

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**

№1(130)/2020

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, 2020**

**Nur-Sultan, 2020**

**Нур-Султан, 2020**

*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*

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

*Редакцияның мекенжайы:* 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 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:* Г. Мендыбаева

**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.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 102 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*

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

*Editorial address:* L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008  
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:* G. Mendybayeva

**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.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

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*

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

*Адрес редакции:* 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.  
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* Г. Мендыбаева

**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.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

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

№1(130)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Сарсенова С.М., Сүлейменов Т.Б., Жумадилов К.Ш.</i> Ақмола облысы аумағында дозиметриялық зерттеулер жүргізу үшін үлгілерді дайындау әдістемесі	8
<i>Кайнарбай А.Ж., Нуразматов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Балабеков К.Н., Ахметова А.С., Юсупбекова Б.Н., Жунусбеков А.М., Дауренбеков Д.Х., Какимшишов Е.А.</i> Полимер матрицасындағы CdSe және CdSe/CdS жоғарылюминесцентті нанокристалдар негізіндегі гибриді композиттердің оптикалық қасиеттері	16
<i>Нуразматов Т.Н., Садықова Б.М., Жаңылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н., Әлбай Т., Таймуратова Л.У., Әділ Б., Досполов А., Төлеков Д.А.</i> CaSO <sub>4</sub> және K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> кристалдарындағы меншікті люминесценция табиғаты	26
<i>Ажылбекова А., Шаяманов Б., Усеинов А., Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Попов А.И., Байжуманов М.</i> ZnSe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> нанокристалдарының эксперименттік және теориялық зерттеулері	34
<i>Инербаев Т.М., Базарбек А.Б., Сағатов Н.Е., Ажылбеков А.Т.</i> Жер ядросының қысымындағы темір фосфидтерінің жай-күйі теңдеулерінің алғашқы ретті есептері	44
<i>Мендибаев К.О., Уразбеков Б.А., Лукьянов С.М., Кутербеков К.А., Джансейтов Д.М., Исатаев Т.Г., Жолдыбаев Т.К., Азнабаев Д., Валиолда Д.С., Кроха В., Мразек Д., Пеннионжеквич Ю.Э., Кабышев А.М., Мұхамбетжан А.М.</i> Дейтрондардың <sup>9</sup> Be ядросымен өзара әрекеттесуі кезінде түрлі теориялық модельдер шеңберінде бір нуклонды берілістерді зерттеу	50
<i>Опахай С., Кутербеков К.А., Соловьев А.А., Нуркенов С.А., Нығыманова А.С.</i> Жұқа пленкалы материалдар негізіндегі төмен температурадағы қатты оксидті отын элементтерінің дамуы	64
<i>Ракишев Ж.Б., Аппазова Ш.Т., Бейсембаева Б.С.</i> Ғарыш ашпараттының қозғалысын сипаттау нұсқалары туралы	74
<i>Амангелді Н., Солдатхан Д., Ергалиұлы Ғ.</i> <sup>16</sup> O+ <sup>12</sup> O ядролық жүйе үшін 20, 24 МэВ энергияларындағы серпінді шашыраудың оптикалық потенциалының параметрлерін анықтау	78
<i>Дәтей А.М., Амангалиева Р.Ж., Гиниятова Ш.Г.</i> Термоядролық реакторда қабырға маңындағы плазмалы-тозанды құрылымдардың қасиеттерін зерттеу	84
<i>Усеинов А.Б., Усеинов Б.М., Ажылбеков А.Т., Бекжанов Е.С.</i> Мырыш оксиді кристалдарының электр өткізгіштігі. «Алғашқы принциптер» зерттеу	90
<i>Балахаева Р., Кәрім Қ., Ажылбеков А., Баймуханов З., Гиниятова Ш., Байжуманов М., Даулетбекова А.</i> Температура мен тұндыру әдістерінің CdTe нанокристалдарының құрылымдық қасиеттеріне әсері	100

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

№1(130)/2020

CONTENTS

<i>Sarsenova S.M., Suleimenov T.B., Zhumadilov K.Sh.</i> Methodology of sample preparation for conducting dosimetric research on the territory of Akmola region	8
<i>Kainarbay A.Z., Nurakhmetov T.N., Ussipbekova B., Salikhodzha Z.M., Balabekov K.N., Akhmetova A.S., Yussupbekova B.N., Zhunusbekov A.M., Daurenbekov D.H., Kakimishov E.A.</i> Optical properties of hybrid composites based on highly luminescent CdSe and CdSe / CdS nanocrystals in the polymer matrix	16
<i>Nurakhmetov T.N., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N., Alibay T.T., Taimuratova L.U., Adil B., Dospolov A., Tolekov D.A.</i> The nature of intrinsic luminescence in CaSO <sub>4</sub> and K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> crystals	26
<i>Akylbekova A., Shayamanov B., Usseinov A., Dauletbekova A., Baimukhanov Z., Kozlovskiy A., Giniyatova Sh., Popov A., Baizhumanov M.</i> Experimental and theoretical studies of ZnSe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> nanocrystals	34
<i>Inerbaev T.M., Bazarbek A.B., Sagatov N.E., Akilbekov A.T.</i> First principle calculations of iron phosphide state equations at earth core pressures	44
<i>Mendibayev K.O., Urazbekov B.A., Lukyanov S.M., Kuterbekov K.A., Janseitov D.M., Isataev T., Zholdybayev T., Aznabayev D., Valiolda D.S., Kroha V., Mrazek D., Penionzhkevich Yu.E., Kabyshev A.M., Mukhambetzhana A.M.</i> Study of one-nucleon transfer reaction for the interaction of neutrons with the <sup>9</sup> Be nuclei within various theoretical models	50
<i>Opakhai S., Kuterbekov K.A., Solovyev A.A., Nurkenov S.A., Nygmanova A.S.</i> Development in low-temperature solid oxide fuel cells based on thin-film materials	64
<i>Rakishev Zh.B., Appazova Sh.T., Beisembayeva B.S.</i> About some options of the probability theory of description of motion of space vehicle	74
<i>Amangeldi N., Soldatkhan D., Yergaliuly G.</i> Determination of elastic scattering potential parameter at energies of 20, 24 MeV for the nuclear system <sup>16</sup> O+ <sup>12</sup> C	78
<i>Datey A.M., Amangaliyeva R.Zh., Giniyatova Sh.G.</i> Investigation of plasma-dust structures properties formed near the walls of a thermonuclear reactor	84
<i>Usseinov A.B., Useinov B.M., Akilbekov A.T., Bekzhanov E.S.</i> The electrical conductivity of zinc oxide crystals. First principles study	90
<i>Balakhayeva R., Karim K., Akilbekov A., Baymukhanov Z., Giniyatova Sh., Baizhumanov M., Dauletbekova A.</i> Influence of temperature and deposition methods on the structural properties of CdTe nanocrystals	100

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сарсенова С.М., Сулейменов Т.Б., Жумадилов К.Ш.</i> Методика подготовки образцов для проведения дозиметрических исследований на территории Акмолинской области	8
<i>Кайнарбай А.Ж., Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Балабеков К.Н., Ахметова А.С., Юсупбекова Б.Н., Жунусбеков А.М., Дауренбеков Д.Х., Какимишов Е.А.</i> Оптические свойства гибридных композитов на основе высоколюминесцирующих нанокристаллов CdSe и CdSe/CdS в матрице полимеров	16
<i>Нурахметов Т.Н., Садькова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н., Алибай Т.Т., Таймуратова Л.У., Адиль Б., Досполов А., Толеков Д.А.</i> Природа собственной люминесценции в кристаллах CaSO <sub>4</sub> и K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26
<i>Акылбекова А., Шаяманов Б., Усеинов А., Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Попов А.И., Байжуманов М.</i> Экспериментальные и теоретические исследования нанокристаллов ZnSe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	34
<i>Инербаев Т.М., Базарбек А.Б., Сагатов Н.Е., Акилбеков А.Т.</i> Первопринципные расчеты уравнений состояния фосфидов железа при давлениях ядра Земли	44
<i>Мендибаев К.О., Уразбеков Б.А., Лукьянов С.М., Кутербек К.А., Джансейтов Д.М., Исатаев Т.Г., Жолдыбаев Т.К., Азнабаев Д., Валиолда Д.С., Кроха В., Мразек Д., Пеннионжскевич Ю.Э., Кабышев А.М., Мухамбетжан А.М.</i> Исследование однонуклонных передач при взаимодействии дейтронов с ядром <sup>9</sup> Be в рамках различных теоретических моделей	50
<i>Опахай С., Кутербек К.А., Соловьев А.А., Нуркенов С.А., Ныгыманова А.С.</i> Развитие низкотемпературных твердооксидных топливных элементов на основе тонкопленочных материалов	64
<i>Ракишев Ж.Б., Аптазова Ш.Т., Бейсембаева Б.С.</i> О некоторых вариантах описания движения космического аппарата	74
<i>Амангелди Н., Солдатхан Д., Ергалиұлы Ф.</i> Определение параметров потенциала упругого рассеяния при энергиях 20, 24 МэВ для ядерной системы <sup>16</sup> O+ <sup>12</sup> C	78
<i>Датей А.М., Амангалиева Р.Ж., Гиниятова Ш.Г.</i> Исследование свойств плазменно-пылевых структур, образующихся вблизи стенок термоядерного реактора	84
<i>Усеинов А.Б., Усеинов Б.М., Акилбеков А.Т., Бекжанов Е.С.</i> Электропроводность кристаллов оксида цинка. Исследования из первых принципов	90
<i>Балахаева Р.К., Карим К.Б., Акилбеков А.Т., Баймуханов З.К., Гиниятова Ш.Г., Байжуманов М.Ж., Даулетбекова А.К.</i> Влияние температуры и способов осаждения на структурные свойства нанокристаллов CdTe	100

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2020, том 130, №1, 64-73 беттер  
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest\_phys@enu.kz

МРНТИ: 29.19.16

С. Опахай<sup>1</sup>, К.А. Кутербеков<sup>1</sup>, А.А. Соловьев<sup>2</sup>, С.А. Нуркенов<sup>1</sup>,  
А.С. Ныгыманова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия  
(E-mail: serikjan\_0707@mail.ru, kkuterebekov@gmail.com, andrewsol@mail.ru,  
s.nurkenov@gmail.com, aisulunyg@mail.ru)

### Развитие низкотемпературных твердооксидных топливных элементов на основе тонкопленочных материалов

**Аннотация:** Твердооксидный топливный элемент – один из наиболее перспективных технологий для обеспечения эффективного и экологически чистого производства энергии для широкого спектра применений. В настоящее время важной проблемой развития твердооксидного топливного элемента является снижение рабочей температуры за счет уменьшения толщины электролита, поскольку при этом снижается внутреннее сопротивление элемента и увеличивается его мощность. Эффективным решением данной проблемы является применение тонкопленочных материалов, как для электролитов, так и для электродов (катод, анод). В настоящей работе приводится обзор литературных данных, в которых рассматриваются новые тонкопленочные материалы для электродов и электролитов низкотемпературных твердооксидных топливных элементов с краткими выводами по теме исследования.

**Ключевые слова:** низкотемпературные твердооксидные топливные элементы (LT-SOFC), электрод, электролит, тонкопленочные материалы, синтез, наноккомпозиты.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-130-1-64-73>

Поступила: 04.02.2020 / Доработана: 02.03.2020 / Допущена к опубликованию: 4.03.2020

**Введение.** Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) являются перспективными источниками энергии с энергогенерирующими устройствами. Технология ТОТЭ используется для производства электроэнергии с малым количеством загрязнений окружающей среды. Среди различных типов топливных элементов ТОТЭ элементы выделяются благодаря нескольким преимуществам: высокая эффективность преобразования энергии; топливная гибкость; получение высокопотенциального тепла; высокая мощность; низкие выбросы парниковых газов; снижение уровня шума и воздействия на окружающую среду [1-2].

ТОТЭ состоит из электродов (анод и катод) и электролита. На анод подается топливо, на катод - окислитель, а электролит пропускает через себя ионы кислорода [3]. Рис. 1 иллюстрирует схему ТОТЭ с электролитом, проводящим кислород и работающим на водороде.

В настоящее время существует два основных типа ТОТЭ с точки зрения конструкции: планарная и трубчатая [4]. Для планарных ТОТЭ - каждая топливная ячейка выполнена в виде плоского диска, квадратной или прямоугольной пластины. В стеке ячейки расположены последовательно и соединены биполярными пластинами, как схематически показано на рис. 2

Для трубчатых ТОТЭ обычно электрод (либо катод, либо анод) выполнен в виде длинной трубки с пористой стенкой. Снаружи электродной трубки находится электролит, а также еще один электрод сверху, как схематически показано на рис. 3

Твердооксидные топливные элементы можно классифицировать по нескольким основным параметрам: высокотемпературные ( $T > 800^\circ\text{C}$ ), среднетемпературные ( $600^\circ\text{C} < T < 800^\circ\text{C}$ ) и низкотемпературные ( $T < 600^\circ\text{C}$ ) [5].

В данном обзоре подробно рассмотрены низкотемпературные ТОТЭ (LT-SOFC), которые предназначены для работы при низкой температуре и требуют электролита с высокой ионной

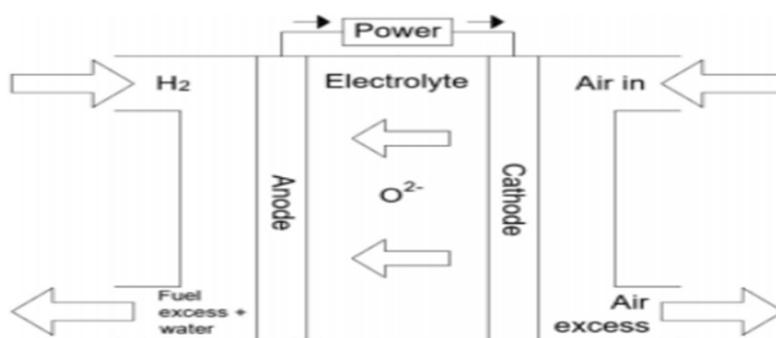


Рисунок 1 – Принцип работы твердооксидного топливного элемента

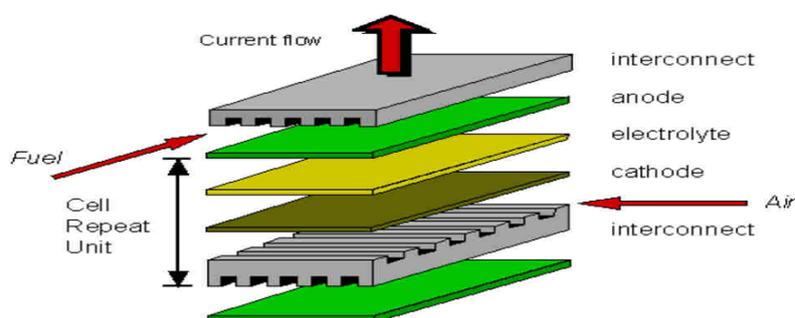


Рисунок 2 – Схема планарной конструкции ТОТЭ

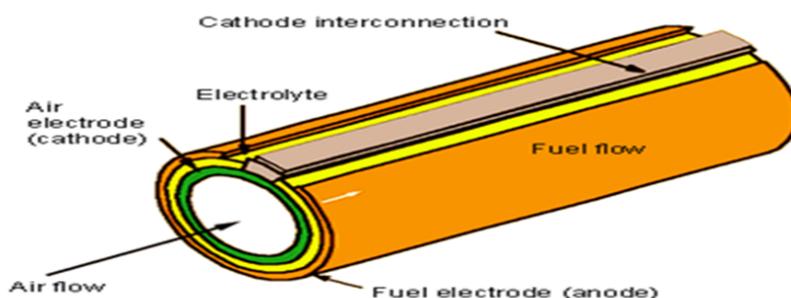


Рисунок 3 – Схема для трубчатой конструкции ТОТЭ

проводимостью. Кроме того, для их изготовления требуются наноструктурные электроды с целью снижения катодных и анодных потерь. В данном обзоре кратко описываются успехи и проблемы в разработке LT-SOFC на основе новых тонкопленочных электролитных и электродных материалов, а также методы их получения.

**Материалы электролита.** В настоящее время разработка LT-SOFC на основе пленочного твердооксидного электролита, работающего при низких температурах (600 °C и ниже), - одно из активно развивающихся направлений в энергетике. Результаты исследований показывают, что при уменьшении толщины пленки электролита до нескольких микрон, возможно снижение рабочих температур ТОТЭ от 800-1000 °C до 400-650 °C. При использовании тонкопленочного электролита (толщиной до десятки нанометров) возможно еще уменьшить температуру [6, 7].

Ниже в таблице приведены основные характеристики и методы синтеза тонкопленочных электролитов для LT-SOFC.

Таблица 1

Основные характеристики и методы синтеза тонкопленочных электролитов для LT-SOFC

№	Тонкопленочные электролиты и материалы	Метод получения	Рабочая температура, толщина электролита	Плотность мощности	Ссылки
1	YSZ+6.7мол.% ScSZ	радиочастотное распыление	500-550°C 280 нм	227 мВт/см <sup>2</sup> , 334 мВт/см <sup>2</sup>	[8]
2	YSZ+ платина (Pt)	атомно-слоевое осаждение (ALD)	450°C 180 нм	380 мВт/см <sup>2</sup>	[9]
3	YSZ	атомно-слоевое осаждение (ALD)	450°C	154.6 мВт/см <sup>2</sup>	[10]
4	YSZ+GDC и LSC (La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> CoO <sub>3-δ</sub> )	импульсное лазерное осаждение (PLD)	600°C 500 нм	425 мВт/см <sup>2</sup>	[11]
5	YSZ/GDC	импульсное лазерное осаждение (PLD)	650°C -	1.7 Вт·см <sup>-2</sup>	[12]

В работе [8] низкотемпературный ТОТЭ был изготовлен с использованием тонкопленочного электролита диоксида циркония (ScSZ), который наносился на поверхность пластины. В этом исследовании тонкая пленка 6.7 мол.% ScSZ была успешно изготовлена методом радиочастотного распыления. Кубическая структура и степень кристалличности пленки улучшались после термообработки при температуре 500 °С. При этом фазовых переходов не наблюдалось. Таким образом, авторы детально анализировали LT-SOFC с электролитом ScSZ толщиной 280 нм и несущей основой из анодированного оксида алюминия при температуре 500-550 °С. Плотность мощности ТОТЭ составила 227 мВт/см<sup>2</sup> (500 °С) и 334 мВт/см<sup>2</sup> (550 °С) соответственно.

Пленочный низкотемпературный твердооксидный топливный элемент был успешно изготовлен на подложке из анодированного оксида алюминия посредством атомно-слоевого осаждения [9]. Плотный слой гибридной платины наносили с целью уменьшения размеров пор, чтобы облегчить формирование плотного электролита на Pt электроде при сохранении доступа газообразного топлива. Впоследствии электролит из диоксида циркония, стабилизированного иттрием (YSZ) толщиной около 180 нм, был успешно осажден. Данный элемент LT-SOFC с ультратонкой пленкой электролита составлял максимальную плотность мощностью 380 мВт/см<sup>2</sup> при рабочей температуре 450 °С.

В работе [10] показаны преимущества атомно-слоевого осаждения для изготовления электролита из YSZ. Реакционная способность и стабильность ТОТЭ элементов на основе оксида алюминия улучшились за счет применения электролита YSZ. Топливный элемент, полученный атомно-слоевым осаждением, достигал пиковой плотности мощностью 154.6 мВт/см<sup>2</sup> при 450 °С, тогда как топливный элемент, изготовленный методом распыления, достигал мощности 66.2 мВт/см<sup>2</sup>. В данном случае, учитывались аморфная и наноструктура пленки YSZ. Более того, гладкая и однородная поверхность электролитов YSZ уменьшила агломерацию катодного слоя Pt, таким образом, термостабильность ТОТЭ элемента заметно улучшилась при 450 °С.

Е.О Oh и соавторы [11] исследовали тонкопленочный электролит из YSZ для твердооксидных топливных элементов при низкой температуре путем химического осаждения из раствора. Тонкопленочный YSZ электролит толщиной 500 нм был успешно изготовлен на обычно

обработанной подложке анода, содержащего наночастицы YSZ с размером частиц 20 нм. В частности, добавление 5 об.% наночастиц YSZ привело к получению плотного и однородного тонкопленочного электролита с узким распределением зерен по размерам и мелких пор в данном состоянии.

Тонкопленочный YSZ электролит, помещенный на жесткую анодную подложку со слоями GDC (легированный гадолинием оксид церия) и LSC ( $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ ), нанесенный с помощью импульсного лазерного осаждения, показал, что он обладает высокой газонепроницаемостью в процессе производства. По результатам эксперимента напряжение разомкнутой цепи составило 1.07 В, а максимальная мощность составила 425 мВт/см<sup>2</sup> при температуре 600 °С, что важно учесть при уменьшении толщины электролита.

Чтобы расширить возможности обработки низкотемпературных твердооксидных топливных элементов, J. Park с соавторами [12] предприняли попытки гибридации обработки порошка и вакуумного осаждения. Данные материалы исследователи получали путем импульсного лазерного осаждения на наноструктурированный никель-иттрий и диоксид циркония (Ni-YSZ). В качестве обработанного порошка (трафаретная печать и спекание) применялся композитный катод  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}-\text{Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{1.95}$  (LSCF-GDC), который наносился на поверхность методом вакуумного осаждения тонкопленочных компонентов. Элемент LSCF-GDC отжигался при температуре 1050 °С, при этом происходила взаимная диффузия между катодом и электролитом на границе разделов, с другой стороны, по мнению авторов, если температура обжига уменьшается до 950 °С, то пиковая плотность достигает более 1.7 Вт·см<sup>-2</sup> при 650 °С.

**Анодные материалы.** В компонентах материала LT-SOFC - анодные материалы должны обладать свойствами долговременной стабильности, достаточной проводимости (как ионной, так и электронной) и не должны вызывать каких-либо химических реакции с другими материалами. В данном случае никель стабилизированный иттрием диоксид циркония (Ni/YSZ), широко использовался в качестве анодного материала для LT-SOFC, который имеет определенные недостатки, такие как: коррозионная неустойчивость к углероду и осаждение серы [13, 14]. Следовательно, существует необходимость исследовать новые анодные материалы (тонкопленочные или наноматериалы) для решения данных проблем.

Ниже, в таблице 2, приведены основные характеристики и методы получения тонкопленочных анодных материалов для LT-SOFC.

Таблица 2

Основные характеристики и методы получения тонкопленочных анодных материалов для LT-SOFC

№	Анодные материалы	Метод получения	Температура	Плотность мощности	Ссылки
1	Ni/Ni-YSZ двухслойная анодная ячейка	-	500°С	282 мВт/см <sup>2</sup>	[15]
2	Нанокompозитный Ni-GDC	Pechini	600°С 450°С	0.98 мВт/см <sup>2</sup> 0.34 мВт/см <sup>2</sup>	[16]
3	Нанокompозитный Ni-SDC	Совместное распыление	450°С	178.6 мВт/см <sup>2</sup>	[17]
4	Легированный CeO <sub>2</sub>	-	-	-	[18]
5	Ni-GDC	Осаждение	500°С	96 мВт/см <sup>-2</sup>	[19]

Y. Lee и соавторы [15] исследовали тонкопленочные LT-SOFC с несколькими типами никелевых анодов, нанесенных на подложку оксида алюминия. Среди различных анодных элементов, Ni с толщиной 150 нм, нанесенный при давлении 5 мТорр Ar, показал самые высокие электрохимические характеристики. Кроме того, двухслойная анодная ячейка Ni/Ni-YSZ, изготовленная путем вставки композитного слоя Ni-YSZ между анодом Ni и электролитом YSZ,

показала качественную производительность. Пиковая плотность анодного элемента Ni/Ni-YSZ составила  $282 \text{ мВт/см}^2$  при  $500^\circ \text{C}$ , что примерно на 37% выше, чем у оптимизированного анодного элемента Pt. Авторы считают, что аноды на основе Ni были бы подходящей заменой анодов из благородных металлов при низких температурах ТОТЭ.

Наноккомпозит Ni-GDC был успешно изготовлен методом Pechini [16]. Также АФС оказал положительное влияние на распределение частиц Ni и GDC. Шероховатость поверхности была уменьшена путем покрытия АФС, что также может привести к образованию более тонкого электролита в процессе влажного химического покрытия. Оболочки АФС с высоко распределенными частицами Ni и GDC привели к значительному уменьшению омического и поляризационного сопротивления, что в значительной степени связано с увеличением площади трехфазной границы. Максимальные плотности мощности ячеек с АФС показали  $0.98 \text{ Вт/см}^2$  при  $600^\circ \text{C}$  и  $0.34 \text{ Вт/см}^2$  при  $450^\circ \text{C}$  в условиях водорода. В результате установлено, что наноккомпозитный Ni-GDC приводит к высокой производительности ТОТЭ при низких температурах.

Y. Lim и соавторы [17] изготовили наноккомпозитные аноды Ni-SDC с различным составом, используя метод параллельного распыления, и оценили свойства этих материалов. Наноккомпозитные аноды Ni-SDC с широким диапазоном были приготовлены путем регулировки мощности распыления RF (радиочастотное распыление). Пленки были изготовлены с оптимальным анодом Ni-SDC и эталонным анодом Pt, также оценены характеристики топливных элементов. В результате было установлено, что максимальная плотность анодной ячейки Ni-SDC составила  $178 \text{ мВт/см}^2$  при  $450^\circ \text{C}$ , что в полтора раза выше, чем у эталонной Pt-ячейки ( $113 \text{ мВт/см}^2$ ). Результаты электронной спектроскопии показывают, что улучшение характеристик топливного элемента на аноде Ni-SDC происходит из-за значительно уменьшенного сопротивления, вызванного расширенными участками реакции вследствие его характеристик МЕС (смешанная ионная электронная проводимость). Таким образом, результаты этого исследования показывают влияние наноккомпозитного анода на характеристики топливного элемента и его возможности замены Pt-электрода на аноды LT-SOFC.

В работе [18] показано, что промежуточно-легированная прослойка из церия-анода толщиной в несколько десятков нанометров, вставленная между металлическим анодом и нано-легированным цирконием, улучшает характеристики LT-SOFC элементов, работающих на водородном топливе. Ding и соавторы [19] провели комплексное исследование наноккомпозитных анодов Ni-GDC для повышения производительности устройства за счет оптимизации содержания Ni. В данных исследованиях наблюдается влияние кристаллической фазы, на исследуемый элемент. Кроме того, авторы обнаружили, что метод осаждения позволяет улучшить микроструктуру и размеры зерен. LT-SOFC, содержащий полученный наноккомпозитный анод, обеспечивает плотность до  $96 \text{ мВт/см}^2$  при температуре  $500^\circ \text{C}$ .

**Катодные материалы.** Площадь поверхности катодов, полученных обычными способами, недостаточна для обеспечения низкого удельного сопротивления при низких температурах. Это обстоятельство повышает интерес исследователей к наноразмерным катодам, которые обладают большой электрохимической площадью [20]. Наноразмерные катоды, работающие в диапазоне низких и средних температур, могут использоваться в небольших источниках питания, таких как портативные и мобильные электронные устройства с номинальной мощностью в несколько ватт [21]. Таким образом, получение высокопроизводительных тонкопленочных катодных материалов является актуальной задачей.

Ниже в таблице приведены основные характеристики и методы получения тонкопленочных катодных материалов для LT-SOFC.

