

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

3 (313)

МАМЫР – МАУСЫМ 2017 Ж.

МАЙ – ИЮНЬ 2017 г.

MAY – JUNE 2017

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев У.У. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошқаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Д. PhD докторы (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қырғыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.
Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. доктор PhD (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

E d i t o r i n c h i e f
doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

E d i t o r i a l b o a r d:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. PhD (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskiy I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 313 (2017), 57 – 63

T.M. Aldabergenova^{1,2}, G.Z. Ganeyev¹, S.B. Kislitsin¹, M.K. Dosbolaev²

¹Institute of Nuclear Physics, Ministry of Energy of the RK, Almaty, Kazakhstan,
²Kazakh national university named after Al-Farabi, Almaty

EFFECT OF PULSED PLASMA IRRADIATION ON THERMAL EROSION AND STRUCTURE OF GRAPHITE SURFACE

Abstract. The results of theoretical and experimental studies of graphite thermal erosion effects under pulsed plasma irradiation have been presented. Irradiation of graphite samples was performed on the pulsed plasma accelerator in the Al-Farabi KazNU. The samples were irradiated with 13 pulses $\sim 2 \mu\text{s}$ long with the surface energy release 10 J/cm^2 per pulse and the pulses $\sim 250 \mu\text{s}$ long with the surface energy release 8 J/cm^2 per pulse. Before and after irradiation, the weight of the samples was measured and the surface structure studies were performed using the methods of raster electronic and atomic force microscopy. The theoretical calculations were carried out according to the model based on determination of temperature distribution as a result of pulsed energy release and sublimation of the carbon atom from the surface.

As a result of the completed experimental studies we established that mass losses under pulsed plasma irradiation, with the energy parameters corresponding to the energy release in the ITER during plasma disruption, lead to thermal erosion of the graphite surface. In case of pulse period about several microseconds and the energy release of $\sim 10 \text{ J/cm}^2$, the mass loss is $\sim 0.1\text{-}0.2 \mu\text{g}$ per pulse. In case of pulse period greater two orders of magnitude, i.e. $250\text{-}300 \mu\text{s}$, but with a lower energy release $\sim 8 \text{ J/cm}^2$, the mass loss is $\sim 0.03 \mu\text{g}$. A comparison of the experimental results with the calculations for the presented model showed the satisfactory agreement between the theoretical and experimental data.

Key words: graphite, pulsed plasma irradiation, thermal erosion.

УДК 621.039.66(075), 533.924(075)

Т.М. Алдабергенова^{1,2}, Г.З. Ганеев¹, С.Б. Кислицин¹, М.К. Досболаев²

¹Институт ядерной физики МЭ Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;
²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ ЭРОЗИЮ И СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА

Аннотация. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований эффектов тепловой эрозии графита при импульсном плазменном облучении. Облучение образцов графита выполнялось на импульсном плазменном ускорителе КазНУ им. аль-Фараби. Образцы облучались 13 импульсами длительностью $\sim 2 \text{ мкс}$ с энерговыделением на поверхности 10 Дж/см^2 за импульс и импульсами длительностью $\sim 250 \text{ мкс}$ с энерговыделением на поверхности 8 Дж/см^2 за импульс. До и после облучения измерялась вес образцов и выполнялись исследования структуры поверхности методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии. Теоретические расчеты проводились по модели, основанной на определении распределения температуры за счет импульсного выделения энергии и сублимации атом углерода с поверхности

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что потери массы при импульсном плазменном облучении, с энергетическими параметрами, соответствующими энерговыделению

в ТЯР при срывах плазмы, приводят к тепловой эрозии поверхности графита. При длительности импульса порядка нескольких микросекунд и энергоснабжении ~ 10 Дж/см², потери массы составляют $\sim 0.1-0.2$ мкг за импульс. При длительности импульса на два порядка больше, т.е. 250-300 мкс, но с меньшим энергоснабжением ~ 8 Дж/см², потери массы составляют ~ 0.03 мкг. Сравнение полученных экспериментально результатов с расчетами по представленной модели показали, что наблюдается удовлетворительное согласие теоретических и экспериментальных данных.

Ключевые слова: графит, импульсное плазменное облучение, тепловая эрозия.

Введение

Среди материалов, перспективных для применения в качестве материалов защиты первой стенки термоядерных реакторов (ТЯР), приоритет отдается к материалам с низким атомным номером, высоким порогом физического распыления, высокой теплопроводностью, низкой химической активности к водороду, высокой термостойкостью и температурой плавления [1]. В соответствии с современной точкой зрения, материалы защиты первой стенки и пластин дивертора для токамаков должны быть основаны на углероде, бериллии и вольфраме [2]. Графит обладает перечисленными выше свойствами – высокой температурой плавления, термостойкостью высокой теплопроводностью и может рассматриваться как перспективный материал облицовки первой стенки ТЯР.

В этой связи, нами проведены экспериментальные исследования процессов тепловой эрозии графита марки АРВ при облучении импульсными потоками плазмы, моделирующими срыв плазмы в ТЯР, а также представлена модель и результаты расчетов потери массы при импульсном выделении энергии на поверхности графита, соответствующие выполненным экспериментам. Теоретическая модель расчетов величины тепловой эрозии основана на решении уравнения теплопроводности и определении распределения температур по глубине материала с учетом фазового превращения.

Экспериментальные исследования эффектов тепловой эрозии графита при облучении потоками импульсной плазмы

Для исследований был выбран графит марки АРВ, представляющий собой новое поколение графитов, широко использующийся в настоящее время в реакторостроении. Основные характеристики физико-механических свойств этой марки графита приведены в таблице 1. Подготовлено четыре образца поликристаллического графита, вырезанные из массивной полоски. Образцы имели форму параллелепипеда размерами 10 мм × 10 мм × 0.5 мм. После резки образцы подвергались шлифовке и механической полировке. До облучения импульсными потоками плазмы образцы взвешивали на аналитических весах ОНАУС, точность взвешивания составила ± 0.1 мг. Также были проведены исследования структуры и свойств этих образцов и определен элементный состав методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). По данным РФА, углерод составляет 99.9 ат.%, содержание примесных элементов незначительно, так, содержание хрома не превышает 0.002 ат.%, меди - 0.02 ат.%, цинка – 0.005 ат.%. До облучения импульсными потоками плазмы проведено определение кристаллической структуры АРВ графита методом рентгеноструктурного анализа и установлено что он имеет гексагональную структуру. Отметим, что кристаллическая структура графита при облучении импульсными потоками плазмы изменяется незначительно.

Таблица 1 - Физико-механические свойства графита марки АРВ.

Физический параметр	Обозначение, единица измерения	Значение
Температура плавления,	$T_{пл}$, К	4000
Масса атома,	m_A , а.е.м	512
Плотность,	ρ , кг·м ⁻³	1.69×10^3
Теплопроводность	k , Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹	55
Энтальпия испарения	$\Delta H_{исп}$, Дж·кг ⁻¹	6.0×10^7
Степень черноты	ϵ , отн. ед.	0.86
Прочность на сжатие	σ_b , МПа	24.5-29.4 МПа
Модуль Юнга	E , МПа	7.8 ГПа

Для выявления эффектов плазменного облучения структура поверхности приготовленных образцов до облучения и после облучения исследовалась методами сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе Quanta 3d 200i и атомно-силовой микроскопии на микроскопе Solver spectrum NT-MDT.

Наряду с исследованиями структуры поверхности до и после облучения импульсной плазмой измерялся вес образцов на аналитических весах, см. таблицу 2.

Облучение подготовленных образцов графита после исследования структуры поверхности и взвешивания выполнялось на импульсном плазменном ускорителе КазНУ им. аль-Фараби. Условия облучения образцов № 1-4 приведены в таблице 2. Образцы № 1 и № 2 облучены тринадцатью импульсами длительностью ~ 2 мкс каждый с интервалом между импульсами более 10 мин. Образцы № 3 и № 4 облучены 5 импульсами длительностью ~ 250 с, интервалы между импульсами также были не менее 10 мин. Существенным различием облучения образцов № 1-2 от облучения образцов № 3-4, помимо длительности импульса, является энерговыделение на поверхности за один импульс, см. таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты взвешивания необлученных и облученных образцов графита и условия облучения импульсными потоками плазмы

№	Вес до облучения, г	U, кВ	Длительность импульса, мкс	P, мм рт.ст.	Q, Дж/см ²	Кол-во импульсов	Вес после облучения, г	Потери массы, г
1	0,772	5	2-3	2.7	10	13	0,768	0,004
2	0,811	5	2-3	2.7	10	13	0,810	0,001
3	0,865	12	250-300	2.7	8	4	0,865	0
4	0,844	12	250-300	2.9	8,3	4	0,844	0

Эффекты термической эрозии под действием импульсного плазменного облучения видны из результатов измерения веса образцов графита, приведенных в таблице 2. Как следует из данных таблицы для образцов облученных 13 импульсами длительностью ~ 2.5 мкс с энерговыделением на поверхности 10 Дж/см^2 потери веса составили 4 мг и 1 мг для образцов №1 и №2, соответственно. Различие в измеренных значениях потери веса, по-видимому, связаны с различиями исходной (после подготовки) структуры поверхности. Усредненное значение потери массы при облучении тринадцатью 2 мкс импульсами с энерговыделением 10 Дж/см^2 за импульс оставляет ~ 2.5 мкг.

Облучение пятью 250 мкс импульсами с энерговыделением на поверхности 8 Дж/см^2 , как видно из таблицы 1, не привело к потере веса графита.

Исследования структуры поверхности графита до и после облучения импульсной плазмой образцов №1-4, см. рисунки 1 а-г, подтверждают результаты взвешивания.

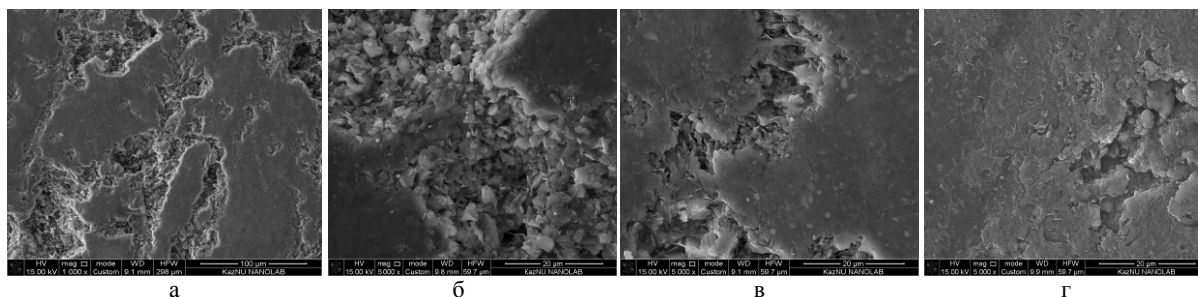


Рисунок 1 - РЭМ снимки поверхности графита: а – образец №1 до облучения, б – образец №1 после облучения 13 импульсами плазмы длительностью 2 мкс, в – образец №3 до облучения, г – после облучения 4 импульсами плазмы длительностью 250 мкс. Увеличение $\times 5000$

Как видно из сравнения изображений поверхности на рисунках 1а и 1б, облучение тринадцатью импульсами плазмы длительностью 2 мкс привело к существенному изменению структуры поверхности. На рисунке 1 б явно наблюдаются следы воздействия облучения, в то время как структура поверхности после облучения четырьмя импульсами длительностью 250 мкс мало

изменилась, см. рисунки 1 в и 1 г. По-видимому, энерговыделения 8 Дж/см^2 недостаточно для существенной сублимации атомов углерода с поверхности. Исследование методом АСМ поверхности графита, подвергнутого воздействию тринадцати импульсных потоков плазмы с энерговыделением 10 Дж/см^2 за импульс длительностью 2 мкс показали, что наблюдается сглаживание поверхности в результате сублимации атомов углерода с облучаемой поверхности, см. рисунки 2 а, б. Структура поверхности образца графита до и после облучения четырьмя импульсами плазмы длительностью 250 мкс и энерговыделением 8 Дж/см^2 практически не изменилась.

