

ISSN 2616-6836

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of the L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№3(124)/2018

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

Астана, 2018

Astana, 2018

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

Бас редактордың орынбасары

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

Редакция алқасы

Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Гиниятова Ш.Г.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лушик А.Ч.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2, 408 б.
Тел.: (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 министрлігімен
тіркелген. 27.03.2018ж. №16999-ж тіркеу куәлігі.

Тиражы: 20 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі, 12/1,
тел.: (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

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

Editorial address: 2, Satpayev str., of.408, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout:
A.Nurbolat

Bulletin of the 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: 20 copies

Address of printing house: 12/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008;

tel.: (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

Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.н., проф. (Россия)
Гиниятова Ш.Г.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Даулетбекова А.К.	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	доктор PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Кутербеков К.А.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.н., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Сауытбеков С.С.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Тлеукенов С.К.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Казахстан)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, каб. 408
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: 20 экземпляров

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажимукана, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (вн. 31-428)

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

№3(124)/2018

МАЗМҰНЫ

<i>Косов В.Н., Федоренко О.В.</i> Вертикальды цилиндрлік арналардағы әртүрлі құрамдағы метан-бутан-дифтордихлорметан изотермиялық үштік газдық қоспадағы «диффузия-концентрациялық гравитациялық конвекция» режимдерінің ауысу шекарасы	8
<i>Абуова А.У., Абуова Ф.У., Ақилбеков А.Т., Джунисбекова Д.А., Бақтыбаева Д.Б.</i> Модифицирленбеген BiCuSeO және Гейслер құймалары үшін ZT төзімділігінің электрондық үлесі	14
<i>Аралбаева Г.М.</i> Жоғары энергетикалық ауыр иондардың әсерінен туындаған хиллоктардың өлшемін бағалау	21
<i>Буртебаев Н., Фомичёв А.С., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж.К., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е., Насурлла М., Ходжаев Р., Аймаганбетов А.С., Амангелди Н., Ергалиұлы Г.</i> Оптикалық және фолдинг модельдер аясында альфа-бөлшектердің ^{12}C ядроларында серпімді шашырау процесстерін зерттеу	26
<i>Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> $f(R)$ гравитациясының максвеллдік мүшесі және g -эссенциясы модельдің экспоненциальды шешемі	33
<i>Сагидуллаева Ж.М.</i> Екі қабатты М-ХСІХ теңдеуі мен екі компонентті Шредингер-Максвелл-Блох теңдеуінің калибровті эквиваленттігі туралы	41
<i>Шанина З.К., Мырзакулов Е.М.</i> Бозондық ішек-скалярлық модель	47

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

№3(124)/2018

CONTENTS

<i>Kossov V.N., Fedorenko O.V.</i> The boundary of “diffusion – concentration gravitational convection” regime change in the isothermal ternary gas mixture of methane-butane-difluorodichlor-methane with various compositions in vertical cylindrical channels	8
<i>Abuova A.U., Abuova F.U., Akilbekov A.T., Junisbekova D.A., Baktybayeva D.B.</i> Electronic contribution to the quality factor of ZT for Heusler alloys and unmodified BiCuSeO	14
<i>Aralbayeva G.M.</i> Estimation of the size of hillocks caused by swift heavy ions	21
<i>Burtebayev N., Fomichev A.S., Janseitov D.M., Kerimkulov Z h.K., Zholdybayev T.K., Alimov D.K., Mukhamejanov Y., Nassurlla M., Khojayev R., Aimaganbetov A.S., Amangeldi N., Yergaliuly G.</i> Investigation of elastic scattering of alpha-particles from ^{12}C in optical and folding models	26
<i>Razina O.V., Tsyba P.Yu.</i> Development of technological desalination schememineralized water and material balance for engineering calculation of the installation	33
<i>Sagidullayeva Zh.M.</i> On the gauge equivalence of the two-layer M-XCIX equation and the two-component Schrödinger-Maxwell-Bloch equation	41
<i>Shanina Z.K., Myrzakulov Y.M.</i> Bosonic string-scalar model	47

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

№2(123)/2018

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Косов В.Н., Федоренко О.В.</i> Граница смены режимов «диффузия – концентрационная гравитационная конвекция» в изотермической тройной газовой смеси метан-бутан-дифтордихлорметан при различных составах в вертикальных цилиндрических каналах	8
<i>Абуова А.У., Абуова Ф.У., Акилбеков А.Т., Джунисбекова Д.А., Бактыбаева Д.Б.</i> Электронный вклад добротность ZT для сплавов Гейслера и немодифицированного BiCuSeO	14
<i>Аралбаева Г.М.</i> Оценка размера хиллоков, вызываемых тяжелыми ионами высоких энергий	21
<i>Буртебаев Н., Фомичёв А.С., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж.К., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е., Насурлла М., Ходжаев Р., Аймаганбетов А.С., Амангелди Н., Ергалиұлы Ф.</i> Исследование процессов упругого рассеяния альфа-частиц на ядрах ^{12}C в рамках оптического и фолдинг моделей	26
<i>Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> Экспоненциальное решение модели $f(R)$ гравитации с максвелловским членом и g -эссенцией	33
<i>Сагидуллаева Ж.М.</i> О калибровочной эквивалентности двухслойного уравнения М-ХСІХ и двухкомпонентного уравнения Шредингера-Максвелла-Блоха	41
<i>Шанина З.К., Мырзакулов Е.М.</i> Бозонная струнно-скалярная модель	47

Г.М. Аралбаева

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
(E-mail: gulnara_aralbayeva@mail.ru)*

Оценка размера хиллоков, вызываемых тяжелыми ионами высоких энергий

Аннотация: Исследована температурная зависимость высоты хиллоков на поверхности кристаллов TiO_2 . Облучение проводилось на монокристаллическом кристалле рутила TiO_2 с поверхностью облучения [110] с использованием ионов ксенона с энергией 220 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{10}$ ион/см². Облучения проводились при температурах 80 К и 1000 К. Экспериментально было обнаружено, что средняя высота хиллока увеличивается с температурой облучения. Проведены оценки изменения высоты хиллоков в зависимости от температуры облучения в рамках модели термического пика. Определена роль вязкости материала в формировании хиллоков путем сравнения двух подходов, на основе закона Бернулли и уравнений Навье-Стокса.

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

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-362018-124-3-21-25>

Введение. Эффекты, возникающие вследствие облучения диэлектриков быстрыми тяжелыми ионами представляют интерес как для различных прикладных задач, так и для фундаментальных исследований. В настоящее время известно, что в большинстве изоляторов, при соблюдении ряда условий, вдоль траектории быстрого тяжелого иона в объеме образуется "латентный трек" - область разупорядоченного, деформированного, изменившего свои свойства относительно начального состояния, материала. В то же время на поверхности облученного материала, в местах входа тяжелых ионов в мишень, формируются "хиллоки" - кристаллические или аморфные хиллоки на облученной поверхности, являющиеся началом латентных треков, уходящих вглубь материала.

На сегодняшний день достаточно подробно изучено влияние параметров облучения (энергия ионов, величина ионизационных потерь энергии, температура облучения, внешнее давление и т.) на изменение параметров латентных треков (размер, порог образования), регистрируемых после облучения. На основе этих данных предложены модели (модель термического пика, модель кулоновского взрыва, модель ударных волн и т.д.), описывающие процесс формирования повреждений, вызванных прохождением БТИ. В отличие от латентных треков зависимость параметров хиллоков (высота, диаметр, форма, порог образования) от различных условий облучения изучена менее подробно, несмотря на то, что хиллоки так же, как и латентные треки, могут заключать в себе большое количество полезной информации, необходимой для полного понимания процессов при взаимодействии БТИ с веществом.

Ранее, в экспериментах по облучению монокристаллов TiO_2 ионами ксенона с энергией 220 МэВ при пониженной (80 К) и повышенной температуре (1000 К) методом ПЭМ, нами была измерена высота хиллоков, формируемых в результате облучения [2].

В данной работе, ниже представлены оценки высоты хиллоков в зависимости от температуры облучения, выполненные в рамках неупругой модели термического пика.

Объекты, методы исследования. Монокристаллы TiO_2 со структурой рутила и имеющей поверхность [110] производства корпорации МТИ (США) были облучены ионами Хе 220 МэВ до флюенсов $5 \cdot 10^{10}$ ион/см² при температурах 80 и 1000 К на циклотроне ДЦ 60 в г. Астане (Казахстан). Исследование поверхности облученных образцов измерения проводились в Междисциплинарном научно-исследовательском центре при Евразийском национальном университете имени Л.Н.Гумилева (Астана, Казахстан) с помощью сканирующего зондового микроскопа AIST-NT SPM Control Software. Измерения проводились в полуконтактном режиме с резонансной частотой ~ 300 кГц. Проведены оценки изменения высоты

хиллоков в зависимости от температуры облучения в рамках модели термического пика. Определена роль вязкости материала в формировании хиллоков путем сравнения двух подходов, на основе закона Бернулли и уравнений Навье-Стокса. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными, полученными методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

Экспериментальные результаты и обсуждение.

Описание процесса выдавливания хиллока на поверхность. Для оценки скорости выдавливания хиллока на поверхность использовались два подхода. В первом подходе рассматривался поток идеальной несжимаемой жидкости, и для оценки скорости потока расплавленного вещества использовался закон Бернулли. Во втором подходе рассматривался поток вязкой жидкости для описания которого использовались уравнения Навье-Стокса.

Использование закона Бернулли для оценки скорости потока расплавленного вещества. Предположим, что хиллоки на поверхности TiO_2 после пролета БТИ образуются в результате выдавливания расплавленного материала на поверхность из-за механического напряжения, которое возникает в результате теплового расширения. Аналогичное предположение было сделано в работе [3], где расплавленный материал выходит на поверхность с некоторой постоянной средней скоростью, v , в течение времени, τ , после чего, расплавленный материал застывает. Таким образом, высота хиллока h , может быть определена как:

$$h = v\tau \tag{1}$$

Время, в течение которого происходит выдавливание материала на поверхность может быть оценено в рамках аналитической модели термического пика по формуле (2), как это было сделано в работе [3], либо в рамках модели неупругой термического пика, определив период времени, когда материал находится в жидком состоянии.

$$\tau = \frac{S_e - 2,7\pi\rho c\Delta T a^2(0)}{4 * 2,7\pi\rho c\Delta T D} \tag{2}$$

где

S_e - ионизационные потери энергии;

$\alpha(0)$ - параметр аналитической модели термического пика;

c - теплоемкость;

D - температуропроводность;

ρ - плотность;

$\Delta T = T_m - T_{ir}$ - разность между температурой плавления и температурой облучения.

Оценка скорости выдавливания расплавленного материала на поверхность может быть сделана по формуле (3), как это было сделано в [3]:

$$v = \sqrt{\frac{2\sigma_{therm}}{\rho_{lig}}} \tag{3}$$

где

$\sigma_{therm} = \alpha\Delta TE$ - механическое напряжение в результате теплового расширения (α – коэффициент теплового расширения, E – модуль Юнга), ρ_{lig} – плотность в жидком состоянии. В данном случае предполагается, что в области трека под действием механического напряжения возникает стационарный поток идеальной (не вязкой) несжимаемой жидкости.

Использование уравнения Навье-Стокса для оценки скорости выдавливания трека. Здесь рассматривался поток вязкой жидкости для описания которого использовались уравнения Навье-Стокса. Более реалистичная оценка может быть получена в результате решения системы уравнений Навье-Стокса и уравнения непрерывности. В цилиндрической системе координат данная система записывается в виде:

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] \\ \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] \\ \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z) \end{cases} \quad (4)$$

где

$\rho(r, \theta, z)$ - плотность жидкости;

$v_{r,\theta,z}(r, \theta, z)$ - проекции скорости на координатные оси;

$p(r, \theta, z)$ - давление;

$g_{r,\theta,z}$ - проекция ускорения; задаваемые внешними силами

μ - вязкость жидкости.

При рассмотрении стационарного, ламинарного потока жидкости, в цилиндре радиуса α , направленного вдоль оси Z в отсутствие внешних сил и разности давлений Δp на участке длиной L система уравнений (4) имеет точное решение:

$$v_z(r) = \frac{\Delta p \alpha^2}{L 4\mu} \left(1 - \frac{r^2}{\alpha^2} \right) \quad (5)$$

$$v_{max} = \frac{\Delta p \alpha^2}{L 4\mu} \quad (6)$$

Таким образом, скорость потока жидкости изменяется в зависимости от расстояния до центра трека так, как это показано на рисунке 1. В центре трека скорость потока принимает максимальное значение, определяемое по формуле (6), на периферии трека скорость потока также снижается до нуля. Максимальная скорость потока достигается в центральной части цилиндра и снижается до нуля на стенках.

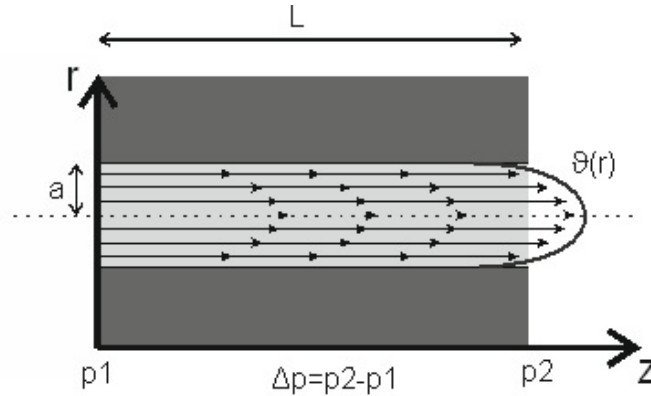


Рисунок 1 - Схематичное изображение ламинарного потока жидкости в цилиндрической области радиуса α , длины L , перепадом давления на концах Δp

Сравнение результатов с ПЭМ исследованиями. Предположим, что выдавливание хиллока происходит из-за линейного перепада давления от 0 Па на поверхности облучаемого материала до $\Delta p = \sigma_{therm} \Delta T E$ на глубине, L порядка 100 нм от поверхности (рисунок 2). Наличие перепада давления в слое ~ 100 нм вблизи поверхности подтверждают ПЭМ снимки треков в геометрии поперечного сечения. Вязкость μ , является свободным параметром, который подбирается так, чтобы результаты оценки соответствовали экспериментальным данным. В случае облучения TiO_2 ионами Хе с энергией 220 МэВ при температуре 80 и 1000 К, оценки близкие к экспериментальным удалось получить для $\mu = 0,001$ Па с (модель iTS) и $\mu = 0,0004$ Па с (модель aTS). На рисунке 2 остаточные напряжения вокруг трека в виде темного контраста наблюдаются начиная с глубины ~ 100 нм от свободной поверхности. Красная линия показывает предполагаемое изменение давления внутри трека с расстоянием от свободной поверхности. Давление меняется линейно от 0 до Δp в приповерхностном слое

от 0 до $L=100$ нм. На глубине больше $L=100$ нм давление остается постоянным и равным по величине Δp .

В литературе отсутствуют данные о вязкости расплавленного оксида титана, однако полученные значения вязкости имеют тот же порядок величины, что и вязкость, известная для некоторых жидкостей при нормальных условиях (ацетон 0,00032 Па с, вода 0,00101 Па с, метиловый спирт 0,00058 Па с) и жидких металлов (ртуть при температуре 500°C , 0,00077 Па с; висмут при температуре 700°C , 0,00093 Па с) [4]-[5][4].

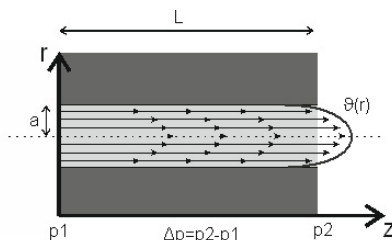


Рисунок 2 - ПЭМ снимок треков 220 МэВ Хе в оксиде титана в геометрии поперечного сечения, температура облучения 1000 К

Заключение. Для оценки скорости выдавливания хиллока на поверхность использовались два подхода. В первом подходе рассматривался поток идеальной несжимаемой жидкости, и для оценки скорости потока расплавленного вещества использовался закон Бернулли. Во втором подходе рассматривался поток вязкой жидкости для описания которого использовались уравнения Навье-Стокса. Согласно оценкам в рамках обоих подходов высота хиллоков растет с увеличением температуры, что находится в соответствии с результатами экспериментов. Однако первый подход дает значительную переоценку экспериментальных данных из-за предположения о нулевой вязкости расплавленного оксида титана. Второй подход дает оценку высоты хиллоков более близкую к экспериментальным значениям, предполагая, что расплавленный оксид титана должен иметь вязкость $\sim 0,001 \sim 0,0004$ Па с. В результате сравнения результатов двух подходов, на основе закона Бернулли и уравнений Навье-Стокса, можно сделать вывод о важной роли вязкости материала в формировании хиллоков.

Список литературы

- 1 O'Connell J.H., Aralbayeva G., Skuratov V.A., Saifulin M., Janse Van Vuuren A., Akilbekov A., Zdorovets M. Temperature dependence of swift heavy ion irradiation induced hillocks in TiO_2 // Mater. Res. Express –2018. –V.5. –P. 1-10. doi: 10.1088/2053-1591/aac0ce.
- 2 Szenes G. Mixing of nuclear and electronic stopping powers in the formation of surface tracks on mica by fullerene impact.// Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms –2002. –V.191. –P. 27-31. doi: 10.1016/S0168-583X(02)00508-6.
- 3 Вязкость. Таблицы значений вязкости. Пояснения. Абсолютная и кинематическая вязкость. – URL: <http://tehtab.ru/guide/guidephysics/vicosityreynolds/guidephysicsviscosity>.
- 4 Свойства металлов, металлы и сплавы. Свойства жидких металлов. Плотность, теплопроводность, вязкость. – URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy/svoystva-zhidkih-metallor-plotnost-teploprovodnost-vyazkost>.

Г.М. Аралбаева

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Жоғары энергетикалық ауыр иондардың әсерінен туындаған хиллоктардың өлшемін бағалау

Аннотация: TiO_2 кристалдарының бетіндегі хиллоктар биіктігінің температурға тәуелділігі зерттелді. Сәулелендіру энергиясы 220 МэВ ксенон иондарымен $5 \cdot 10^{10}$ ион/см² флюенста бекі бағдары [110] рутил TiO_2 монокристалы сәулелендірілді. Сәулелендіру 80 К және 1000 К температурасында жүргізілді. Тәжірибеде хиллоктардың орташа биіктігі сәулелендіру температурасына байланысты екені көрсетілді. Хиллоктардың биіктігі сәулелендіру температурсына тәуелділігі термиялық жарқыл моделі арқылы есептелінді. Хиллоктардың қалыптасуында материалдардың тұтқырлық ролі екі көзқараста Бернулли заңы және Навье-Стокс теңдеулерін салыстыру арқылы анықталды.

Түйін сөздер: TiO_2 , ПЭМ, хиллоктар, латентті тректар, жылдам ауыр ион, энергетикалық шығындар.

Г.М. Aralbayeva

*L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan***Estimation of the size of hillocks caused by swift heavy ions**

Abstract: The temperature dependence of the height of the hillocks on the surface of TiO_2 crystals was investigated. Irradiation was carried out on a single crystal rutile crystal of TiO_2 with an irradiation surface [110] using xenon ions with an energy of 220 MeV to a fluence of $5 * 10^{10}$ ион/см². Irradiation was carried out at temperatures of 80 K and 1000 K. Experimentally, it was found that the average height of hillock increases with irradiation temperature. The changes in the height of the hillocks depending on the irradiation temperature were estimated within the framework of the thermal peak model. The role of material viscosity in the formation of hillocks is determined by comparing the two approaches based on the Bernoulli law and the Navier-Stokes equations.

Keywords: TiO_2 , TEM, hillocks, latent tracks, swift heavy ions, tracks range, ionization energy losses.

References

- 1 O'Connell J.H., Aralbayeva G. , Skuratov V.A. , Saifulin M., Janse Van Vuuren A., Akilbekov A. , Zdorovets M. Temperature dependence of swift heavy ion irradiation induced hillocks in TiO_2 // Mater. Res. Express –2018. –V.5. –P. 1-10. doi: 10.1088/2053-1591/aac0ce.
- 2 Szenes G. Mixing of nuclear and electronic stopping powers in the formation of surface tracks on mica by fullerene impact.// Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms –2002. –V.191. – P. 27-31. doi: 10.1016/S0168-583X(02)00508-6.
- 3 Viscosity. Viscosity tables. Explanations. Absolute and kinematic viscosity. – URL: <http://tehtab.ru/guide/guidephysics/viscosityreynolds/guidephysicsviscosity>.
- 4 Properties of metals, metals and alloys. Properties of liquid metals. Density, thermal conductivity, viscosity.– URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy/svoystva-zhidkih-metallov-plotnost-teploprovodnost-vyazkost>.

Сведения об авторах:

Аралбаева Г.М. – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш. 13, Астана, Қазақстан.

Aralbayeva G.M. – L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 23.06.2018

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://sem.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):

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 27.25.19

А.Ж. Жубанышева¹, Н. Темиргалиев², А.Б. Утесов³

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

² *Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан*

(Email: ¹ *axaulezh@mail.ru*, ² *ntmath10@mail.ru*, ³ *adilzhan_71@mail.ru*)

Численное дифференцирование функций в контексте Компьютерного (вычислительного) перечника

Введение

Текст введения...

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

Заголовок секции

1.1 Заголовок подсекции

Окружения.

Теорема 1. ...

Лемма 1. ...

Предложение 1. ...

Определение 1. ...

Следствие 1. ...

Замечание 1. ...

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

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

2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N \left(\varepsilon_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y, \quad (25)$$

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

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

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

3. Ссылки и библиография

Для ссылок на утверждения, формулы и т. п. можно использовать метки. Например, теорема 2, Формула (25)

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

Для руководства по \LaTeX и в качестве примера оформления ссылок, см., например, *Львовский С.М.* Набор и верстка в пакете \LaTeX . 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 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., 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 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. Жұбанышева¹, Н. Теміргалиев¹, А.Б. Утесов²

¹ *Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің теориялық математика және ғылыми есептеулер институты, Астана, Қазақстан*

² *Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан*

Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде функцияларды сандық дифференциалдау

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

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

A.Zh.Zhubanysheva¹, N. Temirgaliyev¹, A.B. Utesov²

¹ *Institute of theoretical mathematics and scientific computations of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

² *K.Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan*

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

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

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

References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislenngo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]

- 2 Temirgaliyev N. Komp'yuternyj (vychislitel'nyj) poperechnik kak sintez izvestnogo i novogo v chislennom analize [Computational (numerical) diameter as a synthesis of the known and the new in numerical analysis], Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University], **4** (101), 16-33 (2014). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcij s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionalov i ih primeneniya 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.Nicol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teorija priblizhenija funkcij" [International conference on Function Spaces and Approximation Theory dedicated to the 110th anniversary of S. M. Nikol'skij]. Moscow, 2015, pp. 141-142. [in Russian]
- 4 Kurmukov A. A. Angioprotekturnaja i gipolipidemicheskaja aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Kyrov V.A., Mihajlichenko G.G. Analiticheskij metod vloženiya simplekticheskoj geometrii [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:

Жубаньшьева 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, Актобинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, пр. А.Молдагуловой, 34, Актобе, 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.
-2018 - 3(124) - Астана: ЕҰУ. 61-б.
Шартты б.т. - 27,25. Таралымы - 20 дана.

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Астана қ.,
Сәтпаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: (8-717-2) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды