heumann E., Mix E., Huber G., Kärner T., Maaros A. Investigation of Cr-Doped MgO and Sc_2O_3 as Potential Laser Sources for the Near Infrared Spectral Range. // *Laser Phys.* – 2000. – Vol. 10, № 2. – p. 411-416.
- 6 Jeffrey G. S., Junichi N., Hidehiko H., Donald J. S. Theoretical Limiting Potentials in Mg/O_2 Batteries. // *Chem. Mater.* – 2016. – Vol. 28, №5. – p. 1390-1401.
- 7 Evans B.D., Comas J., Philip R. Coloration induced in MgO by $\text{MeV }^{20}\text{Ne}^+$ Bombardment. // *Phys. Rev.* – 1972. – Vol. 6, №6. – p. 2453-2462.
- 8 Lushchik A., Feldbach E., Galajev S., Kärner T., Liblik Peeter., Lushchik Ch., Maaros A., Nagirnyi Vitali., Vasil'chenko E. Some aspects of radiation resistance of wide-gap metal oxides. // *Radiat. Meas.* – 2007. - №42. – p. 792-797.
- 9 Кярнер Т.Н., Малышева А.Ф., Долгов С.А., Тажигулов Б.Т. Люминесценция центров окраски в облученных высокоэнергетическими частицами кристаллах MgO , MgO-Al , MgO-Be . // *Труды Института физики АН Эстонской ССР.* – 1986. – т. 58. – стр. 203-217.
- 10 Kappers L.A., Kroes R.L., E.B. Hensley. F^+ and F centers in magnesium oxide. // *Phys. Rev.* – 1970. – Vol.1, №10. – p. 4151.
- 11 Henderson B. Anion vacancy centers in alkaline earth oxides. // *CRC Crit. Rev. Solids State Mater. Sci.* – 1980 – Vol. 9 – p. 1-60.
- 12 Ueda A., Mu R., Tung Y-S., Wu M.H., Zavalin A., Wang P.W., Henderson D.O. Optically measured diffusion constants of oxygen vacancies in MgO . // *J. Phys.: Condens. Matter* – 2001. - №13. – p. 5535-5544.

- 13 Lushchik A., Lushchik Ch., Schwartz K., Vasil'chenko E., *Kärner* T., Kudryavtseva I., Isakhanyan V., Shugai A. Stabilization and annealing of interstitials formed by radiation in binary metal oxides and fluorides. // Nucl. Instrum. Meth. B – 2008. – 266. – p. 2868–2871.
- 14 Ballester C., Piquera J., Llopis J., Gonzalez R. Cathodoluminescence from MgO Single Crystals Containing a High Concentration of Anion Vacancies. // Phys. Status Solidi A – 1984. – Vol. 48. – p. 645–649.
- 15 Маароос. А.А. Монокристаллы MgO и MgO-Al повышенной чистоты.// Труды Института физики АН Эстонской ССР. – 1982. – т. 53. – стр. 49–56.
- 16 *Stöber* F. Zeitschrift fur Kristallographie. // Crystalline Materials. – 1924. – Vol.61, issue 1-6. – p. 299-314.
- 17 Abraham M.M., Butler C.T., Chen Y. Growth of high-purity and doped alkaline earth oxides: I. MgO and CaO. // J. Chem. Phys. – 1971. – Vol.55, №8. – p. 3752-3756.
- 18 Zdorovets M., Ivanov I., Koloberdin M., Kozin S., Alexandrenko V., Sambaev E., Kurakhmedov A., Ryskulov A. Accelerator complex based on DC-60 cyclotron. // Proceedings of RuPAC. – 2014. – p. 287-289.
- 19 Chen Y., Williams R.T., Sibley W.A. Defect cluster centers in MgO. // Phys. Rev. – 1969. – Vol.182, №3. – p. 960-964.
- 20 Lushchik A., Lushchik Ch., *Kärner* T., Nagirnyi V., Shablonin E., Vasil'chenko E. Impact and nonimpact creation mechanisms of radiation defects in ionic crystals. // Russ. Phys. J. – 2009. – Vol.52, №8/2. – p. 95-100.
- 21 Lushchik A., Lushchik Ch., Schwartz K., Savikhin F., Shablonin E., Shugai A., Vasil'chenko E. Creation and clustering of Frenkel defects at high density of electronic excitations in wide-gap materials. // Nucl. Instrum. Meth. B – 2012. – Vol.277. – p. 40-44.
- 22 Lushchik A., *Kärner* T., Lushchik Ch., Vasil'chenko E., Dolgov S., Issakhanyan V., Liblik P. Dependence of long-lived defect creation on excitation density in MgO single crystals. // Phys. Status Solidi C – 2007 – Vol.4. – p. 1084-1087.

Г.М. Баубекова¹, А.Ч. Лущик², Р.Н. Асылбаев³, А.Т. Акылбеков¹

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

² Тарту Университеті физика институты, Тарту, Эстония

³ Павлодар мемлекеттік педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан

Жылдам ауыр иондармен сәулелендірілген MgO кристалдарындағы радиациялық ақау түзілуі

Аңдатпа Френкел ақауларының түзілу үрдісі энергиясы 0.23 ГэВ ¹³²Xe ионымен бөлме температурасында сәулелендірілген MgO кристалдарында зерттелді. Бөлме температурасында 1.5-6.5 эВ аймағында екісәулелі JASCO-V-660 спектрофотометрі арқылы өлшенген оптикалық жұтылу спектрлері бірнеше жолақтардан тұрады, анықталған F⁻ және F⁺-центрлер (сәйкесінше бір жаңе екі электронды қармалған оттекті вакансия,) және қарапайым агрегатты F₂-центр, және де 2.16 эВ жолақ. Темір қоспасымен (3 ppm жуық) байланысты жолақ 4.26 және 5.74 эВ аймағында орналасады. Сонымен қатар X-сәулесімен сәулелендірілген MgO кристалдарының жұтылу спектрлері зерттелді. Энергиясы 10 кэВ электрондармен бөлме температурасында қоздырудағы катодолуминесценция (КЛ) спектрлері максимумдары сәйкесінше 3.15 және 2.4 эВ болатын F⁺ және F⁻центрлері шағылу жолақтарынан тұрады.

Түйін сөздер: MgO, кеңзоналы оксид металдары, жылдам ауыр иондар, ақау түзілу, катодолуминесценция, радиациялық ақаулар.

G.M. Baubekova¹, A.Ch. Lushchik², R.N. Asylbaev³, A.T. Akilbekov¹

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

² Institute of Physics, University of Tartu, Estonia

³ Pavlodar state pedagogical university, Pavlodar, Kazakhstan

Creation of radiation defects in MgO crystals irradiated with swift heavy ions

Abstract: The processes of the creation of anion Frenkel defects have been investigated in MgO crystals irradiated by fast ¹³²Xe ions with an energy of 0.23 GeV at room temperature. The spectra of optical absorption measured at room temperature in the region of 1.5–6.5 eV using a dual-beam spectrophotometer JASCO V-660 contain several bands ascribed to F and F⁺ centers (two/one electron trapped by an oxygen vacancy), the simplest aggregate F₂ centers, as well as the band at 2.16 eV. The iron-related bands (up to 3 ppm of Fe) are peaked at 4.26 and 5.74 eV. The absorption spectra of an MgO crystal irradiated with X-rays were also investigated. The cathodoluminescence (CL) spectra, measured at 10-keV electron excitation at 5 K, contain emissions of F⁺ and F centers peaked at 3.15 and 2.4 eV, respectively.

Keywords: MgO, wide-gap metal oxides, swift heavy ions, defect formation, cathodoluminescence, radiation defects.

References

- 1 Lushchik Ch., Lushchik A., *Kärner* T., Kirm M., Dolgov S. Relaxation, self-trapping and decay of electronic excitations in wide-gap oxides, Russ. Phys. J. (USA), 43(3), 171–180(2000).
- 2 Zimmerer G. Luminescence spectroscopy with synchrotron radiation: history, highlights, future, J. Lumin., 119(120), 1–7(2006).
- 3 Lushchik Ch. B., Lushchik A. Ch. Decay of Electronic Excitations with Defect Formation in Solids (Science, Moscow, 1989, 34p.)

- 4 Mackrodt W. C., Stewart R. F. Defect properties of ionic solids: 111. The calculation of the point-defect structure of the alkaline-earth oxides and CdO, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, 12(23), 5015-5035(1979).
- 5 Kück S., Fornasiero L., Heumann E., Mix E., Huber G., Kärner T., Maaros A., Investigation of Cr-Doped MgO and Sc₂O₃ as Potential Laser Sources for the Near Infrared Spectral Range, *Lazer Phys.*, 10(2), 411-416(2000).
- 6 Jeffrey G. S., Junichi N., Hidehiko H., Donald J. S. Theoretical Limiting Potentials in Mg/O₂ Batteries, *Chem. Mater.*, 28(5), 1390-1401(2016).
- 7 Evans B.D., Comas J., Philip R. Coloration induced in MgO by MeV ²⁰Ne⁺ Bombardment, *Phys. Rev.*, 6(6), 2453-2462(1972).
- 8 Lushchik A., Feldbach E., Galajev S., Kärner T., Liblik Peeter., Lushchik Ch., Maaros A., Nagirnyi Vitali., Vasil'chenko E. Some aspects of radiation resistance of wide-gap metal oxides, *Radiat. Meas.*, 42, 792-797(2007).
- 9 Kärner T.N., Malysheva A.F., Dolgov S.A., Tajigulov B.T. Lyuminescenciya centrov okraski v obluchennyh vysokoenergeticheskimi chasticami kristallah MgO, MgO-Al, MgO-Be [Luminescence of color centers in MgO, MgO-Al, MgO-Be crystals irradiated with high-energy particles], *Trudy Instituta fiziki AN Estonskoi SSR*, 58, 203-217(1986). [in Russian].
- 10 Kappers L.A., Kroes R.L., E.B. Hensley. F⁺ and F centers in magnesium oxide, *Phys. Rev.*, 1(10), 4151-4152(1970).
- 11 Henderson B. Anion vacancy centers in alkaline earth oxides, *CRC Crit. Rev. Solids State Mater. Sci.*, 9, 1-60(1980).
- 12 Ueda A., Mu R., Tung Y-S., Wu M.H., Zavalin A., Wang P.W., Henderson D.O. Optically measured diffusion constants of oxygen vacancies in MgO, *J. Phys.: Condens. Matter*, 13, 5535-5544(2001).
- 13 Lushchik A., Lushchik Ch., Schwartz K., Vasil'chenko E., Kärner T., Kudryavtseva I., Isakhanyan V., Shugai A. Stabilization and annealing of interstitials formed by radiation in binary metal oxides and fluorides, *Nucl. Instrum. Meth.*, 266, 2868-2871(2008).
- 14 Ballester C., Piquera J., Llopis J., Gonzalez R. Cathodoluminescence from MgO Single Crystals Containing a High Concentration of Anion Vacancies, *Phys. Status Solidi A*, 48, 645-649(1984).
- 15 Maaros A.A. Monokristally MgO i MgO-Al povyshennoi chistoty [High purity MgO and MgO-Al single crystals], *Trudy Instituta fiziki AN Estonskoi SSR*, 53, 49-56(1982). [in Russian].
- 16 Stöber F. Zeitschrift für Kristallographie, Crystalline Materials, 61(1-6), 299-314(1924).
- 17 Abraham M.M., Butler C.T., Chen Y. Growth of high-purity and doped alkaline earth oxides: I. MgO and CaO, *J. Chem. Phys.*, 55(8), 3752-3756(1971).
- 18 Zdorovets M., Ivanov I., Koloberdin M., Kozin S., Alexandrenko V., Sambaev E., Kurakhmedov A., Ryskulov A. Accelerator complex based on DC-60 cyclotron, *Proceedings of RuPAC*, 287-289(2014).
- 19 Chen Y., Williams R.T., Sibley W.A. Defect cluster centers in MgO, *Phys. Rev.*, 182(3), 960-964(1969).
- 20 Lushchik A., Lushchik Ch., Kärner T., Nagirnyi V., Shablonin E., Vasil'chenko E. Impact and nonimpact creation mechanisms of radiation defects in ionic crystals, *Russ. Phys. J.*, 52(8/2), 95-100(2009).
- 21 Lushchik A., Lushchik Ch., Schwartz K., Savikhin F., Shablonin E., Shugai A., Vasil'chenko E. Creation and clustering of Frenkel defects at high density of electronic excitations in wide-gap materials, *Nucl. Instrum. Meth. B*, 277, 40-44(2012).
- 22 Lushchik A., Kärner T., Lushchik Ch., Vasil'chenko E., Dolgov S., Issakhanyan V., Liblik P. Dependence of long-lived defect creation on excitation density in MgO single crystals, *Phys. Status Solidi C*, 4, 1084-1087(2007).

Сведения об авторах:

Баубекова Г.М. - докторант 2-го курса по специальности "6D072300-Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Физико-технический факультет, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Луциж А.Ч. - доктор физ. наук, АН Латвии, профессор физики твердого тела и заведующий лабораторией физики ионных кристаллов Института физики Тартуского университета, ул. Оствальд, 1, Тарту, Эстония.

Асылбаев Р.Н. - PhD, доцент кафедры математики и физики Павлодарского государственного педагогического университета, ул. Торайгырова, 58, Павлодар, Казахстан.

Акылбеков А.Т. - доктор физ.-мат. наук, профессор, декан физико-технического факультета, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, физико-технический факультет, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Baubekova G.M. - PhD student of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Lushchik A.Ch. - Dr. Sci. in Physics, member of the Academy of Sciences of Latvia, professor Institute of physics, University of Tartu, Ostwald str. 1, Tartu, Estonia.

Asylbaev R.N. - PhD, assistant professor of Mathematics and Physics department of Pavlodar state pedagogical university, Pavlodar, Kazakhstan.

Akilbekov A.T. - Dr. Sci. in Physics and Mathematics, professor, Dean of the Faculty of Physics and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 12.06.2019

«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 жеткізілуі берілуі қажет. **Қаржылай көмек туралы** ақпарат бірінші бетке 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

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: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 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: HSBKKZKX

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 Жубаньшиева 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: HSBKKZKX

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

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

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

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