

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(127)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

**Нұр-Сұлтан, 2019**

**Nur-Sultan, 2019**

**Нур-Султан, 2019**

*Бас редакторы:*  
ф.-м.ғ. докторы  
**А.Қ. Арынгазин** (Қазақстан)

*Бас редактордың орынбасары*

**А.Т. Ақылбеков**, ф.-м.ғ.д., профессор  
(Қазақстан)

*Редакция алқасы*

<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>Гиниятова Ш.Г.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<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, 349 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.  
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:* А. Нұрболат

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

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

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

Тиражы: 25 дана

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

*Editor-in-Chief*  
Doctor of Phys.-Math. Sciences  
**A.K. Aryngazin** (Kazakhstan)

*Deputy Editor-in-Chief*

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

*Editorial Board*

<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>Giniyatova Sh.G.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (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. 349,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008  
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:* A.Nurbolat

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**PHYSICS. ASTRONOMY Series**

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

Periodicity: 4 times a year

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

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Circulation: 25 copies

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

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

*Главный редактор:*  
доктор ф.-м.н.  
**А.К. Арынгазин** (Казахстан)

*Зам. главного редактора*

**А.Т. Акилбеков**, доктор ф.-м.н.,  
профессор (Казахстан)

*Редакционная коллегия*

<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>Гиниятова Ш.Г.</b>	д.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Даулетбекова А.К.</b>	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Ержанов К.К.</b>	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Жумадилов К.Ш.</b>	доктор 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>	д.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Кутербеков К.А.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Луцик 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>	д.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Тлеукиенов 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. 349, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.  
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* А. Нурболат

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

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

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Тираж: 25 экземпляров

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

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

№2(127)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Алиева Г.Ж., Кабдрахимова Г.Д., Садықов Б.М., Насурлла М., Мукан Ж., Усабаева Г., Кучук Я., Жолдыбаев Т. К.</i> $E_p = 30$ МэВ энергиялық $^{103}\text{Rh}$ ядросындағы (p,xp) реакциясының екінші реттік протондар эмиссиясы	8
<i>Аралбаева Г.М., Гиниятова Ш.Г.</i> $\text{TiO}_2$ -де латентті тректердің параметрлерін бағалауға арналған термиялық шыңның моделі	16
<i>Жексембаева А., Абуова Ф.У., Ақылбеков А.Т., Абуова А.У., Сарсебай Е.</i> $\text{LaMnO}_3$ кристалының (001) бетіндегі процестерді кванттық механикалық модельдеу	25
<i>Мейрамбай А., Ержанов К.К., Ержанова Ж.О.</i> Фейнмандық диаграммалар толық интегралданатын статистикалық тор жүйесі ретінде	31
<i>Аумаликова М., Ибраева Д., Жумадилов К., Шижкина Е., Бахтин М., Кашкинбаев Е.</i> Уран өндіретін және өндейтін кәсіпорындарда жұмыс істейтін қызметкерлер мен тұрғылықты халықтың дозалық жүктемесін есептеу	38
<i>Ибраева А.Д.</i> $\text{Si}_3\text{N}_4$ -те тректүзілу механизмін сипаттау үшін термиялық шыңның серпімсіз моделінің қолдануын зерттеу	48
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А., Мейрбеков Б.К.</i> $(2+1)$ өлшемді $F(T)$ гравитациясының фермиондық өріспен байланысқандағы космологиялық шешім	57
<i>Рахымбеков А.Ж.</i> Суперионды өткізгіштегі электрлік өткізгіштікті есептеу	67
<i>Сарсенова С.М., Степаненко В.Ф., Жумадилов К.Ш.</i> Оптикалық стимуляцияланған люминесценттік (ОСЛ) дозиметрия әдісінің қазіргі жағдайы	72
<i>Сүйжимбаева Н.Т., Калиев А.М., Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> Гейзенбергтің ХХХ моделіндегі 4-еуі кері аударылған спиндер үшін Бете анзацы	80

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

№2(127)/2019

CONTENTS

---

<i>Aliyeva G.Zh., Kabdrakhimova G.D., Sadykov B.M., Nassurlla M., Mukan Zh., Ussabaeva G., Kucuk Y., Zholdybaev T.K.</i> The emission of secondary protons from reaction (p,xp) at an energy of 30 MeV in the nucleus of $^{103}\text{Rh}$	8
<i>Aralbayeva G.M., Giniyatova Sh.G.</i> The thermal spike model to estimate the parameters of latent tracks in $\text{TiO}_2$	16
<i>Zheksembayeva A., Abuova F.U., Akylbekov A.T., Abuova A.U., Sarsebai E.</i> Quantum mechanical modeling of processes on the surface of a $\text{LaMnO}_3$ (001) crystal	25
<i>Meirambay A., Yerzhanov K.K., Yerzhanova Zh.O.</i> Feynman diagrams as a completely integrable lattice statistical system	31
<i>Aumalikova M., Ibrayeva D., Zhumadilov K., Shishkina E., Bakhtin M., Kashkinbayev Ye.</i> Calculation of radiation burden of personnel and public, working and living in area of the uranium mining and uranium-processing enterprises	38
<i>Ibrayeva A.D.</i> Study of the applicability of the inelastic thermal peak model to describe the track formation mechanism in $\text{Si}_3\text{N}_4$	48
<i>Myrzakulov N.A., Myrzakulova Sh.A., B.K Meirbekov</i> Cosmological solutions for $F(T)$ gravity with fermion fields in (2+1) dimensions	57
<i>Rakhymbekov A.Zh.</i> Calculation of electrical conductivity of a superionic conductor	67
<i>Sarsenova S.M., Stepanenko V.F., Zhumadilov K.Sh.</i> The modern state of optically stimulated luminescence (OSL) dosimetry method	72
<i>Suikimbayeva N.T., Kaliyev A.M., Razina O.V., Tsyba P.Yu.</i> The Bethe ansatz in the XXX model of Heisenberg for the 4-inverted spins	80

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

№2(127)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Алиева Г.Ж., Кабдрахимова Г.Д., Садыков Б. М., Насурлла М., Мукан Ж., Усабаева Г., Кучук Я., Жолдыбаев Т. К.</i> Эмиссия вторичных протонов из реакции (p,xp) при энергии 30 МэВ на ядре $^{103}\text{Rh}$	8
<i>Аралбаева Г.М., Гиниятова Ш.Г.</i> Модель термического пика для оценки параметров латентных треков в $\text{TiO}_2$	16
<i>Жексембаева А., Абуова Ф.У., Акылбеков А.Т., Абуова А.У., Сарсебай Е.</i> Квантово-механическое моделирование процессов на поверхности кристалла $\text{LaMnO}_3$ (001)	25
<i>Мейрамбай А., Ержанов К.К., Ержанова Ж.О.</i> Фейнмановские диаграммы как вполне интегрируемая статистическая система решетки	31
<i>Аумаликова М., Ибраева Д., Жумадилов К., Шишкина Е., Бахтин М., Кашкинбаев Е.</i> Расчет дозовой нагрузки персонала и населения, работающих и проживающих в области уранодобывающего и ураноперерабатывающего предприятий	38
<i>Ибраева А.Д.</i> Изучение применимости модели неупругого термического пика для описания механизма трекообразования в $\text{Si}_3\text{N}_4$	48
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А., Мейрбеков Б.К.</i> Космологические решения для $F(T)$ гравитации с фермионными полями в (2+1) размерности	57
<i>Рахымбеков А.Ж.</i> Расчет электрической проводимости суперионного проводника	67
<i>Сарсенова С.М., Степаненко В.Ф., Жумадилов К.Ш.</i> Современное состояние метода оптически стимулированной люминесцентной (ОСЛ) дозиметрии	72
<i>Суйкимбаева Н.Т., Калиев А.М., Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> Анзац Бете в ХХХ модели Гейзенберга для 4-х перевернутых спинов	80

**Модель термического пика для оценки параметров латентных треков в  $TiO_2$**

**Аннотация:** Данная работа посвящена изучению радиационных эффектов быстрых тяжелых ионов в веществе. В рамках модели термического пика рассмотрен процесс формирования латентных треков в  $TiO_2$  в результате облучения ионами  $^{132}Xe$  с энергией 220 МэВ при разных температурах. В ходе данной работы произведена теоретическая оценка порога образования и размеров латентных треков в зависимости от температуры облучения. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными, полученными методом просвечивающей электронной микроскопии. Приводится сравнение и обсуждается вопрос применимости аналитической и неупругой моделей термического пика для описания процесса образования латентных треков.

**Ключевые слова:**  $TiO_2$ , ПЭМ, хиллоки, латентные треки, быстрые тяжелые ионы, потери энергии.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-127-2-16-24>

**Введение.** В модели термического пика можно выделить два отличающихся друг от друга подхода, которые используются в анализе взаимодействия быстрых тяжелых ионов с твердыми телами: неупругая и аналитическая модель термического пика. Из-за широкого применения этих двух моделей важно выявить и сопоставить их характерные черты. Такой сравнительный анализ двух моделей термического пика является важным в экспериментальных и теоретических исследованиях взаимодействия БТИ с твердым телом.

**Модель термического пика.** Модель термического пика впервые была предложена Десауэром [1] и пересмотрена для изоляторов Чадертоном и Монтегю-Поллоком [2], а для металлов Зейтцем и Келером [3]. Основная идея этой модели в том, что энергия, переданная в кристаллическую решетку, может быть описана с помощью механизма теплопередачи. Механизм теплопередачи от электронов к решетке различен для металлов и диэлектриков. Так как время установления термодинамического равновесия в электронной и атомной подсистемах значительно меньше, чем время релаксации между ними, можно говорить о температуре решетки и температуре электронов. В цилиндрической системе координат, процесс теплопередачи в зависимости от времени  $t$  и расстояния от центра  $r$  описывается с помощью следующих двух связанных дифференциальных уравнений [4]:

$$\begin{aligned} C_e(T_e) \frac{\partial T_e}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r K_e(T_e) \frac{\partial T_e}{\partial r}] - g(T_e - T_a) + A(r), \\ C_a(T_a) \frac{\partial T_a}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r K_a(T_a) \frac{\partial T_a}{\partial r}] + g(T_e - T_a) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C(T)$ ,  $K(T)$ ,  $T$  - температурная зависимость удельной теплоемкости и теплопроводности, температура электронной (e) и атомной (a) подсистем.  $A(r,t)$  - пространственное и временное распределение энергии, переданной электронам за счет ионизации,  $g$  - константа электрон-фононного взаимодействия [5].

В модели термического пика можно выделить два отличающихся друг от друга подхода, которые используются в анализе взаимодействия быстрых тяжелых ионов с твердыми телами:

- 1) Модель аналитического термического пика (a-TS), предложенная Сенешом [6, 7], дает аналитическое решение дифференциального уравнения (1), пренебрегая тем, как энергия передается из электронной в атомную подсистему. Эта модель была расширена Тринкаузом [8].
- 2) Модель неупругого термического пика (i-TS) [9-16] дает полное численное решение системы дифференциальных уравнений теплопроводности (1).



**Модель аналитического термического пика.** В модели аналитического термического пика, при определении температурного распределения в области формирования трека, опускается процесс передачи энергии из электронной в атомную подсистему, предполагая, что температурное распределение может быть представлено в виде распределения Гаусса [17]. Распределение температуры в области трека, согласно этой модели, считают гауссовым:

$$\Delta T(r, t) = \frac{\gamma S_e}{\pi \rho c \alpha^2(t)} * e^{-\left(\frac{r^2}{\alpha^2(t)}\right)} \quad (2)$$

где  $\rho$  – соответственно плотность и средняя удельная теплоемкость материала мишени,  $\gamma$  – эффективность передачи энергии,  $\alpha(0)$  – начальная ширина радиального распределения температуры. Сенеш [6] предположил, что максимальный размер трека достигается при  $t = 0$ , когда температурное распределение достигает своего максимума, поэтому  $\Delta T(r, 0) = T_m - T_{ir}$ , где  $T_m$  и  $T_{ir}$  температура плавления и облучения соответственно, достаточно определить только для  $\alpha(0)$ . Исходя из этого, радиусы треков в зависимости от температуры облучения можно определить по формуле:

$$R(T_{ir}) = \alpha(0) \sqrt{\ln \left( \frac{\gamma S_e}{3\pi k n (T_m - T_{ir}) \alpha^2(0)} \right)} \quad (3)$$

где  $S_e$ ,  $k$ ,  $n$ ,  $T_m$ ,  $T_{ir}$ , – удельные ионизационные потери энергии, постоянная Больцмана, концентрация атомов материала мишени, температура плавления материала мишени и температура облучения;  $\alpha(0)$ ,  $\gamma$  – параметры аналитической модели термического пика, для большинства изоляторов равные 4,5 нм и 0,4-0,17 (в зависимости от скорости иона) соответственно. Порог образования определяется по формуле:

$$S_{et} = \frac{3\pi k n (T_m - T_{ir}) \alpha^2(0)}{\gamma} \quad (4)$$

Согласно Сенешу, начальная гауссовская ширина одинакова для всех материалов  $\alpha(0) = 4.5$  нм. Эффективность передачи энергии зависит только от скорости частиц. При низких ( $E < 2$  МэВ/нуклон) скоростях  $\gamma \sim 0.4$ , а при высоких скоростях ( $E > 8$  МэВ/нуклон) ионов  $\gamma \sim 0.17$ . Таким образом, в этой модели не существует свободного параметра характерного для различных изоляторов при низких и высоких скоростях ионов.

