

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**

№2(131)/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, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ  
**А.Т. Ақылбеков** (Қазақстан)

*Бас редактордың орынбасары* **Гиниятова Ш.Г.** ф.-м.ғ.к., доцент  
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ (Қазақстан)

*Редакция алқасы*

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Арынгазин А.Қ.</b>    | ф.-м.ғ. докторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)           |
| <b>Алдонгаров А.А.</b>   | PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                      |
| <b>Балапанов М.Х.</b>    | ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей) |
| <b>Бахтизин Р.З.</b>     | ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей) |
| <b>Даулетбекова А.Қ.</b> | ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                |
| <b>Ержанов Қ.К.</b>      | ф.-м.ғ.к., PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)           |
| <b>Жұмаділов Қ.Ш.</b>    | PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                      |
| <b>Здоровец М.</b>       | ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)                 |
| <b>Қадыржанов Қ.К.</b>   | ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)         |
| <b>Кайнарбай А.Ж.</b>    | ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                |
| <b>Кутербеков Қ.А.</b>   | ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)         |
| <b>Лущик А.Ч.</b>        | ф.-м.ғ.д., проф., Тарту университеті (Эстония)             |
| <b>Морзабаев А.К.</b>    | ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                |
| <b>Мырзақұлов Р.Қ.</b>   | ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)          |
| <b>Нұрахметов Т.Н.</b>   | ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)         |
| <b>Сауытбеков С.С.</b>   | ф.-м.ғ.д., проф., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Қазақстан)     |
| <b>Салиходжа Ж.М.</b>    | ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                |
| <b>Тлеукенов С.К.</b>    | ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)         |
| <b>Усеинов А.Б.</b>      | PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)                      |
| <b>Хоши М.</b>           | PhD, проф., Коши университеті (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. Басуға 05.06.2020 ж. қол қойылды. Жазылу индексі: 76093  
Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.  
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұска: <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, ENU  
**A.T. Akilbekov** (Kazakhstan)

*Deputy Editor-in-Chief*

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

*Editorial Board*

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Aryngazin A.K.</b>    | Doctor of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)                     |
| <b>Aldongarov A.A.</b>   | PhD, ENU (Kazakhstan)  |
| <b>Balapanov M.Kh.</b>   | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)               |
| <b>Bakhtizin R.Z.</b>    | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)               |
| <b>Dauletbekova A.K.</b> | Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)             |
| <b>Hoshi M.</b>          | PhD, Prof., Kyushu University (Japan)                            |
| <b>Kadyrzhanov K.K.</b>  | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)              |
| <b>Kainarbay A.Zh.</b>   | Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)                  |
| <b>Kuterbekov K.A.</b>   | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)              |
| <b>Lushchik A.</b>       | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Tartu (Estonia) |
| <b>Morzabayev A.K.</b>   | Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)                  |
| <b>Myrzakulov R.K.</b>   | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)              |
| <b>Nurakhmetov T.N.</b>  | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)              |
| <b>Sautbekov S.S.</b>    | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., KazNU (Kazakhstan)            |
| <b>Salikhodzha Z. M</b>  | Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)                  |
| <b>Tleukenov S.K.</b>    | Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)              |
| <b>Useinov A.B.</b>      | PhD, ENU (Kazakhstan)  |
| <b>Yerzhanov K.K.</b>    | Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)             |
| <b>Zdorovets M.</b>      | Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)                  |
| <b>Zhumadilov K.Sh.</b>  | PhD, ENU (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. Signed in print 05.06.2020. Subscription index: 76093

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., профессор  
**А.Т. Акилбеков**, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

*Зам. главного редактора*

**Ш.Г. Гиниятова** к.ф.-м.н., доцент  
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

*Редакционная коллегия*

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Арынгазин А.К.</b>    | д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)        |
| <b>Алдонгаров А.А.</b>   | PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)              |
| <b>Балапанов М.Х.</b>    | д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)                    |
| <b>Бахтизин Р.З.</b>     | д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)                    |
| <b>Даулетбекова А.К.</b> | д.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)   |
| <b>Ержанов К.К.</b>      | к.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)   |
| <b>Жумадилов К.Ш.</b>    | PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)              |
| <b>Здоровец М.</b>       | к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)        |
| <b>Кадыржанов К.К.</b>   | д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан) |
| <b>Кайнарбай А.Ж.</b>    | к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)        |
| <b>Кутербеков К.А.</b>   | д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан) |
| <b>Лущик А.Ч.</b>        | д.ф.-м.н., проф., Тартуский университет (Эстония)   |
| <b>Морзабаев А.К.</b>    | д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)        |
| <b>Мырзакулов Р.К.</b>   | д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан) |
| <b>Нурахметов Т.Н.</b>   | д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан) |
| <b>Сауытбеков С.С.</b>   | д.ф.-м.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби (Казахстан)  |
| <b>Салиходжа Ж.М.</b>    | к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)        |
| <b>Тлеукунов С.К.</b>    | д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан) |
| <b>Усеинов А.Б.</b>      | PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)              |
| <b>Хоши М.</b>           | PhD, проф., Коши университет (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. Подписано в печать 05.06.2020 г. Подписной индекс: 76093

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

№2(131)/2020

МАЗМҰНЫ

|   |    |
|---|----|
| <i>Калманова Д.М., Сарбаева Д.С.</i> Нанокұрылымды электродты органикалық күнэлементтері құрылысының сипаттамаларына электрлік әсер ету   | 8  |
| <i>Ергалиұлы Ғ., Морзабаев А.К., Амангелді Н., Бозтосун И., Мәуей Б., Болат Н., Тәңірберген А.</i> <sup>12</sup> C ядросынан <sup>10</sup> B серпімді шашырауы кезіндегі ауысым механизмдерінің үлесін зерттеу  | 17 |
| <i>Ергалиев Д.С., Каримов С.Г., Советқажиев А.Е., Алимов Д.А., Қуандыжова А.Г., Социалов Р.С.</i> Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе сигналдарының модуляцияларын зерттеу  | 23 |
| <i>Базарбек А.Б., Инербаев Т.М., Сағатов Н.Е., Ақилбеков А.Т.</i> Жер ядросының жоғары температуралары мен қысымдарындағы темір фосфидтерінің жай- күйі теңдеулерінің алғашқы ретгі есептері  | 35 |
| <i>Жакупова А.Е., Ондрисов Д.Б., Канафин М.Ж., Аукатова Н.К., Құрманбек Б.Н.</i> Зымыран-ғарыш техникасының бөлшектерін өндіруде абразивті өңдеу проблемасын шешу   | 42 |
| <i>Ашуров А.Е., Бақыт М.А.</i> Дифференциалдық көтеруді және тасуды қолдану арқылы жерсеріктердің топтық ұшуын басқаруды зерттеу  | 50 |
| <i>Нураخمатов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Садықова Б.М., Жаңылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> және K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Тl кристалдарындағы меншікті сәулеленудің пайда болуы мен қармау орталықтарының түзілуі | 59 |
| <i>Баубекова Г.М., Асылбаев Р.Н., Гиниятова Ш.Г.</i> MgO кристалдарының жылдам ауыр иондармен радиациялық зақымдануы  | 69 |
| <i>Мұстафинов Е.Қ., Рамазанова Ж.М.</i> «Бәйтерек» жаңа Ғарыш зымыран кешенін әзірлеу мәселелері  | 78 |
| <i>Ергалиұлы Ғ., Амангелді Н., Мәуей Б., Солдатхан Д.</i> Энергиясы 12-30 МэВ аралығындағы <sup>9</sup> Be ядросының <sup>28</sup> Si ядросынан серпімді шашырауын оптикалық модель негізінде талдау  | 87 |
| <i>Джансейитов Д.М., Буртебаев Н., Алимов Д., Насурлла М., Мауей Б., Валиолда Д.С., Аймағанбетов А., Ергалиұлы Ғ.</i> Төмен энергияда дейтрондардың <sup>13</sup> C ядросынан серпімді шашырауын эксперименттік зерттеу   | 92 |
| <i>Сейтбаев А., Скуратов В., Ақилбеков А., Даулетбекова А., Здоровец М.</i> LiF кристалы ионолюминесценциясының кинетикасы  | 99 |

