

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**

6 (310)

**ҚАРАША – ЖЕЛТОҚСАН 2016 Ж.
НОЯБРЬ – ДЕКАБРЬ 2016 г.
NOVEMBER – DECEMBER 2016**

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, 2016

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

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

Редакционная коллегия:

Джумадилаев 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, 2016

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, 2016

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 6, Number 310 (2016), 80 – 88

UDC 539.2/.6

K.B. Zhakupov

Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan

e-mail: jakupovKB@mail.ru

**MODELING THERMAL BARODIFFUSION WITH
CHEMICAL REACTIONS IN LIQUIDS AND GASES**

Abstract. This article presents inductive method of the universal law of conservation of mass diffusion equation for the density of diffusing particles involved in chemical reactions, which speed is referred to mass unit and volume unit. On the basis of the Fick's law, this equation is formulated for concentration of mixture components. This equation is for the relative speed difference component with a carrier medium speed. The various forms of the equations diffusions for compressible and incompressible media are given. Inappropriateness of known laws on thermal barodiffusion over the law of conservation of mass is proved. Adequate laws of pressure and thermal diffusion are proposed and justified. Relevant equations of thermal barodiffusion with chemical reactions in liquids and gases are formulated. The problems of equations of thermal barodiffusion in an incompressible fluid are given.

Keywords: thermal diffusion, barodiffusion, mass, law, chemistry, reaction, pressure, equation.

УДК 539.2/.6

К.Б.Джакупов

Институт математики и математического моделирования МОН РК, Алматы, Казахстан

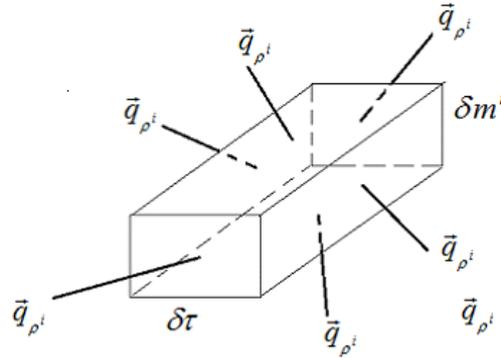
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОБАРОДИФФУЗИЙ
С ХИМИЧЕСКИМИ РЕАКЦИЯМИ В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ**

Аннотация. Выводится индуктивным методом из закона сохранения массы универсальное уравнение диффузии для плотности диффундирующих частиц, участвующих в химических реакциях, скорости которых отнесены к единице массы и к единице объема. На основании закона Фика данное уравнение формулируется для концентраций компонентов смеси. Получено уравнение для относительной разности скоростей компонент со скоростью несущей среды. Приводятся различные формы уравнений диффузий для сжимаемых и несжимаемых сред. Доказана неадекватность известных законов термобародиффузий закону сохранения массы. Предложены и обоснованы адекватные законы бародиффузий и термодиффузий, при которых выполняется закон сохранения массы. Сформулированы соответствующие уравнения термобародиффузий с химическими реакциями в жидкостях и газах. Указаны проблемы уравнений баро-диффузий в динамических несжимаемых жидкостях.

Ключевые слова: термодиффузия, бародиффузия, масса, закон, химия, реакция, давление, уравнения.

В индивидуальном объеме $\delta\tau$, движущемся со скоростью \vec{v} , диффундируют частицы m_k^i , $i = 1, \dots, N$ со скоростями \vec{v}_k^i , поэтому среднемассовая скорость определяется отношением

$$\vec{v}^i = \frac{\sum_k m_k^i \vec{v}_k^i}{\sum_k m_k^i} = \frac{\sum_k m_k^i \vec{v}_k^i}{\delta m^i}$$

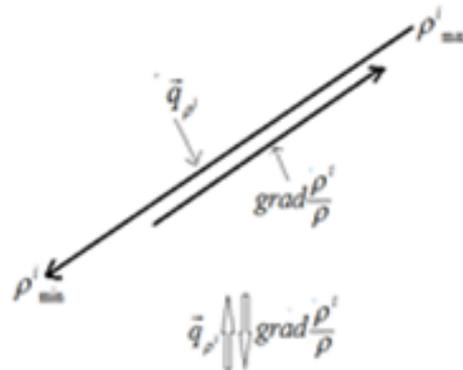


Плотность частиц задается суммарной массой частиц $\delta m^i = \sum_k m_k^i$ к объему $\rho^i = \frac{\delta m^i}{\delta \tau}$,

$$\delta m^i = \rho^i \delta \tau, \sum_{i=1}^N \rho^i = \rho, \sum_{i=1}^N \delta m^i = \delta m.$$

Концентрации i -го сорта частиц: $C_i = \frac{\rho^i}{\rho}, \sum_{i=1}^N C_i = 1$. В основной несущей среде $\delta \tau$ частицы

m_k^i диффундируют из области с большой плотностью ρ^i_{max} в район с меньшей ρ^i_{min} плотностью. Как показано на рисунке, вектор потока частиц параллелен и направлен противоположно градиенту концентрации.



Следовательно, поток \vec{q}_{ρ^i} частиц m_k^i связан с градиентом концентраций формулой антипараллельности векторов - закон Фика:

$$\vec{q}_{\rho^i} = -D\rho \text{grad} \frac{\rho^i}{\rho} = -D\rho \text{grad} C_i \tag{1}$$

По физическому же смыслу $D \geq 0$ является коэффициентом диффузии.

1°. Универсальное уравнение диффузии

Применение закона сохранения массы в объеме $\delta \tau$:

$$\frac{d\delta m}{dt} = 0, \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N \delta m^i = 0 \tag{2}$$

Закон сохранения массы δm^i в объеме $\delta \tau$ должен сохранять эквивалентный вид исходного закона (2) и учитывать диффузию, химические и другие виды реакций. Таким требованиям соответствует закон сохранения массы

$$\frac{d\delta m^i}{dt} = -\delta\tau \operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i} + \delta m^i J^i + \delta\tau j^i, \quad (3)$$

где $\operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i}$ – диффузия частиц, $J^i = \sum_k J^{ki}$, скорость изменения массы вследствие реакций J^{ki} , причем должно выполняться условие $\sum_{i=1}^N \rho^i J^i = \sum_{i=1}^N \sum_k \rho^i J^{ki} = 0$. Под J^i понимается отнесенная к единице **массы** скорость прироста массы i -й компоненты за счет реакций перехода от k -х компонент к i -й со скоростями J^{ki} . Аналогично j^i скорость изменения массы вследствие реакций $j^i = \sum_k j^{ki}$, $\sum_{i=1}^N j^i = \sum_{i=1}^N \sum_k \rho^i j^{ki} = 0$, но здесь под j^i понимается отнесенная к единице **объема** скорость прироста массы i -й компоненты за счет реакций перехода от k -х компонент к i -й со скоростями j^{ki} .

Просуммировав (3) по всем i , находим выражение

$$\sum_{i=1}^N \frac{d\delta m^i}{dt} = -\delta\tau \sum_{i=1}^N \operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i} + \sum_{i=1}^N \delta m^i J^i + \delta\tau \sum_{i=1}^N j^i \quad (4)$$

где в правой части все суммы равны нулю:

$$\begin{aligned} -\sum_{i=1}^N \operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i} &= \operatorname{div} \sum_{i=1}^N D\rho \operatorname{grad} C_i = \operatorname{div}(D\rho \operatorname{grad} \sum_{i=1}^N C_i) = \operatorname{div}(D\rho \operatorname{grad} 1) = 0, \\ \sum_{i=1}^N \delta m^i J^i &= \sum_{i=1}^N \rho^i \delta\tau J^i = \delta\tau \sum_{i=1}^N \sum_k \rho^i J^{ki} = 0, \quad \delta\tau \sum_{i=1}^N j^i = \delta\tau \sum_{i=1}^N \sum_k j^{ki} = 0 \end{aligned}$$

В результате (4) переходит в (3), закон сохранения массы выполнен:

$$\sum_{i=1}^N \frac{d\delta m^i}{dt} = 0, \quad \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N \delta m^i = 0, \quad \frac{d\delta m}{dt} = 0$$

Имеют место понятные преобразования:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho^i \delta\tau}{dt} &= -\delta\tau \operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i} + \delta m^i J^i + \delta\tau j^i, \\ \delta\tau \frac{d\rho^i}{dt} + \rho^i \frac{d\delta\tau}{dt} &= -\delta\tau \operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i} + \rho^i \delta\tau J^i + \delta\tau j^i \end{aligned}$$

Подставляя $\frac{d\delta\tau}{dt} = \delta\tau \operatorname{div}\vec{v}^i$, получаем

$$\delta\tau \frac{d\rho^i}{dt} + \rho^i \delta\tau \operatorname{div}\vec{v}^i = -\delta\tau \operatorname{div}\vec{q}_{\rho^i} + \rho^i \delta\tau J^i + \delta\tau j^i \quad (5)$$

Подстановка закона Фика (1) в (5) и сокращение дает универсальное уравнение диффузии:

$$\frac{d\rho^i}{dt} + \rho^i \operatorname{div}\vec{v}^i = \operatorname{div}(D\rho \operatorname{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \rho^i J^i + j^i,$$

где полная производная равна $\frac{d\rho^i}{dt} = \frac{\partial\rho^i}{\partial t} + (\vec{v}^i, \text{grad}\rho^i)$:

$$\frac{\partial\rho^i}{\partial t} + (\vec{v}^i, \text{grad}\rho^i) + \rho^i \text{div}\vec{v}^i = \text{div}(D\rho \text{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \rho^i J^i + j^i$$

Свертывание $(\vec{v}^i, \text{grad}\rho^i) + \rho^i \text{div}\vec{v}^i = \text{div}(\rho^i \vec{v}^i)$ приводит к дивергентному виду уравнения диффузии

$$\frac{\partial\rho^i}{\partial t} + \text{div}(\rho^i \vec{v}^i) = \text{div}(D\rho \text{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \rho^i J^i + j^i \quad (6)$$

В [1,3] для установления связи динамики данных частиц с динамикой несущей среды вводится разность скоростей $\vec{v}^* = \vec{v}^i - \vec{v}$, $\vec{v}^i = \vec{v}^* + \vec{v}$.

В результате уравнению (6) придается вид

$$\frac{\partial\rho^i}{\partial t} + \text{div}[\rho^i (\vec{v}^* + \vec{v})] = \text{div}(D\rho \text{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \rho^i J^i + j^i \quad (7)$$

Теорема 1. Разность скоростей $\vec{v}^* = \vec{v}^i - \vec{v}$ является решением уравнения $\text{div}(\vec{v}^* \rho) = 0$.

Доказательство. Просуммируем (8) по всем сортам частиц

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\partial\rho^i}{\partial t} + \text{div}[\rho^i (\vec{v}^* + \vec{v})] \right\} = \sum_{i=1}^N \left\{ \text{div}(D\rho \text{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \rho^i J^i + j^i \right\}$$

Знак суммирования относится к индексу «i»:

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{i=1}^N \rho^i + \text{div}(\vec{v}^* \sum_{i=1}^N \rho^i) + \text{div}(\vec{v} \sum_{i=1}^N \rho^i) = \text{div}(D\rho \text{grad} \sum_{i=1}^N \frac{\rho^i}{\rho}) + \sum_{i=1}^N \rho^i J^i + \sum_{i=1}^N j^i \quad (8)$$

В полученном выражении

$$\text{div}(D\rho \text{grad} \sum_{i=1}^N \frac{\rho^i}{\rho}) = \text{div}(D\rho \text{grad} 1) = 0, \sum_{i=1}^N \rho^i J^i = 0, \sum_{i=1}^N j^i = 0$$

в результате (8) переходит в уравнение

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\vec{v}^* \rho) + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0,$$

из которого, в силу уравнения неразрывности $\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$,

вытекает для \vec{v}^* уравнения в частных производных

$$\text{div}(\vec{v}^* \rho) = 0 \quad (9)$$

Что требовалось доказать.

Для несжимаемой жидкости получается уравнение $\text{div}\vec{v}^* = 0$.

Уравнение (9) имеет очевидное решение $\vec{v}^* \rho = \text{rot}\vec{\Psi}$, $\text{div}\text{rot}\vec{\Psi} \equiv 0$,

где $\vec{\Psi} = \vec{\Psi}(\vec{r}, t)$ – произвольная дифференцируемая функция, которой можно манипулировать при моделировании диффузий живых существ (бактерий).

Бактерии в поисках корма могут двигаться в сторону большей концентрации питательных веществ в среде.

2°. Искусственное уравнение концентрации

Искусственное уравнение диффузии для концентрации получается из уравнения (6) подстановкой $\rho^i = C_i \rho$:

$$\frac{\partial C_i \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(C_i \rho \vec{v}^i) = \operatorname{div}(D \rho \operatorname{grad} C_i) + C_i \rho J^i + j^i$$

По связи $\vec{v}^i = \vec{v}^* + \vec{v}$ получается иная запись

$$\frac{\partial C_i \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(C_i \rho (\vec{v}^* + \vec{v})) = \operatorname{div}(D \rho \operatorname{grad} C_i) + C_i \rho J^i + j^i,$$

где показано участие скорости несущей среды \vec{v} в диффузии. Отсутствие относительных скоростей $\vec{v}^* \equiv 0$ является тривиальным решением уравнения теоремы $\operatorname{div}(\vec{v}^* \rho) = 0$, что означает совпадение среднемассовой скорости диффундирующих частиц со скоростью несущей среды.

3°. Уравнения диффузии при совпадении среднемассовой скорости частиц со скоростью несущей среды $\vec{v}^* \equiv 0$

При совпадении среднемассовой скорости частиц со скоростью несущей среды $\vec{v}^i = \vec{v}$, $\vec{v}^* = \vec{v}^i - \vec{v} = 0$, что применяется наиболее часто, уравнение (7) принимает вид:

$$\frac{\partial \rho^i}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho^i \vec{v}) = \operatorname{div}(D \rho \operatorname{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \rho^i J^i + j^i,$$

соответственно, уравнение концентраций

$$\frac{\partial C_i \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(C_i \rho \vec{v}) = \operatorname{div}[D \rho \operatorname{grad} C_i] + C_i \rho J^i + j^i$$

В данном уравнении делаются упрощающие преобразования:

$$C_i \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial C_i}{\partial t} + (\vec{v}, \operatorname{grad}(C_i \rho)) + C_i \rho \operatorname{div} \vec{v} = \operatorname{div}(D \rho \operatorname{grad} C_i) + C_i \rho J^i + j^i,$$

где уравнение неразрывности несущей среды равно нулю:

$$C_i \frac{\partial \rho}{\partial t} + C_i (\vec{v}, \operatorname{grad} \rho) + C_i \rho \operatorname{div} \vec{v} = C_i \left[\frac{d \rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \vec{v} \right] = 0$$

Таким образом, исходное фундаментальное уравнение диффузии (6) переходит в уравнение концентрации с участием плотности и скорости несущей среды:

$$\rho \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho (\vec{v}, \operatorname{grad} C_i) = \operatorname{div}(D \rho \operatorname{grad} C_i) + C_i \rho J^i + j^i \quad (10)$$

4°. Уравнение концентрации в неподвижной среде $\vec{v} \equiv 0$

Уравнение диффузии в неподвижной основной среде $\vec{v} \equiv 0$ и переменной плотности ρ :

$$\frac{\partial C_i \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(C_i \rho \vec{v}^i) = \operatorname{div}(D \rho \operatorname{grad} C_i) + C_i \rho J^i + j^i$$

В данном уравнении $\vec{v}^i = \vec{v}^*$, следовательно, скорости \vec{V}^i частиц должны быть вычислены из уравнения теоремы 1 $div(\vec{v}^i \rho) = 0$.

В основном используется предположение, что частицы неподвижны $\vec{v}^i \equiv 0$ и диффундируют в покоящейся среде $\vec{v} \equiv 0$. Поэтому уравнение концентрации для переменной плотности $\rho \neq const$ принимает вид:

$$\frac{\partial C_i \rho}{\partial t} = div(D \rho grad C_i) + C_i \rho J^i + j^i$$

5°. Уравнения концентрации в неподвижной и несжимаемой среде

Для неподвижной $\vec{v} \equiv 0$ несжимаемой $\rho = const$ несущей среды после сокращений получается уравнение концентрации

$$\rho \frac{\partial C_i}{\partial t} = div(D \rho grad C_i) + C_i \rho J^i + j^i, \quad \frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{1}{\rho} div(D \rho grad C_i) + C_i J^i + \frac{j^i}{\rho}$$

Подставляя в правую часть $\rho = \rho^i / C_i$, находим уравнение

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{C_i}{\rho^i} div(D \rho grad C_i) + C_i J^i + \frac{C_i}{\rho^i} j^i,$$

из которого после умножения на ρ^i получается

$$\rho^i \frac{\partial C_i}{\partial t} = C_i div(D \rho grad C_i) + \rho^i C_i J^i + C_i j^i$$

Уравнение концентрации принимает упрощенный вид, если нет химических реакций и других включений $J^i \equiv 0$, $j^i \equiv 0$:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = div[D grad C_i]$$

При $D \equiv const$ вытекает параболическое уравнение $\frac{\partial C_i}{\partial t} = D \Delta C_i$.

7°. Парадоксы уравнений термодиффузии

Градиент температуры, несомненно, оказывает влияние на диффузию по вполне понятным причинам молекулярного переноса. Термодиффузия (эффект Соре) в законе сохранения массы требует дополнения

$$\delta \tau \frac{d \rho^i}{dt} + \rho^i \delta \tau div \vec{v}^i = -\delta \tau div \vec{q}_{\rho^i} + \rho^i \delta \tau J^i + \delta \tau j^i - \delta \tau div \vec{q}_T, \quad (11)$$

где введен закон термодиффузии по Лыкову [3]:

$$\vec{q}_T = -D \rho \frac{k_T}{T} grad T \quad (12)$$

Основное уравнение термодиффузии получается в виде [3]:

$$\frac{\partial \rho^i}{\partial t} + div(\rho^i \vec{v}^i) = div(D \rho grad \frac{\rho^i}{\rho}) + div(D \rho \frac{k_T}{T} grad T) + \rho^i J^i + j^i$$

Уравнение термодиффузии для концентраций и $\vec{v}^* \equiv 0$:

$$\rho \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho(\vec{v}, grad C_i) = div(D \rho grad C_i) + div(D \rho \frac{k_T}{T} grad T) + C_i \rho J^i + j^i$$

Парадоксальность и ошибочность уравнений термодиффузий, приведенных в [3] и основанных на законе термодиффузии (12), заключается в невыполнении закона сохранения массы, то есть получается $\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N \delta m^i \neq 0$. Действительно, суммирование по всем компонентам i уравнения (11) в правой части уравнения дает неравенство нулю по закону термодиффузии (12) [3]:

$$-\delta\tau \sum_{i=1}^N \operatorname{div} \vec{q}_T = \delta\tau \sum_{i=1}^N D\rho \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T \neq 0$$

В силу данного факта уравнения термодиффузии с данным в [3] термодиффузией (12) неадекватны закону сохранения массы.

Теорема 2. Закон сохранения массы (2) удовлетворяется для закона термодиффузии с физическим участием концентрации данного диффундирующего компонента:

$$\begin{aligned} \delta\tau \frac{d\rho^i}{dt} + \rho^i \delta\tau \operatorname{div} \vec{v} &= -\delta\tau \operatorname{div} \vec{q}_{\rho^i} + \rho^i \delta\tau J^i + \delta\tau j^i - \delta\tau \operatorname{div} \vec{q}_{T_i}, \\ \vec{q}_{T_i} &= -D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T \end{aligned} \quad (13)$$

Доказательство. Суммирование в (13) по всем компонентам дает для последнего члена уравнения выражение равное нулю:

$$\begin{aligned} -\sum_{i=1}^N \operatorname{div} \vec{q}_{T_i} &= \sum_{i=1}^N D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T = \\ &= \sum_{i=1}^N D\rho \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T - D\rho N \cdot \sum_{i=1}^N C_i \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T = \\ &= ND\rho \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T - D\rho N \cdot 1 \cdot \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T = 0 \end{aligned}$$

Что требовалось доказать. Доказательства равенства нулю сумм остальных членов в правой части было осуществлено ранее. С применением закона термодиффузии (13) уравнения принимают прикладные виды:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho^i}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho^i \vec{v}^i) &= \operatorname{div}(D\rho \operatorname{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \\ &+ \operatorname{div}(D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T) + \rho^i J^i + j^i, \\ \rho \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho(\vec{v}^i, \operatorname{grad} C_i) &= \operatorname{div}(D\rho \operatorname{grad} C_i) + \\ &+ \operatorname{div}(D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \operatorname{grad} T) + C_i \rho J^i + j^i \end{aligned}$$

8°. Уравнение термобародиффузии

В [3] учитывается бародиффузия:

$$\delta\tau \frac{d\rho^i}{dt} + \rho^i \delta\tau \operatorname{div} \vec{v}^i = -\delta\tau \operatorname{div} \vec{q}_{\rho^i} + \rho^i \delta\tau J^i + \delta\tau j^i - \delta\tau \operatorname{div} \vec{q}_T - \delta\tau \operatorname{div} \vec{q}_{\rho^i},$$

где по Лыкову положено $\vec{q}_T = -D\rho \frac{k_T}{T} \text{grad}T$, $\vec{q}_p = -D\rho \frac{k_p}{p} \text{grad}p$. Нетрудно вычислить, что для данных законов термобародиффузии закон сохранения массы не выполняется.

Действительно,
$$-\sum_{i=1}^N \text{div} \vec{q}_p = \sum_{i=1}^N D\rho \frac{k_p}{p} \text{grad}p \neq 0.$$
 Поэтому уравнения

термобародиффузии с данными в [3] законами $\vec{q}_T = -D\rho \frac{k_T}{T} \text{grad}T$, $\vec{q}_p = -D\rho \frac{k_p}{p} \text{grad}p$ неадекватны закону сохранения массы.

Теорема 3. Закон сохранения массы (2) удовлетворяется для законов термобародиффузий с физическим участием концентрации данного диффундирующего компонента:

$$\frac{d\rho^i}{dt} + \rho^i \text{div} \vec{v} = -\text{div} \vec{q}_{\rho^i} + \rho^i J^i + j^i - \text{div} \vec{q}_{Ti} - \text{div} \vec{q}_{pi}, \quad (14)$$

$$\vec{q}_{Ti} = -D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \text{grad}T, \quad \vec{q}_{pi} = -D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_p}{p} \text{grad}p$$

Доказательство. Суммирование в (14) по всем компонентам дает для последнего члена уравнения выражение равное нулю:

$$\begin{aligned} -\sum_{i=1}^N \text{div} \vec{q}_{pi} &= \sum_{i=1}^N D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_p}{p} \text{grad}p = \sum_{i=1}^N D\rho \frac{k_p}{p} \text{grad}p - D\rho N \cdot \sum_{i=1}^N C_i \frac{k_p}{p} \text{grad}p = \\ &= ND\rho \frac{k_p}{p} \text{grad}p - D\rho N \cdot 1 \cdot \frac{k_p}{p} \text{grad}p = 0 \end{aligned}$$

Что требовалось доказать. Доказательства равенства нулю сумм остальных членов в правой части были осуществлены ранее. С применением нового закона термобародиффузий дифференциальные уравнения принимают прикладные виды:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho^i}{\partial t} + \text{div}(\rho^i \vec{v}^i) &= \text{div}(D\rho \text{grad} \frac{\rho^i}{\rho}) + \text{div}(D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \text{grad}T) + \\ &+ \text{div}(D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_p}{p} \text{grad}p) + \rho^i J^i + j^i, \\ \rho \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho(\vec{v}^i, \text{grad}C_i) &= \text{div}(D\rho \text{grad}C_i) + \text{div}(D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_T}{T} \text{grad}T) + \\ &+ \text{div}(D\rho(1 - N \cdot C_i) \frac{k_p}{p} \text{grad}p) + C_i \rho J^i + j^i \end{aligned}$$

Примечание 1. Уравнения с бародиффузией имеют смысл только для сжимаемых сред с уравнениями состояния типа Клапейрона-Менделеева $p = \rho RT$. В уравнения динамики несжимаемой жидкости давление входит через градиент, поэтому определяется с точностью до аддитивной функции времени, то есть может принимать произвольные значения $-\infty < p < +\infty$. Но давление в законе бародиффузии стоит в знаменателе. По этой причине в несжимаемой жидкости уравнения с бародиффузией не подлежат применению.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: "Наука", 1973.
- [2] Седов Л.И. Механика сплошной среды. - Т.1. М.: "Наука", 1973.
- [3] Лыков А.В. Теплообмен. - М.: «Энергия», 1972. С. 560.
- [4] George E. Mase. Theory and Problems of Continuum Mechanics. Schaum's Outline Series. MCGRAW-HILL BOOK COMPANY. New York, St. Louis, San Francisco, London, Sydney, Toronto, Mexico and Panama 1970.
- [5] Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: «Мир», 1973.
- [6] Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика. - М.: "Наука", 1973.
- [7] Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. -М.: Изд-во МГУ, 1978.
- [8] Джакупов К.Б. Коррекции теоретических парадоксов механики сплошной среды. - Алматы: Изд-во «Гылым ордасы», 2015. С. 376.
- [9] Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термо-вязко-упругости. М.: «Наука», 1970. 547с.
- [10] Ilyushin A.A., Lenski V.S. Strength of Materials. N.Y. Pergamon press, 1967.
- [11] Eringen A.C. Mechanics of Continua. N.Y., Wiley, 1967.
- [12] Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике М.: Наука, 1987. - 502 с.

REFERENCES

- [1] LG Loitsiansky Fluid Mechanics. M.: "Hauka", 1973.
- [2] Sedov LI Mechanics of solid a medium, Vol.1. M.: "Hauka", 1973.
- [3] Lykov A.V. Teplomassobmen. - M.: "Energy", 1972. p.560 .
- [4] George E. Mase. Theory and Problems of Continuum Mechanics. Schaum's Outline Series. MCGRAW-HILL BOOK COMPANY. New York, St. Louis, San Francisco, London, Sydney, Toronto, Mexico and Panama in 1970.
- [5] John Batchelor . Introduction to fluid dynamics. M.: "Mir", 1973.
- [6] Landau L.D., EM Lifschits E.M. Theoretical physics. V.6. Hydrodynamics. - M.: " Hauka", 1973.
- [7] Ilyushin AA Continuum Mechanics sredy. M.: MGU, 1978. Science, 1987. - 502 p.
- [8] Dzhakupov KB Correction of theoretical paradoxes of continuum mechanics of a medium, Almaty: Publishing house " Gylym Ordasy", 2015. p.376.
- [9] Iyushin AA Pobedria BE Fundamentals of the mathematical theory of thermo – viscoelasticity. M.: "Science", 1970. 547 p .
- [10] Ilyushin A.A., Lenski V.S. Strength of Materials. N.Y. Pergamon press, 1967.
- [11] Eringen A.C. Mechanics of Continua. N.Y., Wiley, 1967.
- [12] Frank-Kamenetskiy D.A. Diffusion and Heat Transfer in Chemical Kinetics M.: Science, 1987. - 502 p.

К.Б. Жақып

ҚР БҒМ Математика және математикалық моделдеу институты, Алматы, Қазақстан

СҰЙЫҚТЫҚТАР МЕН ГАЗДАРДАҒЫ ХИМИЯЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАРЫ БАР ТЕРМОБАРОДИФфуЗИЯЛАРДЫ МОДЕЛДЕУ

Аннотация. Химиялық реакцияларда, жылдамдықтары масса мен көлемнің бірдігіне келтірілген, диффундирлаған бөлшектердің тығыздығына масса сақталу заңынан диффузияның универсал теңдеуі құрылған. Фик заңының негізінде осы теңдеу қоспаның компоненттерінің концентрациялары үшін белгіленеді. Компоненттер жылдамдықтарының тасушы ортаның жылдамдығынан салыстырмалы айырымдығына теңдеу алынған. Сығылатын және сығылмайтын орталарға сәйкес диффузия теңдеулерінің әр түрлі тұрпаттары келтірілген. Бұрыннан белгілі термобародиффузия заңдарының масса сақталу заңына сәйкестігінің жоқтығы дәлелденген. Бародиффузия мен термодиффузияның сәйкес заңдары берілген және негізделген, оларда масса сақталу заңы орындалатын. Осыларға арналған химиялық реакциялар бар сұйықтықтарда және газдарда термобародиффузияның сәйкес теңдеулері құрылған. Сығылмайтын қозғалыстағы сұйықтықтарда бародиффузия теңдеулерінің мәселелері көрсетілген.

Түйін сөздер: термодиффузия, бародиффузия, масса, заң, химия, реакция, қысым, теңдеулер.

Сведения об авторе:

Джакупов Кенес Бажкенович – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН

МАЗМУНЫ

<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Ақауы аз кремний матрицаларындағы атомдардың орнын басу әдісімен алынған эпитаксиалды SiC кабыршақтарын рентгендік талдау.....	5
<i>Батрышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланұлы Е.</i> Жоғары жиілікті сыйымдылық разрядында газдық фазадан плазмохимиялық әдісімен көміртек нанотүтікшелерін синтездеу.....	10
<i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> ¹³ C ядросының экзотикалық күйлерінің радиустары.....	17
<i>Сарсенгельдин М.М., Слямхан М.М., Бижигитова Н.Т.</i> Қозғалмалы шекарасы бар оське тимейтін жылуөткізгіштік тендеуінің жылу көпмүшелері арқылы аналитикалық шешімі.....	21
<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Ақауы аз кремний матрицаларындағы атомдардың орнын басу әдісімен алынған эпитаксиалды SiC кабыршақтарын рентгендік талдау.....	25
<i>Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Сиваков В.А., Ермухамед Д., Мейрам А.Т.</i> Кремний наноталшықтарының микрофотолюминесценциясы.....	32
<i>Батрышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланұлы Е.</i> Жоғары жиілікті сыйымдылық разрядында газдық фазадан плазмохимиялық әдісімен көміртек нанотүтікшелерін синтездеу.....	38
<i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> ¹³ C ядросының экзотикалық күйлерінің радиустары.....	45
<i>Сергеев Д.М., Шұңқеев Қ.Ш.</i> «Ниобий – көміртекті нанотүтікше (5,5) – ниобий» нанотүйіспесінің транспорттық сипаттамаларының компьютерлік модельдеуі.....	49
<i>Досболаев М.К., Утегенов А.У., Тажен А.Б., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Импульстік плазмалық ағынның динамикалық қасиеттері мен импульсті плазмалық деткіштегі тозаңның пайда болуы.....	59
<i>Минглибаев М.Ж., Жұмабек Т.М.</i> Теңбүйірлі шектелген үш дене мәселесі	67
<i>Оразбаев С.А., Өмірбеков Д.Б., Досболаев М.Қ., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С.</i> Сынақта тозаңды-плазмалы шамның жарық беру қасиетін зерттеу.....	74
<i>Жақып К.Б.</i> Сұйықтықтар мен газдардағы химиялық реакциялары бар термобародиффузияларды моделдеу.....	80
<i>Оразбаев С.А., Өмірбеков Д.Б., Габдуллин М.Т., Досболаев М.Қ., Рамазанов Т.С.</i> Газ температурасының тозаңды нанобөлшектердің өлшемі мен құрылымына әсері.....	89
<i>Жақып-тегі К. Б.</i> Гуктың заңымен серпілімдік теориясында моделдеу. Кернеулер тензорында симметрия жоқтығы.....	96
<i>Буртебаев Н., Алимов Д., Зазулин Д.М., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е., Насрулла М.</i> Төменгі энергиялы протондардың ¹⁴ N ядросымен әсерлесу потенциал параметрлерін анықтау.....	104
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Амангелді Н., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Мауей Б., Аймаганбетов А., Қурахмедов А.Е., Бекбаев С.М., Мадиярова А.Ж.</i> 17,5 және 41 МэВ энергияларда ¹¹ B ядроларынан ¹⁴ N иондарының серпімді шашырауын зерттеу.....	109
<i>Искакова У.А., Төрбек Б.Т.</i> Лаплас операторы үшін робен-коши қисынсыз есебін шешудің бір әдісі туралы.....	115
<i>Шинибаев М.Д., Беков А.А., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Мырзақасова Г.Е., Алиаскаров Д.Р., Шекербекова С.А., Садыбек А.Ж.</i> Екі жылжымайтын нүкте проблемасының жаңа нұсқасы.....	121
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Модификацияланған алс лигносульфонатты реагентін (НПП «Азимут») зерттеу.....	126

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов, А.В. Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Рентгеновский анализ эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов на подложках низкодефектного кремния.....	5
<i>Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланулы Е.</i> Синтез углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде.....	10
<i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> Экзотические состояния ядра ¹³ C с аномальными радиусами.....	17
<i>Сарсенгельдин М.М., Слямхан М.М., Бижигитова Н.Т.</i> Аналитическое решение уравнения теплопроводности с движущимися границами не касающиеся оси тепловыми полиномами.....	21
<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Рентгеновский анализ эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов на подложках низкодефектного кремния.....	25
<i>Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Сиваков В.А., Ермухамед Д., Мейрам А.Т.</i> Фотолюминесценция кремниевых нанонитей.....	32
<i>Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланулы Е.</i> Синтез углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде.....	38
<i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> Экзотические состояния ядра ¹³ C с аномальными радиусами.....	45
<i>Сергеев Д.М., Шункеев К.Ш.</i> Компьютерное моделирование транспортных характеристик наноконтакта «Ниобий – углеродная нанотрубка (5,5) – ниобий».....	49
<i>Досболаев М.К., Утегенов А.У., Тажен А.Б., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Динамические свойства импульсного плазменного потока и пылеобразование в ИПУ.....	59
<i>Минглибаев М.Дж., Жумабек Т.М.</i> К равнобедренной ограниченной задаче трех тел.....	67
<i>Оразбаев С.А., Омирбеков Д.Б., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С.</i> Экспериментальное исследование свойства светоотдачи плазменно-пылевой лампы.....	74
<i>Джакупов К.Б.</i> Моделирование термобародиффузий с химическими реакциями в жидкостях и газах.....	80
<i>Оразбаев С.А., Омирбеков Д.Б., Габдуллин М.Т., Досболаев М.К., Рамазанов Т.С.</i> Влияние температуры газа на размеры и структуры пылевых наночастиц.....	89
<i>Джакупов К.Б.</i> Моделирование по закону Гука в теории упругости. Несимметричность тензора напряжений.....	96
<i>Буртебаев Н., Алимов Д., Зазулин Д.М., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е., Насрулла М.</i> Определение параметров потенциала взаимодействия протона с ¹⁴ N при низких энергиях.....	104
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Амангелді Н., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Мауей Б., Аймаганбетов А., Курахмедов А.Е., Бекбаев С.М., Мадиярова А.Ж.</i> Исследование упругого рассеяния ионов ¹⁴ N на ядрах ¹¹ B при энергиях 17,5 и 41 МэВ.....	109
<i>Искакова У.А., Торекбек Б.Т.</i> Об одном методе решения некорректной задачи робена-коши для оператора лапласа... ..	115
<i>Шинибаев М.Д., Беков А.А., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Мырзакасова Г.Е., Алиаскаров Д.Р., Шекербекова С.А., Садыбек А.Ж.</i> О новой версии задачи двух неподвижных центров.....	121
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Исследование модифицированного реагента АЛС лигносульфонатная (НПП «Азимут»).....	126