Следовательно, модель a-TS дает количественное описание радиусов трека в материалах при условии, что гауссовская ширина  $\alpha(0)$  в момент времени  $t = 0$  может быть выведена из порога образования  $S_{et}$ . Коэффициент  $\gamma$  определяет эффективность передачи энергии, не учитывая скрытую теплоту энергии, необходимой для изменения фазы от твердой в жидкую. Тем не менее, эта модель описывает начальное распределение температуры атомной подсистемы. Она успешно применялась Клаумюнзером [18], используя  $\gamma = 0,6$ .

**Модель неупругого термического пика.** В неупругой модели термического пика рассматриваются процессы термической релаксации возбужденных электронов в области пролета иона и передачи энергии от горячих электронов ионам кристаллической решетки. Механизм теплопередачи описывается с помощью системы двух связанных дифференциальных уравнений теплопроводности [19]:

$$\begin{aligned} C_e(T_e) \frac{\partial T_e}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r K_e(T_e) \frac{\partial T_e}{\partial r}] - g(T_e - T_a) + A(r, t), \\ C_a(T_a) \frac{\partial T_a}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r K_a(T_a) \frac{\partial T_a}{\partial r}] + g(T_e - T_a) \end{aligned} \quad (5)$$

где  $C(T)$ ,  $K(T)$ ,  $T$  – температурная зависимость удельной теплоемкости и теплопроводности, температура электронной (e) и атомной (a) подсистем.  $A(r, t)$  – пространственное и временное распределение энергии, переданной электронам за счет ионизации,  $g$  – константа электрон-фононного взаимодействия,  $g = D_e C_e / \lambda^2$ . Характерными чертами неупругой модели термического пика i-TS для металлических материалов являются [9-16, 20]:

а) Потеря энергии описывается радиальным и временным распределением выбитых электронов  $A(r,t)$ , которое получают методом Монте-Карло [22].

б) Процесс теплопередачи описывается уравнениями Фурье, которые решаются в цилиндрической системе координат. Численное решение уравнения (1) позволяет рассчитать энергию, переданную от БТИ в электронную и атомную подсистему, соответственно. Начальными граничными условиями расчетов являются температура ( $T_0$ ) облученной решетки или внутренняя энергия,  $E_i(T_0)$ , и объем, в котором выполняется вычисления. Внутренняя энергия рассчитывается путем интегрирования удельной теплоемкости от 0 К до  $T_0$ . Расстояние, в котором выполняется вычисление, должно быть достаточно большим (обычно радиус цилиндра 200 нм).

в) Предполагается, что релаксация возбужденной электронной подсистемы протекает за счет электрон-электронных и электрон-атомных столкновений, характеризуемых константой электрон-фононной связи  $g$  [22, 23]. Эта величина связана с электрон-фононным средним временем свободного пробега  $\tau = C_e(T_e)/g$  и с электрон-фононной средней длиной свободного пробега  $\lambda^2 = D_e(T_e) \times \tau = K_e(T_e)/g$ , где  $C_e(T_e)$  и  $K_e(T_e)$  удельная теплоемкость и теплопроводность для электронной ( $e$ ) подсистемы при температуре  $T_e$  [9, 13, 15].

г) Из-за экстремально короткого времени нагрева вещества, равновесная температура плавления  $T_m$  не является соответствующим параметром, чтобы охарактеризовать процесс плавления. Это было экспериментально подтверждено в экспериментах с фемтосекундными лазерами [24], где было показано, что повышение температуры не прекращается при температуре плавления  $T_m$ , а продолжает расти выше температуры  $T_m$ . Коэффициент электрон-фононной связи  $g$  является свободным параметром, который в свою очередь может быть выражен через другие параметры. В случае полупроводниковых материалов возможно использование двух подходов к определению  $g$ . Так, можно применять формулу, полученную в работе [25] для металлов в случае, когда температура решетки не сильно меньше температуры Дебая,

$$g = \frac{\pi^2 m_e n_e v_s^e}{6\tau_e(T_e)T_e} \quad (6)$$

где  $m_e$  - масса электрона;  $n_e$  - концентрация электронов;  $v_s$  - скорость звука в материале мишени, которая записывается формулой  $v_s = 2\pi k_B T_D / (h \cdot 6\pi^2 n_a)$ , где  $n_a$  - атомная плотность,  $k_B$  постоянная Больцмана,  $T_D$  температура Дебая и  $h$  постоянная Планка;  $\tau_e$  - среднее время свободного пробега электронов.

Однако определение  $\tau_e(T_e)$  является сложной задачей, нерешенной строго до нашего времени. В качестве первого приближения для полупроводников можно считать  $\tau_e$  постоянным и равным  $10^{-16}$  -  $10^{-15}$  с.

С другой стороны, можно выразить  $g$  через длину свободного пробега  $\lambda$

$$\lambda^2 = \frac{D_e C_e}{g} = \frac{K_e}{g} \quad (7)$$

где  $D_e$  - коэффициент термической диффузии.

Следует отметить, что моделью, разработанной Тринкаусом и др. [8, 26], может быть успешно описан анизотропный рост аморфных металлов [27] и диэлектриков [18, 28-30], в результате облучения быстрыми тяжелыми ионами. Этот анизотропный рост является результатом появления трека вдоль траектории иона.

**Эксперименты и обсуждение.** Эксперименты по облучению монокристаллических образцов  $TiO_2$  ионами Хе с энергией 220 МэВ при разных температурах до флюенса  $5 \times 10^{10}$  проводились на ускорителе ДЦ-60. Мощность электронного торможения на поверхности образца вычислена с использованием кода SRIM 2008.