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

№2(131)/2020

CONTENTS

|  |    |
|--|----|
| <i>Kalmanova D.M., Sarbayeva D.S.</i> Influence of electrical impacts on the device characteristics of organic solar cells with a nanostructure electrode  | 8  |
| <i>Yergaliuly G., Morzabayev A.K., Amangeldi N., Boztosun I., Mauyey B., Bolat N., Tangirbergen A.</i> Investigation of the contribution of exchange mechanisms to the elastic scattering $^{10}\text{B}$ on the nucleus $^{12}\text{C}$   | 17 |
| <i>Yergaliyev D.S., Mukanova K.K., Sovetkashiev A.Y., Alimov D.A., Kuandykova A.G., Socialov R.S.</i> Research of Signal Modulations of the Global Navigation Satellite System   | 23 |
| <i>Bazarbek A.B., Inerbaev T.M., Sagatov N.E., Akilbekov A.T.</i> First principle calculations of iron phosphide state equations at high temperatures and pressures of the Earth's core  | 35 |
| <i>Zhakupova A.Y., Ondrisov D.B., Kanafin M.Z., Aukatova N.K., Kurmanbek B.N.</i> Solving the Problem of Abrasive Machining in the Production of Rocket and Space Technology Details   | 42 |
| <i>Ashurov A.E., Bakyt M.A.</i> Study of satellite group flight control using differential lift and transfer   | 50 |
| <i>Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Dolomatov M.Y., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Z., Daurenbekov D.H., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N.</i> The creation of the intrinsic emission spectrum and the formation of capture centers in $\text{K}_2\text{SO}_4$ and $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-Tl}$ crystals | 59 |
| <i>Baubekova G.M., Asylbaev R.N., Giniyatova Sh.</i> Radiation Damage caused by swift heavy ions in $\text{MgO}$ crystals  | 69 |
| <i>Mustafinov E.K., Ramazanova Zh.M.</i> Development issues of a new SRC "Baiterek"  | 78 |
| <i>Yergaliuly G., Amangeldi N., Mauyey B., Soldatkhan D.</i> Analysis of elastic scattering of the $^9\text{Be}$ nucleus from $^{28}\text{Si}$ in the energy range of 12-30 MeV in the framework of an optical model   | 87 |
| <i>Janseitov D.M., Burtebayev N., Alimov D., Nassurlla M., Mauyey B., Valiolda D.S., Aimaganbetov A., Yergaliuly G.</i> Experimental study of deuterons elastic scattering from $^{13}\text{C}$ at low energies  | 92 |
| <i>Seitbayev A., Skuratov V., Akilbekov A., Dauletbekova A., Zdorovets M.</i> Kinetics of $\text{LiF}$ crystals ion luminescence   | 99 |

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

№2(131)/2020

СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <i>Калманова Д.М., Сарбаева Д.С.</i> Влияние электрических воздействий на характеристики устройства органических солнечных элементов с наноструктурированным электродом  | 8  |
| <i>Ергалиұлы Ғ., Морзабаев А.К., Амангелді Н., Бозтосун И., Мәуей Б., Болат Н., Тәңірберген А.</i> Исследование вклада обменных механизмов в упругое рассеяние $^{10}\text{B}$ на ядре $^{12}\text{C}$   | 17 |
| <i>Ергалиев Д.С., Каримов С.Ғ., Советкажиев А.Е., Алимов Д.А., Куандыкова А.Ғ., Социалов Р.С.</i> Исследование модуляций сигналов Глобальной навигационной спутниковой системы   | 23 |
| <i>Базарбек А.Б., Инербаев Т.М., Сагатов Н.Е., Акилбеков А.Т.</i> Первопринципные расчеты уравнений состояния фосфидов железа при высоких температурах и давлениях ядра Земли  | 35 |
| <i>Жакупова А.Е., Ондрисов Д.Б., Канафин М.Ж., Аукатова Н.К., Курманбек Б.Н.</i> Решение проблемы абразивной обработки при производстве деталей ракетно-космической техники  | 42 |
| <i>Ашуров А.Е., Бақыт М.А.</i> Исследование управления спутниковым групповым полетом с использованием дифференциального подъема и перетаскивания   | 50 |
| <i>Нурағметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> Развитие низкотемпературных твердооксидных топливных элементов на основе тонкопленочных материалов | 59 |
| <i>Баубекова Г.М., Асылбаев Р.Н., Гиниятова Ш.Ғ.</i> Радиационные повреждения, вызванные быстрыми тяжелыми ионами кристаллов MgO   | 69 |
| <i>Мустафинов Е.К., Рамазанова Ж.М.</i> Проблемы развития нового КРК «Байтерек»  | 78 |
| <i>Ергалиұлы Ғ., Амангелды Н., Мәуей Б., Солдатхан Д.</i> Анализ упругого рассеяния ядра $^9\text{Be}$ на $^{28}\text{Si}$ в интервале энергий 12-30 МэВ в рамках оптической модели  | 87 |
| <i>Джансейтов Д.М., Буртебаев Н., Алимов Д., Насурлла М., Мәуей Б., Валиолда Д.С., Аймаганбетов А., Ергалиұлы Ғ.</i> Экспериментальное исследование упругого рассеяния дейтронов на ядре $^{13}\text{C}$ при низких энергиях                                 | 92 |
| <i>Сейтбаев А., Скуратов В., Акилбеков А., Даулетбекова А., Здоровец М.</i> Кинетика ионолюминесценции кристаллов LiF  | 99 |

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2020, том 131, №2, 35-41 беттер  
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest\_phys@enu.kz

МРНТИ: 29.05.15

А.Б. Базарбек<sup>1</sup>, Т.М. Инербаев<sup>1,2</sup>, Н.Е. Сагатов<sup>2</sup>, А.Т. Акилбеков<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева, Новосибирск, Россия  
(E-mail: <sup>1</sup> asyl.bazarbek.92@mail.ru, <sup>1,2</sup> talgat.inerbaev@gmail.com, <sup>2</sup> sagatinho23@gmail.com, <sup>1</sup> akilbekov\_at@enu.kz)

### Первопринципные расчеты уравнений состояния фосфидов железа при высоких температурах и давлениях ядра Земли

**Аннотация:** в данной работе методами компьютерного моделирования, основанными на теории функционала плотности, исследовались уравнения состояния фосфидов железа  $Fe_2P$  и  $Fe_3P$  при высоких давлениях и температурах, соответствующих P-T параметрам внутреннего ядра Земли. Рассмотрены две структуры  $Fe_2P$  с симметрией Pnma и P-62m, и две структуры  $Fe_3P$  с симметрией I-4 и Cmcm. Установлены давления фазового перехода первого рода  $Fe_2P$  и  $Fe_3P$ . Для каждой рассмотренной кристаллической структуры методом решеточной динамики в квазигармоническом приближении построено уравнение состояния  $P(V)$  с учетом термических эффектов до давления 400 ГПа. Были рассчитаны фоновые дисперсионные кривые для  $Fe_2P$  и  $Fe_3P$ . Установлено, что при давлениях внутреннего ядра Земли термодинамически стабильными являются фазы  $Fe_2P$ -Pnma и  $Fe_3P$ -Cmcm.

