

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 (316)

**ҚАРАША – ЖЕЛТОҚСАН 2017 Ж.
НОЯБРЬ – ДЕКАБРЬ 2017 г.
NOVEMBER – DECEMBER 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. корр.-мүшесі (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. чл.-корр. (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. corr. member. (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 6, Number 316 (2017), 45 – 51

**S.A. Orazbayev, T.S. Ramazanov,
M.K. Dosbolayev, M.T. Gabdullin, D.B. Omirbekov**NNLOT, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
050040, Al-Farabi avenue, 71
e-mail: omirbekov@physics.kz**THE METHOD OF OBTAINING HYDROPHOBIC SURFACES
IN THE PLASMA OF RF DISCHARGE**

Abstract. The aim of this work was to obtain superhydrophobic surfaces in a plasma medium. The experiment was carried out using the PECVD method in two different modes: constant and pulsing. The surface roughness was obtained by applying nanoparticles synthesized in a plasma in a mixture of argon and methane. The resulting particles were deposited on the surface of silicon and glass materials. The dependence of the contact angle on the nanoparticle application cycle on the surface was obtained. The contact angle increased linearly depending on the number of cycles, until it reached 160° at 150-160th cycles, after that the increase in cycles does not affect the contact angle, since the saturation process is in progress. Also the effect of the working gas composition on the hydrophobicity of the surface was studied. At low concentrations of methane (1%) only particles are synthesized in the working gas, and hydrophobicity is unstable, with an increase in methane concentration (7%) nanofilms are synthesized from nanoclusters, and surface hydrophobicity is relatively stable. In addition, a pulsing plasma mode was used to obtain superhydrophobic surfaces. A nanofilm consisting of nanoclusters with a diameter of 4-10 nm was synthesized. The hydrophobicity of the sample showed that the strength of the nanofilm was stable in comparison with the sample obtained in the first mode, but the contact angle was lower. The obtained samples were examined using SEM, SPM, optical analysis, and their contact angles were determined. The experiment was carried out at various plasma parameters (gas pressure, discharge power). It was found that when a superhydrophobic surface is treated with a buffer plasma (argon or nitrogen), it becomes superhydrophilic.

Key words: nanoparticles, RF discharge, superhydrophobic surfaces, superhydrophilic surfaces.

ӨОЖ 537.523/.527

**С.А. Оразбаев, Т.С. Рамазанов, М.Қ. Досболаев,
М.Т. Габдуллин, Д.Б. Өмірбеков**

АТҰНЗ, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ

**ЖОҒАРЫ ЖИІЛІКТІ РАЗРЯД ПЛАЗМАСЫНДА
СУПЕРГИДРОФОБТЫ БЕТТЕР АЛУ ӘДІСІ**

Аннотация. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты плазмалық ортада «PECVD» әдісі көмегімен супергидрофобты беттер алу. Тәжірибе екі түрлі режимде жүргізілді: үздіксіз және пульстік режим. Беттің кедір-бұдырлығы плазмада пайда болған нанобөлшектер көмегімен алынды. Аргон және метан газдарының қоспасын қолдану негізінде синтезделген нанобөлшектер кремний және шыны материалдардың бетіне қондырылды. Содан кейін су тамшысының бетпен жанасу бұрышының нанобөлшектерді бетке қондыру циклына тәуелділігі тұрғызылды. Бөлшектерді қондыру циклін көбейткен сайын жанасу бұрышы да артатындығы, бірақ 150-160 циклдан кейін бұрыш 160° қанығуға жететіндігі анықталды. Сондай-ақ, жұмыс газы құрамының (аргон мен метан газдарының қоспасы) гидрофобтылыққа әсері зерттелді. Газ құрамында метан 1 пайыз болса, тек нанобөлшектер синтезделіп, беттің гидрофобтылығы тұрақсыз болады, ал метанның үлесін 7 пайызға дейін көбейтсек, онда нанокластерлерден тұратын наноқабықша алынып, беттің гидрофоб-

тылығы салыстырмалы түрде жақсартындығы анықталды. Сонымен бірге, супергидрофобты бет алу мақсатында плазманың пульстік жану режимі пайдаланылды. Онда диаметрі 4-10 нм болатын нанокластерлерден тұратын наноқабықша синтезделді. Алынған үлгінің гидрофобтылығы бірінші режимде алынған үлгімен салыстырғанда наноқабықшаның беріктігі жақсы, бірақ бетпен жанасу бұрышы төмен екендігін көрсетті. Алынған үлгілерге СЭМ, СЗМ, оптикалық және жанасу бұрышын есептейтін анализдер жасалынды. Тәжірибе плазманың әртүрлі параметрлерінде (газ қысымы, разряд қуаты) жүргізілді. Супергидрофобты бетті буферлі плазмамен (аргон немесе азот) өңдеген кезде, бет супергидрофильді қасиетке ие болатындығы байқалды.

Түйін сөздер: нанобөлшектер, ЖЖ разряд, супергидрофобты беттер, супергидрофильді беттер.