Таблица 3

Основные характеристики и методы получения тонкопленочных катодных материалов для LT-SOFC

№	Катодные материалы	Метод получения	Температура	Плотность мощности	Ссылки
1	$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-d}$ (LSC)+GDC 30мас.%	одностадийное спиновое покрытие	650°С 600°С 550°С	0.32 Вт/см <sup>2</sup> 0.78 Вт/см <sup>2</sup> 2.04 Вт/см <sup>2</sup>	[22]
2	$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF)	центри-фугирование	550°С	0.57 Вт/см <sup>2</sup>	[23]
3	$\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (BSCF)	импульсное лазерное осаждение (PLD)	450°С	55 Вт/см <sup>2</sup>	[24]
4	$\text{CeO}_2$ (ZDC)+ $\text{ZrO}_2$	осаждения атомного слоя (ALD)	-	-	[25]
5	$\text{CeO}_2$ +Ce	осаждения атомного слоя (ALD)	450°С	увеличивается на 45%	[26]

С. Venel и другие соавторы [22] исследовали свойства нанокристаллического порошка  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-d}$  (LSC) со сверхтонкой микроструктурой. Тонкие пленки наночастиц катода из нанокompозитов LSC и LSC-GDC (церия, легированного гадолинием с 10-40 мас.% GDC) получали путем покрытия на подложки диоксида циркония (YSZ), чтобы предотвратить химическую реакцию между катодом и электролитом. Также авторы наносили тонкий слой GDC на подложки YSZ. Электрохимические характеристики тонкопленочных катодов измерялись методом спектроскопии на симметричных ячейках при температурах от 450 °С до 650 °С. Тонкие пленки катода LSC (толщиной 250 нм) с содержанием GDC 30 мас.% показали низкую плотность 0.32, 0.78 и 2.04 Вт/см<sup>2</sup> в атмосферном воздухе при температурах 650, 600 и 550 °С соответственно.

Понижение рабочей температуры твердооксидного топливного элемента имеет огромное значение для повышения его надежности и долговечности. Однако баланс между рабочей температурой и реакцией восстановления кислорода на катодной стороне препятствует снижению рабочей температуры. Для решения данной проблемы I. Jang и соавторы [23] использовали тонкопленочный слой  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF) с наноструктурами в качестве промежуточного слоя на стороне катода. По мнению авторов тонкопленочный слой позволяет использовать элемент при низкой температуре с улучшением электрохимических характеристик.

Площадь поверхности LSCF позволяет значительно улучшить реакцию восстановления кислорода за счет увеличения трехфазной границы. Кроме того, улучшается свойство адгезии между цериевым электролитом, легированным гадолинием и катодом. В эксперименте с одиночной ячейкой с опорным анодом пиковая плотность ячейки с LSCF составила 0.57 Вт/см<sup>2</sup> при температуре 550 °С, что примерно на 63% выше, чем у ячейки без LSCF. Кроме того, значение сопоставимо с пиковой плотностью без LSCF при температуре 600 °С. Этот факт свидетельствует о возможности понижения рабочей температуры твердооксидного топливного элемента путем введения LSCF в клетку.

В работе [24] было показано, что наноструктурированные тонкие пленки  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  (BSCF) с наноструктурированной поверхностью, нанесенной методом импульсного лазерного осаждения под высоким давлением, улучшают характеристики катода при низкой температуре от 400 °С до 500 °С. Поры и высокая удельная площадь поверхности в катоде BSCF увеличивают активные участки, что также приводит к снижению сопротивления катода BSCF. По мнению авторов, высокая термическая стабильность по

сравнению с нанопористым платиновым катодом делает наноструктурированную тонкую пленку BSCF дорогостоящей. Тонкие слои  $\text{CeO}_2$  (ZDC) легированные  $\text{ZrO}_2$  (толщиной 20 нм) с различными степенями легирования от 0.20 до 60 мол.% были приготовлены с использованием нанослоев.

Подробно исследовались свойства Ch. Yang и соавторами [25] LT-SOFC. Они изготавливали пленки  $\text{CeO}_2$  с различными соотношениями легирования и исследовали влияние легирования на химическую структуру, а также на термическую стабильность пленок. Добавление  $\text{ZrO}_2$  в пленку  $\text{CeO}_2$  вызывало восстановление  $\text{Ce}^{4+}$  до  $\text{Ce}^{3+}$  при более высокой концентрации кислородных вакансий, а также повышало устойчивость пленки к температуре. В результате плотность элемента с промежуточным слоем  $\text{CeO}_2$ , легированного 20 мол.%, улучшилась на 57% по сравнению с элементом без промежуточного слоя.

J.G Yu и соавторы [26] получили тонкую пленку осаждением атомного слоя  $\text{CeO}_2$  ( $\approx 23$  нм) с высоколетучим предшественником Ce, который показывает высокую скорость роста за весь цикл ( $>0.3$  нм/цикл). Авторы показали, что  $\text{CeO}_2$  имеет очень тонкую наногранулярную ( $\approx 20$  нм по размеру зерна) структуру со значительным содержанием  $\text{Ce}^{3+}$  ( $\approx 60\%$  от общего содержания Ce). Кроме того, они использовали тонкую пленку  $\text{CeO}_2$  в качестве катодного промежуточного слоя LT-SOFC и показали, что максимальная плотность увеличивается на 45%, при этом плотность тока увеличивается на 75%, а скорость снижается в 25 раз при  $450^\circ\text{C}$ . Авторы считают, что термически стабильный металлический катализатор  $\text{CeO}_2$  может иметь важное применение при разработке высокоэффективных устройств преобразования энергии.

**Выводы и перспективы на будущее по разработке LT-SOFC.** В данном обзоре приводятся основные результаты работ различных авторов по перспективному использованию LT-SOFC на основе тонкопленочных электродных и электролитных материалов.

На основании результатов сформулированы следующие выводы:

- все тонкопленочные электродные и электролитные материалы показывают качественные электрохимические показатели;
- полученные тонкопленочные материалы приводят к снижению омического сопротивления электрода (катода и анода);
- нанокompозитные анодные материалы показывают качественные показатели для практического применения и коммерциализации LT-SOFC;
- тонкопленочный слой с наноструктурой в качестве промежуточного слоя на катоде позволяет использовать элементы при низкой температуре с улучшением электрохимических характеристик за счет увеличения площади;
- высокореактивные и термически стабильные тонкопленочные катодные слои играют важную роль при разработке высокоэффективных устройств преобразования энергии;

Таким образом, все эти исследования приводят к прорыву в развитии надежных и долговечных материалов LT-SOFC. Известно, что снижение температуры приводит к снижению затрат и увеличивает срок эксплуатации LT-SOFC. Кроме того, наноразмерные структуры и высокоактивные материалы необходимы для достижения качественных характеристик при низких температурах и могут оказаться менее стабильными, чем их высокотемпературные аналоги. В любом случае, LT-SOFC и связанные материалы будут оставаться приоритетной областью исследований и, возможно, станут площадкой для коммерциализации.

## Список литературы

- 1 Jacobson A.J. Materials for solid oxide fuel cells // Chem. Mater. – 2010. - Т. 22. - P. 660-674.
- 2 Singhal S.C., Kendall K. High temperature solid oxide fuel cells: fundamentals, design, and applications // Elsevier. - 2003. - V.80. - P. 1155-1162.
- 3 Bove R. Solid oxide fuel cells: principles, designs and state of the art in industries // Recent Trends in Fuel Cell Science and Technology. – 2007. - V. 267-285. - P. 267-285.
- 4 Joshi A.V., Steppan J.J., Taylor D.M. and Elangovan S. Solid electrolyte materials, devices, and applications // Journal of Electroceramics. - 2004. - V.13. - P. 619-625.
- 5 Jiang S.P. Nanoscale and nano-structured electrodes of solid oxide fuel cells by infiltration: Advances and challenges // Int. J. Hydrogen Energy. - 2012. - №37. - P. 449-470.

- 6 Han F., Mucke R., Van Gestel T., Leonide A., Menzler N. H., Buchkremer H. P. and Stover D. (2012). Novel high-performance solid oxide fuel cells with bulk ionic conductance dominated thin-film electrolytes // *Journal of Power Sources*. - 2012. - V.218. - P.157–162.
- 7 Li C., Shi H., Ran R., Su C. and Shao Z. (2013). Thermal inkjet printing of thin-film electrolytes and buffering layers for solid oxide fuel cells with improved performance // *International Journal of Hydrogen Energy*. - 2013. - V.38.- № 22. - P. 9310-9319.
- 8 Cho G.Y, Lee Y.H., Hong S.W., Bae J., An J., Kim Y.B. and Cha S.W. High-performance thin film solid oxide fuel cells with scandia-stabilized zirconia (ScSZ) thin film electrolyte // *International Journal of Hydrogen Energy*. - 2015. - V.40.-№45. - P. 15704-15708. - DOI:10.1016/j.ijhydene.2015.09.124
- 9 Hong S., Bae J., Koo B. and Kim Y.B. High-performance ultra-thin film solid oxide fuel cell using anodized-aluminum-oxide supporting structure // *Electrochemistry Communications*. - 2014. - V.47. - P.1–4. - DOI:10.1016/j.elecom.2014.07.008
- 10 Park J., Lee Y., Chang I., Cho G.Y, Ji S., Lee W. and Cha S.W. Atomic layer deposition of yttria-stabilized zirconia thin films for enhanced reactivity and stability of solid oxide fuel cells // *Energy*. - 2016. - V.116. - P.170-176. - DOI:10.1016/j.energy.2016.09.094
- 11 Oh E.O., Whang C.M., Lee Y.R., Lee J.H., Yoon K.J., Kim B.K. and Lee H.W. Thin film yttria-stabilized zirconia electrolyte for intermediate-temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs) by chemical solution deposition // *Journal of the European Ceramic Society*. - 2012. - V.32.- №8. - P.1733–1741. - DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2012.01.021
- 12 Park J., Lee Y., Chang I., Lee W. and Cha S.W. Engineering of the electrode structure of thin film solid oxide fuel cells // *Thin Solid Films*. - 2015. - V.584. - P.125–129. - DOI:10.1016/j.tsf.2014.11.018
- 13 Noh, H.S, Yoon K.J, Kim B.K, Je H.J, Lee H.W, Lee J.H and Son J.W. The potential and challenges of thin-film electrolyte and nanostructured electrode for yttria-stabilized zirconia-base anode-supported solid oxide fuel cells// *Journal of Power Sources*. - 2014. - V.247 - P.105–111.
- 14 Chauoon S., Meepho M., Chuankrerkkul N., Chaianansutcharit S. and Pornprasertsuk R. Fabrication of yttria stabilized zirconia thin films on powder-injected anode substrates by electrophoretic deposition technique for solid oxide fuel cell application // *Thin Solid Films*. - 2018. - V.660. - P.741-748.
- 15 Lee Y., Park J., Yu W., Tanveer W. H., Lee Y. H., Cho G.Y. and Cha S.W. Nickel-based bilayer thin-film anodes for low-temperature solid oxide fuel cells // *Energy*. - 2018.- V.161. - P. 1133-1138. - DOI:10.1016/j.energy.2018.07.147
- 16 Lee J.G., Park M.G., Hyun S.H. and Shul Y.G. Nano-Composite Ni-Gd<sub>0.1</sub>Ce<sub>0.9</sub>O<sub>1.95</sub> anode functional layer for low temperature solid oxide fuel cells // *Electrochimica Acta*. - 2014. -V.129. - P.100-106. - DOI:10.1016/j.electacta.2014.02.083
- 17 Lim Y., Lee H., Hong S. and Kim Y.B. Co-sputtered nanocomposite nickel cermet anode for high-performance low-temperature solid oxide fuel cells // *Journal of Power Sources*. - 2019. -V.412. - P.160-169. DOI:10.1016/j.jpowsour.2018.11.025
- 18 Ji S., Lee Y.H., Park T., Cho G.Y., Noh S., Lee Y. and Cha S.W. Doped ceria anode interlayer for low-temperature solid oxide fuel cells with nanothin electrolyte // *Thin Solid Films*. - 2015. - V.591. - P.250-254. - DOI:10.1016/j.tsf.2015.05.005
- 19 Ding C., Lin H., Sato K., Hashida T. Synthesis of NiO-Ce<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>O<sub>1.95</sub> nanocomposite powders for low-temperature solid oxide fuel cell anodes by co-precipitation // *Scr. Mater*. - 2008. - V.60. - P.254-256. - DOI: 10.1016/j.scriptamat.2008.10.020
- 20 Huang K., Harter H. D. Temperature-dependent residual stresses in plasma sprayed electrolyte thin-film on the cathode substrate of a solid oxide fuel cell // *Solid State Ionics*. - 2014. - V.181. - №19-20. - P.943-946.
- 21 Qian J., Tao Z., Xiao J., Jiang G. and Liu W. Performance improvement of ceria-based solid oxide fuel cells with yttria-stabilized zirconia as an electronic blocking layer by pulsed laser deposition // *International Journal of Hydrogen Energy*. - 2013. - V.38. -№5. - P.2407–2412.
- 22 Benel C., Darbandi A. J., Djenadic R., Evans A., Tolke R., Prestat M. and Hahn H. Synthesis and characterization of nanoparticulate La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3-δ</sub> cathodes for thin-film solid oxide fuel cell // *Journal of Power Sources*. - 2013. - V.229. - P.258-264. - DOI:10.1016/j.jpowsour.2012.11.149
- 23 Jang I., Kim C., Kim S. and Yoon H. Fabrication of thin films on an anode support with surface modification for high-efficiency intermediate-temperature solid oxide fuel cells via a dip-coating method // *Electrochimica Acta*. - 2016. - V.217. - P.150–155. - DOI:10.1016/j.electacta.2016.09.065
- 24 Li Y., Wong L.M., Yu C.C., Wang S. and Su P.C. Pulsed laser deposition of Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>O<sub>3δ</sub> thin film cathodes for low temperature solid oxide fuel cells // *Surface and Coatings Technology*. - 2017. - V.320. - P.344-348. - DOI:10.1016/j.surfcoat.2016.12.051
- 25 Chan Yang, B., Go D., Oh S., Woo Shin J., June Kim H. and An J. Atomic-Layer-Deposited ZrO<sub>2</sub>-Doped CeO<sub>2</sub> thin film for facilitating oxygen reduction reaction in solid oxide fuel cell // *Applied Surface Science*. - 2018. - V.520. - P.444–448. - DOI:10.1016/j.apsusc.2018.12.142
- 26 Yu J.G., Yang B.C., Shin J.W., Lee S., Oh S., Choi J.H and An J. High growth-rate atomic layer deposition process of cerium oxide thin film for solid oxide fuel cell // *Ceramics International*. - 2018. - V.324. - P.234–238. - DOI:10.1016/j.ceramint.2018.11.050

С. Опахай<sup>1</sup>, К.А. Кутербекон<sup>1</sup>, А.А. Соловьев<sup>2</sup>, С.А. Нуркенон<sup>1</sup>, А.С. Ныгыманова<sup>1</sup><sup>1</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан<sup>2</sup> Томск Ұлттық Политехникалық зерттеу университеті, Томск, Россия**Жұқа пленкалы материалдар негізіндегі төмен температурадағы қатты оксидті отын элементтерінің дамуы**

**Аннотация:** Қатты оксидті отын элементтерін кеңінен қолдану үшін тиімді және экологиялық таза энергия өндірісін қамтамасыз етудің ең перспективті технологияларының бірі болып саналады. Қазіргі уақытта қатты оксидті отын элементтерінің дамуындағы маңызды мәселе электролиттің қалыңдығын жұқарту арқылы жұмыс температурасының төмендеуі болып табылады, нәтижесінде элементтің ішкі кедергісі төмендейді және оның қуаты артады. Бұл мәселенің тиімді шешімі электролиттер үшін де, электродтар үшін де (катод, анод) жұқа пленкалы материалдарды қолдану болып табылады. Аталған жұмыста мақаланың соңында қысқаша тұжырымдар негізінде төмен температуралы қатты оксидті элементтерінің электродтары мен электролиттеріне арналған жаңа жұқа пленкалы материалдар жөнінде әдеби шолу жасалды.

**Түйін сөздер:** төмен температуралы қатты оксидті отын элементтері (LT-SOFC), электрод, электролит, жұқа пленкалы материалдар, синтез, нанокөмізгітер

S. Opaikhai<sup>1</sup>, K.A. Kuterbekov<sup>1</sup>, A.A. Solovyev<sup>2</sup>, S.A. Nurkenov<sup>1</sup>, A.S. Nygymanova<sup>1</sup><sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan<sup>2</sup> Tomsk National Research Polytechnic University, Tomsk, Russia**Development in low-temperature solid oxide fuel cells based on thin-film materials**

**Abstract:** Solid oxide fuel cell is one of the most promising technologies for providing efficient and environmentally friendly energy production for a wide range of applications. At present, an important problem in the development of a solid oxide fuel cell is a decrease in the operating temperature by reducing the thickness of the electrolyte, since the internal resistance of the cell decreases and its power increases. An effective solution to this problem is the use of thin-film materials, both for electrolytes and for electrodes (cathode, anode). This paper provides a review of literature data that discusses new thin-film materials for electrodes and electrolytes of low-temperature solid oxide fuel cells with brief conclusions on the research topic.

**Keywords:** low-temperature solid oxide fuel cells (LT-SOFC), electrode, electrolyte, thin-film materials, synthesis, nanocomposites

**References**

- 1 Jacobson A.J., Materials for solid oxide fuel cells, Chem. Mater, 22, 660-674(2010).
- 2 Singhal S.C., Kendall K. High temperature solid oxide fuel cells: fundamentals, design, and applications, Elsevier, 80,1155-1162 (2003)
- 3 Bove R. Solid oxide fuel cells: principles, designs and state of the art in industries, Recent Trends in Fuel Cell Science and Technology, 267-285, 267-285(2007).
- 4 Joshi A.V., Steppan J.J., Taylor D.M. and Elangovan S. Solid electrolyte materials, devices, and applications, Journal of Electroceramics, 13, 619-625 (2004).
- 5 Jiang S.P. Nanoscale and nano-structured electrodes of solid oxide fuel cells by infiltration: Advances and challenges, Int. J. Hydrogen Energy, 37. - P. 449-470 (2012).
- 6 Han F., Mucke R., Van Gestel T., Leonide A., Menzler N. H., Buchkremer H. P. and Stover D. Novel high-performance solid oxide fuel cells with bulk ionic conductance dominated thin-film electrolytes, Journal of Power Sources, 218,157-162 (2012).
- 7 Li C., Shi H., Ran R., Su C. and Shao Z. Thermal inkjet printing of thin-film electrolytes and buffering layers for solid oxide fuel cells with improved performance, International Journal of Hydrogen Energy, 38(22), 9310-9319 (2013).
- 8 Cho G.Y., Lee Y.H., Hong S.W., Bae J., An J., Kim Y.B. and Cha S.W. High-performance thin film solid oxide fuel cells with scandia-stabilized zirconia (ScSZ) thin film electrolyte, International Journal of Hydrogen Energy, 40(45), 15704-15708 (2015). - DOI:10.1016/j.ijhydene.2015.09.124
- 9 Hong S., Bae J., Koo B. and Kim Y.B. High-performance ultra-thin film solid oxide fuel cell using anodized-aluminum-oxide supporting structure, Electrochemistry Communications, 47, 1-4 (2014). - DOI:10.1016/j.elecom.2014.07.008
- 10 Park J., Lee Y., Chang I., Cho G.Y., Ji S., Lee W. and Cha S.W. Atomic layer deposition of yttria-stabilized zirconia thin films for enhanced reactivity and stability of solid oxide fuel cells, Energy.116, 170-176 (2016). - DOI:10.1016/j.energy.2016.09.094
- 11 Oh E.O., Whang C.M., Lee Y.R., Lee J.H., Yoon K.J., Kim B.K. and Lee H.W. Thin film yttria-stabilized zirconia electrolyte for intermediate-temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs) by chemical solution deposition, Journal of the European Ceramic Society, 32(8),1733-1741 (2012). - DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2012.01.021
- 12 Park J., Lee Y., Chang I., Lee W. and Cha S.W. Engineering of the electrode structure of thin film solid oxide fuel cells, Thin Solid Films, 584, 125-129 (2015). - DOI:10.1016/j.tsf.2014.11.018