**Ключевые слова:** кристаллические структуры, фазовый переход, уравнение состояния, первопринципные расчеты, квантово-химическое моделирование, фосфид железа, внутреннее ядро, дисперсионные кривые.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-131-2-35-41>

Поступила: 06.03.2020 / Доработана: 28.04.2020 / Допущена к опубликованию: 29.05.2020

**Введение.** Научное понимание внутреннего строения Земли основано на наблюдениях за топографией и батиметрией, скалами в обнаженных породах, образцами, доставленными на поверхность с больших глубин, вулканами или вулканической активностью, анализе сейсмических волн, проходящих через Землю, измерениях гравитационного и магнитного полей Земли, а также экспериментах с кристаллическими твердыми телами при давлениях и температурах, характерных для глубинных недр Земли.

Детализация моделей внутреннего строения Земли и планет остается одной из наиболее актуальных и передовых тем в различных областях науки. Определение состава ядра Земли помогает понять природу магнитных и электрических полей, гравитационные характеристики, а также имеет важнейшее значение для геодинамики [1].

Сейсмические данные и теоретические расчеты показывают, что внутреннее ядро нашей планеты состоит из железоникелевого сплава и некоторых лёгких элементов (H, O, C, Si, S, P) [2,3,4,5]. В связи с этим поведение фосфора в сплавах Fe-Ni привлекло внимание исследователей, так как P представляет собой незначительную, но не менее важную составляющую ядра Земли [6,7].

Таким образом, понимание поведения соединений Fe-P при высоких давлениях и температурах имеет важное значение для обсуждения и ограничения свойств планетарных ядер. Поэтому структуры и свойства соединений железа с фосфором Fe-P заслуживают большого внимания для дальнейшего изучения.

Многие теоретические и экспериментальные работы посвящены изучению магнитных и каталитических свойств фосфидов железа [8,9,10,11], однако его элементарные свойства, такие как термодинамическая стабильность, в имеющейся литературе практически не обсуждаются. Температура внутреннего ядра оценена с учётом теоретически и экспериментально



наблюдаемых ограничений на температуру плавления чистого железа при давлении на границе внутреннего ядра (около 330 ГПа) [12]. Дальнейшие расчеты выполнены для исследования параметров решетки, уравнения состояния, электронных свойств, а также установления давлений фазового перехода, что позволяет получить ценные сведения о поведении промежуточных составов в системе Fe-P при высоком давлении. В связи с этим изучение поведения фазовых переходов в системе Fe-P позволило бы лучше понять влияние давления на другие соединения железа и легких элементов.

**Методы.** С учетом сложности проведения экспериментальных исследований при P-T параметрах ядра Земли квантово-химические методы являются незаменимым инструментом для исследования вещества при таких экстремальных условиях. Среди современных методов стоит отметить расчеты из первых принципов (*ab initio*).

Современные методы квантовой химии позволяют описать различные физико-химические свойства молекул, электронное и пространственное строение молекул в твёрдых телах в основном состоянии с точностью, сравнимой с данными экспериментальных методов. Использование возможностей квантово-химических вычислительных методов позволяет получать информацию о таких характеристиках, которые иногда недоступны или труднодоступны для экспериментального исследования (например, данные о переходных состояниях). В результате резко возросших возможностей современной компьютерной техники, а также значительного усовершенствования вычислительных квантово-химических методов и алгоритмов, современная квантовая химия обладает предсказательной силой, способной прогнозировать возможность существования новых химических структур, их строение и свойства, предсказывать новые эффекты [13].

В данной статье все расчеты проводились в рамках теории функционала плотности в базисе плоских волн с помощью программного пакета VASP [14,15]. Обменно-корреляционное взаимодействие рассматривалось в приближении обобщенного градиента (GGA) по схеме Пердю-Берка-Эрнцера (PBE) [16]. Взаимодействия между ионными ядрами и валентными электронами представлены с помощью псевдопотенциалов PAW [17]. Моделирование проводилось при трех температурах ( $T = 300$  К, 1000 К и 1500 К). Детали расчетов выглядят таким образом: энергия обрезания составляла 700 эВ, плотность k-точек -  $0.2 \text{ \AA}^{-3}$ , параметр сглаживания  $\sigma = 0.01$  эВ. При моделировании фосфидов железа были выбраны структуры  $\text{Fe}_2\text{P}$ -Pnma и  $\text{Fe}_2\text{P}$ -P-62m, а также  $\text{Fe}_3\text{P}$ -I-4 и  $\text{Fe}_3\text{P}$ -Cmcm.  $\text{Fe}_2\text{P}$ -Pnma - это ромбическая модификация со структурой аллабогданита.  $\text{Fe}_2\text{P}$ -P-62m - это гексоганальная модификация со структурой баррингерита [18].  $\text{Fe}_3\text{P}$ -I-4 - тетрагональная модификация со структурой шрейберзита.  $\text{Fe}_3\text{P}$ -Cmcm - это ромбическая структура, теоретически предсказанная в работе [19]. На рисунке 1 показана кристаллическая структура соединений для данных фосфидов железа.

**Результаты.** Изучение материалов под высоким давлением имеет большое значение для понимания механизма фазового перехода, механической устойчивости и внутренней структуры ядра Земли и других планет. Уравнение состояния является важным параметром для характеристики материала.

При нормальных условиях  $\text{Fe}_2\text{P}$  кристаллизуется в структуре типа C22 с пространственной группой P62m [20]. Проведенный Сенатеуром и со-авторами [21] рентгено-структурный анализ при высоком давлении и высокой температуре выявил наличие ромбической модификации  $\text{Fe}_2\text{P}$  (C23-тип) с пространственной группой Pnma. Это было позже подтверждено недавними экспериментами [22], где  $\text{Fe}_2\text{P}$ , как сообщается, фазовый переход первого рода C22  $\rightarrow$  C23 при давлении 8 ГПа. Исходя из этого следует, что при высоком давлении, похожем на значения в условиях внутреннего ядра Земли, по сравнению с  $\text{Fe}_2\text{P}$ -62m более стабильной структурой является  $\text{Fe}_2\text{P}$ -Pnma.

На рисунке 2 видно, что при сжатии до 400 ГПа при трех разных температурах значения очень близки, что обозначает стабильность при высокой температуре. В связи с этим методом молекулярной динамики в квазигармоническом приближении нами были рассчитаны

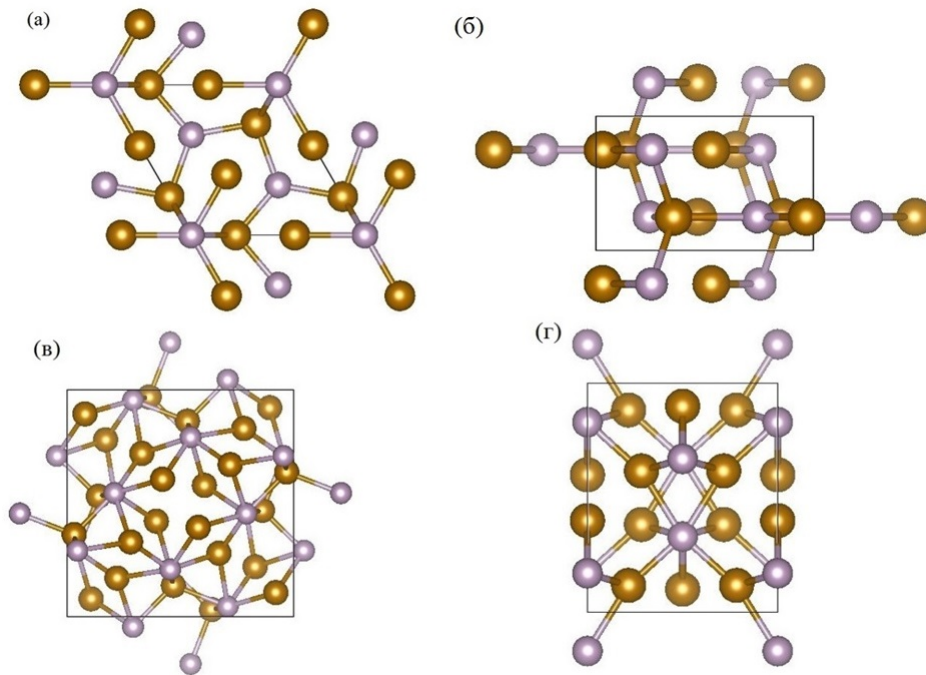


Рисунок 1 – Кристаллические структуры соединений для фосфидов железа: (а) структура  $Fe_2P$ -P-62m; (б) структура  $Fe_2P$ -Pnma; (в) структура  $Fe_3P$ -I-4; (г) структура  $Fe_3P$ -Cmcm