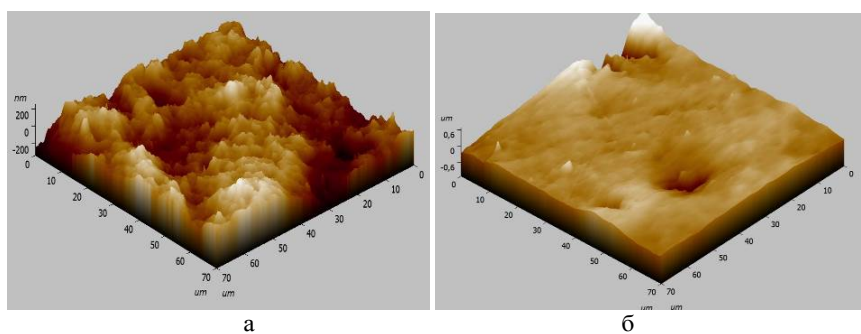


Рисунок 2 - АСМ изображения поверхности графита облучения: а – образец №1 до облучения, б – образец №1 после облучения 13 импульсами плазмы длительностью 2 мкс

Подводя итог экспериментальным исследованиям потерь массы и структуры поверхности, можно заключить, что облучение графита импульсными потоками плазмы может приводить к потерям массы и изменению структуры поверхности при определенном соотношении энерговыделения за импульс и количества импульсов. Так, при энерговыделении 10 кДж/см^2 за импульс, длительностью 2-3 мкс при 13 импульсах наблюдаются эффекты потери массы и сглаживания поверхности. При энерговыделении 8 Дж/см^2 за импульс длительностью ~ 250 с потери массы за 4 импульса не превышают 0.0001 мг (точность взвешивания), т.е. заметного испарения графита с облучаемой поверхности не происходит. СЭМ и АСМ исследования структуры поверхности подтверждают результаты взвешивания - заметные изменения структуры поверхности практически отсутствуют.

Теоретическая модель и расчет потери массы графита при облучении импульсными потоками плазмы

При облучении импульсными потоками плазмы потеря массы с облучаемой поверхности происходит за счет сублимации атомов графита [3]. Расчет потерь массы проводится в два этапа. На первом этапе решается уравнения теплопроводности с учетом фазового превращения (твердое тело - газ) и теплового излучения с облучаемой поверхности:

$$\rho \cdot C_p \cdot \partial T / \partial t = k \Delta T + (J + J_{ev} + \varepsilon \cdot \sigma_{SB} \cdot (T - T_{am})^4)_{\text{обл}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность графита, C_p – удельная теплоёмкость, k – теплопроводность, J – поток энергии вносимый облучением, J_{ev} – поток энергии, уносимый с поверхности за счет сублимации, σ_{SB} – постоянная Стефана Больцмана, T – температура графита, T_{am} – температура окружающей среды. Отметим, что плавление графита в модели не учитывалось, т.к. в литературе отмечается, что плавление графита при воздействии потоков тепла зависит от условий нагрева и наблюдается достаточно редко.

По результатам численных расчетов методом конечных элементов для заданной геометрии облучаемого графита, соответствующей размерам образца в эксперименте по облучению импульсной плазмой (площадь облучаемой поверхности $10 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$, толщина 5 мм), определялось распределение температур по глубине материала в зависимости от времени.

Параметры, используемые в расчетах уравнения (1) для графита приведены в таблице 1.

Теплоёмкость графита C_p в твёрдой фазе задавалась выражениями [4]:

$$C_p(T) = 4.18 \cdot (0.44391 + 0.30795 \cdot 10^{-4} \cdot T - 61257/T^2 + 0.10795 \cdot 10^8/T^3), \text{ при } T \leq 3200\text{K} \quad (2)$$

$$C_p(T) = C_p(3200), \text{ при } T > 3200\text{K}.$$

Т.е. согласно (2), выше температуры 3200 К, теплоёмкость графита полагается постоянной.

На втором этапе рассчитывались потери массы в соответствии с полученным из решения уравнения (1) распределением температуры.

Равновесное значение давления сублимированного газа графита P_{eq} задавалось в соответствии с работой [5]:

$$P_{\text{eq}} = 6.77 \cdot 10^{12} \cdot 10^{(-36781/T)}. \quad (3)$$

Поток энергии J_{ev} , уносимой сублимированными с поверхности атомами, определялся выражением:

$$J_{\text{ev}} = 1/4 \cdot n \cdot v \cdot m_a \cdot \Delta H_{\text{исп}}, \quad (4)$$

где n – число атомов газа в единице объёма, m_a – масса атома, v – средняя скорость молекулы газа. В приближении идеального газа соотношение (4) примет вид:

$$J_{\text{ev}} = P_{\text{eq}} \times [m_a / (2kT\pi)]^{1/2} \Delta H_{\text{исп}}. \quad (5)$$

Соответственно, поток уносимой массы J_m :

$$J_m = J_{\text{ev}} / \Delta H_{\text{исп}}, \quad (6)$$

Результаты расчетов распределения температуры на поверхности образца в зависимости от времени приведены на рисунке 3.

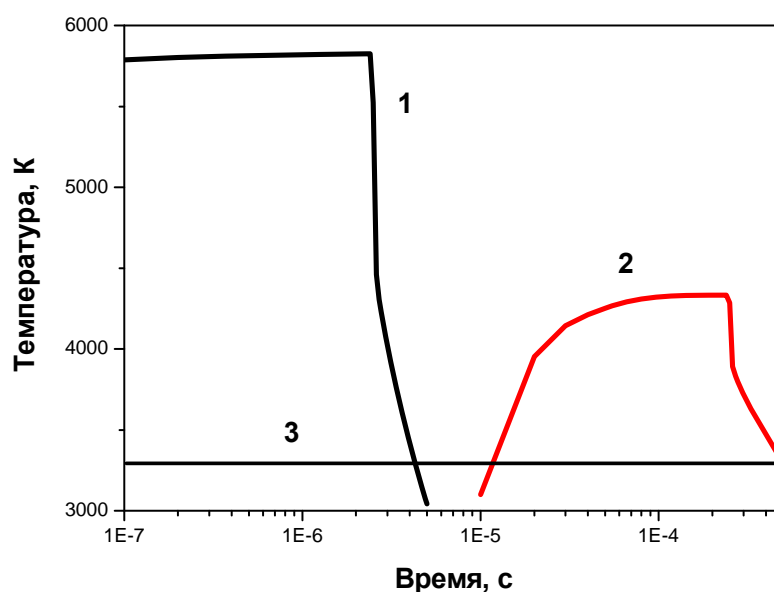


Рисунок 3 - Зависимость температуры на облучаемой поверхности графита от времени при импульсном облучении потоком плазмы; 1 – длительность импульса 2.5 мкс, энерговыделение 10 Дж/см²; 2 – длительность импульса 250 мкс, энерговыделение 8 Дж/см²; 3 - температура сублимации

Из рисунка 3 видно, что температура поверхности графита при импульсе длительностью 2.5 мкс и энерговыделением 10 Дж/см² за импульс (кривая 1) почти на 2 порядка выше температуры поверхности при воздействии импульса длительностью 250 мкс с энерговыделением 8 Дж/см² (кривая 2).

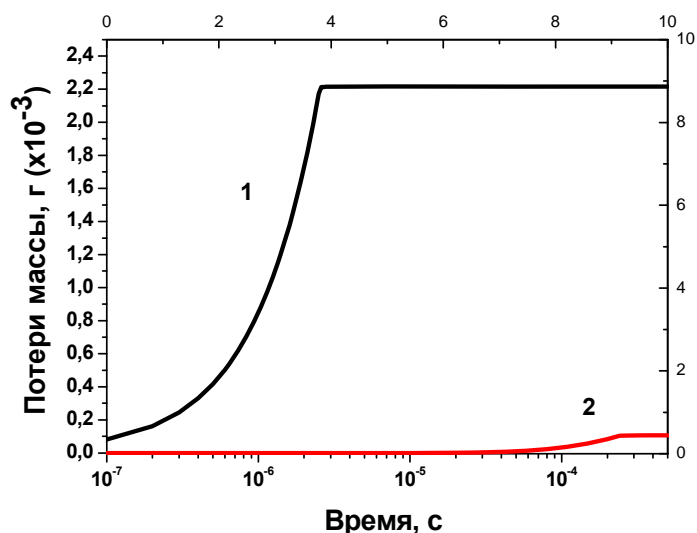


Рисунок 4 - Зависимость потери массы графита от времени облучения импульсными потоками плазмы;
 1 – 13 импульсов длительностью 2,5 мкс с энерговыделением 10 Дж/см²;
 2 – 4 импульса длительностью 250 мкс с энерговыделением 8 Дж/см²

Несмотря на то, что длительность импульса во втором случае также на два порядка выше, сублимация атомов графита и, соответственно, потери массы в первом случае более чем на порядок выше, см. рисунок 4. На рисунке 4 приведены зависимости потери массы образцом графита за 13 импульсов длительностью 2,5 мкс и потоке энергии 10 Дж/см² (кривая 1) и за 4 импульса длительностью 250 мкс и потоке энергии 8 Дж/см² (кривая 2). Поскольку экспериментально определялась суммарная потеря массы графитом за 4 и 13 импульсов (см. таблицу 2), то на рисунках 4 приведен результат расчета, соответствующий эксперименту. Расчетные значения суммарной потери массы за тринадцать 2,5 с с выделением энергии 1 Дж/см² составило 2.16 мкг, для импульсов длительностью 250 мкс и потоке энергии 8 Дж/см² – 0.11 мкг, что соответствует точности измерений веса с помощью аналитических весов ОНАУС. Как видно из сравнения результатов расчетов потери массы с экспериментально измеренными значениями (таблица 2), наблюдается удовлетворительное согласие экспериментальных данных с теоретическими оценками.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что потери массы при импульсном плазменном облучении, с энергетическими параметрами, соответствующими энерговыделению в ТЯР при срывах плазмы, приводят к тепловой эрозии поверхности графита. При длительности импульса порядка нескольких микросекунд и энерговыделении ~ 10 Дж/см², потери массы составляют $\sim 0.1-0.2$ мкг за импульс. При длительности импульса на два порядка больше, т.е. 250-300 мкс, но с меньшим энерговыделением ~ 8 Дж/см², потери массы составляют ~ 0.03 мкг. Сравнение полученных экспериментально результатов с расчетами по представленной модели показали, что наблюдается удовлетворительное согласие теоретических и экспериментальных данных.

Как показал анализ расчетных данных, потери массы зависят от соотношения параметров облучения (энерговыделения и длительности импульса) и физических свойств облучаемого материала – теплопроводности, энергии сублимации, равновесного давления газа. Для материалов с высокой теплопроводностью интенсивный отвод тепла с облучаемой поверхности препятствует локальному плавлению поверхности и испарению, что снижает потери массы.

На основе полученных в работе результатов можно заключить, что представленную модель можно использовать для оценочных расчетов эрозии поверхности графита при импульсном выделении энергии на его поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Мазуль И.В. Идеология выбора материалов защиты первой стенки и дивертора ТЯР. Конструкционные материалы для КТМ. Тезисы Международного семинара «Экспериментальные возможности токамака КТМ и программа исследований». Астана, 10-12 октября 2005. С. 33-35.