CONTENTS

<i>Bakranova D.I., Kukushkin S.A., Beisembetov I.K., Osipov A.V., Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Kenzhaliev B.K., Seitov B.Zh.</i> X-Ray analysis of SiC epitaxial films grown by method of atom replacement on low dislocation silicon substrate.....	5
<i>Batryshev D.G., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Yerlanuly Ye.</i> Synthesis of carbon nanotubes by plasma chemical deposition method from vapour-phase in radio-frequency capacitive discharge.....	10
<i>Demyanova A.S., Danilov A.N., Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S.</i> Exotic states of ^{13}C nuclei with abnormal radii.....	17
<i>Sarsengeldin M.M., Slyamkhan M.M., Bizhigitova N.T.</i> Analytical solution of heat equation with moving boundary tangent to axis by heat polynomials.....	21
<i>Bakranova D.I., Kukushkin S.A., Beisembetov I.K., Osipov A.V., Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Kenzhaliev B.K., Seitov B.Zh.</i> X-ray analysis of SiC epitaxial films grown by method of atom replacement on low dislocation silicon Substrate.....	25
<i>Dikhanbayev K.K., Mussabek G.K., Sivakov V.A., Yermukhamed D., Meiram A.T.</i> Micro-photoluminescence in silicon nano-wires.....	32
<i>Batryshev D.G., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Yerlanuly Ye.</i> Synthesis of carbon nanotubes by plasma chemical deposition method from vapour-phase in radio-frequency capacitive discharge.....	38
<i>Demyanova A.S., Danilov A.N., Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S.</i> Exotic states of ^{13}C nuclei with abnormal radii.....	45
<i>Sergeyev D.M., Shunkeyev K.Sh.</i> Computer simulation of transport properties of nanocontact "Niobium – carbon nanotubes (5.5) – niobium".....	49
<i>Dosbolayev M.K., Utegenov A.U., Tazhen A.B., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T.</i> Dynamic properties of pulse plasma flow and dust formation in the pulsed plasma accelerator.....	59
<i>Minglibayev M.Zh., Zhumabek T.M.</i> On the isosceles restricted three-body problem.....	67
<i>Orazbayev S.A., Omirbekov D.B., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Ramazanov T.S.</i> Experimental research of luminous efficiency of dusty plasma lamp.....	74
<i>Zhakupov K.B.</i> Modeling thermal barodiffusion with chemical reactions in liquids and gases.....	80
<i>Orazbayev S.A., Omirbekov D.B., Gabdullin M.T., Dosbolayev M.K., Ramazanov T.S.</i> The influence of gas temperature on size and structure of the dust nanoparticles.....	89
<i>Jakupov K.B.</i> Modeling Hooke's law in the theory of elasticity. Unsymmetrical stress tensor.....	96
<i>Burtebayev N., Alimov D.K., Zazulin D.M., Kerimkulov Zh.K., Yushkov A.V., Janseitov D.M., Mukhamejanov Y., Nassurulla M.</i> Determination of parameters of proton ^{14}N interaction potential at low energies.....	104
<i>Burtebayev N., Kerimkulov Zh.K., Amangeldi N., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S., Janseitov D.M., Mauey B., Aymaganbetov A., Kurakhmedov A., Bekbaev S.M., Madiyarova A.Zh.</i> Study of elastic scattering of ^{14}N ions from ^{16}O at energies 17,5 and 41 MeV.....	109
<i>Iskakova U.A., Torebek B.T.</i> Certain method of solving ill-posed cauchy-robin problem for the laplace operator.....	115
<i>Shinibaev M.D., Bekov A.A., Dairbekov S.S., Zholdasov S.A., Myrzakasova G.E., Aliaskarov D.R., Shekerbekova S.A., Sadybek A.G.</i> A new version of the problem of two fixed centers.....	121
<i>Sarsenbayev Kh.A., Khamzina B.S., Koldassova G.A., Issayeva G.B.</i> Research of modified reagent ALS lignosulfonate (NPP «Azimut»).....	126

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)

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

Подписано в печать 2016.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4 п.л. Тираж 300. Заказ 6.