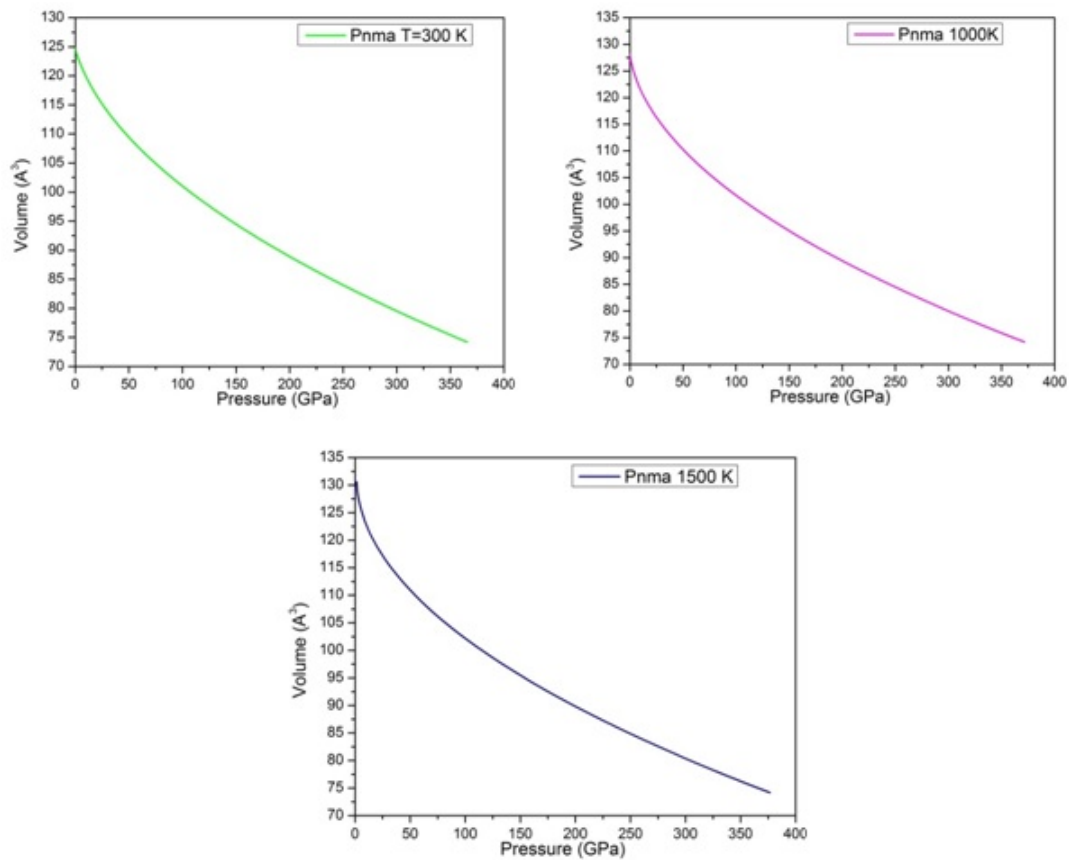


Рисунок 2 – Зависимость объема  $Fe_2P$ -Pnma от давления при разных температурах

колебания решетки, что позволило учесть давления 400 ГПа при температурах 300, 1000 и

1500 К (рис. 2). Как мы видим, при сжимаемости давления до 400 ГПа при трех разных температурах значения очень близки, что обозначает стабильность при высокой температуре для структуры  $\text{Fe}_2\text{P}$ -Pnma.

Ранее для установления относительной стабильности фосфидов железа при высоком давлении был произведен расчет энтальпии для  $\text{Fe}_3\text{P}$  вплоть до 200 ГПа без учета колебаний атомов. Как выяснилось, фаза  $\text{Fe}_3\text{P}$ -I-4 является энергетически стабильной вплоть до 25 ГПа. Выше этого давления  $\text{Fe}_3\text{P}$ -Cmcm становится более энергетически выгодной.

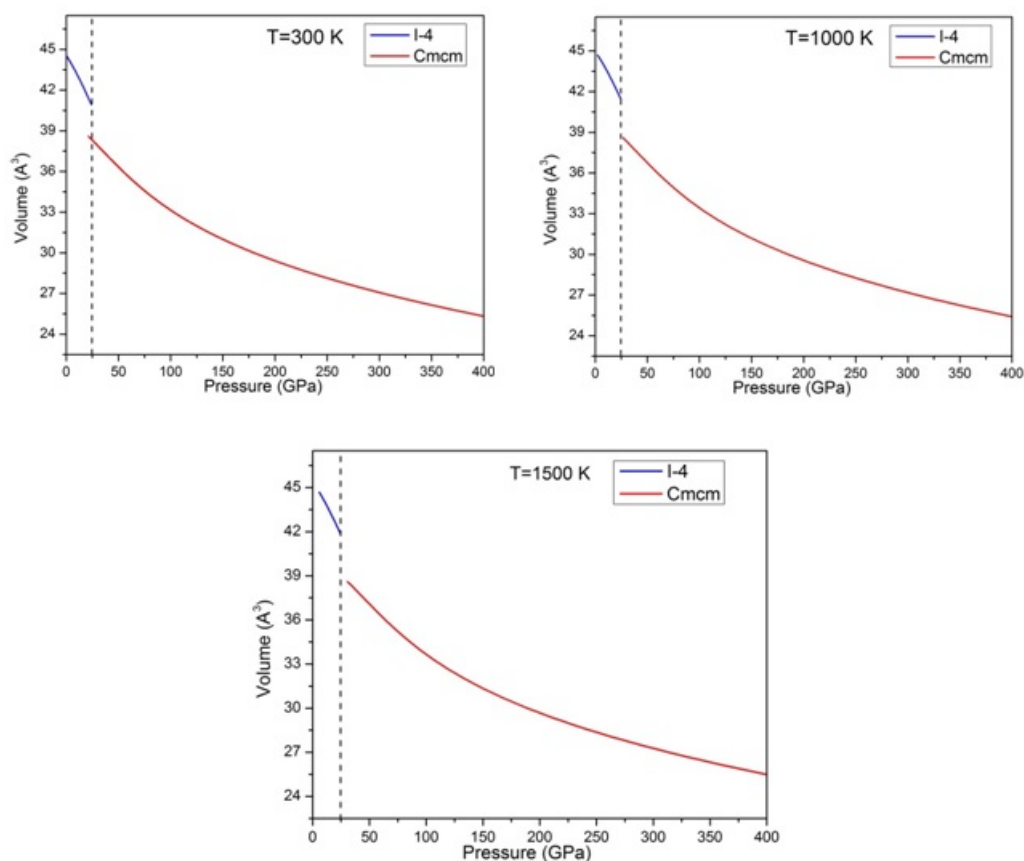


Рисунок 3 – Зависимость объема  $\text{Fe}_3\text{P}$ -I-4 и  $\text{Fe}_3\text{P}$ -Cmcm от давления при разных температурах

Методом решеточной динамики в квазигармоническом приближении были рассчитаны колебания решетки, что позволило учесть давления 400 ГПа при температурах 300, 1000 и 1500 К. Выше 25 ГПа  $\text{Fe}_3\text{P}$ -Cmcm так же является энергетически выгодной при P-T параметрах. Однако здесь необходимо учитывать то, что есть различие между объемами, и в данном случае фазовый переход I-4  $\rightarrow$  Cmcm сопровождается понижением объема в среднем на 6 %.