[2] Айрапетов А.А., Беграмбеков Л. Б., Вергазов С.В., Кузьмин А.А., Смирнов В.М., Шигин П. А.. Захват и удержание дейтерия в углеродных материалах, облучаемых в плазме // Известия РАН. Серия физическая. - 2010. - Т. 74, N 2. - С.248-253.

[3] Hassane A.M., Kulcinski G.L. and Wolfer W.G. Vaporization and melting of materials in fusion devices // J.Nucl. Mater. - 1981. - V. 103&104. - P.321-326.

[4] Физические величины / Справочник под ред. И.С. Григорьевой, Е.З. Мелихова. -М.: Энергоиздат, 1991. - 1232 с.

[5] Properties and characteristics of graphite. For industrial applications. Special materials. POCO GRAPHITE INC. January 2015. <http://poco.com/Portals/0/Literature/Semiconductor/IND-109441-0115.pdf>

REFERENCES

[1] Mazul I.V. The ideology of selecting the materials for protection of ITER first wall and divertor. Structural materials for KTM. Abstracts of the International Seminar "Experimental Opportunities of Tokamak KTM and Research Program". Astana, 10-12 October, 2005. P. 33-35.

[2] Airapetov A.A., Begrambekov L.B., Vergazov S.V., Kuzmin A.A., Smirnov V.M., Shigin P.A. Capture and retention of deuterium in carbon materials irradiated in plasma // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physical series. - 2010. - V. 74, N 2. - P.248-253.

[3] Hassane A.M., Kulcinski G.L. and Wolfer W.G. Vaporization and melting of materials in fusion devices // J.Nucl. Mater. - 1981. - V. 103&104. - P.321-326.

[4] Physical quantities/Handbook under revision of Grigorieva I.S., Melikhova E.Z.- M: Energoizdat, 1991. - 1232 p.

[5] Properties and characteristics of graphite. For industrial applications. Special materials. POCO GRAPHITE INC. January 2015. <http://poco.com/Portals/0/Literature/Semiconductor/IND-109441-0115.pdf>

ӘОЖ: 621.039.66(075), 533.924(075)

Т.М. Алдабергенова^{1,2}, Г.З. Ганеев¹, С.Б. Кислицин¹, М.К. Досболаев²

¹Ядролық физика институты, Алматы қ., Қазақстан;

²әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан.

ГРАФИТ БЕТІНІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ЭРОЗИЯСЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫНА ИМПУЛЬСТІК ПЛАЗМАЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНДІРУДІҢ ЫҚПАЛЫ

Аннотация. Импульстік плазмалық сәулелендіру кезінде графиттің жылудық эрозиясы эффектілерінің теориялық және эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Графит үлгілерін сәулелендіру әл-Фараби атындағы ҚазҰУ импульстік плазмалық үдеткішінде өткізілді. Үлгілер импульсіне 10 Дж/см² бетте энергияның бөлінуімен ұзақтығы ~ 2 мкс болатын 13 импульспен және импульсіне 8 Дж/см² бетте энергияның бөлінуімен ұзақтығы ~ 250 мкс болатын импульстермен сәулелендірілді. Сәулелендіруге дейін және кейін үлгілердің салмағы өлшенді және растрлы электрондық және атом-күштік микроскопия әдістері арқылы бет құрылымына зерттеулер орындалды. Теориялық есептеулер импульстік энергияның бөлінуі және беттен көміртегі атомының сублимациясы есебінен температураның үлестірілуін анықтауға негізделген модель бойынша жүргізілді.

Өткізілген эксперименттік зерттеулер нәтижесінде плазманың үзілуі кезінде ТЯР энергия бөлулерге сәйкес энергетикалық параметрлермен импульстік плазмалық сәулелендіруде массаның шығыны графит бетінің жылудық эрозиясына әкелетіні анықталды. Импульстің ұзақтығы бірнеше микросекунд және энергияның бөлінуі ~ 10 Дж/см² болғанда, масса шығыны импульсіне ~ 0.1-0.2 мкг құрайды. Екі есе көп импульс ұзақтығында, яғни 250-300 мкс, бірақ энергияның бөлінуі аз ~ 8 Дж/см² болғанда, масса шығыны ~ 0.03 мкг құрайды. Алынған эксперименттік нәтижелерді ұсынылған модель бойынша есептеумен салыстыру теориялық және эксперименттік деректердің қанағаттанарлық келісімі байқалатынын көрсетті.

Түйін сөздер: графит, импульстік плазмалық сәулелендіру, жылудық эрозиясы.

Сведения об авторах:

Алдабергенова Тамара Мустафаевна, ведущий инженер сотрудник, ИЯФ МЭ РК, 050032, Казахстан, Алматы, ул. Ибрагимов, 1. tamaraalga@mail.ru;

Кислицин Сергей Борисович, к.ф.-м.н., нач. Отдела радиационной физики твердого тела, ИЯФ МЭ РК, 050032, Казахстан, Алматы, ул. Ибрагимов, 1. skislitsin@inp.kz;

Ганеев Гелий Закирович, к.ф.-м.н., Ведущий научный сотрудник, ИЯФ МЭ РК, 050032, Казахстан, Алматы, ул. Ибрагимов, 1. ganeev@inp.kz

МАЗМУНЫ

<i>Бердібай С.Б., Парецкая Н.А., Сабитов А.Н., Исламов Р.А., Тамазян Р.А., Токмолдин С.Ж., Ильин А.И., Мартиросян К.С.</i> Иод және оның құрылымымен фенилалалиннің кешенді комплексі	5
<i>Кабышев А.М., Кутербеков К.А., Пенионжкевич Ю.Э., Маслов В.А., Мендибаев К., Соболев Ю.Г., Лукьянов С.М., Кабдрахимова Г.Д., Азнабаев Д., Курманжанов А.Т.</i> Өлшеу кезіндегі модификацияланған трансмиссионды әдіс негізінде – реакциялардың толық өлшемдерінің кателіктерін және ұшып келуші бөлшектердің энергиясы анықтау.....	10
<i>Бердібай С.Б., Парецкая Н.А., Сабитов А.Н., Исламов Р.А., Тамазян Р.А., Токмолдин С.Ж., Ильин А.И., Мартиросян К.С.</i> Иод және оның құрылымымен фенилалалиннің кешені комплекс фенилаланина с иодом и его структура.....	19
<i>Жұмағұлова Қ.Н., Рамазанов Т.С., Машеева Р.У., Донко З.</i> Үш өлшемді Юкава жүйесінің диффузия коэффициентіне сыртқы магнит өрісінің әсері.....	25
<i>Грушевская Е.А., Лебедев И.А., Темиралиев А.Т., Федосимова А.И.</i> Асимметриялы ядролардың өзара әрекеттерінде снарядтың ядросының толық талқандану жағдайларының сипаттамаларын зерттеу.....	30
<i>Асқарова А., Жұмаханова А.С., Құдайкұлов А., Ташев А.А., Қалиева Г.С.</i> Айнымалы жылу ағынының қатысуымен көлденең қимасының жылу және жылу окшаулаумен бөлек тұрақты жылуфизикалық жай-күйін зерттеу энергиясының әдісі.....	38
<i>Абишев М., Кенжебаев Н., Кенжебаева С., Джанибеков А.</i> Реакторлық нейтрондармен әсерлесудегі катализдық қоспаның изотоптық құрамын және энергия шығаруын есептеу.....	48
<i>Абишев М., Хасанов Н.</i> Жылулық нейтрондардың катализдық қоспамен (Pb, Bi, Po) әсерлесуін "IBUS" компьютерлік бағдарламалау кешенімен жобалау.....	53
<i>Алдабергенова Т.М., Ганеев Г.З., Кислицын С.Б., Досболаев М.К.</i> Графит бетінің термиялық эрозиясы мен құрылымына импульстік плазмалық сәулелендірудің ықпалы.....	57
<i>Жақып К.Б.</i> Стокса және Навье теңдеулерінің генеалогиялары. Дәрежелік реологиялық заңдар және теңдеулер.....	64
<i>Жаугашева С.А., Валиолда Д.С., Джансейтов Д.М., Жусупова Н.К., Сериков Ж., Айтжан Ф.</i> Теоретическое исследование кулоновского развала гало ядер ¹¹ Be, ¹⁵ C.....	81
<i>Жаугашева С.А., Сайдуллаева Г.Г., Нурбакова Г.С., Хабыл Н., Турарбекова М.М.</i> В(Bs) Мезонның ауыр мезондарға ыдырау қасиетін релятивистік әсерлесуін ескере отырып анықтау	86
<i>Қошанов Б.Д., Нұрыкенова Ж.С.</i> Жоғарғы ретті эллиптикалық теңдеулер үшін жалпылаған Дирихле - Нейман есебінің шешілімі туралы.....	95
<i>Құралбаев З.К., Оразаева А.Р., Рахимжанова З.М.</i> Жоғары көтерілген магма заттарының әсерінен болатын астеносферадағы қозғалыстың механика-математикалық моделі.....	103
<i>Мұқашев К.М., Казаченок В.В., Алиева М.Е.</i> Ғарыштық бөлшектер тұрғысынан физиканың іргелі проблемаларын оқытудың парадигмасы туралы жаңа көзқарастар.....	112
<i>Мырзақұл Т.Р., Таушинова А.С., Белисарова Ф.Б., Мырзақұл Ш.Р.</i> Гаусс-Бонн инвариантымен минималды емес байланыс кезіндегі <i>k</i> - эссенцияның инфляциялық моделі.....	120
<i>Омашова Г.Ш., Спабекова Р.С., Қабылбеков К.А., Саудахметов П.А., Абдрахманова Х.К., Арысбаева А.С.</i> Изохоралық процесті зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісінің тапсырмаларын өз бетінше құрастыру.....	127
<i>Рябкин Ю.А., Рақыметов Б.А., Айтмукан Т.</i> Көміртек қабықшасының ЭПР-мәліметі негізінде қатты отын жалынының парамагниттік қасиетін анықтау мүмкіндігі.....	134
<i>Спабекова Р.С., Омашова Г.Ш., Қабылбеков К.А., Саудахметов П.А., Серикбаева Г.С., Актурева Г.К.</i> Тоқ көзін қосқанда және ажыратқанда тізбектегі токкүшінің өзгеруін зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастыруда матлав бағдарламасын қолдану.....	139
<i>Ташенова Ж.М., Калдарова М., Мусайф М.</i> Жылу ағыны, жылу алмасу және жылу изоляциясы бар үшөлшемді есептің тұрақты температуралы күйіндегі сандық сипаттамасы.....	148
<i>Ташенова Ж.М., Мусайф М., Калдарова М.</i> Термосерпімділікті есептеудегі энергетикалық әдісі.....	155
<i>Тұрғанбай Қ.Е., Қалдыбекова С.У.</i> Жоғарғы мектепте информатика пән мұғалімнің ойлау қабілетін жетілдіру ерекшеліктері.....	163
<i>Шоманов А.С., Ахмед-Заки Д.Ж., Амирғалиев Е.Н., Мансурова М.Е.</i> Кілттерді Mapreduce үлгісінде тарату есебі туралы	167
<i>Бакирова Э.А., Искакова Н.Б., Уаисов Б.</i> Параметрі бар фредгольм интегралдық- дифференциалдық теңдеуі үшін сызықты шеттік есепті шешудің бір алгоритмі туралы	173
<i>Ақылбаев М.И., Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш.</i> Коэффициенті тұрақты, бірінші ретті кәдімгі дифференциалдық теңдеудің сингуляр әсерленген Коши есебін аргументтің ауытқыту әдісі арқылы шешу.....	181
<i>Рустемова К.Ж., Шалданбаев А.Ш., Ақылбаев М.И.</i> Коэффициенттері тұрақты, екінші ретті кәдімгі дифференциалдықтеңдеудің сингуляр әсерленген Коши есебін аргументтің ауытқыту әдісі арқылы шешу.....	193
<i>Аширбаев Х.К., Қабылбеков К.А., Абдрахманова Х.А., Джумағалиева А.И., Кыдырбекова Ж.Б.</i> MATLAB бағдарлама пакетін қолданып электр және магнит өрістерін зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыру.....	206

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бердибай С.Б., Парецкая Н.А., Сабитов А.Н., Исламов Р.А., Тамазян Р.А., Токмолдин С.Ж., Ильин А.И., Мартиросян К.С.</i> Комплекс фенилаланина с иодом и его структура.....	5
<i>Кабышев А.М., Кутербеков К.А., Пенионжкевич Ю.Э., Маслов В.А., Мендибаев К., Соболев Ю.Г., Лукьянов С.М., Кабдрахимова Г.Д., Азнабаев Д., Курманжанов А.Т.</i> Статистические и систематические погрешности, полное сечение реакции, γ -спектрометр.....	10
<i>Бердибай С.Б., Парецкая Н.А., Сабитов А.Н., Исламов Р.А., Тамазян Р.А., Токмолдин С.Ж., Ильин А.И., Мартиросян К.С.</i> Комплекс фенилаланина с иодом и его структура.....	19
<i>Джумагулова К.Н., Рамазанов Т.С., Машеева Р.У., Донко З.</i> Влияние внешнего магнитного поля на коэффициент диффузии трехмерной Юкава системы.....	25
<i>Грушевская Е.А., Лебедев И.А., Темиралиев А.Т., Федосимова А.И.</i> Исследование событий полного разрушения ядра снаряда во взаимодействиях асимметрических ядер.....	30
<i>Аскарова А., Жумаханова А.С., Кудайкулов А., Ташев А.А., Калиева Г.С.</i> Энергетический метод в исследовании установившегося теплофизического состояния стержня переменного сечения при наличии теплового потока, теплообмена и теплоизоляции.....	38
<i>Абишев М., Кенжебаев Н., Кенжебаева С., Джанибеков А.</i> Расчет изотопного состава каталитического материала при облучении реакторными нейтронами.....	48
<i>Абишев М., Хасанов М.</i> Моделирование взаимодействия тепловых нейтронов каталитическим составом (Pb, Bi, Po) с помощью программного комплекса "IBUS".....	53
<i>Алдабергенова Т.М., Ганеев Г.З., Кислицин С.Б., Досболаев М.К.</i> Влияние импульсного плазменного облучения на термическую эрозию и структуру поверхности графита.....	57
<i>Джакупов К.Б.</i> Генезис уравнений Стокса и Навье. Степенные реологические законы и уравнения.....	64
<i>Жаугашева С.А., Валиолда Д.С., Джансейтов Д.М., Жусупова Н.К., Сериков Ж., Айтжан Ф.</i> ^{11}Be , ^{15}C Гало ядроларының кулондық күйреуін теориялық зерттеу.....	81
<i>Жаугашева С.А., Сайдудлаева Г.Г., Нурбакова Г.С., Хабыл Н., Турарбекова М.М.</i> Определение свойств тяжелого V(Bs)-мезона в рамках релятивистского характера взаимодействия.....	86
<i>Кошанов Б.Д., Нурикунова Ж.С.</i> О разрешимости обобщенной задачи Дирихле - Неймана для эллиптического уравнения высокого порядка.....	95
<i>Куралбаев З.К., Оразаева А.Р., Рахимжанова З.М.</i> Механико-математическая модель движений в астеносфере под воздействием поднимающихся мантийных веществ.....	103
<i>Мукашев К.М., Казаченок В.В., Алиева М.Е.</i> О новых взглядах на парадигму обучения фундаментальным проблемам физики на примере частиц космического происхождения.....	112
<i>Мырзақұл Т.Р., Таукенова А.С., Белисарова Ф.Б., Мырзақұл Ш.Р.</i> Инфляционная модель k -эссенции при неминимальной связи с инвариантом Гаусса-Боннэ.....	120
<i>Омашова Г.Ш., Саббекова Р.С., Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Абдрахманова Х.К., Арысбаева А.С.</i> Самостоятельное конструирование заданий для выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию изохорного процесса.....	127
<i>Рябкин Ю.А., Ракыметов Б.А., Айтмуқан Т.</i> О возможности определения парамагнитных характеристик пламени твердого топлива на основе ЭПР-данных углеродных пленок.....	134
<i>Саббекова Р.С., Омашова Г.Ш., Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Серикбаева Г.С., Актуреева Г.К.</i> Организация компьютерных лабораторных работ по исследованию тока включения и выключения с использованием пакета программ MATLAB.....	139
<i>Ташенова Ж.М., Калдарова М., Мусайф М.</i> Численное обоснование одномерности некоторой трехмерной задачи установившегося температурного состояния при наличии теплового потока, теплообмена и теплоизоляции.....	148
<i>Ташенова Ж.М., Мусайф М., Калдарова М.</i> Энергетический метод в решении задач термоупругости.....	155
<i>Турганбай К.Е., Қалдыбекова С.У.</i> Особенности развития мышления учителя информатики в высшей школе.....	163
<i>Шоманов А.С., Ахмед-Заки Д.Ж., Амирғалиев Е.Н., Мансурова М.Е.</i> О задаче оптимизации распределения ключей в Mapreduce модели.....	167
<i>Бакирова Э.А., Искакова Н.Б., Уаисов Б.</i> Об одном алгоритме решения линейной краевой задачи для интегро-дифференциального уравнения Фредгольма с параметром.....	173
<i>Ақылбаев М.И., Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш.</i> Решение сингулярно возмущенной задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка с постоянным коэффициентом методом отклоняющегося аргумента.....	181
<i>Рустемова К.Ж., Шалданбаев А.Ш., Ақылбаев М.И.</i> Решение сингулярно возмущенной задачи Коши, для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами, методом отклоняющегося аргумента.....	193
<i>Аширбаев Х.К., Кабылбеков К.А., Абдрахманова Х.А., Джумағалиева А.И., Кыдырбекова Ж.Б.</i> Организация компьютерной лабораторной работы по исследованию электрического и магнитного полей с использованием пакета программ MATLAB.....	206

CONTENTS

<i>Berdibay S.B., Paretskaya N.A., Sabitov A.N., Islamov R.A., Tamazyan R.A., Tokmoldin S.Zh., Ilin A.I., Martirosyan K.S.</i> Phenylalanine - iodine complex and its structure.....	5
<i>Kabyshv A.M., Kuterbekov K.A., Penionzhkevich Yu.E., Maslov V.A., Mendibayev K., Sobolev Yu.G., Lukyanov S.M., Kabdrakhimova G. D., Aznabayev D. T., Kurmanzhanov A. T.</i> Errors in the total reaction cross sections and energies of incident particles measured using modified transmission technique	10
<i>Berdibay S.B., Paretskaya N.A., Sabitov A.N., Islamov R.A., Tamazyan R.A., Tokmoldin S.Zh., Ilin A.I., Martirosyan K.S.</i> Phenylalanine complex with iodine and its structure.....	19
<i>Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U., Donkó Z.</i> Effect of magnetic field on diffusion coefficients of the three-dimensional yukawa systems.....	25
<i>Grushevskaya E.A., Lebedev I.A., Temiraliev A.T., Fedosimova A.I.</i> Study on events with complete destruction of projectile nucleus in interactions of asymmetric nuclei	30
<i>Askarova A., Zhumakhanova A.S., Kudaykulov A., Tashev A.A., Kaliyeva G.S.</i> The energy method in the study of steady-state thermophysical condition of a rod of variable cross section in the presence of heat flow, heat exchange and thermal insulation.....	38
<i>Abishev M., Kenzhebayev N., Kenzhebayeva S., Dzhanbekov A.</i> Calculation of isotopic composition of catalytic material under radiation by reactor neutrons.....	48
<i>Abishev M., Khassanov M.</i> Simulation of the thermal neutrons interaction with catalytic composition (Pb, Bi, Po) by "IBUS" software.....	53
<i>Aldabergenova T.M., Ganeyev G.Z., Kislitsin S.B., Dosbolaev M.K.</i> Effect of pulsed plasma irradiation on thermal erosion and structure of graphite surface.....	57
<i>Jakupov K.B.</i> Genealogy of the Stokes and Navier equations. Degree rheological laws and equations.....	64
<i>Zhaugasheva S.A., Valiolda D.S., Janseitov D.M., Zhussupova N.K., Serikov Zh., Aitzhan F.</i> Theoretical study of the coulomb breakup of the halo nuclei ^{11}Be , ^{15}C	81
<i>Zhaugasheva S.A., Saidullaeva G.G., Nurbakova G.S., Khabyl N., Turarbekova M.M.</i> Determination properties of heavy decay in the B(Bs) meson in the framework of the relativistic character of the interaction.....	86
<i>Koshanov B.D., Nurikenova J.</i> On solvability of the generalized Dirichlet-Neiman problem for a high order elliptic equation.....	95
<i>Kuralbaev Z.K., Orazaeva A.R., Rahimzhanova Z.M.</i> Mechanical-mathematical model of kinematics in the asthenosphere under the influence of rising mental substances.....	103
<i>Mukashev K.M., Kazachenok V.V., Alieva M.E.</i> About new look at the paradigm of study fundamental problems of physics of cosmic the example of origin.....	112
<i>Myrzakul T.R., Taukenova A.S., Belisarova F.B., Myrzakul S.R.</i> Inflation model of k -essence for non minimally coupled Gauss-Bonnet invariant.....	120
<i>Omashova G. Sh., Spabekova R.S., Kabylbekov K.A., Saidakhmetov P.A., Abdrakhmanova KH.K., Arysbaeva A.S.</i> Independent designing of tasks for performance of computer laboratory work on the investigation of the isophoric process...	127
<i>Ryabikin Yu.A., Rakymetov B.A., Aitmukan T.</i> On the possibility of determination of paramagnetic characteristics of flame of solid fuel on the basis of epr-data carbon films.....	134
<i>Spabekova R. S., Omashova G.SH., Kabylbekov K. A., Saidakhmetov P. A., Serikbaeva G.S., Aktureeva G.K.</i> Organization of computer laboratory works on the research of turnonand turnoff current with the use of matlab program package	139
<i>Tashenova Zh., Kaldarova M., Mussaif M.</i> One-dimensional numerical substantiation of some three-dimensional problem steady state temperature in the presence of heat flow, heat exchange and thermal insulation.....	148
<i>Tashenova Z., Mussaif M., Kaldarova M.</i> Energy method in decision problems thermoelasticity.....	155
<i>Turganbay K.E., Kaldibekoba S.U.</i> Features of thinking of the teacher of Informatics in high school.....	163
<i>Shomanov A.S., Akhmed-Zaki D.Zh., Amirgaliyev E.N., Mansurova M.E.</i> About the problem of key distribution in Mapreduce model	167
<i>Bakirova E.A., Iskakova N.B., Uaisov B.</i> On the algorithm for solving of a linear boundary value problem for fredholm integro-differential equation with parameter.....	173
<i>Akylbaev M.I., Saprigina M.B., Shaldanbaeva A.Sh.</i> Solution of a singularly perturbed Cauchy problem, for an ordinary differential equation of the first order with a constant coefficient, by the method of a deviating argument.....	181
<i>Rustemova K.Zh., Shaldanbaeva A.Sh., Akylbaev M.I.</i> Solution of a singularly perturbed Cauchy problem for an ordinary second-order differential equation with constant coefficients by the method of a deviating argument.....	193
<i>Ashirbaev H.A., Kabylbekov K. A., Abdrahmanova H. K., Dzhumagalieva A.I., Kydyrbekova Zh.B.</i> Organization of computer laboratory works to study electric and magnetic fields using the software package matlab.....	206

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы *М. С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 10.04.2017.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
6,5 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19