Кіріспе

Бәрімізге белгілі, егер қатты беттің су тамшысымен жанасу бұрышы $\alpha > 90^\circ$ болса, онда ол гидрофобты, ал егер $\alpha < 90^\circ$ болса, онда гидрофильді деп аталады. Сонымен қатар, жанасу бұрышы 150° -тан асатын супергидрофобты және ЖБ 10° -тан төмен супергидрофильді беттер де бар. Мұндай беттерді мұз қатуға, коррозияға қарсы, өздігінен тазаланатын материалдар алуда, медицинада және т.б. салаларда қолдану қарастырылған [1-4]. Бетке судың жұғуы негізінен екі факторға тәуелді: химиялық құрамы және беттің кедір-бұдырлығы. Егерді осы екі факторды ұтымды таңдайтын болсақ, онда жанасу бұрышы 180° -қа жуық (лотос эффектісі) супергидрофобты материалдар алуға болады [5]. Гидрофобты беттер алудың бірнеше әдістері бар, олар: беттерді плазмамен өрнектеу, плазмалық қондыру, лазерлік өңдеу, золь-гель, химиялық өрнектеу, литография және т.б. [6-19].

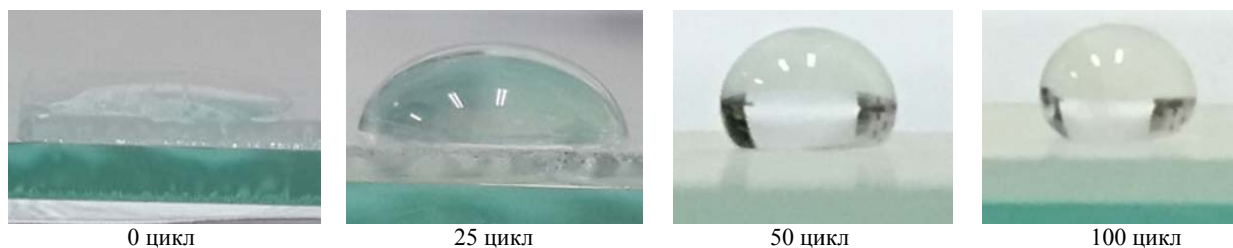
Келесі, [20] жұмыста кедір-бұдырлық деңгейі 20 нм болатын гидрофобты беттер плазмалық өңдеу әдісі көмегімен алынған. Ал [11] жұмыстың авторлары «LDPE» кристаллизациялану параметрлерін басқара отырып, әртүрлі құрылымды, жанасу бұрышы 173° болатын супергидрофобты беттер дайындаған. Тағы бір әдіс түрі [21] жұмыста көрсетілген, ол жерде золь-гель әдісі негізінде шыны бетке нанокластерлер мен нанобөлшектерден тұратын құрылымдық қабықшалар отырғызылған. Гидролиз және конденсация процесстерін басқара отырып та, беттің құрылымын реттеуге болатындығын зерттеген. Яғни, бұл әдіс екі деңгейден тұрады: беттің кедір-бұдырлығы золь-гель әдісімен, ал мөлдірлігі фторидпен өңдеу арқылы алынған. Сонымен, супергидрофобты беттерді алудың бірнеше әдістері бар. Бірақ, осы әдістермен алынған нәтижелерді саралай келе, әрқайсысының өзіндік кемшіліктері мен артықшылықтары бар екендігін көруге болады.

Бұл жұмыста «PECVD» әдісі көмегімен супергидрофобты беттер алудағы эксперименттік нәтижелер келтірілген. Беттің кедір-бұдырлығының плазма параметрлері мен газ құрамына тәуелділігі эксперименттік түрде зерттелген.

Тәжірибелік бөлім және алынған нәтижелер

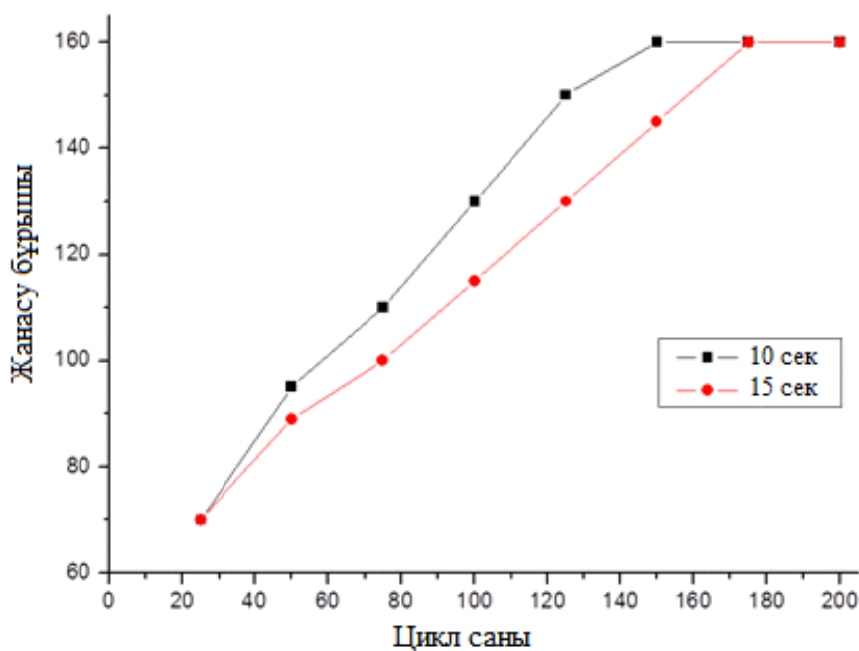
Тәжірибелік қондырғы вакуумдық жүйе, қорек көзі және жұмыс камерасынан тұрады. ЖЖ генератор мен сәйкестендіруші құрылғы қорек көзін құрайды. Тәжірибелік қондырғының басты бөлігі жұмыс камерасында орналасқан, бір-біріне параллель электродтар жүйесі болып табылады. Жоғарғы электродқа жоғары жиілікті кернеу беріледі, ал төменгі электрод жерге жалғанған. Электродтардың арақашықтығы 3 см, ал диаметрлері, сәйкесінше, 8 см және 10 см. Тәжірибелік қондырғының толық сипаттамасы [22] жұмыста көрсетілген. Жұмыс газы ретінде аргон және метан газдарының қоспасы алынды. Разряд қуаты 5-50 Вт, газ қысымы 0,1-1 Тор аралығында өзгертіліп отырылды.

Плазма жанғаннан кейін, белгілі параметрлерде $\text{Ar}/\text{C}_2\text{H}_4$ газ қоспасы болғандықтан, көміртекті нанобөлшектері синтезделеді [23]. Плазманы сөндіргеннен соң, бұл нанобөлшектердің белгілі бір бөлігі төменгі электродта орналасқан төсеніштің бетіне наноқабықша ретінде қонады. Бұл процес циклді түрде жүргізіліп отырады. Осылайша, төсеніштегі нанобөлшектердің мөлшерін, нанобөлшектерден тұратын қабықшалардың кедір-бұдырлығы мен қалыңдығын нанобөлшектерді қондыру циклінің санымен басқаруға болады. Ол өз кезегінде әртүрлі көміртекті нанобөлшектерден тұратын кедір-бұдырлы бет алуға әсер етеді. Циклдің саны өскен сайын, төсеніштегі нанобөлшектердің тығыздығы артады, ол жанасу бұрышының жоғарылауына алып келеді. Төмендегі 1-суретте әртүрлі цикл санында алынған нанокластерлі қабықшалы беттерге су тамшысының жұғуы көрсетілген.



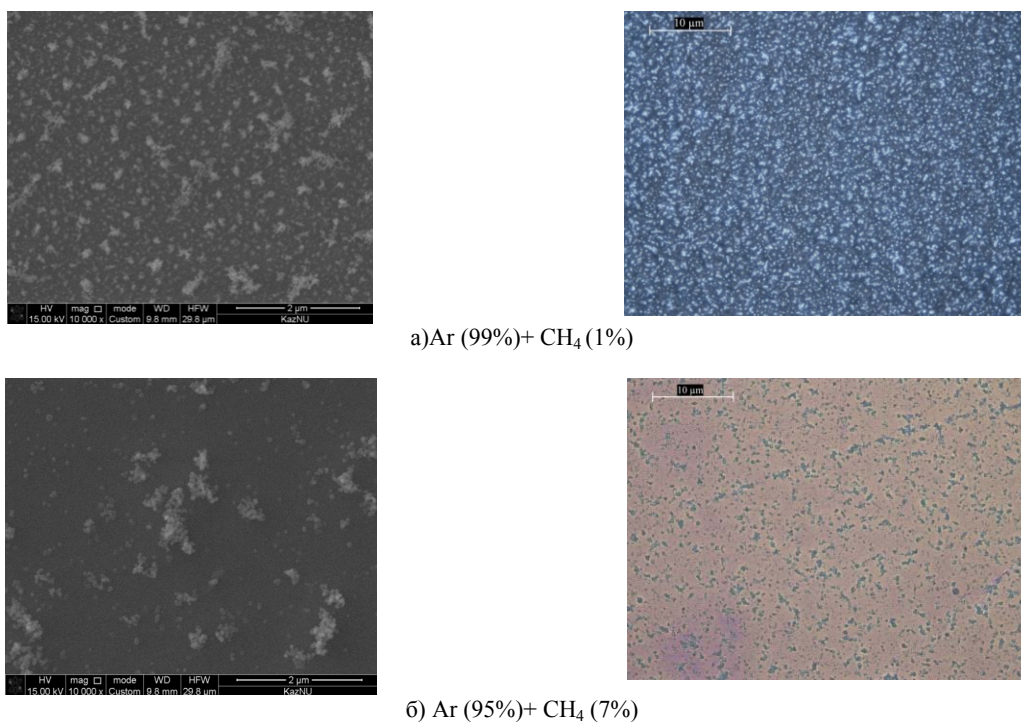
Сурет 1 – Әртүрліцикл санында алынған гидрофобты беттер

Алынған тәжірибелік нәтижелердің негізінде, жанасу бұрышының нанобөлшектерді қондыру циклының санына және ұзақтығына тәуелділігі тұрғызылды (2 - сурет). Графиктен көріп отырғанымыздай, жанасу бұрышы циклдың санына сызықты тәуелді өсуде, бірақ 150-160 циклдан кейін жанасу бұрышы 160° қанығуға жетіп, ары қарай цикл санына тәуелсіз болады. Сонымен қатар, бұл графикте әртүрлі циклдің ұзақтығының қисықтары келтірілген. Бұлжердегі ерекшелікті былайша түсіндіруге болады: плазмада белгілі параметрлерде уақытқа тәуелді белгілі өлшемдегі нанобөлшектер синтезделеді, мысалы, 10 секундта диаметрлері $\sim 70-90$ нм, ал 15 секундта $\sim 120-170$ нм өлшемдегі бөлшектер синтезделеді. Осылайша, нанобөлшектердің өлшемдеріне байланысты, жанасу бұрышына әсер ететін беттің кедір-бұдырлығыда өзгереді.