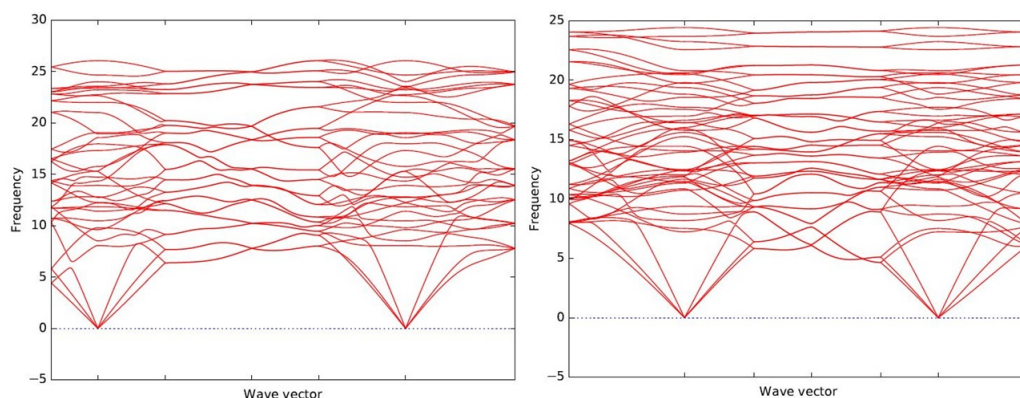


Рисунок 4 – Дисперсионные кривые для  $\text{Fe}_2\text{P-Pnma}$  и  $\text{Fe}_3\text{P-Cmcm}$

Как видно из рисунка 4, построенные нами фононные дисперсионные кривые при 330 ГПа, не содержат мнимых частот, что указывает на динамическую стабильность  $\text{Fe}_2\text{P-Pnma}$  и  $\text{Fe}_3\text{P-Cmcm}$  при давлениях внутреннего ядра Земли. Таким образом, кандидатами фосфорсодержащую фазу во внутреннем ядре могут быть  $\text{Fe}_2\text{P-Pnma}$  и  $\text{Fe}_3\text{P-Cmcm}$ .

**Заключение.** Полученные результаты показали что при сжатии до 400 ГПа при разных температурах для  $\text{Fe}_2\text{P-Pnma}$  значения оказались очень схожими, что указывает на стабильность при высокой температуре для данной структуры. В случае другой рассмотренной структуры  $\text{Fe}_3\text{P}$  было выявлено, что выше 25 ГПа структура  $\text{Fe}_3\text{P-Cmcm}$  оказалась энергетически выгодной. Также определены структуры фосфидов железа, которые являются динамически стабильными при давлениях внутреннего ядра Земли.

### Список литературы

- 1 Литасов К.Д., Шацкий А.Ф. Современные представления о составе ядра Земли // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 1. – С. 31-62.
- 2 Scott H.P., Williams Q., Knittle E. Stability and equation of state of  $\text{Fe}_3\text{C}$  to 73 GPa: Implications for carbon in the Earth's core // Geophysical Research Letters. – 2001. – V. 28. – P. 1875–1878.
- 3 Li J., Fei Y. Experimental constraints on core composition // The Mantle and Core. – 2003. – V. 2. – P. 521–546.
- 4 McDonough W.F. Compositional model for the Earth's core // Treatise on Geochemistry. – 2014. – V. 3. – P. 559–577.
- 5 Rivoldini A., Van Hoolst T., Verhoeven O., Mocquet A., Dehant V. Geodesy constraints on the interior structure and composition of Mars // ICARUS International Journal of Solar System Studies. – 2011. – V. 213. – P. 451–472.
- 6 Britvin S., Rudashevsky N., Krivovichev S., Burns P., Polekhovsky Y. Allabogdanite  $(\text{Fe,Ni})_2\text{P}$ , a new mineral from the Onello meteorite: The occurrence and crystal structure // American Mineralogist. – 2002. – V. 87. – P. 1245–1249.
- 7 Miettinen J., Vassilev G. Thermodynamic Description of Ternary Fe-X-P Systems. Part 6: Fe-Ni-P // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2014. – V.36. – P. 78–87.
- 8 Geng Y., Zhang Z., Tegus O., Dong C. and Wang Y. Microstructure, magnetic and magnetocaloric properties of  $\text{Fe}_{2-x}\text{Mn}_x\text{P}_{0.4}\text{Si}_{0.6}$  alloys // Science China Materials. – 2016. – V. 59. – P. 1062–1068.
- 9 Fries M., Pfeuffer L., Bruder E., Gottschall T., Ener S, Diop L., Grob T., Skokov K. and Gutfleisch O. Microstructural and magnetic properties of Mn-Fe-P-Si ( $\text{Fe}_2\text{P}$ -type) magnetocaloric compounds // Acta Materialia. – 2017. – V. 132. – P. 222-229.
- 10 Brock S., Senevirathne K. Recent developments in synthetic approaches to transition metal phosphide nanoparticles for magnetic and catalytic applications // Journal of Solid State Chemistry. – 2008. – V. 181. – P. 1552-1559.
- 11 Costa M., Granas O., Bergman A., Venezuela P., Nordblad P., Klintonberg M. and Eriksson O. Large magnetic anisotropy of  $\text{Fe}_2\text{P}$  investigated via ab initio density functional theory calculations // Physical Review. – 2012. – V. 86. – P. 85125-85131.
- 12 Terasaki H., Fischer R.. Deep Earth: Physics and Chemistry of the Lower Mantle and Core // Geophysical Monograph. – 2016. – V. 317. – P. 1-10.
- 13 Федоров А., Кузубов А., Елисева Н., Попов З., Высотин М. Проведение квантово-химических расчётов с использованием программного комплекса VASP 5.2 // Учебное пособие по курсу «Современные методы расчёта энергетической структуры». – 2013. – Т.1.– №1. – С. 112-146.

- 14 Kresse G., Hafner J. Ab initio molecular dynamics for liquid metals // Physical Review. – 1993. – V. 47. – P. 558–561.
- 15 Kresse G., Furthmüller J. Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set // Physical Review. – 1996. – V. 54. – P. 11169–11186.
- 16 Perdew J., Burke K., Ernzerhof M. Generalized Gradient Approximation Made Simple // Physical Review Letters. – 1996. – V. 77. – P. 3865–3868.
- 17 Blochl P. Projector augmented-wave method // Physical Review. – 1994. – V. 50. – P. 17953–17979.
- 18 Przemyslaw D., Barbara L., Lauren A., Borkowski and etc. High-pressure polymorphism of Fe<sub>2</sub>P and its implications for meteorites and Earth's core // Geophysical Research Letters. – 2008. – V.35. – P. 10301-10306.
- 19 Zhao Z., Liu L., Zhang S., Yu T., Fei L. and Yang G. Phase diagram, stability and electronic properties of an Fe–P system under high pressure: a first principles study // Royal society of chemistry Advances. – 2017. – Vol.7. – P.15986-15991.
- 20 Scott H.P., Huggins S., Frank M.R., Maglio S.J., Martin C.D., Meng Y., Santillin J., Williams Q. Equation of state and high-pressure stability of Fe<sub>3</sub>P-schreibersite: Implications for phosphorus storage in planetary cores // Geophysical Research Letters. – 2007. – V. 34. – P. 6302-6306.
- 21 Senateur J., Rouault A., Fruchart R., Capponi, J., Perroux M. Etude par spectrometrie Mossbauer des transformations cristallographiques sous hautes pressions de MnFeAs et Fe<sub>2</sub>P // Materials Research Bulletin. – 1976. – V. 11. – P. 631–635.
- 22 Fujiwara H., Kadomatsu H., Tohma K., Fujii H., Okamoto T. Pressure-induced magnetic transition in Fe<sub>2</sub>P // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1980. – V. 21. – P. 262–268.

А.Б. Базарбек<sup>1</sup>, Т.М. Инербаев<sup>1,2</sup>, Н.Е. Сагатов<sup>2</sup>, А.Т. Акилбеков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup> В.С.Соболев атындағы геология және минералогия институты, Новосибир, Ресей

**Жер ядросының жоғары температуралары мен қысымдарындағы темір фосфидтерінің жай- күйі теңдеулерінің алғашқы ретгі есептері**

**Аннотация.** Бұл жұмыста тығыздық функционалының теориясына негізделген компьютерлік модельдеу әдістерімен Жердің ішкі ядросының P-T параметрлеріне сәйкес келетін жоғары қысымдар мен температуралар кезінде Fe<sub>2</sub>P және Fe<sub>3</sub>P темір фосфидтерінің күй теңдеулері зерттелді. Pnma және P-62m симметриялы Fe<sub>2</sub>P екі құрылымы, сондай-ақ I-4 және Cmcm симметриялы Fe<sub>3</sub>P екі құрылымы қарастырылған. Fe<sub>2</sub>P және Fe<sub>3</sub>P бірінші текті фазалық өту қысымы орнатылған. Квазигармоникалық жақындауда торлы динамика әдісімен әрбір қаралған кристалдық құрылым үшін термиялық әсерлерді ескере отырып, 400 ГПа қысымына дейін P(V) күй теңдеуі салынды. Жердің ішкі ядросының қысымы кезінде Fe<sub>2</sub>P-Pnma және Fe<sub>3</sub>P-Cmcm фазалары термодинамикалық тұрақты болып табылатыны анықталды.

**Түйін сөздер:** кристалдық құрылымдар, фазалық ауысу, күй теңдеуі, алғашқы принциптік есептеулер, кванттық-химиялық моделдеу, темір фосфиді, ішкі ядро, дисперсиялық қисықтар.

A.B. Bazarbek<sup>1</sup>, T.M. Inerbaev<sup>1,2</sup>, N.E. Sagatov<sup>2</sup>, A.T. Akilbekov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> V.S. Sobolev institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk, Russia

**First principle calculations of iron phosphide state equations at high temperatures and pressures of the Earth's core**

**Abstract.** In this article, the equations of state of iron phosphides Fe<sub>2</sub>P and Fe<sub>3</sub>P at high pressures and temperatures corresponding to P-T parameters of the Earth's inner core were studied using computer modeling methods based on the density functional theory. Two Fe<sub>2</sub>P structures with Pnma and P-62m symmetry and two Fe<sub>3</sub>P structures with I-4 and Cmcm symmetry are considered. The first-order phase transition pressures Fe<sub>2</sub>P and Fe<sub>3</sub>P are established. For each crystal structure considered, the equation of state P(V) is constructed using the lattice dynamics method in a quasi-harmonic approximation, taking into account thermal effects up to a pressure of 400 GPa. Phonon dispersion curves were calculated for Fe<sub>2</sub>P and Fe<sub>3</sub>P. It was found that the Fe<sub>2</sub>P-Pnma and Fe<sub>3</sub>P-Cmcm phases are thermodynamically stable at the pressures of the Earth's inner core.

**Keywords:** crystal structures, phase transition, equation of state, first principle calculations, quantum chemical modeling, iron phosphide, inner core, dispersion curves.

## References

- 1 Litasov K., Shatski A. Sovremennyye predstavleniya o sostave yadra Zemli, Geologiya i geofizika, 57(1), 31-62(2016).
- 2 Scott H.P., Williams Q., Knittle E. Stability and equation of state of Fe<sub>3</sub>C to 73 GPa: Implications for carbon in the Earth's core, Geophysical Research Letters, 28, 1875–1878(2001).
- 3 Li J., Fei Y. Experimental constraints on core composition, The Mantle and Core, 2, 521–546 (2003).
- 4 McDonough W.F. Compositional model for the Earth's core, Treatise on Geochemistry, 3, 559–577(2014).

- 5 Rivoldini A., Van Hoolst T., Verhoeven O., Mocquet A., Dehant V. Geodesy constraints on the interior structure and composition of Mars, ICARUS International Journal of Solar System Studies, 213, 451–472(2011).
- 6 Britvin S., Rudashevsky N., Krivovichev S., Burns P., Polekhovsky Y. Allabogdanite (Fe,Ni)<sub>2</sub>P, a new mineral from the Onello meteorite: The occurrence and crystal structure, American Mineralogist, 87, 1245–1249(2002).
- 7 Miettinen J., Vassilev G. Thermodynamic Description of Ternary Fe-X-P Systems. Part 6: Fe-Ni-P, Journal of Phase Equilibria and Diffusion, 36, 78–87(2014).
- 8 Geng Y., Zhang Z., Tegus O., Dong C. and Wang Y. Microstructure, magnetic and magnetocaloric properties of Fe<sub>2-x</sub>Mn<sub>x</sub>P<sub>0.4</sub>Si<sub>0.6</sub> alloys, Science China Materials, 59, 1062–1068(2016).
- 9 Fries M., Pfeuffer L., Bruder E., Gottschall T., Ener S, Diop L., Grob T., Skokov K. and Gutfleisch O. Microstructural and magnetic properties of Mn-Fe-P-Si (Fe<sub>2</sub>P-type) magnetocaloric compounds, Acta Materialia, 132, 222-229(2017).
- 10 Brock S., Senevirathne K. Recent developments in synthetic approaches to transition metal phosphide nanoparticles for magnetic and catalytic applications, Journal of Solid State Chemistry, 181, 1552-1559(2008).
- 11 Costa M., Granas O., Bergman A., Venezuela P., Nordblad P., Klintonberg M. and Eriksson O. Large magnetic anisotropy of Fe<sub>2</sub>P investigated via ab initio density functional theory calculations, Physical Review, 86, 85125-85131(2012).
- 12 Terasaki H., Fischer R.. Deep Earth: Physics and Chemistry of the Lower Mantle and Core, Geophysical Monograph, 317, 1-10(2016).
- 13 Fedorov A., Kuzubov A., Eliseeva N., Popov Z., Vyisotin M.. Provedenie kvantovo-himicheskikh raschyotov s ispolzovaniem programmnoy kompleksa VASP 5.2. Uchebnoye posobie po kursu «Sovremennyye metody raschyota energeticheskoy struktury», 2(1), 112-146(2013).
- 14 Kresse G.,Hafner J. Ab initio molecular dynamics for liquid metals, Physical Review, 47, 558–561(1993).
- 15 Kresse G., Furthmuller J. Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set, Physical Review, 54, 11169–11186(1996).
- 16 Perdew J., Burke K., Ernzerhof M. Generalized Gradient Approximation Made Simple, Physical Review Letters, 77, 3865–3868(1996).
- 17 Blochl P. Projector augmented-wave method, Physical Review, 50, 17953–17979(1994).
- 18 Przemyslaw D., Barbara L., Lauren A., Borkowski and etc. High-pressure polymorphism of Fe<sub>2</sub>P and its implications for meteorites and Earth’s core, Geophysical Research Letters, 35, 10301-10306(2008).
- 19 Zhao Z., Liu L., Zhang S., Yu T., Fei L. and Yang G. Phase diagram, stability and electronic properties of an Fe–P system under high pressure: a first principles study, Royal society of chemistry Advances, 7, 15986-15991(2017).
- 20 Scott H.P., Huggins S., Frank M.R., Maglio S.J., Martin C.D., Meng Y., Santillin J., Williams Q. Equation of state and high-pressure stability of Fe<sub>3</sub>P-schreibersite: Implications for phosphorus storage in planetary cores, Geophysical Research Letters, 34, 6302-6306(2007).
- 21 Senateur J., Rouault A., Fruchart R., Capponi, J., Perroux M. Etude par spectrometrie Mossbauer des transformations cristallographiques sous hautes pressions de MnFeAs et Fe<sub>2</sub>P, Materials Research Bulletin, 11, 631–635(1976).
- 22 Fujiwara H., Kadomatsu H., Tohma K., Fujii H., Okamoto T. Pressure-induced magnetic transition in Fe<sub>2</sub>P, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 21, 262–268(1980).

**Сведения об авторах:**

*Базарбек А.Б.* - докторант 2 курса специальности «6D072300-Техническая физика», кафедра «Техническая физика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Мунайпасова 13, Нур-Султан, Казахстан

*Инербаев Т.М.* - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры Техническая физика. Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Мунайпасова 13, Нур-Султан, Казахстан

*Сагатов Н.Е.* - аспирант Института геологии и минералогии им. В.С.Соболева. Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева, пр. Коптюга, 3, Новосибирск, Россия

*Акилбеков А.Т.* - доктор физико-математических наук, профессор кафедры Техническая физика. Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Мунайпасова 13, Нур-Султан, Казахстан

*Bazarbek A.B.* - PhD student of specialty 6D072300- Technical physics, Department of “Technical physics”, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Munaitpasov str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Inerbaev T.M.* - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of “Technical physics”, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Munaitpasov str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Sagatov N.E.* - PhD student, V.S. Sobolev institute of Geology and Mineralogy, V, Koptiug str., 3, Novosibirsk, Russia.

*Akilbekov A.T.* - doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Department “Technical physics”, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Munaitpasov str., 13, 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 *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).

**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 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 мәтінде 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 түйым 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 теорамдағы ескерту]». Бұл талап орындалмаған жағдайда мақаланы ағылшын тіліне аударғанда сілтемелерде қателіктер туындауы мүмкін.

**Әдебиеттер тізімін рәсімдеу мысалдары**

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

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

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

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

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semf.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: 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 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).

The text of the article begins with the IRSTI (International Rubricator of Scientific and Technical Information, defined by the link <http://grnti.ru/>), then followed by the Initials and Surname of the author (s); full name of organization, city, country; E-mail of the author (s); the article title; abstract. Abstract should consist of 150-250 words, it should not contain cumbersome formulas, the content should not repeat the article title, abstract should not contain references to the text of the article and the list of literature), abstract should be a brief summary of the article content, reflecting its features and preserving the article structure.

Potential authors of the journal should adhere to the following rules on the structure of the article point by point with headings:

- The necessary notation and definitions to ensure understanding of the text of the article;
- Statement of the problem, the solution of which the article is devoted to;
- Historical information on the statement of the problem - by whom and when the results were obtained that preceded the topic of the article with the corresponding full links;
- Justification of the necessity and relevance of the task of the article, as the most critical part of any scientific work;
- The exact wording and description of the solution to the problem presented in the article;
- A detailed justification of the novelty of the result (s) of an article in the context of a previously known one;
- The solution to the problem should be provided with detailed justifications (evidence).

If at least one of these requirements is not observed, the article is not accepted for consideration. 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: 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: 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 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).

Текст работы начинается с рубрикатора МРНТИ (Международный рубрикатор научно-технической информации; определяется по ссылке <http://grnti.ru/>), затем следуют инициалы и фамилия автора(ов), полное наименование организации, город, страна, e-mail автора(ов), заглавие статьи, аннотация. Аннотация должна состоять из 150-250 слов, не должна содержать громоздкие формулы, не должна повторять по содержанию название статьи, не должна содержать ссылки на текст работы и список литературы, должна быть кратким изложением содержания статьи, отражая её особенности и сохраняя структуру статьи.

Потенциальные авторы журнала должны в соответствии с заголовками придерживаться следующих правил по структуре статьи:

- Необходимые обозначения и определения для обеспечения понимания текста статьи;
- Постановка задачи, решению которой посвящена статья;
- Исторические сведения по постановке задачи с соответствующими полными ссылками - кем и когда были получены результаты, предшествующие теме статьи;
- Обоснование необходимости и актуальности задачи статьи как самая важная часть любой научной работы;
- Точная формулировка и описание представленного в статье решения поставленной задачи;
- Подробное обоснование новизны результата (ов) статьи в контексте ранее известного;
- Решение задачи должно быть снабжено подробными обоснованиями (доказательствами).

При несоблюдении хотя бы одного из этих требований статья не принимается к рассмотрению.

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 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 Нуртазина 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 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: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

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

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

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

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

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

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Ректору  
ЕНУ имени Л.Н. Гумилева

### 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)

## Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 535.37

**Ж.Т. Карипбаев, А.У. Абуова, Г.К. Алпысова, К.М. Сарсенғалиева<sup>1</sup>,  
К.А. Байжолов, А.Б. Куkenова, М.В. Здоровец**

<sup>1</sup> *Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан* <sup>1,2</sup> *Томский политехнический университет, Томск, Россия*

<sup>3</sup> *Институт ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан*  
(Email: Fatika\_82@mail.ru)

### Люминесценция кристаллов ZnWO<sub>4</sub> с введенным кислородом

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика.*

*Астрономия сериясы, 2020, том 131, №2, 117-109 беттер*

*http://bulphysast.enu.kz, E-mail: vest\_phys@enu.kz*

**МРНТИ: 539.534.9; 621.039.542.34**

**А. Сейтбаев<sup>1,2</sup>, В. Скуратов<sup>3</sup>, А. Акилбеков<sup>1</sup>, А. Даулетбекова<sup>1</sup>, М. Здоровец<sup>2,4</sup>**

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

<sup>2</sup> *Институт ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан*

<sup>3</sup> *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

<sup>4</sup> *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

(E-mail: Seitbayevaibek@gmail.com)

### Кинетика ионолюминесценции кристаллов LiF<sup>1</sup>

**Аннотация:** Приведены результаты исследования спектральных характеристик фото- и катодолюминесценции кристаллов вольфрамата цинка, подвергнутых термической обработке в атмосфере кислорода или облучению потоками высокоэнергетических ионов кислорода. Введение кислорода приводит к снижению эффективности фотолюминесценции. Кроме того, введение посредством термической обработки приводит и к изменению спектра возбуждения. Предполагается, что наблюдаемое изменение характеристик фотолюминесценции обусловлено разрушением сформированных при синтезе кристалла комплексов, включающих в свой состав центры свечения. При термической обработке в атмосфере кислорода разрушение излучающих комплексов происходит на глубине, сопоставимой с глубиной проникновения возбуждающих фотонов. Резкое снижение эффективности возбуждения люминесценции с ростом энергии возбуждающих фотонов объясняется наличием градиента концентрации вошедшего диффузией кислорода и, соответственно, разрушенных излучающих комплексов. Сделана оценка глубины вхождения кислорода, характеристическая глубина вхождения составляет 20 нм при обработке в течение 7 часов при 900°C.

**Ключевые слова:** вольфраMAT цинка, фото и катодолюминесценция, кислород, комплексные дефекты.

**Основной текст** статьи должен быть разбит на четко определенные и пронумерованные разделы (подразделы). Подразделы должны быть пронумерованы 1.1, 1.2 и т. д. Рекомендуемые разделы статьи:

**Введение.** Вводная информация, касающаяся темы статьи. Разъяснение цели предпринятого исследования.

**Материалы и методы.** Описание последовательности выполнения исследования и обоснование выбора используемых методов.

**Результаты и обсуждения.** Описание результатов экспериментов. В данной части статьи должен быть представлен авторский аналитический или статистический материал.

**Заключение.** Краткая формулировка результатов исследования. Сжатое повторение главных мыслей основной части работы.

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках грантового проекта МОН РК AP 05134257.

Также авторы могут указать источник финансирования либо финансовой поддержки, оказываемой в рамках исследования. Благодарность должна быть выражена кратко, лаконично.

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

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

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 |



Рисунок 1 – Название рисунка

## 3. Ссылки и библиография

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

Для руководства по L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X и в качестве примера оформления ссылок, см., например, *Львовский С.М.* Набор и верстка в пакете L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Москва: Космосинформ, 1994.

Список литературы оформляется следующим образом.

### Список литературы

- 1 Локуциевский О.М., Гавриков М.Б. Начала численного анализа. –М.: ТОО "Янус", 1995. –581 с. - **книга**
- 2 Степаненко В.Ф., Эндо С., Каприн А.Д., Иванов С.А., Каджимото Т., Танака К., Колыженков Т.В., Петухов А.Д., Ахмедова У.А., Богачёва В.В., Коротков В.А., Хоши М. Опыт инструментальной оценки накопленных доз внешнего облучения с использованием метода ретроспективной люминесцентной дозиметрии по единичным микрокристаллам кварца из кварцосодержащих образцов, отобранных в префектуре Фукусима, Япония // Радиация и риск. - 2018. – Т. 27. - № 3. - С. 79-90. doi: ... **(при наличии)** - **статья**
- 3 Жубанышева А.Ж., Абикинова 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 гипополидемическая активность леукомизина. –Алматы: Бастау, 2007. –С. 3-5 - **газетные статьи**
- 5 Dovesi R., Saunders V.R., Roetti C., Orlando R., Zicovich-Wilson C.M., Pascale F., Civalieri B., Doll K., Harrison N.M., Bush I.J., D’Arco P., and Llunell M. CRYSTAL14 User’s Manual University of Torino, Italy. [Electronic resource]. Available at: <http://www.crystal.unito.it> (Accessed: 20.01.2019). - **электронный журнал**

Ж.Т. Карипбаев<sup>1,2</sup>, А.У. Абуова<sup>1</sup>, Г.К. Алпысова<sup>1</sup>, К.М. Сәрсенғалиева<sup>1</sup>, К.А. Байжолов<sup>1</sup>, А.Б. Кукунова<sup>1</sup>, М.В. Здоровец<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup> Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

<sup>3</sup> Ядролық физика институты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

#### Оттегі енгізілген ZnWO<sub>4</sub> кристалдарының люминесценциясы

**Аннотация:** Оттегі атмосферасында термиялық өңдеуден өткен немесе жоғары энергиялы оттегі иондарымен сәулеленуге ұшыраған мырыш вольфрам кристалдарының фото және катодолуминесценциясының спектрлік сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Оттегінің енгізілуі фотолуминесценция тиімділігінің төмендеуіне және термиялық өңдеудің енгізілуі қозу спектрінің өзгеруіне әкеледі. Фотолуминесценция сипаттамаларының байқалған өзгерісі кристалл синтезі кезінде пайда болған кешендердің, соның ішінде жарқыл орталықтарының бұзылуымен байланысты деп болжанады. Оттегі атмосферасында термиялық өңдеу кезінде шығаратын кешендердің бұзылуы қоздырғыш фотондардың ену тереңдігімен салыстырылатын тереңдікте жүреді. Люминесценттік қозу тиімділігінің күрт төмендеуі диффузияға енетін оттегінің шоғырлану градиентінің және сәйкесінше жойылған эмитенттік комплекстердің болуымен түсіндіріледі. Оттегінің кіру тереңдігін бағалау жүргізілді, сипаттамалық кіру тереңдігі 900 °C температурада 7 сағат бойы өңделген кезде 20 нм болды.

**Түйін сөздер:** мырыш вольфрамасы, фото және катодолуминесценция, оттегі, күрделі ақаулар.

Zh.T.Karipbaev<sup>1,2</sup>, A.U. Abuova<sup>1</sup>, G. K. Alpyssova<sup>1</sup>, K.M. Sarsengalieva<sup>1</sup>, K.A. Baozholov<sup>1</sup>, A.B. Kukunova<sup>1</sup>, M.V. Zdorovets<sup>3</sup>

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan

#### Luminescence of ZnWO<sub>4</sub> crystals with oxygen introduced

**Abstract:** The results of studying the spectral characteristics of the photo- and cathodoluminescence of zinc tungstate crystals subjected to heat treatment in an oxygen atmosphere or irradiation with high-energy oxygen ions are presented. The introduction of oxygen leads to a decrease in the efficiency of photoluminescence. In addition, the introduction by heat treatment leads to a change in the excitation spectrum. It is assumed that the observed change in the characteristics of photoluminescence is due to the destruction of complexes formed during crystal synthesis, including glow centers. During heat treatment in an oxygen atmosphere, the destruction of emitting complexes occurs at a depth comparable to the penetration depth of exciting photons. A sharp decrease in the efficiency of luminescence excitation with increasing energy of exciting photons is explained by the presence of a concentration gradient of oxygen entering the diffusion and, accordingly, of destroyed emitting complexes. An assessment was made of the oxygen entry depth; the characteristic entry depth was 20 nm when processed for 7 hours at 900 °C.

**Keywords:** zinc tungstate, photo and cathodoluminescence, oxygen, complex defects.

## References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislenogo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]
- 2 Stepanenko V.F., Endo S., Kaprin A.D., Ivanov S.A., Kadzhimoto T., Tanaka K., Kolyzhenkov T.V., Petuhov A.D., Ahmedova U.A., Bogachyova V.V., Korotkov V.A., Hoshi M. Opyt instrumental'noj ocenki nakoplennoy doz vneshnego obluchenija s ispol'zovaniem metoda retrospektivnoj ljuminescentnoj dozimetrii po edinichnym mikrokrystalлам kvarca i zkvarcosoderzhashhiih obrazcov, otobrannyh v prefecture Fukusima, Japonija [An experience of instrumental estimation of cumulative external doses using single grain luminescence retrospective dosimetry method with quartz containing samples from Fukushima prefecture, Japan], Radiacija i risk [Radiation and Risk], 27(3), 79-90 (2018). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcionov s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionov 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 teoriya priblizhenija funkcionov" [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. Angioprotektornaja i gipolipidemicheskaia aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Dovesi R., Saunders V.R., Roetti C., Orlando R., Zicovich-Wilson C.M., Pascale F., Civalleri B., Doll K., Harrison N.M., Bush I.J., D'Arco P., and Llunell M. CRYSTAL14 User's Manual University of Torino, Italy. [Electronic resource]. Available at: <http://www.crystal.unito.it> (Accessed: 20.01.2019).

#### Сведения об авторах:

Карипбаев Ж.Т. - доктор PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Сұлтан, Казахстан.



- Абуова А.У.* - доктор PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, улица Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Алтысова Г.К.* - докторант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Сәрсенғалиева К.М.* - магистрант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Байжолов К.А.* - магистрант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Кукенова А.Б.* - магистрант 1 года обучения специальности «Нanomатериалы и нанотехнологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Здоровец М.В.* - к.ф.-м.н., директор Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан.
- Karipbayev Zh.T.* - Ph.D., L.N. Gumilyov Eurasian National University, acting associate professor of the Department of Technical Physics, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Abuova A.U.* - Doctor of Philosophy, LN Gumilyov Eurasian National University, acting associate professor of the Department of Technical Physics, K.Munaytpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Alpyssova G.K.* - 2<sup>nd</sup> year PhD student of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Sarsengaliyeva K.M.* - 2<sup>nd</sup> year MSc of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Bayzholov K.A.* - 2<sup>nd</sup> year MSc of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Kukenova A.B.* - 1<sup>st</sup> year year MSc of specialty "Nanomaterials and nanotechnologies", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Zdorovets M.V.* - Candidate of Physico-mathematical Sciences, Director of the Astana branch of the Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Редакторы: А.Т. Ақылбеков

Шығарушы редактор, дизайн: Г. Мендыбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің  
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.  
-2020 - 2(131) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 121-б.  
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана. Басуға 05.06.2020 ж. қол қойылды.

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