- 13 Noh, H.S, Yoon K.J, Kim B.K, Je H.J, Lee H.W, Lee J.H and Son J.W. The potential and challenges of thin-film electrolyte and nanostructured electrode for yttria-stabilized zirconia-base anode-supported solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 247,105–111 (2014).
- 14 Chauoon S., Meepho M., Chuankrerkkul N., Chaianansutcharit S. and Pornprasertsuk R. Fabrication of yttria stabilized zirconia thin films on powder-injected anode substrates by electrophoretic deposition technique for solid oxide fuel cell application, *Thin Solid Films*, 660,741-748 (2018).
- 15 Lee Y., Park J., Yu W., Tanveer W. H., Lee Y. H., Cho G.Y. and Cha S.W. Nickel-based bilayer thin-film anodes for low-temperature solid oxide fuel cells, *Energy*, 161, 1133-1138 (2018). - DOI:10.1016/j.energy.2018.07.147
- 16 Lee J.G., Park M.G., Hyun S.H. and Shul Y.G. Nano-Composite Ni-Gd<sub>0.1</sub>Ce<sub>0.9</sub>O<sub>1.95</sub> anode functional layer for low temperature solid oxide fuel cells, *Electrochimica Acta*, 129,100-106 (2014). - DOI:10.1016/j.electacta.2014.02.083
- 17 Lim Y., Lee H., Hong S. and Kim Y.B. Co-sputtered nanocomposite nickel cermet anode for high-performance low-temperature solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 412,160-169 (2019). DOI:10.1016/j.jpowsour.2018.11.025
- 18 Ji S., Lee Y.H., Park T., Cho G.Y., Noh S., Lee Y. and Cha S.W. Doped ceria anode interlayer for low-temperature solid oxide fuel cells with nanothin electrolyte, *Thin Solid Films*, 591, 250-254 (2015). - DOI:10.1016/j.tsf.2015.05.005
- 19 C.Ding, H. Lin, K. Sato, T. Hashida. Synthesis of NiO-Ce<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>O<sub>1.95</sub> nanocomposite powders for low-temperature solid oxide fuel cell anodes by co-precipitation, *Scr. Mater.*, 60, 254-256(2008). - DOI: 10.1016/j.scriptamat.2008.10.020
- 20 Huang K., Harter H. D. Temperature-dependent residual stresses in plasma sprayed electrolyte thin-film on the cathode substrate of a solid oxide fuel cell, *Solid State Ionics*, 181(19-20), 943-946 (2014).
- 21 Qian J., Tao Z., Xiao J., Jiang G. and Liu W. Performance improvement of ceria-based solid oxide fuel cells with yttria-stabilized zirconia as an electronic blocking layer by pulsed laser deposition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(5), 2407–2412(2013).
- 22 Benel C., Darbandi A. J., Djenadic R., Evans A., Tolke R., Prestat M. and Hahn H. Synthesis and characterization of nanoparticulate La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3-δ</sub> cathodes for thin-film solid oxide fuel cell // *Journal of Power Sources*, 229, 258-264(2013). - DOI:10.1016/j.jpowsour.2012.11.149
- 23 Jang I., Kim C., Kim S. and Yoon H. Fabrication of thin films on an anode support with surface modification for high-efficiency intermediate-temperature solid oxide fuel cells via a dip-coating method, *Electrochimica Acta*, 217, 150–155(2016). - DOI:10.1016/j.electacta.2016.09.065
- 24 Li Y., Wong L.M., Yu C.C., Wang S. and Su P.C. Pulsed laser deposition of Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>O<sub>3-δ</sub> thin film cathodes for low temperature solid oxide fuel cells, *Surface and Coatings Technology*, 320, 344-348(2017). - DOI:10.1016/j.surfcoat.2016.12.051
- 25 Chan Yang, B., Go D., Oh S., Woo Shin J., June Kim H. and An J. Atomic-Layer-Deposited ZrO<sub>2</sub>-Doped CeO<sub>2</sub> thin film for facilitating oxygen reduction reaction in solid oxide fuel cell, *Applied Surface Science*, 520, 444–448(2018). - DOI:10.1016/j.apsusc.2018.12.142
- 26 Yu J.G., Yang B.C., Shin J.W., Lee S., Oh S., Choi J.H and An J. High growth-rate atomic layer deposition process of cerium oxide thin film for solid oxide fuel cell, *Ceramics International*, 324, 234–238(2018). - DOI:10.1016/j.ceramint.2018.11.050

#### Сведения об авторах:

*Опахай С.* – докторант 2-го курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Кутербеков К.А.* – доктор физико-математических наук, профессор международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Соловьев А.А.* – кандидат технических наук, доцент Научно-образовательного центра Б.П.Вейнберга, проспект Ленина, дом 30, Томск, Россия.

*Нуркенов С.А.* – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физико-энергетических исследований и наукоемких технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Ныгыманова А.С.* – докторант 2-го курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Опахай С.* – 2<sup>nd</sup> year doctoral student at the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, st. Satpayeva 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Kuterbekov K.A.* – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, st. Satpayeva 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Solov'yev A.A.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the B.P. Weinberg Scientific and Educational Center, Lenin Avenue, Building 30, Tomsk, Russia.

*Nurkenov S.A.* – PhD in Physics and Mathematics, Senior Researcher at the Institute of Physics, Energy Research and High Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, st. Satpayeva 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Nygymanova A.S.* – 2<sup>nd</sup> year doctoral student at the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, st. Satpayeva 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

«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 және шаблонды *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 келісімін, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісімін 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).

ГТАМРК <http://grmti.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 формулаларсызсыз, 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 мәтінінде 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 номерленеді.

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 тыйым салынады.

Сілтемені беруде автор қолданған әдебиеттің бетінің нөмірін көрсетпей, келесі нұсқаға сүйеніңіз дұрыс: тараудың номері, бөлімнің номері, тармақтың номері, теораманың (лемма, ескерту, формуланың және т.б.) номері көрсетіледі. Мысалы: қараңыз [3; § 7, лемма 6]», «...қараңыз [2; 5 теорамандағы 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 Нургазина 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://semr.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. Сонынан 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) он 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 4500 тенге – ЕҰУ 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: КСЖВКЗКХ

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: КІНСКЗКА

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

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

БИК Банка: ІРТҮКЗКА

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: НСВККЗКХ

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 and template 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 re-publication 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 ten 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: КСJBKZKX

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"

**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 и шаблон 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 исключать 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 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. - **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://semi.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 десяти 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

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"

### СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Настоящим письмом авторы гарантируют, что размещение научной статьи "НАЗВАНИЕ СТАТЬИ" (Произведение) авторов ФИО АВТОРА(ОВ) в журнале "Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия Физика. Астрономия" не нарушает ничьих авторских прав. Авторы предоставляют издателю журнала, Евразийскому национальному университету имени Л.Н. Гумилева исключительные права на неограниченный срок:

- право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров, право на распространение Произведения любым способом. При этом каждый экземпляр произведения должен содержать имя автора (ов) Произведения;

- право на включение в составное произведение;

- право на доведение до всеобщего сведения;

- право на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы, полный текст Произведения и пр.) Произведения путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы, в том числе полнотекстовых версий опубликованного Произведения.

Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

**Автор(ы)** также предоставляют издателю журнала право хранения и обработки своих персональных данных без ограничения по сроку (фамилия, имя, отчество, сведения об образовании, сведения о месте работы и занимаемой должности). Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

**Автор(ы)** в полном объеме несут ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в соответствии с действующим законодательством Республики Казахстан.

Настоящим письмом автор(ы) дают свое согласие на проверку Произведения на предмет плагиата издателем журнала.

**Автор(ы)** подтверждают, что направляемое Произведение нигде ранее не было опубликовано, не направлялось и не будет направляться для опубликования в другие научные издания.

*\*Сопроводительное письмо оформляется на официальном бланке организации и подписывается руководителем организации (для вузов - курирующим проректором по научно-исследовательской работе).*

*\*\* Сопроводительное письмо авторов, являющихся сотрудниками ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, заверяется деканом факультета.*

Исп.: ФИО автора(ов)

Редакторы: А.Т. Ақылбеков  
Шығарушы редактор, дизайн: Г. Мендыбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің  
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.  
-2020 - 1(130) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 117-б.  
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

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