Сурет 2 – Жанасу бұрышының нанобөлшектерді қондыру циклының санына және ұзақтығына тәуелділігі

Сонымен қатар, жұмыс газының құрамының гидрофобтылыққа әсері зерттелді. Ar/CH_4 газ қоспасындағы метанның үлесінің төменгі мәнінде (1%) тек нанобөлшектер синтезделеді және олардың бір-бірімен байланысы өте әлсіз, ал қоспадағы метан газының үлесін 7 пайызға дейін жоғарылататын болсақ, онда нанобөлшектермен қатар наноқабықша синтезделеді. Оны 3-суретте көрсетілген СЭМ көріністер мен оптикалық микроскоп көмегімен алынған фотосуреттерден байқауға болады.



Сурет 3 – Газдың әртүрлі құрамында алынған үлгілердің СЭМ және оптикалық фотосуреттері

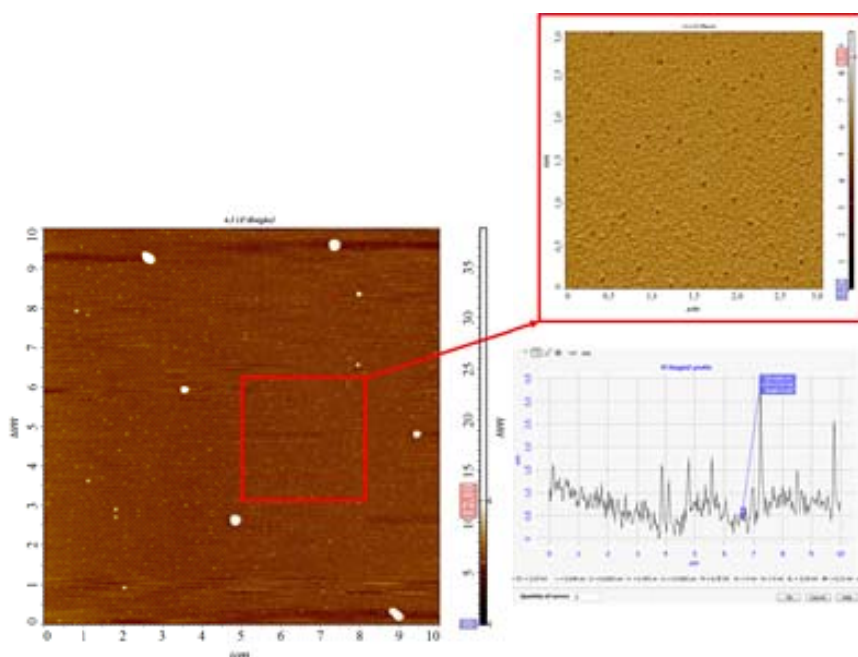
Егер төсеніш бетіндегі наноқабықша тек нанобөлшектерден құралып, бір-бірімен байланысы өте әлсіз болса, онда ол су тамшысымен әсерлескенде беттің гидрофобтылығы бірден жойылады (4а-сурет), ал егер төсеніш бетіндегі қабықша нанобөлшектермен қатар наноқабықшадан тұратын болса, онда беттің гидрофобтылығы сақталады, себебі қабықша нанобөлшектер арасындағы байланыстырушы элемент қызметін атқарады (4б-сурет).



Сурет 4 – Газдың әртүрлі құрамында алынған үлгілердің фотосуреті

Сондай – ақ, тұрақты супергидрофобты бет алу үшін, плазманың пульстік жану режимі пайдаланылды. Бұл режимде плазманың жану уақыты салыстырмалы түрде өте аз болғандықтан, диаметрі 4-10 нм болатын бөлшектер мен наноқабықша синтезделеді. Алынған үлгінің гидрофобтылығы бірінші тұрақты (үздіксіз) режиммен алынған үлгімен салыстырғанда төсенішпен беріктігі жақсы, бірақ жанасу бұрышы төмен екендігін көрсетті. Себебі өлшемдері өте кіші бөлшектер синтезделген, ол қабықшаның кедір бұдырлығының биіктігі аласаболуына әкеп соғады.

Бұл үлгі СЗМ көмегімен зерттелді, ол үлгінің беті кедір-бұдырлы екендігін дәлелдейді және кедір бұдырлығының биіктігі салыстырмалы түрде өте төмен, бұл нәтижелерді 5-суреттен көруге болады.



Сурет 5 – Пульстік режимде алынған үлгінің СЗМ көрінісі

Тәжірибе барысында, алынған супергидрофобты бетті буферлі плазмамен (аргон немесе азот) өндеген кезде, беттің гидрофобтылығы бұзылып, бет супергидрофильді қасиетке ие болатындығы анықталды. Бетті плазмамен өндеу уақыты ұзарған сайын, жанасу бұрышы төмендейді. 6-суретте супергидрофобтылықтан супергидрофильділікке трансформациялау көрінісі көрсетілген.



Сурет 6 – Супергидрофобтылықтан супергидрофильділікке трансформациялау көрінісі

Қорытынды

Осылайша, бұл жұмыста ЖЖ разряд плазмасында PECVD әдісі көмегімен супергидрофобты және супергидрофильді беттер алынды. Беттің кедір-бұдырлық деңгейін нанобөлшектердің бетке қондыру циклының санымен басқаруға, ал жұмыстық газ құрамын өзгерту негізінде беттің гидрофобтылық қасиетін өзгеруге болатындығы тәжірибелік түрде анықталды. Алынған үлгілерге СЭМ, СЗМ, оптикалық және жанасу бұрышын есептейтін анализдер жасалынды. Тәжірибе плазманың әртүрлі параметрлерінде (газ қысымы, разряд қуаты) жүргізілді. Сонымен қатар, супергидрофобты бетті буферлі плазмамен (аргон немесе азот) өндеген кезде, бет супергидрофильді қасиетке ие болатындығы байқалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Wang Sh., Liu K., Yao X., and Jiang L. (2015) Bioinspired Surfaces with Superwettability: New Insight on Theory, Design, and Applications, *Chem. Rev.*, 115(16):8230–8293. DOI: 10.1021/cr400083y
- [2] Levkin P.A., Svec F. and Frechet J.J.M. (2009) Porous Polymer Coatings: a Versatile Approach to Superhydrophobic Surfaces, *Advanced Functional Materials*, 19 (12): 1993–1998. DOI: 10.1002/adfm.200801916
- [3] Bhushan B., Jung Y.C. and Koch K. (2009) Self-Cleaning Efficiency of Artificial Superhydrophobic Surfaces, *Langmuir*, 25 (5): 3240–3248. DOI: 10.1021/la803860d
- [4] Zhang X., Shi F., Niu J., Jiang Y.G. and Wang Z.Q. (2008) *Journal of Materials Chemistry*, 18 (6): 621–633. DOI: 10.1039/B711226B
- [5] D. Ebert, B. Bhushan, J. (2012) Durable Lotus-effect surfaces with hierarchical structure using micro- and nanosized hydrophobic silica particles, *Colloid Interface Sci.*, 368: 584–591. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.09.049
- [6] Du X., He J. (2011) A Self-Templated Etching Route to Surface-Rough Silica Nanoparticles for Superhydrophobic Coatings, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 3: 1269–1276. DOI: 10.1021/am200079w
- [7] Song X., Zhai J., Wang Y., Jiang L. (2006) Self-assembly of amino-functionalized monolayers on silicon surfaces and preparation of superhydrophobic surfaces based on alkanolic acid dual layers and surface roughening, *J. Colloid Interface Sci.*, 298 (1): 267–273. DOI: 10.1016/j.jcis.2005.11.048
- [8] Jiang L., Zhao Y., Zhai J. (2004) A Lotus-Leaf-like Superhydrophobic Surface: A Porous Microsphere/Nanofiber Composite Film Prepared by Electrohydrodynamics, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 43: 4338–4341. DOI: 10.1002/anie.200460333
- [9] Tadanaga, K., Morinaga, J., Matsuda, A., Minami, T. (2000) Superhydrophobic–Superhydrophilic Micropatterning on Flowerlike Alumina Coating Film by the Sol–Gel Method, *Chem. Mater.*, 12: 590–592. DOI: 10.1021/cm990643h
- [10] Yamanaka M., Sada K., Miyata M., Hanabusa K., Nakano K. (2006) Construction of superhydrophobic surfaces by fibrous aggregation of perfluoroalkyl chain-containing organogelators, *Chem. Commun.*, 0: 2248–2250. DOI: 10.1039/B601485B
- [11] Lu X., Zhang C., Han Y. (2004) Low-Density Polyethylene Superhydrophobic Surface by Control of Its Crystallization Behavior, *Macromol. Rapid Commun.*, 25 (18): 1606–1610. DOI: 10.1002/marc.200400256
- [12] Li, X., Chen G., Ma Y., Feng L., Zhao H., Jiang L., Wang F. (2006) Preparation of a super-hydrophobic poly(vinyl chloride) surface via solvent–nonsolvent coating, *Polymer*, 47 (2): 506–509. DOI: 10.1016/j.polymer.2005.08.097
- [13] Feng L., Li S., Li H., Zhai J., Song Y., Jiang L., Zhu D. (2002) Super-Hydrophobic Surface of Aligned Polyacrylonitrile Nanofibers, *Angew. Chem.*, 114 (7): 1269–1271. DOI: 10.1002/1521-3757(20020402)114:7<1269::AID-ANGE1269>3.0.CO;2-E
- [14] Cao X., Qu M., Zhao G., Wang Q., Zhang J. (2008) Fabrication of superhydrophobic surfaces by a Pt nanowire array on Ti/Si substrates, *Nanotechnology*, 19: 055707. DOI: 10.1088/0957-4484/19/19/199801
- [15] Kim D.-H., Kim Y., Kim B.M., Ko J.S., Cho C.-R., Kim, J.- M. J. (2011) Uniform superhydrophobic surfaces using micro/nano complex structures formed spontaneously by a simple and cost-effective nonlithographic process based on anodic aluminum oxide technology, *Micromech. Microeng.*, 21: 045003. DOI: 10.1088/0960-1317/21/4/045003
- [16] Wang S., Feng L., Jiang L. (2006) One-Step Solution-Immersion Process for the Fabrication of Stable Bionic Superhydrophobic Surfaces, *Adv. Mater.*, 18(6): 767–770. DOI: 10.1002/adma.200501794
- [17] Meng, H. F., Wang, S. T., Xi, J. M., Tang, Z. Y., Jiang, L. (2008) Facile Means of Preparing Superamphiphobic Surfaces on Common Engineering Metals, *J. Phys. Chem. C*, 112 (30): 11454–11458. DOI: 10.1021/jp803027w
- [18] Qingjun W., Yiwu Q., Junsheng Z., Qingmin C. (2006) Preparation of super water-repellent membrane by radiation-induced copolymerization, *Surf. Coat. Technol.* 200: 5493–5497. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.07.069
- [19] Zhao N., Shi F., Wang Z., Zhang X. (2005) Combining Layer-by-Layer Assembly with Electrodeposition of Silver Aggregates for Fabricating Superhydrophobic Surfaces, *Langmuir*, 21 (10): 4713–4716. DOI: 10.1021/la0469194
- [20] Fresnais J., Chapel J.P., (2006) Synthesis of transparent superhydrophobic polyethylene surfaces, *Surf. Coat. Technol.*, 200 (18,19): 5296–5305. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.06.022
- [21] Shang H.M., Wang Y., Limmer S.J., Chou T.P., Takahashi K., Cao G.Z. (2005) Optically transparent superhydrophobic silica-based films, *Thin Solid Films*, 472 (1–2): 37–43. DOI: 10.1016/j.tsf.2004.06.087
- [22] Orazbayev S.A., Omirbekov D.B., Gabdullin M.T., Dosbolayev M.K., Ramazanov T.S. (2016) The influence of gas temperature on size and structure of the dust nanoparticles. *News of the NAS of the RK, phys.-math. series*, 6 (310): 78–84 (in Russian)
- [23] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Omirbekov D.B. Synthesis of carbon nanoparticles by gas-phase deposition in a low-temperature RF discharge plasma, *Proceedings of the XIII International Conference, Kursk, Russia, Part 1, P. 368–374. (in Russian)*

**С.А. Оразбаев, Т.С. Рамазанов, М.Қ. Досболаев,
М.Т. Габдуллин, Д.Б. Өмірбеков**

ННЛОТ, КазНУ им. аль-Фараби

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СУПЕРГИДРОФОБНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПЛАЗМЕ ВЧ РАЗРЯДА

Аннотация. Целью данной работы являлось получение супергидрофобных поверхностей в плазменной среде. Эксперимент проводился с использованием PECVD метода в двух разных режимах: постоянном и пульсирующем. Шероховатость поверхности была получена с помощью нанесения наночастиц, синтезированных в плазме в смеси аргона и метана. Полученные частицы были осаждены на поверхности кремния и стеклянных материалов. Была получена зависимость контактного угла от цикла нанесения наночастиц на поверхность. Контактный угол линейно увеличивался в зависимости от числа циклов, пока он не достигал значения 160° при 150-160 циклах, после чего увеличение циклов не влияет на контактный угол, так как идет процесс насыщения. Также было исследовано влияние состава рабочего газа на гидрофобность поверхности. При низких концентрациях метана (1%) в рабочем газе синтезируются только частицы, и гидрофобность неустойчива, а при увеличении концентрации метана (7%) синтезируется нанопленка из нанокластеров, и гидрофобность поверхности относительно устойчива. Кроме того, для получения супергидрофобных поверхностей использовался пульсирующий режим плазмы. Была синтезирована нанопленка, состоящая из нанокластеров диаметром 4-10 нм. Гидрофобность образца показала, что прочность нанопленки была стойкой по сравнению с образцом, полученным в первом режиме, но угол контакта был ниже. Полученные образцы были исследованы с помощью СЭМ, СЗМ, оптического анализа, и были определены их контактные углы. Эксперимент проводился при различных параметрах плазмы (давление газа, мощность разряда). Было обнаружено, что при обработке супергидрофобной поверхности буферной плазмой (аргона или азота), она становится супергидрофильной.

Ключевые слова: наночастицы, ВЧ разряд, супергидрофобная поверхность, супергидрофильная поверхность.

МАЗМҰНЫ

<i>Асанова А.Т.</i> Сынықтар әдісінің жүктелген және интегралдық-дифференциалдық параболалық теңдеулер үшін периодты есепті шешуге қолданылуы	5
<i>Сергазина А.М., Есмаханова Қ.Р., Ержанов К.К., Тунгушбаева Д.И.</i> (1+1)-өлшемді локалды емес фокусталған сызықты емес шредингер теңдеуі үшін дарбу түрлендіруі.....	14
Боос Э.Г. <i>Темиралиев Т*, Избасаров М., Самойлов В.В., Покровский Н.С., Турсунов Р.А.</i> Импульсі 32 ГЭВ/С антипротон-протондық аннигиляциялық реакциясында екінші реттік зарядталған бөлшектердің бұрыштық корреляциясы.....	22
<i>Бошқаев Қ.А., Жәми Б.А., Қалымова Ж.А., Бришева Ж.Н.</i> Шекті температуралар мен жалпы салыстырмалық теориясының әсерлерін ескергендегі статикалық ақ ергежейлі жұлдыздар.....	27
<i>Мурзахметов А.Н., Федотов А.М., Гришко М.В., Дюсембаев А.Е.</i> Әлеуметтік-экономикалық қоғамдарда инновацияның таралуын модельдеу.....	39
<i>Оразбаев С.А., Рамазанов Т.С., Досболаев М.Қ., Габдуллин М.Т., Әмірбеков Д.Б.</i> Жоғары жиілікті разряд плазмасында супергидрофобты беттер алу әдісі.....	45
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Ұңғымаларды игеру кезінде ұңғымаларды шаюдағы отандық және шетелдік технологияларды қолдану ерекшеліктері	52
<i>Қабылбеков К.А., Омашова Г.Ш.</i> MATLAB жүйесін қолданып жылу тасымалдауды зерттеуге арналған зертханалық жұмыстарды орындауды ұйымдастыру.....	56
<i>Исадыков А.Н., Иванов М.А., Нурбакова Г.С., Сайдуллаева Г.Г., Рустембаева С.Б.</i> В–S ауысуының формфакторларын есептеу	67
<i>Нурбакова Г.С., Хабыл Н., Валиолда Д.С., Тюлемисов Ж.Ж.</i> $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c$ Ауысуы үшін формфакторлар.....	78
<i>Жақып-тегі К. Б.</i> Ойдан шығарылған аймақтар әдістемесінің гидродинамикадағы репрезентаттығы	85
<i>Мусрепова Э., Жидебаева А.Н., Шалданбаев А.Ш.</i> Сингуляр әсерленген, бірінші ретті теңдеудің, Кошилік есебін шешудің операторлық әдістері.....	96
<i>Исадыков А.Н., Иванов М.А., Нурбакова Г.С., Жаугашева С.А., Мұратхан Ж.</i> Кварктардың коварианттық моделінде $V_s \rightarrow \phi$ ауысуы.....	108
<i>Жақып-тегі К. Б.</i> «Дарси заңының» сүзгі теориясындағы компилятивтігі	115
<i>Глуценко Н.В., Горлачев И.Д., Желтов А.А., Киреев А.В., *Мұқашев Қ.М., Платов А.В.</i> УКП-2-1 үдеткішімен жүргізілетін физикалық эксперименттерді орындауды автоматтандыру.....	131
<i>Қабылбеков К.А., Омашова Г.Ш.</i> MATLAB жүйесін қолданып гидродинамикадан компьютерлік зертханалық жұмыстарды орындауды ұйымдастыру.....	139
<i>Байдуллаев С., Байдуллаев С.С.</i> Жердің тәулік дәуірлі электр токтары.....	146
<i>Моисеева Е.С., Найманова А.Ж.</i> Көлденең үрленетін ағынша мен жылдамдығы дыбыс жылдамдығынан жоғары ағыспен әсерлесу механизмдеріне кіре берістегі шекаралық қабаттың әсері.....	154
<i>Глуценко Н.В., Горлачев И.Д., Желтов А.А., Киреев А.В., *Мұқашев Қ.М., Платов А.В.</i> УКП-2-1 үдеткішімен жүргізілетін физикалық эксперименттерді орындауды автоматтандыру.....	163
<i>Ахмедиярова А.Т., Мамырбаев О.Ж.</i> Петри желісімен қалалық жол көлігі қозғалысын модельдеу.....	171

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Асанова А.Т.</i> Применение метода ломаных к решению периодической задачи для нагруженного и интегро-дифференциального параболических уравнений	5
<i>Сергазина А.М., Есмаханова К.Р., Ержанов К.К., Тунгушбаева Д.И.</i> Преобразования Дарбу для (1+1)-мерного нелокального фокусированного нелинейного уравнения шредингера.....	14
<i>Боос Э.Г., Темирлиев Т.*</i> , <i>Избасаров М., Жаутыков Б.О., Самойлов В.В., Покровский Н.С., Турсунов Р.А.</i> Угловые корреляции вторичных заряженных частиц в реакциях антипротон-протонной аннигиляции ПРИ 32 ГЭВ/С.....	22
<i>Бошкаев К.А., Жами Б.А., Калымова Ж.А., Бришева Ж.Н.</i> Статические белые карлики с учетом эффектов конечных температур и общей теории относительности.....	27
<i>Мурзахметов А.Н., Федотов А.М., Гришко М.В., Дюсембаев А.Е.</i> Моделирование распространения инновации в социально-экономических системах.....	39
<i>Оразбаев С.А., Рамазанов Т.С., Досболаев М.Қ., Габдуллин М.Т., Өмірбеков Д.Б.</i> Способ получения супергидрофобных поверхностей в плазме ВЧ разряда.....	45
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Особенности применения отечественных и зарубежных технологий промывки скважин при освоении скважин.....	52
<i>Кабылбеков К.А., Омашова Г.Ш.</i> Организация выполнения компьютерных лабораторных работ по исследованию теплопереноса с применением системы MATLAB.....	56
<i>Исадыков А.Н., Иванов М.А., Нурбакова Г.С., Сайдуллаева Г.Г., Рустембаева С.Б.</i> Вычисление формфакторов В-S перехода.....	67
<i>Нурбакова Г.С., Хабыл Н., Валиолда Д.С., Тюлемисов Ж.Ж.</i> Формфактор для перехода $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c$	78
<i>Джакупов К.Б.</i> Репрезентативность метода фиктивных областей в гидродинамике.....	85
<i>Мусрепова Э., Жидебаева А.Н., Шалданбаев А.Ш.</i> Об операторных методах решения сингулярно возмущенной задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка с переменным коэффициентом.....	96
<i>Исадыков А.Н., Иванов М.А., Нурбакова Г.С., Жаугашева С.А., Муратхан Ж.</i> $V_s \rightarrow \phi$ переход в ковариантной модели кварков.....	108
<i>Джакупов К.Б.</i> Компилятивность “Закона Дарси” в теории фильтрации.....	115
<i>Глуценко Н.В., Горлачев И.Д., Желтов А.А., Киреев А.В., *Мукашев К.М., Платов А.В.</i> Автоматизация проведения физических экспериментов на ускорителе УСП-2-1.....	131
<i>Кабылбеков К.А., Омашова Г.Ш.</i> Организация выполнения компьютерных лабораторных работ по гидродинамике с применением системы MATLAB.....	139
<i>Байдуллаев С., Байдуллаев С. С.</i> Земные электрические токи с суточными периодами.....	146
<i>Моисеева Е.С., Найманова А.Ж.</i> Влияние толщины пограничного слоя на входе на механизмы взаимодействия сверхзвукового потока с поперечно дувимой струей.....	154
<i>Глуценко Н.В., Горлачев И.Д., Желтов А.А., Киреев А.В., Мукашев К.М., Платов А.В.</i> Автоматизация проведения физических экспериментов на ускорителе УСП-2-1.....	163
<i>Ахмедиярова А.Т., Мамырбаев О.Ж.</i> Моделирование транспортных систем города с помощью сетей Петри.....	171

CONTENTS

<i>Assanova A.T.</i> Application of polygonal method to solve of periodic problem for loaded and integro-differential parabolic equations	5
<i>Sergazina A., Yesmakhanova K., Yerzhanov K., Tungushbaeva D.</i> Darboux transformation for the (1+1)-dimensional nonlocal focusing nonlinear schrödinger equation.....	14
<u>Boos E.</u> , <i>Temiraliyev T., Izbasarov M., Zhautykov B., Samoilov V., Pokrovsky N., Tursunov R.</i> Angle correlations of secondary charged particles in the reactions of antiproton-proton annihilation at 32 GEV/S.....	22
<i>Boshkayev K.A., Zhami B.A., Kalymova Zh.A., Brisheva Zh.N.</i> Static white dwarfs taking into account the effects of finite temperatures and general relativity.....	27
<i>Murzakhmetov A.N., Fedotov A.M., Grishko M.B., Dyusembaev A.E.</i> Modeling of distribution of innovation in socio-economic systems.....	39
<i>Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Omirbekov D.B.</i> The method of obtaining hydrophobic surfaces in the plasma of rf discharge.....	45
<i>Sarsenbayev Kh.A., Khamzina B.S., Koldassova G.A., Issayeva G.B.</i> Features of application of domestic and foreign technologies of washing of wells at development of wells	52
<i>Kabylbekov K. A., Omashova G. SH.</i> Organization of implementation of computer laboratory works for the study of heat transfer with the use of MATLAB system.....	56
<i>Issadykov A.N., Ivanov M.A., Nurbakova G.S., Saidullaeva G.G., Rustembayeva S.B.</i> Calculation of B-S transition form factors	67
<i>Nurbakova G.S., Habyln, Valiolda D.S., Tyulemissov Zh. Zh.</i> Form factors for $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c$ transition.....	78
<i>Jakupov K.B.</i> Representation of the method of the fiction areas in hydrodynamics.....	85
<i>Musrepova E., Zhidebaeva A.N., Shaldanbaeva A.Sh.</i> On operator methods for solving a singularly perturbed Cauchy problem for an ordinary differential equation of the first order with a variable coefficient.....	96
<i>Issadykov A.N., Ivanov M.A., Nurbakova G.S., Zhaugasheva S.A., Muratkhan Zh.</i> $B_s \rightarrow \phi$ Transition in covariant quark model.....	108
<i>Jakupov K.B.</i> Complicability of the "Darcy law" in the filtration theory.....	115
<i>Gluschenko N.V., Goralchev I.D., Zheltov A.A., Kireev A.V., Mukshev K.M., Platov A.V.</i> Automation of experimentation at Accelerator UKP-2-1	131
<i>Kabylbekov K. A., Omashova G. SH.</i> Organization of implementation of computer laboratory works on hydrodynamics with application of MATLAB.....	139
<i>Baydullaev S., Baydullaev S. S.</i> Earth electric currents with diurnal periods.....	146
<i>Moisseyeva Ye., Naimanova A. E.</i> Effect of boundary layer thickness at inlet on patterns of interaction of supersonic flow with transverse injected jet.....	154
<i>Gluschenko N.V., Goralchev I.D., Zheltov A.A., Kireev A.V., Mukshev K.M., Platov A.V.</i> Automation of experimentation at accelerator UKP-2-1	163
<i>Akhmediyarova A.T., Mamyrbayev O.</i> Modeling of transport system with the help of Petri net.....	171

**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, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 20.12.2017.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11,2 п.л. Тираж 300. Заказ 6.

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