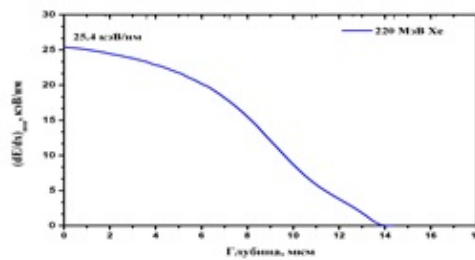
Морфология облученных образцов исследовалась методом просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе JEOL ARM 200F в Центре высокоразрешающей электронной микроскопии университета им. Н. Манделы, Порт Элизабет, Южная Африка.

Таблица 1 – Параметры облучения монокристаллов  $\text{TiO}_2$  ионами Хе

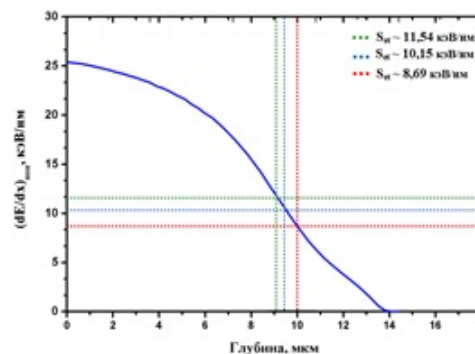
Ион	Энергия	$(dE/dx)_{\text{ион}}$	$(dE/dx)_{\text{упр}}$	Полный пробег
Хе	220 МэВ	25,4 кэВ/нм (на поверхности)	0,1 кэВ/нм (на поверхности)	13,2 мкм

Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии осуществлялась с помощью фокусированного ионного пучка (Focused Ion Beam, FIB) на установке FEI Helios Nanolab 650.

**Результаты.** На рисунке 1 приведены ионизационные потери энергии тяжелых ионов, использованных в наших экспериментах для облучения  $\text{TiO}_2$ . Значения потерь энергии и пробегов ионов приведены в таблице 1, для определения величин потерь энергии и пробегов ионов использовался код SRIM 2008.

Рисунок 1 – Профиль ионизационных потерь энергии ионов  $\text{TiO}_2$ , облученной ионами Хе (220 МэВ)

Для решения системы уравнений (1), предлагаемых в рамках неупругой модели термического пика, был использован код ThermalSpike02 [31]. Единственным свободным параметром, который изменялся в системе, являлась длина свободного пробега электрон-фононного взаимодействия,  $\lambda$ . Согласно работе [32] величина  $\lambda$  для  $\text{TiO}_2$  должна принимать значение  $5,8 \pm 1,36$  нм. Чтобы определить порог образования треков в неупругой модели термического пика, необходимо подобрать такое значение удельных ионизационных потерь энергии для Хе, при котором температура внутри трека начинает превышать температуру плавления. Из рисунка можно оценить, что пороговые потери энергии составляют 11,54 кэВ/нм при  $T_{i,r} = 573$  К, 10,15 кэВ/нм при  $T_{i,r} = 773$  К и 8,69 кэВ/нм при  $T_{i,r} = 973$  К.

Рисунок 2 – Профиль порога образования латентных треков в  $\text{TiO}_2$  при температуре облучения  $T_{i,r} = 573$ К (зеленый),  $T_{i,r} = 773$ К (синий) и  $T_{i,r} = 973$ К (красный)

В модели аналитического термического пика радиусы треков в зависимости от температуры облучения можно определить по формуле (3). Пороговые энергии образования треков можно найти по формуле (4). На рисунке 3 представлена зависимость порога образования латентных треков в  $\text{TiO}_2$  (рутил) от температуры облучения. Порог образования латентных треков уменьшается с увеличением температуры облучения. Расчеты в рамках аналитической

модели находятся ниже расчетов неупругой модели термического пика, где использовались стандартные параметры.

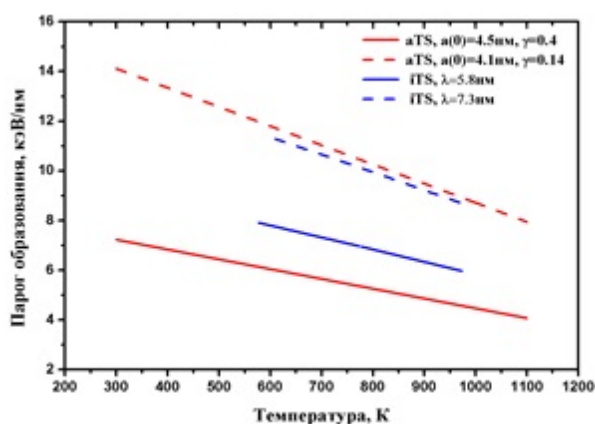


Рисунок 3 – Зависимость порога образования латентных треков в  $\text{TiO}_2$  от температуры. Красная и синяя сплошные линии соответствуют теоретическим расчетам со стандартными параметрами, красная и синяя прерывистые линии соответствуют теоретическим расчетам, дающим наиболее близкое описание экспериментальных данных

На рисунке 4 представлена зависимость размера латентных треков в  $\text{TiO}_2$  (рутил) от температуры облучения, включающая в себя как данные аналитической и неупругой моделей термического пика, так и экспериментальные данные, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии. Результаты расчетов в рамках неупругой модели термического пика показали, что экспериментальные данные находятся ниже теоретических оценок, где использовались стандартные параметры ( $\lambda = 5,8 \pm 1,36$  нм для неупругой модели, и  $a(0) = 4,5$  нм,  $\gamma = 0,4$  для аналитической модели). Параметры аналитической и неупругой модели термического пика изменялись таким образом, чтобы наиболее точно описать экспериментальные данные. В результате фитирования наиболее близкое соответствие расчета и эксперимента для аналитической модели удалось достичь при  $a(0) = 4,1$  нм,  $\gamma = 0,14$ ; и для неупругой модели при  $\lambda = 7,3$  нм.

