

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 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>Akismetova 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

МРНТИ 29.19.11

Т.Н. Нурахметов¹, Ж.М. Салиходжа¹, М.Ю. Доломатов²,
А.М. Жунусбеков¹, А.Ж. Кайнарбай, Д.Х. Дауренбеков¹, А.С. Балтабеков³,
Б.М. Садыкова¹, К.Б. Жанылысов¹, Б.Н. Юсупбекова¹

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан,
Казахстан

² Башкирский государственный университет, Уфа, Башкортостан, Россия

³ Карагандинский государственный университет им.Е.А. Букетова, Караганда,
Казахстан

(E-mail: sali.zhmb4@yandex.kz, batsaiy_s@mail.ru)

Зонная структура и оптические спектры смешанных сульфатов щелочных металлов

Аннотация: Методами вакуумной ультрафиолетовой и термоактивационной спектроскопии исследована природа собственной люминесценции и электронно-дырочных центров захвата в LiKSO_4 , LiNaSO_4 и Li_2SO_4 при возбуждении фотонами с энергией $4 \div 12,4$ эВ при температурах $15 \div 300$ К. В литийсодержащих сульфатах смешанных щелочных металлов оценена минимальная энергия создания собственных излучений и электронно-дырочных центров захвата. На основе измерения спектров возбуждения идентифицированы электронные переходы с валентной зоны в зону проводимости для LiKSO_4 , LiNaSO_4 и Li_2SO_4 .

Ключевые слова: фотоны, электроны, дырки, люминесценция, рекомбинация, запрещенная зона, валентная зона.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-128-3-117-127>

Введение. Зонно-энергетическая структура сульфатов смешанных щелочных металлов изучалась в связи с их практическим применением в качестве люминофоров, различных детекторов, датчиков температуры, давления и др. Эти соединения обладают суперионной проводимостью, сегнетоэлектрическими свойствами, аномалией диэлектрической проницаемости и имеют несколько фазовых переходов. Несмотря на значительный интерес к физическим свойствам этих сульфатов недостаточно исследована их зонно-энергетическая структура. В работах авторов [1] были исследованы энергетическая зонная структура кристаллов LiKSO_4 . Кристалл LiKSO_4 принадлежит к группе пространственной симметрии типа $R\bar{6}3$. Структурные фрагменты тетраэдров SO_4 и LiO_4 образуют упорядоченную трехмерную структуру, характеризующуюся шестичленными кольцами из трех LiO_4 и трех SO_4 . Вершины трех тетраэдров LiO_4 и SO_4 являются взаимосвязанными. Атомы калия занимают позиции вдоль гексагональной оси. Они координируются девятью атомами кислорода. В настоящей работе ортогонализированы валентные состояния кислорода O (2p, 2s), калия K (4s), лития Li (2s), серы S (3p, 3s), а также возбужденные состояния – O (3s, 2p), K (4p), Li (2p), S (4p, 4s).

Вычисленные значения 5,8 эВ для ширины запрещенной зоны хорошо согласуется с соответствующим значением 6,2 эВ, полученным экспериментально по спектрам отражения. По результатам расчета была показана, что верхняя часть валентной зоны состоит из трех подзон, а зона проводимости состоит из двух или трех подзон.

Авторы [2] работы измеряли оптическое пропускание и отражение вблизи фундаментальной области поглощения вдоль осей с и а кристалла LiKSO_4 . Из экспериментальных данных были выведены коэффициенты поглощения и оптическая ширина запрещенной зоны E_g . Рассчитаны также параметр крутизны, температурная зависимость энергетической щели. Коэффициент экстинкции, показатель преломления, действительная и мнимая часть диэлектрической проницаемости вычислялись как функции энергии фотонов. Оптическая энергетическая щель составляет $E_g^{\text{опт}} = 4,13$ эВ и 4,37 эВ для оси с и а соответственно. Энергия экситона составляла $E_0 = 6,75$ эВ. В работе авторов [3] в рамках теории функционала плотности рассчитана зонно-энергетическая

структура кристалла LiNaSO_4 (ЛНС) для пространственной группы $P31c$. Для LiNaSO_4 характерны две фазы: низкотемпературная β -фаза и высокотемпературная α -фаза с фазовым переходом при 788 К. Кристаллы α -ЛНС имеют кубическую объемно-центрированную структуру и обладают быстрой ионной проводимостью. В β -ЛНС наблюдаются пьезоэлектрические свойства.

Физические свойства кристалла LiNaSO_4 хорошо изучены. Исследованы электрические, люминесцентные и другие свойства. Оцененная авторами [4] ширина запрещенной зоны составляет 4,7 эВ. Структура кристалла базируется на тетраэдрах SO_4^{2-} , свойственна для сульфатов щелочных металлов. Анионные комплексы образуют тетраэдрические и октаэдрические пустоты, в которых размещены ионы Li^+ и Na^+ соответственно. Рассчитанная зонно-энергетическая диаграмма для кристалла ЛНС представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка 1, энергетические уровни вершины валентной зоны характеризуются низкой дисперсией, типичной для кристаллов группы ABSO_4 (сульфатов смешанных щелочных металлов), что указывает на относительно слабую химическую связь между атомами, формирующими группу. Вершина валентной зоны, обозначенная как 0 эВ, совпадает с уровнем Ферми E_F . Запрещенная зона кристалла ЛНС является зоной прямого типа, что предусматривает прямые оптические переходы в Γ точке зоны Брюллиэна (ЗБ). Полученные значения ширины запрещенной зоны в приближении обменно-корреляционного функционала в виде обобщенного градиента $E_g = 5,89$ эВ и в приближении локальной плотности $E_g = 5,49$ эВ.

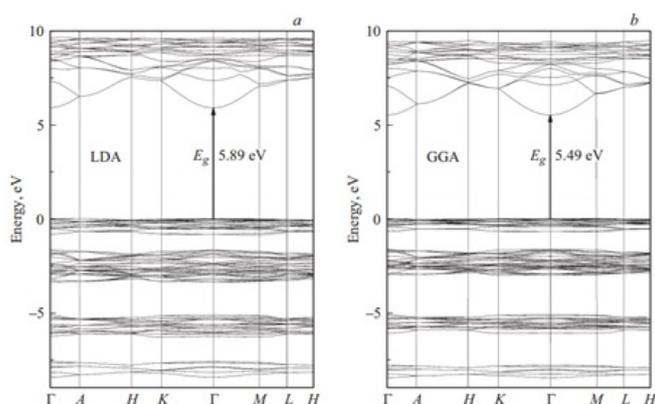
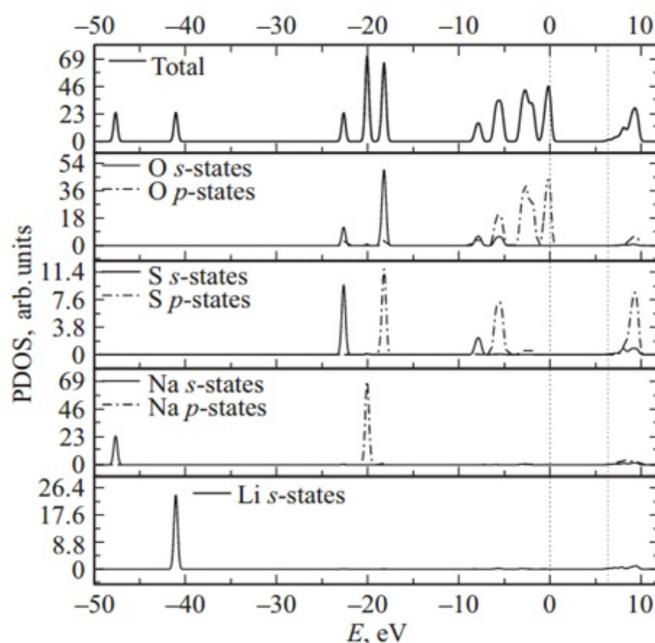


FIGURE 1 – Рассчитанная зонно-энергетическая диаграмма для кристалла LiNaSO_4 с использованием функционалов LDA (a) и GGA (b)

Полученные значения ширины запрещенной зоны удовлетворительно совпадают с обнаруженными ранее в экспериментальных исследованиях края фундаментального поглощения $E_g = 4,7$ эВ авторов [4], а также предложенными авторами [5] работы на основе измерения спектра возбуждения для полосы излучения при 386 нм и 412 нм кристалла $\text{LiNaSO}_4\text{-Cu}$. При сравнении полученных результатов с данными расчетов для кристаллов LiKSO_4 ($E_g = 5,8$ эВ) [1], LiRbSO_4 ($E_g = 5,16$ эВ) [6] и LiNH_4SO_4 ($E_g = 5,32$ эВ) [7]) можно, увидеть, что ширина запрещенной зоны кристалла LiNaSO_4 сравнима с другими кристаллами. Спектральные зависимости полной и парциальных электронных плотностей состояний для атомов с соответствующими орбитальными моментами для кристалла LiNaSO_4 представлены на рисунке 2. Характерной особенностью данного распределения является то, что верхняя часть валентной зоны ($-3,8 \div 0$ эВ) почти полностью образована р-электронами кислорода анионных комплексов SO_4^{2-} . В расположенных глубже уровнях валентной зоны в диапазоне от $-8,5$ до 5 эВ, кроме р состояния кислорода, значительный вклад дает s-состояния кислорода и р состояния серы. Дно зоны проводимости кристалла сформировано в основном s-состояниями лития и натрия. При энергиях $E > 6$ эВ ярко выраженными являются р-состояния серы, кислорода и натрия.

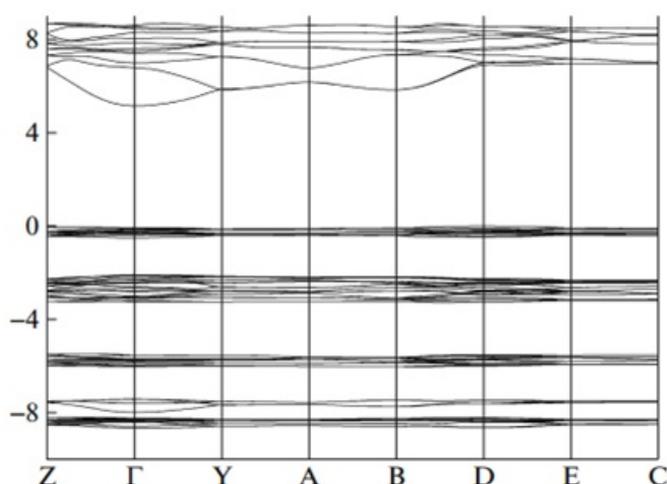
FIGURE 2 – Распределение электронной плотности состояний для кристаллов LiNaSO_4

Таким образом, в вершине валентной зоны кристалла LiNaSO_4 главную роль играют p-электроны кислорода, а на дне зоны проводимости - s-состояния лития и натрия. В другой работе авторов [6] проведены теоретические и экспериментальные исследования зонно-энергетической структуры и оптических свойств аналогичных литий содержащего кристалла LiRbSO_4 в орторомбической фазе P_{nma} . С использованием метода псевдопотенциала в рамках теории функционала электронной плотности рассчитаны зонная структура, плотность состояний и распределение диэлектрической проницаемости $\epsilon(E)$. На основе этих расчетов получены спектральные зависимости двупреломления Δn_i кристаллов LiRbSO_4 для разных кристаллографических направлений. Обнаружено хорошее согласие экспериментальных и теоретических спектров двупреломления.

Посредством использования полученных теоретических структурных параметров рассчитана зонная структура монокристаллов LiRbSO_4 . На рисунке 3 представлена рассчитанная зонно-энергетическая диаграмма вдоль высокосимметрических линий зоны Бриллюэна. Вершина валентной зоны, которую принимаем за 0 эВ, локализована в центре зоны Бриллюэна (Γ точка). Наименьшая прямая запрещенной зоны (Γ точка) составляет 5,16 эВ, однако нужно принять во внимание уменьшение величины энергетической зоны, характерное для расчетов в формализме локальной плотности.

Валентный комплекс монокристаллов литий рубидий сульфаты (ЛРС) состоит из отдельных узких комбинаций зон, разделенных энергетическими промежутками. Вершина валентной зоны образована связующими p-орбиталями кислорода. Дно зоны проводимости сформировано в основном s, p – состояниями Li, Rb, которые гибридизированы с антисвязующими p-состояниями серы и кислорода. Таким образом, фундаментальное оптическое поглощение обусловлено в основном внутрианионными переходами.

Валентные зоны между энергиями $-22,8 \div 24,3$ эВ от потолка валентной зоны состоит в основном из 5s состояния Rb и 2p состояния O с подмешиванием 2p состояния серы. Зона 2p состояния O разделена на три широкие подзоны: $-1,4-3,4$ эВ; $-5,1-7,8$ эВ; $18,5-19,0$ эВ. Из расчетов авторов [6] видно, что энергетическая структура валентной зоны для кристаллов LiNaSO_4 и LiRbSO_4 похожа по распределению подзон вершины валентной зоны.

FIGURE 3 – Диаграмма энергетических зон монокристалла LiRbSO_4

Наш экспериментальный комплекс на основе вакуумного монохроматора позволяет идентифицировать электронные переходы в интервале энергии $6 \div 12$ эВ от валентной зоны до дна зоны проводимости, т.е. можно избирательно возбуждать электроны из первой и второй и третьей подзоны валентной зоны для этих кристаллов. Основной задачей нашей работы является исследование природы собственных излучений для кристаллов LiKSO_4 , LiRbSO_4 , KNaSO_4 при возбуждении фотонами с энергией $6 \div 12$ эВ в широкой области температур $15 \div 300$ К.

Объекты и методы исследования. Кристаллы Li_2SO_4 , LiKSO_4 и LiNaSO_4 выращены из насыщенных водных растворов методом медленного испарения при температуре 50°C . Из кристалла вырезались пластинки толщиной 3-5 мм. Нами исследованы образцы кристаллов Li_2SO_4 , LiKSO_4 и LiNaSO_4 . Кристаллы Li_2SO_4 , LiKSO_4 и LiNaSO_4 исследовались методами фотолюминесценции, рентгенолюминесценции и вакуумно-ультрафиолетовой спектроскопии. Для возбуждения в ультрафиолетовой области спектра использовалась дейтериевая лампа D200VUV (Heraeus Noblelight, Germany) с энергией фотонов $6,2 \div 11,5$ эВ и ксеноновая лампа XBO 150W (OSRAM, Germany) с энергией фотона $1,5 \div 6,2$ эВ. Для измерения спектров излучения и возбуждения в спектральной области $1,5 \div 6,2$ эВ использовался спектрофлуориметр Solar CM2203. Измерения спектров возбуждения и излучения в области спектра $4 \div 11,5$ эВ проводились на вакуумном монохроматоре, собранного по схеме Seya-Namioka, в широкой области температур $15 \div 400$ К. Регистрация излучения кристаллов проводилась через монохроматор МДР-41 с помощью ФЭУ (Photomultiplier tube) 1P28 (Hamamatsu, Japan). Спектр возбуждения исправлен на спектральное распределение интенсивности возбуждающего излучения.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Таким образом, проведенные теоретические расчеты [1, 3, 6, 7], некоторые экспериментальные работы [2, 4, 8] показали, что оцененные ширины запрещенных зон в литийсодержащих сульфатах смешанных щелочных металлов составили в интервале $5,16 \div 5,8$ эВ. Было показано, что верхняя часть валентной зоны, которая участвует в электронных переходах, образуется из $2p$ орбиталей кислорода и состоит из четырех подзон, отстоящих от потолка валентной зоны приблизительно на 10-20 эВ. Зона проводимости образуется в основном из s состояний катионов основания. Для выяснения электронной структуры кристаллов Li_2SO_4 , LiNaSO_4 и LiKSO_4 мы измерили спектр собственной люминесценции и спектр возбуждения основных полос излучения при возбуждении низкоэнергетическими ($5,1 \div 6,2$ эВ) и высокоэнергетическими ($6,9 \div 12,4$ эВ) фотонами в широкой области температур $15 \div 300$ К. Пытались интерпретировать электронные переходы на основе измеренных спектров возбуждения отдельных полос излучения.

На рисунке 4 представлен спектр излучения кристалла LiKSO_4 при возбуждении фотонами с энергией 6,2 эВ (кривая 1) и 5,64 эВ (кривая 1/) при 300 К. Из рисунка видно, что появляются асимметричная основная коротковолновая полоса излучения с максимумом 3,85 эВ (кривая 1) и 3,8 эВ (кривая 1/). Также появляются длинноволновые полосы излучения с максимумами при $2,6 \div 2,7$ эВ и $2,3 \div 2,4$ эВ. На этом же рисунке 4 представлен спектр излучения кристалла LiNaSO_4 при возбуждении фотонами с энергией 6,2 эВ (кривая 2) и 5,64 эВ (кривая 2/) при 300 К. Видно, что появляются коротковолновые полосы излучения $4,1 \div 4,3$ эВ, 3,8 эВ (кривая 2), а также 3,85 эВ и 3,64 эВ (кривая 2/), соответственно. На этом кристалле появляются сложные основные коротковолновые полосы излучения с несколькими максимумами. Также появляются интенсивные длинноволновые полосы излучения при $3,1$ эВ, $2,6 \div 2,7$ эВ и $2,3 \div 2,4$ эВ.

На этом же рисунке 4 представлен спектр излучения кристалла Li_2SO_4 при возбуждении фотонами с энергией 6,2 эВ (кривая 3) и 5,64 эВ (кривая 3/) при 300 К. Из рисунка 4 видно, что появляются коротковолновые основные полосы излучения при $4,1 \div 4,3$ эВ, $3,7 \div 3,8$ эВ и 3,64 эВ (кривая 3) и 3,7 эВ, 3,64 эВ (кривая 3/) соответственно. В кристалле Li_2SO_4 , также появляются сложные коротковолновые излучения с несколькими максимумами. Здесь же появляются длинноволновые полосы излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ, $2,6 \div 2,7$ эВ и $2,4 \div 2,3$ эВ.

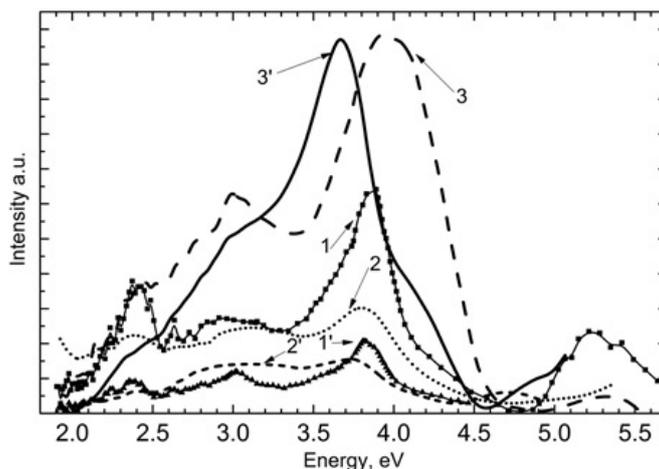


FIGURE 4 – Спектры излучения кристалла LiKSO_4 при 300 К: при возбуждении фотонами с энергией: 1 - 6,2 эВ; 1/ - 5,64 эВ; Спектры излучения кристалла LiNaSO_4 при 300 К: при возбуждении фотонами с энергией: 2 - 6,2 эВ; 2/ - 5,64 эВ; Спектры излучения кристалла Li_2SO_4 при 300 К: при возбуждении фотонами с энергией: 3 - 6,2 эВ; 3/ - 5,64 эВ

На рисунке 5 представлены спектры излучения кристалла LiKSO_4 при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией 7,75 эВ (кривая 1) и 6,9 эВ (кривая 1/) при 15 К. Из рисунка видно, что более эффективно создаются длинноволновые излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ и $2,6 \div 2,7$ эВ. Коротковолновые полосы при $4,1 \div 4,3$ эВ, $3,7 \div 3,8$ эВ и 3,64 эВ создаются менее эффективно. На этом же рисунке 5 представлены спектры излучения кристалла LiNaSO_4 при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией 7,75 эВ (кривая 2) и 6,9 эВ (кривая 2/) при 300 К. Из рисунка 5 видно, что более эффективно создаются длинноволновые полосы при $3,0 \div 3,1$ эВ (кривая 2). Коротковолновые полосы при $4,1 \div 4,3$ эВ, $3,7 \div 3,8$ эВ создаются менее эффективно (кривая 2/). Коротковолновые полосы излучения при $4,1 \div 4,3$ эВ и $3,7 \div 3,8$ эВ хорошо создаются фотонами с энергией 12,4 эВ и 10,3 эВ.

Спектры излучения кристалла Li_2SO_4 при возбуждении фотонами с энергией 7,75 эВ (кривая 3) и 6,9 эВ (кривая 3/) представлены на рисунке 5 при 15 К. Из рисунка видно,

что эффективно возбуждаются длинноволновые полосы излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ, а менее эффективно создаются коротковолновые излучения при $4,1 \div 4,3$ эВ, $3,7 \div 3,8$ эВ.

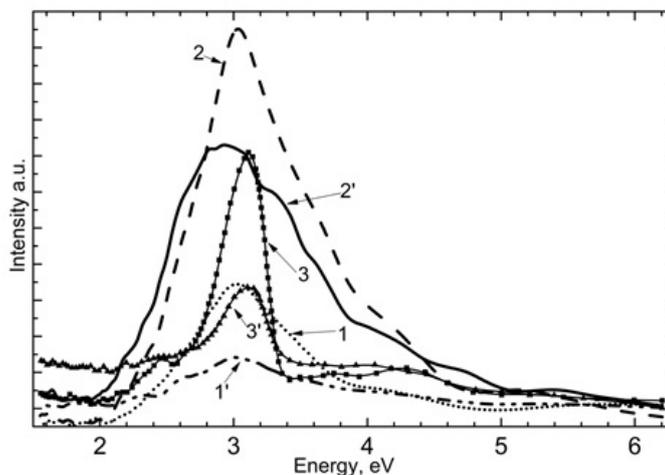


FIGURE 5 – Спектры излучения кристалла LiKSO_4 при 15 К: при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией: 1 - 7,75 эВ; 1/ - 6,9 эВ; Спектры излучения кристалла LiNaSO_4 при 300 К: при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией: 2 - 7,75 эВ; 2/ - 6,9 эВ; Спектры излучения кристалла Li_2SO_4 при 15 К: при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией 3 - 7,75 эВ; 3/ - 6,9 эВ

На рисунке 6 представлен спектр излучения в порошках LiKSO_4 и Li_2SO_4 с чистотой 99,99% при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией 7,3 эВ (кривая 1) и 6,9 эВ (кривая 1/) для LiKSO_4 и 7,3 эВ (кривая 2) и 6,9 эВ (кривая 2/) для кристалла Li_2SO_4 , соответственно при 15 К. Специфической особенностью порошковых образцов LiKSO_4 и Li_2SO_4 являются при возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией 7,3 эВ и 6,9 эВ создания коротковолновых и длинноволновых излучений приблизительно с одинаковой эффективностью. Даже в порошке LiKSO_4 коротковолновые излучения $3,7 \div 3,8$ эВ и $4,1$ эВ и $4,3$ эВ издаются более эффективно (рисунок 6, кривые 2 и 2/).

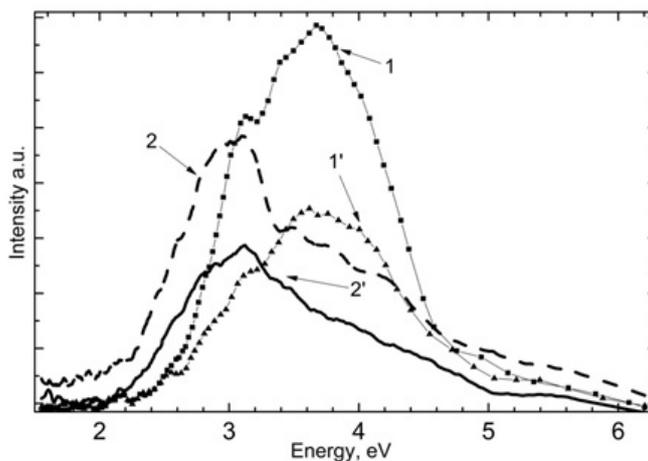


FIGURE 6 – Спектр излучения порошка LiKSO_4 с чистотой 99,99% при 300 К при возбуждении фотонами с энергией: 1 - 7,3 эВ; 1/ - 6,9 эВ; Спектр излучения порошка Li_2SO_4 с чистотой 99,99% при 15 К при возбуждении фотонами с энергией: 2 - 7,3 эВ; 2/ - 6,9 эВ

На рисунке 7а представлен спектр возбуждения основных полос излучения кристалла LiKSO_4 в широкой спектральной области от 12,4 эВ до 4 эВ при 300 К. Из рисунка

7а видно, что полоса излучения при 3,8 эВ возбуждается от 6,2 эВ до 4,96 эВ (кривая 1). Интенсивность возбуждения эффективна при энергии фотона 6,2 эВ и постепенно интенсивность возбуждения уменьшается до минимального значения при энергии фотона 4,96 эВ (рисунок 7а, кривая 1). На рисунке 7а (кривая 2) представлен спектр возбуждения длинноволновой полосы излучения при 3,0 эВ (кривая 2). Из рисунка видно, что полоса 3,0 эВ возбуждается при энергиях фотона 6,2 эВ до 5,6 эВ (кривая 2) и более эффективно от 8,85 эВ до 12,4 эВ. На этом же рисунке 7а представлен спектр возбуждения для полосы излучения 2,3 ÷ 2,4 эВ (кривая 3). Полоса излучения 2,3 эВ эффективно возбуждается при энергиях фотона 6,2 ÷ 4,96 эВ и 3,20 ÷ 3,3 эВ (кривая 3). Полоса излучения 3,8 эВ при 15 К возбуждается при энергиях фотона 7,3 ÷ 7,7 эВ (кривая 4).

Спектр возбуждения основных полос излучения кристалла Li_2SO_4 представлен на рисунке 7б для полос излучения 3,8 эВ и 2,95 эВ при 300 К в спектральном интервале от 6,2 эВ до 3,26 эВ. Из рисунка 7б (кривая 1) видно, что излучения 3,8 эВ эффективно возбуждаются при энергиях фотона от 6,2 ÷ 5,1 эВ. Интенсивность возбуждения зависимости от энергии фотона в интервале энергии 6,2 ÷ 5,1 эВ уменьшается до минимального значения (рисунок 7б, кривая 1). Полоса излучения при 2,95 эВ эффективно возбуждается в интервале энергии фотонов от 6,2 эВ до 5,5 эВ, 4,6 эВ до 4,0 эВ, от 3,76 эВ до 3,4 эВ (рисунок 7б, кривая 2). Длинноволновая полоса излучения при 3,0 эВ при 15 К возбуждается при энергиях фотона от 6,2 эВ до 5,6 эВ и от 8,85 эВ до 12,4 эВ (рисунок 7б, кривая 3). На рисунке 7д представлена спектр возбуждения основных полос излучения кристалла LiNaSO_4 при 3,7 ÷ 3,8 эВ и длинноволновых полос излучения 3,0 ÷ 3,1 эВ в широком спектральном интервале от 12,4 эВ до 4 эВ. Из рисунка 7д (кривая 1) видно, что излучения 3,7 ÷ 3,8 эВ возбуждаются при энергиях фотона от 4,6 эВ до 6,2 эВ при 300 К. Длинноволновые излучения 3,1 эВ при 300 К возбуждаются при энергиях фотона от 4 эВ до 6,2 эВ при 300 К. Эта же полоса излучения при 3,0 ÷ 3,1 эВ при 15 К возбуждается при энергиях фотона 4,4 ÷ 7,1 эВ и 8,6 ÷ 12,0 эВ.

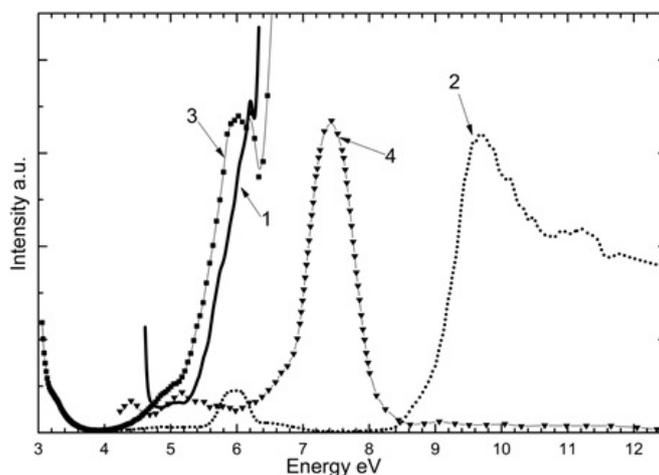


FIGURE 7 – Спектр возбуждения кристалла LiKSO_4 : 1- для полосы излучения 3,8 эВ при 300 К; 2- для полосы излучения 3,0 эВ при 300 К; 3 - для полосы излучения 2,3 ÷ 2,4 эВ при 300 К; 4 - для полосы излучения 3,8 эВ при 15 К.

Обсуждение. В рассмотренных литийсодержащих сульфатах щелочных металлов LiKSO_4 , LiNaSO_4 и Li_2SO_4 были по отдельности изучены природы собственной люминесценции и механизмы образования электронно-дырочных центров захватов. Например, в кристалле LiKSO_4 [9] на основе полученных экспериментальных результатов оценена минимальная энергия фотонов, создающих фундаментальную полосу собственного излучения при 3,7 ÷ 3,8 эВ. Экспериментально показано, что основное собственное излучение при 3,7 ÷ 3,8 эВ возбуждается как фотонами с энергией 5,1 ÷ 6,2 эВ и с такой же

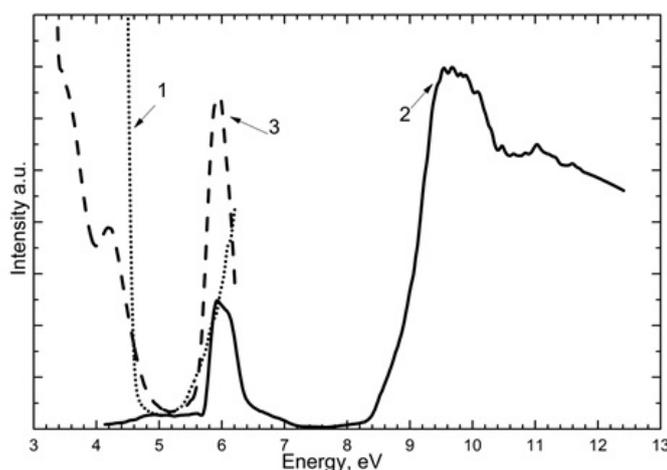


FIGURE 8 – Спектр возбуждения кристалла Li_2SO_4 : 1- для полосы излучения 3,8 эВ при 300 К; 2- для полосы излучения 2,95 эВ при 300 К; Спектр возбуждения порошка Li_2SO_4 с чистотой 99,99% при 15 К: 3 - для полосы излучения 3,0 эВ

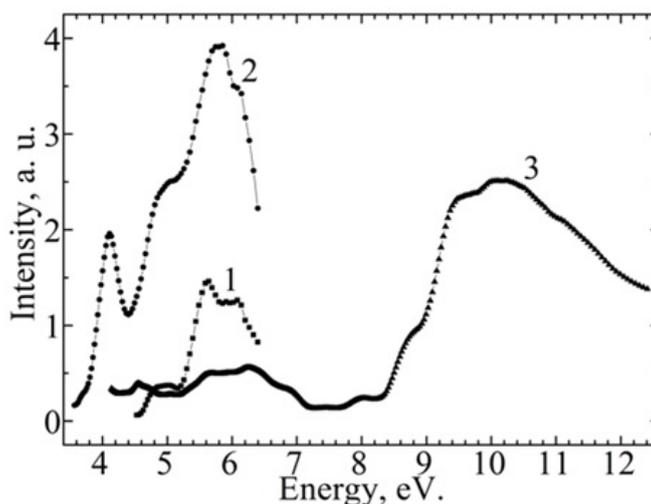


FIGURE 9 – Спектр возбуждения кристалла LiNaSO_4 : 1 - для полосы излучения 3,7 ÷ 3,8 эВ при 300 К; 2 - для полосы излучения 3,1эВ при 300 К; 3 - для полосы излучения 3,1эВ при 15 К.

эффективностью возбуждаются высокоэнергетическими фотонами с энергией 6,9 ÷ 10,5 эВ. Предполагалось, что излучение 3,7 ÷ 3,8 эВ создается при рекомбинации электронов из зоны проводимости с локализованными дырками, релаксированных из трех подзон 2р состояния кислорода над потолком валентной зоны.

Аналогичные экспериментальные результаты получены для кристаллов LiNaSO_4 [10] и для кристаллов Li_2SO_4 . В данной работе мы обсуждали специфические особенности основных коротковолновых излучений в литийсодержащих сульфатах смешанных щелочных металлов по сравнению с хорошо исследованными сульфатами щелочных металлов K_2SO_4 и Na_2SO_4 .

Главной особенностью литийсодержащих сульфатов смешанных щелочных металлов является экспериментально определенные [1, 2, 6, 7] и подтвержденные теоретическими расчетами [3, 4, 5] данные о ширине запрещенной зоны, которые составляет 5,16 ÷ 6,0 эВ. Имеется специфическая закономерность создания основных коротковолновых собственных полос излучения в определенной спектральной области 5 ÷ 5,64 эВ. Появление нескольких полос излучения должны быть связано с образованием различных дырочных локализованных SO_4^- радикалов. В литийсодержащих сульфатах смешанных щелочных металлов структура кристалла состоит из двух видов тетраэдров KO_4 и SO_4 (K^+ катион).

По нашему мнению, $2p$ электронов кислорода, которые участвуют в электронных переходах из подзон валентной зоны, могут находиться в разных связях - в одних случаях с серой, в другом случае, возможно, с катионом. Основное состояние локализованных SO_4^- радикалов в двух случаях может находиться в разных энергетических расстояниях от потолка валентной зоны. При рекомбинации электронов, находящихся в локальном состоянии от дна зоны проводимости с локализованными дырками над валентной зоной, возникают разные по энергиям собственные коротковолновые излучения.

Для всех литийсодержащих сульфатов смешанных щелочных металлов наблюдается общая закономерность появления собственных излучений: коротковолновые излучения с максимумами при $3,70 \div 3,8$ эВ и $3,64$ эВ возбуждаются при энергиях фотона $6,2 \div 5,1$ эВ; эти же полосы возбуждаются при энергиях фотона $7,3 \div 7,75$ эВ. Для этих кристаллов оценены минимальная энергия создания собственных излучений около 5 эВ, которые определяют ширины запрещенной зоны. Оцененные энергии хорошо совпадают с расчетными данными для этих трех кристаллов.

При возбуждении высокоэнергетическими фотонами с энергией $6,9 \div 12,4$ эВ более эффективно создаются длинноволновые излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ. Спектр возбуждения для полос излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ для всех трех кристаллов находится при $8,85 \div 12,40$ эВ. Предполагается, что длинноволновые излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ, $2,6 \div 2,7$ эВ и $2,3 \div 2,4$ эВ связаны с наведенными облучениями электронно-дырочных центров захватов. В расчетных работах авторов [1, 2, 6, 7] для этих кристаллов было показано, что в верхней части валентной зоны образованного $2p$ состояниями кислорода находятся три подзоны: первая подзона расположена в потолке валентной зоны, центр второй подзоны находится от потолка валентной зоны на энергетическом расстоянии $2,0 \div 2,5$ эВ, а центр третьей подзоны - на энергетическом расстоянии $5,5 \div 6,0$ эВ. Обнаруженные нами спектр возбуждения для основных полос излучения находится при $5,1 \div 6,2$ эВ, $7,3 \div 7,75$ эВ и $8,85 \div 12,4$ эВ. Эти полосы возбуждения, соответствующие электронными переходам из валентной зоны в зоны проводимости, приблизительно совпадают с энергетическими расстояниями от дна зоны проводимости до центра трех подзон валентной зоны. Как предполагалось в наших предыдущих работах [9, 11], появление основных коротковолновых излучений $4,1 \div 4,3$ эВ, $3,7 \div 3,8$ эВ и $3,64$ эВ связано с рекомбинацией электронов из s состояния зоны проводимости с локализованными дырками, релаксированными из первой, второй и третьей подзон $2p$ состояния кислорода над потолком валентной зоны. Образование дырки в первой, второй и третьей подзоне после перехода электронов из этих подзон на s -состояние катиона следует из спектра возбуждения при $3,7 \div 3,8$ эВ в кристаллах $LiKSO_4$, $LiNaSO_4$ и Li_2SO_4 . Электронно-дырочные центры захвата могут создаваться при диссоциации возбужденного анионного комплекса SO_4^{2-} при переходе электронов из подзоны валентной зоны на разрыхляющие орбитали $4t_2^*$ и $3a_1^*$ $2p$ состояния кислорода в зоне проводимости.

Заключение. На основе теоретических расчетов электронной структуры литийсодержащих сульфатов смешанных щелочных металлов $LiNaSO_4$, $LiKSO_4$, Li_2SO_4 , $LiRbSO_4$, $LiNH_4SO_4$ и выполненных экспериментальных данных по измерению собственных излучений и их спектров возбуждений предполагается, что основные собственные излучения при $4,1 \div 4,3$ эВ, $3,7 \div 3,8$ эВ и $3,64$ эВ возникают при рекомбинации электронов с неэквивалентно расположенными локализованными дырками SO_4^- над валентной зоны, которые всплывают из первой, второй и третьей подзон $2p$ состояния кислорода валентной зоны. Длинноволновые излучения при $3,0 \div 3,1$ эВ, $2,6 \div 2,7$ эВ и $2,3 \div 2,4$ эВ возникают при переходе электронов на электронно-дырочных центрах. Электронно-дырочные центры захватов создаются при захвате электронов и дырок на анионном комплексе.

Список литературы

- 1 Kityk I.V., Kasperczyk, J, Andrievskii B.V. Energy band structure of $KLiSO_4$ single crystals // Physics Letters A. - 1996. - V. 216 (1-5). P. 161-166.

- 2 El-Fade A.A., Gaffar M.A., Omar M.H. Absorption spectra and optical parameters of lithium-potassium sulphate single crystals // Physica B. - 1999.- 269 (3-4).- P. 403-408.
- 3 Shchepanskiy P.A., Stadnik V.I., Rudish M.YA., Brezvin R.S., Andriyevskiy B.V. Zonno-energeticheskaya struktura i opticheskiye spektry kristallov LiNaSO₄ // Optika i spektroskopiya.- 2018.- T.125. Vyp. 9.- S. 339-343.
- 4 Abdulwahub A.M. Fundamental absorption edge and normal dispersion of ?-LiNaSO₄ single crystal // Journal of Physics and Chemistry of Solids.- 2016.- V.99.- P. 11-18.
- 5 Puppawara S.P., Dhoble S.J. Development of high sensitive LiNaSO₄:Cu,Mg phosphor for TL dosimetry // Journal of Luminescence.- 2013.- V.137.-P. 245-251.
- 6 Stadnyk V.Yo., Andrievskii B.V., Karplyuk L.T., Onufriy O. R. Band structure and birefringence of LiRbSO₄ crystals // J. Optics and Spectroscopy.- 2016.-V.121. №2.- P.283-288.
- 7 Rudysh M.Ya., Brik M.G., Stadnyk V.Yo., Brezvin R.S., Shchepanskiy P.A., Fedorchuk A.O., Khyzhun O.Y., Kityk I.V., Piasecki M. Ab initio calculations of the electronic structure and specific optical features of ?-LiNH₄SO₄ single crystals // Physica B.- 2018.- V. 528.- P. 37-46.
- 8 El-Muraikhi M. Effect of electric field on optical properties of post gamma-irradiated lithium potassium sulphate crystals // Materials Letters.- 2001.- 51(1).- P. 19-26.
- 9 Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Bakhtizin R.Z., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Zh., Daurenbekov D.H., Sadykova B.M., Zhangylysov K.B., Yussupbekova B.N. The creation spectra of intrinsic emission of a LiKSO₄ crystal irradiated by ultraviolet photons // J.Optik.- 2019.- V. 185.- P. 156-160.
- 10 Nurakhmetov T.N., Sadykova B.M. Salikhodzha Z. M., Zhunusbekov A. M., Kainarbay A. Zh., Daurenbekov D.H. and Zhanylysov K.B. Radiation defects in sulfates of alkali and alkaline-earth metals creating at excitation by ultraviolet photons // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1115 052037.- 2018.
- 11 Salikhodzha Zh.M., Nurakhmetov T.N., Akilbekov A.T., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A. Zh., Sadykova B.M., Daurenbekov D.H., Zhangylysov K.B. Recombination luminescence in CaSO₄ // Journal of Radiation Measurements.- 2019.- V.125.- P. 19-24.

Т.Н. Нурахметов¹, Ж.М.Салиходжа¹, М.Ю. Долomatov², А.М. Жунусбеков¹, А.Ж. Кайнарбай, Д.Х. Дауренбеков¹, А.С. Балтабеков³, Б.М. Садыкова¹, К.Б. Жаңылысов¹, Б.Н. Юсупбекова¹

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

² Башқұртстан мемлекеттік университеті, Уфа, Башқұртстан, Ресей

³ Е.А. Букетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан

Аралас сілтілі металл сульфаттарының зоналық құрылымы және оптикалық спектрі

Аңдатпа Вакуумдық ультракүлгін және термоактивациялық спектроскопия әдістерімен 15 ÷ 300 К температура аралығындағы энергиясы 4 ÷ 12,4 эВ болатын фотондармен қоздыру арқылы LiKSO₄, LiNaSO₄ және Li₂SO₄ кристалдарында өзіндік люминесценцияны және электронды-кемтіктондық қармау орталықтарын зерттеу. Литийлі сілтілі металл сульфаттарының электрон-кемтіктондық қармау орталықтарын және меншікті люминесценцияны тудырушы минимал энергиясы бағаланған. LiKSO₄, LiNaSO₄ және Li₂SO₄ үшін қоздыру жолақтары арқылы валентті зонадан өткізгіштік зонаға электрондық өтулер идентификацияланды.

Түйін сөздер: фотон, электрондар, кемтіктон, люминесценция, рекомбинация, тыйым салынған зона, валенттік зона.

T.N. Nurakhmetov¹, Zh.M. Salikhodzha¹, M.Y. Dolomatov², A.M. Zhunusbekov¹, A.Z. Kainarbay¹, D.H. Daurenbekov¹, A.S. Baltabekov³, B.M. Sadykova¹, K.B. Zhangylysov¹, B.N. Yussupbekova¹

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

² Bashkir State University, Bashkiria, Russia

³ Karaganda State University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

Band structure and optical spectra of mixed alkali metal sulfates

Abstract: The nature of intrinsic luminescence and electron-hole trapping centers in LiKSO₄, LiNaSO₄ and Li₂SO₄ under excitation by photons with energies 4 ÷ 12.4 eV at temperatures 15 ÷ 300 K are investigated using vacuum ultraviolet and thermo-activated spectroscopy methods. The minimum energy of lithium-containing sulfates of mixed alkali metals is estimated creating intrinsic luminescence and electron-hole trapping centers. Based on the measurement of the excitation spectra, electronic transitions from the valence band to the conduction band for LiKSO₄, LiNaSO₄, and Li₂SO₄ were identified.

Keywords: photon, electron, hole, luminescence, recombination, bandgap, valence band.

References

- 1 Kityk I.V., Kasperczyk, J, Andrievskii B.V. Energy band structure of KLiSO₄ single crystals // Physics Letters A. - 1996. - V. 216 (1-5). P. 161-166. doi: 10.1016/0375-9601(96)00229-0.
- 2 El-Fade A.A., Gaffar M.A., Omar M.H. Absorption spectra and optical parameters of lithium-potassium sulphate single crystals // Physica B. - 1999.- 269 (3-4).- P. 403-408. doi: 10.1016/S0921-4526(99)00117-9.

- 3 Shechepanskiy P.A., Stadnik V.I., Rudish M.YA., Brezvin R.S., Andriyevskiy B.V. Zonno-energeticheskaya struktura i opticheskiye spektry kristallov LiNaSO₄ // Optika i spektroskopiya.- 2018.- T.125. Вып. 9.- S. 339-343. doi: 10.21883 / OS.2018.09.46547.115-18.
- 4 Abdulwahub A.M. Fundamental absorption edge and normal dispersion of -LiNaSO₄ single crystal // Journal of Physics and Chemistry of Solids.- 2016.- V.99.- P. 11-18. doi: org/10.1016/j.jpcs.2016.07.023.
- 5 Puppawara S.P., Dhoble S.J. Development of high sensitive LiNaSO₄:Cu,Mg phosphor for TL dosimetry // Journal of Luminescence.- 2013.- V.137.-P. 245-251. doi.org/10.1016/j.jlumin.2012.12.013.
- 6 Stadnyk V.Yo., Andrievskii B.V., Karplyuk L.T., Onufriv O. R. Band structure and birefringence of LiRbSO₄ crystals // J. Optics and Spectroscopy.- 2016.-V.121. №2.- P.283-288. doi: 10.1134/S0030400X16080221.
- 7 Rudysh M.Ya., Brik M.G., Stadnyk V.Yo., Brezvin R.S.,Shchepanskiy P.A, Fedorchuk A.O., Khyzhun O.Y., Kityk I.V., Piasecki M. Ab initio calculations of the electronic structure and specific optical features of ?-LiNH₄SO₄ single crystals // Physica B.- 2018.- V. 528.- P. 37-46. doi: 10.1016/j.physb.2017.10.085.
- 8 El-Muraikhi M. Effect of electric field on optical properties of post gamma-irradiated lithium potassium sulphate crystals // Materials Letters.- 2001.- 51(1).- P. 19-26. doi: 10.1016/S0167-577X(01)00258-0.
- 9 Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Bakhtizin R.Z., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Zh., Daurenbekov D.H., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N. The creation spectra of intrinsic emission of a LiKSO₄ crystal irradiated by ultraviolet photons // J.Optik.- 2019.- V. 185.- P. 156-160. doi: org/10.1016/j.ijleo.2019.03.082.
- 10 Nurakhmetov T.N., Sadykova B.M. Salikhodzha Z. M., Zhunusbekov A. M., Kainarbay A. Zh., Daurenbekov D.H. and Zhanylysov K.B. Radiation defects in sulfates of alkali and alkaline-earth metals creating at excitation by ultraviolet photons // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1115 052037.- 2018.- doi: 10.1088/1742-6596/1115/5/052037.
- 11 Salikhodzha Zh.M., Nurakhmetov T.N., Akilbekov A.T., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A. Zh., Sadykova B.M., Daurenbekov D.H., Zhangylysov K.B. Recombination luminescence in CaSO₄ // Journal of Radiation Measurements.- 2019.- V.125.- P. 19-24.doi.org/10.1016/j.radmeas.2019.04.010.

Сведения об авторах:

Нурахметов Т.Н. - профессор кафедры технической физики, физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Салиходжа Ж.М. - доцент кафедры технической физики, физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Долломатов М.Ю. - профессор кафедры физической электроники и нанофизики, Башкирский государственный университет, Уфа, Россия.

Жунусбеков А.М. - доцент кафедры технической физики, физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Кайнарбай А.Ж. - доцент кафедры технической физики, физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Дауренбеков Д.Х. - старший преподаватель кафедры технической физики, физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Балтабеков А.С. - PhD, доцент кафедры физики и нанотехнологии, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Буктова, ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан.

Садькова Б.М. - докторант 2 курса кафедры технической физики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Жаньлысов К.Б. - докторант 1 курса кафедры технической физики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Юсупбекова Б.Н. - докторант 1 курса кафедры технической физики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Nurakhmetov T.N. - Professor, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Salikhodzha Zh.M. - Associate Professor of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Dolomatov M.Y. - Professor, Head of Physical Electronics and Nanophysics Chair, Bashkir State University, Ufa, Russia.

Zhunusbekov A.M. - Associate professor, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kainarbay A.Zh. - Associate professor, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Daurenbekov D.H. - Senior Lecturer, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Baltabekov A.S. - Associate Professor of the Department of Physics and Nanotechnology, E.A. Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan.

Sadykova B.M. - PhD student, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Zhangylyssov K.B. - PhD student, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Yussupbekova B.N. - PhD student, technical physics department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 25.06.2019

«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 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., Михайловиченко 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 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:

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 Актыубинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актобе, 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 гипополипидемическая 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 мәнінде функцияларды сандық дифференциалдау

Аннотация: Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде 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 vlozhenija 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