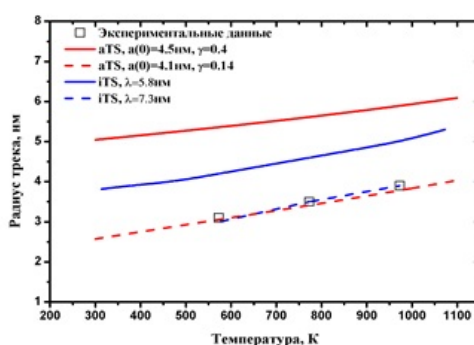


Рисунок 4 – Зависимость радиуса латентных треков в  $\text{TiO}_2$  от температуры. Белые точки соответствуют экспериментальным данным, красная и синяя сплошные линии соответствуют теоретическим расчетам со стандартными параметрами, красная и синяя прерывистые линии соответствуют теоретическим расчетам, дающим наиболее близкое описание экспериментальных данных

В аналитической модели термического пика величина эффективности передачи энергии 0,14 приблизительно в 3 раза меньше эффективности передачи энергии, которая ожидается на основе анализа параметров треков для большого числа других материалов при данной энергии иона ( $\sim 1,67$  МэВ/нуклон). В неупругой модели термического пика значение длины свободного пробега электрон-фононного взаимодействия 7,3 нм незначительно выходит за рамки погрешности  $\lambda = 5,8 \pm 1,36$  нм, которая приводится в работе [32]. Из этого можно

предположить, что неупругая модель термического пика больше подходит для описания тепловых процессов, протекающих вблизи треков в результате облучения  $\text{TiO}_2$  ионами Хе с энергией 220 МэВ при повышенных температурах. Это должно быть связано с более детальным описанием процессов передачи энергии от тяжелого иона электронам мишени и затем от электронов атомам мишени.

На рисунке 5 показаны снимки просвечивающей электронной микроскопии латентных треков. На просвечивающей электронной микроскопии в геометрии поперечного сечения образцов  $\text{TiO}_2$  облученных ионами ксенона с энергией 220 МэВ наблюдаются латентные треки, которые имеют непрерывную аморфную структуру не только на поверхности, но и внутри облученного образца.

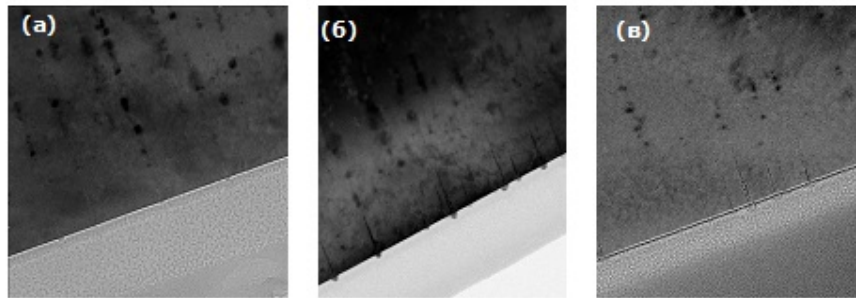


Рисунок 5 – Снимки просвечивающей электронной микроскопии латентных треков 220 МэВ Хе в  $\text{TiO}_2$  (при температуре облучения  $T_{i r}=573$  К (а),  $T_{i r}=773$  К (б),  $T_{i r}=973$  К (в)) в геометрии поперечного сечения

Для того чтобы экспериментально измерить размеры латентных треков в  $\text{TiO}_2$  была использована программа ImageJ. После обработки радиусов треков были получены значения радиусов  $3,1 \pm 0,7$  нм при  $T_{i r}=573$  К,  $3,5 \pm 0,5$  при  $T_{i r}=773$  К и  $3,9 \pm 0,8$  при  $T_{i r}=973$  К.

Результаты расчетов параметров латентных треков представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные и экспериментальные значения параметров латентных треков в  $\text{TiO}_2$  при разных температурах

Температура облучения (Т, К)	Радиус треков (R, нм)					Порог образования треков ( $S_{\text{et,кэВ/нм}}$ )	
	Эксперимент $R_{\text{exp}}$	аналитическая		неупругая		аналитическая Set (analytical)	неупругая Set (inelastic)
		$R_{\text{aTS}} (\gamma=0,4)$	$R_{\text{aTS}} (\gamma=0,14)$	$R_{\text{iTS}} (\lambda=5,8)$	$R_{\text{iTS}} (\lambda=7,4)$		
573	3,1+0,7	5,3	3	4,2	3	11,54	6,14
773	3,5+0,8	5,6	3,4	4,6	3,5	10,15	5,35
973	3,9+0,8	5,9	3,8	5	3,9	8,69	4,56

**Закключение.** В настоящей работе методом просвечивающей электронной микроскопии были определены значения порога образования и размеров латентных треков в  $\text{TiO}_2$  (рутил), образующихся в результате облучения ионами Хе с энергией 220 МэВ при разных температурах облучения. Экспериментально полученные параметры треков были сопоставлены с расчетными значениями, полученными в рамках модели термического пика. Неупругая модель термического пика показала хорошую предсказательную способность, в то время как оценки в рамках аналитической модели оказались существенно завышены. Такой результат может быть обусловлен рядом причин, среди которых одну из решающих ролей играет более детальное рассмотрение процессов передачи и диссипации энергии от БТИ к материалу мишени в рамках неупругой модели термического пика. Результаты работы позволяют сделать вывод о том, что экспериментально определяемые параметры латентных треков для случая облучения  $\text{TiO}_2$  быстрыми тяжелыми ионами укладываются в рамки неупругой модели термического пика.

## Список литературы

- 1 Desauer F. The thermal spike model // *Physik*. -1923. -Vol. 38. -P.12.
- 2 Chadderton L.T., Montagu-Pollock H.M. Fission fragment damage to crystal lattices: heat-sensitive crystals // *Proc. Roy. Soc. A* 274. -1997. -P. 239.
- 3 Seitz F., Koehler J.S. Displacement of atoms during irradiation // *Solid State Phys.*2. -1956. -P. 307-442.
- 4 Lifshitz I.M., Kaganov M.I., Tanatarov L.V. On the theory of radiation-induced changes in metals // *Journal of Nuclear Energy. Part A. Reactor Science*. - 1960. -Vol. 12. -P.69.
- 5 Miterev A.M. Theoretical aspects of the formation and evolution of charged particle tracks // *Physics-Uspekhi*. -2002. -Vol. 45. -P. 1019-1050.
- 6 Szenes G. General features of latent track formation in magnetic insulators irradiated with swift heavy ions // *Physical Review B* 51. -1995. -P. 8026.
- 7 Szenes G. Ion-velocity-dependent track formation in yttrium iron garnet: A thermal-spike analysis // *Physical Review B* 52. -1995. -P. 6154.
- 8 Trinkaus H. Local stress relaxation in thermal spikes as a possible cause for creep and macroscopic stress relaxation of amorphous solids under irradiation // *Journal of Nuclear Materials*. -1995. -Vol.223. -P.196-201
- 9 Toulemonde M., Dufour Ch., Meftah A., Paumier E. Transient thermal processes in heavy ion irradiation of crystalline inorganic insulators // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. -2000. -Vol. 166-167. -P.903-912.
- 10 Trautmann C., Toulemonde M., Dufour C., Paumier E. Effect of radial energy distribution on ion track etching in amorphous metallic Fe<sub>81</sub>B<sub>13</sub>.<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>.<sub>5</sub>C<sub>2</sub> // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. -1996. -Vol. 108. -P. 94.
- 11 Meftah A., Brisard F., Costantini J.M., Dooryhe E., Hage-Ali M., Hervieu M., Stoquert J.P., Studer F., Toulemonde M. Track formation in SiO<sub>2</sub> quartz and the thermal-spike mechanism // *Phys. Rev. B* 49. -1994. -P. 12457.
- 12 Meftah A., Djebara M., Khalfaoui N., Toulemonde M. Sputtering of vitreous SiO<sub>2</sub> and Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> in the electronic stopping power region: A thermal spike description // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. -1998. -Vol.146. -P. 431-436.
- 13 Dufour Ch., Audouard A., Beuneu F., Dural J., Girard J.P., Hairie A., M. Levalois, E. Paumier, M. Toulemonde A high-resistivity phase induced by swift heavy-ion irradiation of Bi: a probe for thermal spike damage? // *J. Phys. Condens. Matter*. -1993. -Vol. 5. -P.4573.
- 14 Dufour Ch., Wang Z.G., Paumier E., Toulemonde M. Transient thermal process induced by swift heavy ions: Defect annealing and defect creation in Fe and Ni // *Bull. Mater. Sci*. -1999. -Vol.22. -P. 671-677.
- 15 Wang Z.G., Dufour Ch., Paumier E., Toulemonde M. The Se sensitivity of metals under swift-heavy-ion irradiation: a transient thermal process // *J. Phys. Condens. Matter*. -1994. -Vol. 6. № 34. -P. 6733.
- 16 Dufour C., Lesellier de Chezelles B., Delignon V., Toulemonde M., Paumier E. A transient thermodynamic model for track formation in amorphous semi-conductors: a possible mechanism // *Modifications Induced by Irradiation in Glasses* ed. by P. Mazzoldi. - 1992. -P. 61-66.
- 17 Szenes G. Comparison of two thermal spike models for ion-solid interaction // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. -2011. Vol.269. -P. 174-179.
- 18 Klaumnzer S. Thermal-spike models for ion track physics: A critical examination // *Matematisk-Fysiske Meddelelser* -2006. -Vol. 52. -P. 293.
- 19 Lindhard J., Scharff M. Energy Dissipation by Ions in the kev Region // *Physical Review Letters* 124. - 1961. -P.128.
- 20 Toulemonde M., Assmann W., Dufour C., Meftah A., Studer F., Trautmann C. Experimental phenomena and thermal spike model description of ion tracks in amorphisable inorganic insulators // *Mat. Fys.Medd*. - 2006. -Vol.52. -P. 263.
- 21 Kaganov M., Lifshitz I.M., Tanatarov L.V. Relaxation between electrons and the crystalline lattice // *Sov. Phys. JETP* 4. -1957. -P. 173.
- 22 Kaganov M., Lifshitz I.M., Tanatarov L.V. Relaxation between electrons and the crystalline lattice // *Sov. Phys. JETP* 4. -1957. -P. 178.
- 23 Lifshits I.M., Kaganov M.I., Tanatarov L.V. On the theory of radiation-induced changes in metals // *J. Nucl. Energy A*. -1960. -Vol. 12. - P. 69-78.
- 24 Hermes P., Danielzik B., Fabricius N., Linde von der D., Luhl J., Heppner Y., Stritzker B., Pospieszczyk A. Evaporation of atoms from femtosecond laser-heated gallium arsenide // *Appl. Phys. A*. -1986. -Vol. 39. -P. 9-11.
- 25 M. Toulemonde. Irradiation by swift heavy ions: Influence of the non-equilibrium projectile charge state for near surface experiments // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. -2006. -Vol.250. -P.263-268.
- 26 Ryazanov A.L., Trinkaus H., Volkov A.E. Incubation Dose for Ion Beam Induced Anisotropic Growth of Amorphous Alloys: Insight into Amorphous State Modifications // *Physical Review Letters* 84. - 2000. -P.919
- 27 Hou M.D., Klaumnzer S., Schumacher G. Dimensional changes of metallic glasses during bombardment with fast heavy ions // *Physical Review B* 41. - 1990. -P.1144 (1990).
- 28 Benyagoub A., Loffler S., Rammensee R., Klaumnzer S. Ion-beam-induced plastic deformation in vitreous silica // *Radiation Effects and Defects in Solids* . -1989. Vol. 110. -P. 217-219.

- 29 Benyagoub A., Lffler S., Rammensee M., Klaumunzer S. and Saemann-Ischenko G. Plastic deformation in SiO<sub>2</sub> induced by heavy-ion irradiation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. - 1992, -Vol.-65.-P. 228-231
- 30 Benyagoub A., Klaumunzer S., Toulemonde M. Scanning force microscopy of heavy-ion tracks in Lithium fluoride // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. - 1998. -Vol.146. -P.449-454.
- 31 Dufour C., Stoquert J.P., Toulemonde M. A code for transient thermal processes in insulators. // Abstracts of EuNITT Workshop on Ion Track Technology. -2002. -P.46.
- 32 Awazu K., Wang X., Fujimaki M. Structure of latent tracks in rutile single crystal of titanium dioxide induced by swift heavy ions // The Journal of Applied Physics. - 2006. -Vol. 100, №4. -P. 044308.

Г.М. Аралбаева, Ш.Г. Гиниятова

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

**TiO<sub>2</sub> -де латентті тректердің параметрлерін бағалауға арналған термиялық шыңның моделі**

**Аңдатпа** Бұл жұмыс заттағы тез ауыр иондардың радиациялық әсерлерін зерттеуге арналған. Термиялық шыңы моделі аясында әртүрлі температураларда 220 МэВ энергиясымен <sup>132</sup>Xe иондарымен сәулелендіру нәтижесінде TiO<sub>2</sub> -де латентті тректерді қалыптастыру үдерісі қарастырылды. Осы жұмыс барысында сәулелендіру температурасына байланысты латентті тректердің пайда болу шегі мен мөлшеріне теориялық баға берілді. Есептеу нәтижелері жарық беретін электрондық микроскопия әдісімен алынған эксперименталды деректермен салыстырылады. Латентті тректердің пайда болу процесін сипаттау үшін термиялық шыңның аналитикалық және серпімсіз модельдерінің қолданылуы мәселесі талқыланады және салыстыру келтіріледі.

**Түйін сөздер:** TiO<sub>2</sub>, ЖЭМ, хиллоктар, латентті тректер, жылдам ауыр иондар, энергия жоғалту.

G.M. Aralbayeva, Sh.G. Giniyatova

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

**The thermal spike model to estimate the parameters of latent tracks in TiO<sub>2</sub>**

**Abstract:** This work is devoted to the study of the radiation effects of fast heavy ions in the substance. The process of formation of latent tracks in TiO<sub>2</sub> as a result of irradiation with ions <sup>132</sup>Xe with energy of 220 MeV at different temperatures is considered in the framework of the thermal peak model. In the course of this work, a theoretical assessment of the threshold of formation and size of latent tracks depending on the irradiation temperature was made. The calculation results are compared with experimental data obtained by transmission electron microscopy. The comparison and discussion of the applicability of analytical and inelastic thermal peak models to describe the formation of latent tracks is given.

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>, PAM, hillocks, latent tracks, fast heavy ions, energy loss.

## References

- 1 Desauer F. The thermal spike model, Physik, 38, (1923).
- 2 Chadderton L.T., Montagu-Pollock H.M. Fission fragment damage to crystal lattices: heat-sensitive crystals, Proc. Roy. Soc. A, 274, 239 (1997).
- 3 Seitz F., Koehler J.S. Displacement of atoms during irradiation, Solid State Phys. 2, 307-442 (1956).
- 4 Lifshitz I.M., Kaganov M.I., Tanararov L.V. On the theory of radiation-induced changes in metals, Journal of Nuclear Energy. Part A. Reactor Science, 12, 69 (1960).
- 5 Miterev A.M. Theoretical aspects of the formation and evolution of charged particle tracks, Physics-Uspekhi, 45, 1019-1050 (2002).
- 6 Szenes G. General features of latent track formation in magnetic insulators irradiated with swift heavy ions, Physical Review B, 51, 8026 (1995).
- 7 Szenes G. Ion-velocity-dependent track formation in yttrium iron garnet: A thermal-spike analysis, Physical Review B, 52, 6154 (1995).
- 8 Trinkaus H. Local stress relaxation in thermal spikes as a possible cause for creep and macroscopic stress relaxation of amorphous solids under irradiation, Journal of Nuclear Materials, 223, 196-201 (1995).
- 9 Toulemonde M., Dufour Ch., Meftah A., Paumier E. Transient thermal processes in heavy ion irradiation of crystalline inorganic insulators, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 166-167, 903-912 (2000).
- 10 Trautmann C., Toulemonde M., Dufour C., Paumier E. Effect of radial energy distribution on ion track etching in amorphous metallic Fe<sub>81</sub>B<sub>13.5</sub>Si<sub>3.5</sub>C<sub>2</sub>, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 108, 94 (1996).
- 11 Meftah A., Brisard F., Costantini J.M., Dooryh?e E., Hage-Ali M., Hervieu M., Stoquert J.P., Studer F., Toulemonde M. Track formation in SiO<sub>2</sub> quartz and the thermal-spike mechanism, Phys. Rev. B, 49, 12457 (1994).
- 12 Meftah A., Djebara M., Khalfaoui N., Toulemonde M. Sputtering of vitreous SiO<sub>2</sub> and Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> in the electronic stopping power region: A thermal spike description, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 146, 431-436 (1998).

- 13 Dufour Ch., Audouard A., Beuneu F., Dural J., Girard J.P., Hairie A., M. Levalois, E. Paumier, M. Toulemonde A high-resistivity phase induced by swift heavy-ion irradiation of Bi: a probe for thermal spike damage?, *J. Phys. Condens. Matter*, 5, 4573 (1993).
- 14 Dufour Ch., Wang Z.G., Paumier E., Toulemonde M. Transient thermal process induced by swift heavy ions: Defect annealing and defect creation in Fe and Ni, *Bull. Mater. Sci.*, 22, 671-677 (1999).
- 15 Wang Z.G., Dufour Ch., Paumier E., Toulemonde M. The Se sensitivity of metals under swift-heavy-ion irradiation: a transient thermal process, *J. Phys. Condens. Matter*, 6, 34, 6733 (1994).
- 16 Dufour C., Lesellier de Chezelles B., Delignon V., Toulemonde M., Paumier E. A transient thermodynamic model for track formation in amorphous semi-conductors: a possible mechanism?, *Modifications Induced by Irradiation in Glasses* ed. by P. Mazzoldi, 61-66 (1992).
- 17 Szenes G. Comparison of two thermal spike models for ion-solid interaction, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 269, 174-179 (2011).
- 18 Klaumunzer S. Thermal-spike models for ion track physics: A critical examination, *Matematisk-Fysiske Meddelelser*, 52, 293 (2006).
- 19 Lindhard J., Scharff M. Energy Dissipation by Ions in the kev Region, *Physical Review Letters*, 124, 128 (1961).
- 20 Toulemonde M., Assmann W., Dufour C., Meftah A., Studer F., Trautmann C. Experimental phenomena and thermal spike model description of ion tracks in amorphisable inorganic insulators, *Mat. Fys.Medd.*, 52, 263 (2006).
- 21 Kaganov M., Lifshitz I.M., Tanatarov L.V. Relaxation between electrons and the crystalline lattice, *Sov. Phys. JETP*, 4, 173 (1957).
- 22 Kaganov M., Lifshitz I.M., Tanatarov L.V. Relaxation between electrons and the crystalline lattice, *Sov. Phys. JETP* 4, 4, 173 (1957).
- 23 Lifshits I.M., Kaganov M.I., Tanatarov L.V. On the theory of radiation-induced changes in metals, *J. Nucl. Energy A.*, 12, 69-78 (1960).
- 24 Hermes P., Danielzik B., Fabricius N., Linde von der D., Luhl J., Heppner Y., Stritzker B., Pospieszczyk A. Evaporation of atoms from femtosecond laser-heated gallium arsenide, *Appl. Phys. A*, 39, 9-11 (1986).
- 25 M. Toulemonde. Irradiation by swift heavy ions: Influence of the non-equilibrium projectile charge state for near surface experiments, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 250, 263-268 (2006).
- 26 Ryazanov A.L., Trinkaus H., Volkov A.E. Incubation Dose for Ion Beam Induced Anisotropic Growth of Amorphous Alloys: Insight into Amorphous State Modifications, *Physical Review Letters* 84, 919 (2000).
- 27 Hou M.D., Klaumunzer S., Schumacher G. Dimensional changes of metallic glasses during bombardment with fast heavy ions, *Physical Review B*, 41, 1144 (1990).
- 28 Benyagoub A., Loffler S., Rammensee R., Klaumunzer S. Ion-beam-induced plastic deformation in vitreous silica, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 110, 217-219 (1989).
- 29 Benyagoub A., Loffler S., Rammensee M., Klaumunzer S. and Saemann-Ischenko G. Plastic deformation in SiO<sub>2</sub> induced by heavy-ion irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 65, 228-231 (1992).
- 30 Benyagoub A., Klaumunzer S., Toulemonde M. Scanning force microscopy of heavy-ion tracks in Lithium fluoride, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 146, 449-454 (1998).
- 31 Dufour C., Stoquert J.P., Toulemonde M. A code for transient thermal processes in insulators., *Abstracts of EuNITT Workshop on Ion Track Technology*, 46 (2002).
- 32 Awazu K., Wang X., Fujimaki M. Structure of latent tracks in rutile single crystal of titanium dioxide induced by swift heavy ions, *The Journal of Applied Physics*, 100, 044308 (2006).

#### Сведения об авторах

*Аралбаева Г.М.* - магистр физики, старший преподаватель кафедры "Техническая физика", Физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымухана, 13, г. Нур-Султан, Казахстан.

*Гиниятова Ш.Г.* - кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель декана физико-технического факультета, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымухана, 13, г. Нур-Султан, Казахстан.

*Aralbayeva G.M.* - Senior lecturer of the Department of Technical Physics, Master of physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Giniyatova Sh.G.* - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Deputy Dean of the Department of Physics and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Поступила в редакцию 15.05.2017*



«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).

ГТАМРК <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 формулаларсүзсіз, 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 тұйым 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., Темирғалиев 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. Соңынан транслиттік аударма мен ағылшын тілінде берілген әдебиеттер тізімінен соң әр автордың жеке мәліметтері (қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде – ғылыми атағы, қызметтік мекенжайы, телефоны, e-mail-ы) беріледі.

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

**9. Төлемақы.** Басылымға рұқсат етілген мақала авторларына төлем жасау туралы ескертіледі. Төлем көлемі 2018 жылы 4500 тенге – 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: 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: HSBKZKX

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](http://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 Нургазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. **newspaper articles**

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

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

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

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. Стилевой файл можно скачать со сайта журнала *bulphysast.enu.kz*. Автору (авторам) необходимо предоставить сопроводительное письмо.

**Язык публикаций:** казахский, русский, английский.

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

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

5. **Схема построения статьи**

**ГРНТИ** <http://grnti.ru/>

**Инициалы и фамилия автора(ов)**

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

**E-mail** автора(ов)

**Название статьи**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Примеры оформления списка литературы**

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

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

3 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 трех дней необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

**Периодичность журнала:** 4 раза в год.

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

Реквизиты:

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

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

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"

## Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 27.25.19

А.Ж. Жубанышева<sup>1</sup>, Н. Темиргалиев<sup>2</sup>, А.Б. Утесов<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан*

(Email: <sup>1</sup> *axaulezh@mail.ru*, <sup>2</sup> *ntmath10@mail.ru*, <sup>3</sup> *adilzhan\_71@mail.ru*)

### Численное дифференцирование функций в контексте Компьютерного (вычислительного) перечника

#### Введение

Текст введения...

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

#### Заголовок секции

##### 1.1 Заголовок подсекции

Окружения.

Теорема 1. ...

Лемма 1. ...

Предложение 1. ...

Определение 1. ...

Следствие 1. ...

Замечание 1. ...

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

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

#### 2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N \left( \varepsilon_N; \left( l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y, \quad (28)$$

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

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

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

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

Таблица 3 – Название таблицы

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

#### 3. Ссылки и библиография

Для ссылок на утверждения, формулы и т. п. можно использовать метки. Например, теорема 2, Формула (28)

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.



Рисунок 1 – Название рисунка

## Список литературы

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

А.Ж. Жубанышева<sup>1</sup>, Н. Темиргалиев<sup>1</sup>, А.Б. Утесов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Қ.Жубанов атындағы. Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

**Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде функцияларды сандық дифференциалдау**

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

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

A.Zh.Zhubanysheva<sup>1</sup>, N. Temirgaliyev<sup>1</sup>, A.B. Utesov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> K.Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan

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

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

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

## References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislennoogo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]
- 2 Temirgaliyev N. Komp'yuternyj (vychislitel'nyj) poperechnik kak sintez izvestnogo i novogo v chislennoom analize [Computational (numerical) diameter as a synthesis of the known and the new in numerical analysis], Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University], 4 (101), 16-33 (2014). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcyj s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionalov i ih primenenija k poperechnikovym zadacham [About the norms of the derivatives of functions with zero values of a given set of linear functionals and their application to the width problems]. Tezisy докладov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennaja 110-letiju so dnja rozhdenija akademika S.M.Nikol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teorija priblizhenija funkcyj" [International conference on Function Spaces and Approximation Theory dedicated to the 110th anniversary of S. M. Nikol'skii]. Moscow, 2015, pp. 141-142. [in Russian]



- 4 Kurmukov A. A. Angioprotekturnaja i gipolipidemicheskaaja aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Куров В.А., Мижличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии [The analytic method of embedding symplectic geometry], Cibirskie jelektronnye matematicheskie izvestija [Siberian Electronic Mathematical Reports], **14**, 657-672 (2017). doi: 10.17377/semi.2017.14.057. Available at: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. [in Russian]. (accessed 08.01.2017).

**Сведения об авторах:**

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

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

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

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

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

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

*Поступила в редакцию 15.05.2017*

Редакторы: А.Қ. Арынгазин  
Шығарушы редактор, дизайн: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің  
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.  
-2019 - 2(127) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 100-б.  
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана.

Мазмұнына типография жауап бермейді.

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды