

ВЕСЦІ

НАЦЫЯНАЛЬНАЯ
АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ ФІЗІКА-МАТЭМАТЫЧНЫХ НАВУК 2015 № 3

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК 2015 № 3

ЗАСНАВАЛЬНІК – НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ

Часопіс выдаецца са студзеня 1965 г.

Выходзіць чатыры разы ў год

ЗМЕСТ

МАТЭМАТЫКА

Карпук М. В. Полное описание старшего показателя Ляпунова линейной дифференциальной системы с параметром-множителем	5
Войделевич А. С. Существование бесконечных всюду разрывных спектров верхних характеристических частот нулей и знаков линейных дифференциальных уравнений	17
Сазонова А. Т. Аналитические свойства решений задачи о движении четырех тел в плоскости	24
Зверович Э. И. Алгоритм построения конформного гомеоморфизма конечнолистной римановой поверхности на плоскость	32
Барабанов Е. А., Колюх А. В. Точные крайние границы показателей Боля решений линейной дифференциальной системы с малыми возмущениями	36
Егоров А. Д. О порядке сходимости аппроксимаций одного класса функционалов от винеровского процесса	52
Чичурин А. В., Швычкина Е. Н. Моделирование хемостата популяционной динамики бактериальных плазмид	59
Кудин А. С., Луневич А. В. Аналог теоремы Хинчина в случае расходимости в трехмерном евклидовом пространстве	66

ФІЗІКА

Плетюхов В. А. Объединенное поле Максвелла – Кальба – Рамонда и взаимодействие струн	82
Ауфрей Э., Буганов О. В., Коржик М. В., Тихомиров С. А., Федоров А. А., Широков А. Д. Использование двухфотонного поглощения в неорганических сцинтилляционных материалах для формирования субпикосекундных временных меток взаимодействия с ионизирующим излучением	91
Бураков В. С., Буцень А. В., Тарасенко Н. В. Спектроскопическая диагностика двухимпульсной лазерно-абляционной плазмы в жидкости для оптимизации процесса синтеза наночастиц	98
Архипенко В. И., Кириллов А. А., Павлова А. В., Симончик Л. В., Дудчик Н. В., Кураца М. М., Обрадович Б. М. Бактерицидные компоненты в воздушной плазменной струе при постоянном и импульсно-периодическом токовых режимах	104
Микитчук К. Б., Малышев С. А., Чиж А. Л. Режим одночастотной генерации в оптоэлектронном генераторе СВЧ на линиях задержки с оптическим усилением	111

ІНФАРМАТЫКА

Черемисинова Л. Д. Поиск кратчайшей установочной последовательности схемы с памятью на D-триггерах	119
---	-----

ІЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ 2015 № 3

Серия физико-математических наук

На русском, белорусском и английском языках

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 392 от 18.05.2009

Комп'ютарная вёрстка *В. Л. Смольскай*

Здадзена ў набор 25.08.2015. Падпісана да друку 17.09.2015. Выхад у свет 28.09.2015. Фармат 60×84¹/₈. Папера афсетная.

Друк лічбавы. Ум. друк. арк. 14,88. Ул.-выд. арк. 16,4. Тыраж 58 экз. Заказ 166.

Кошт нумару: індывідуальная падпіска – 83 600 руб.; ведамасная падпіска – 203 287 руб.

Выдавец і паліграфічнае выкананне:

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Выдавецкі дом «Беларуская навука». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/18 ад 02.08.2013.

ЛП 02330/455 ад 30.12.2013. Вул. Ф. Скарыны, 40, 220141, г. Мінск.

© Выдавецкі дом «Беларуская навука».
Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук, 2015

PROCEEDINGS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

PHYSIC AND MATHEMATICS SERIES 2015 N 3

FOUNDED IS THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

The Journal has been published since January 1965

Issued four times a year

CONTENTS

MATHEMATICS

Karpuk M. V. Description of the largest Lyapunov exponent of linear differential systems with a parameter-multiplier	5
Vaidzelevich A. S. Existence of the infinite everywhere discontinuous upper spectra of characteristic frequencies of zeros and signs of linear differential equations	17
Sazonova A. T. Analytical properties of solutions of the problem of the motion of four bodies in the plane	24
Zverovich E. I. Construction algorithm of conformal homeomorphism of the finite-sheeted Riemann surface onto the plane	32
Barabanov E. A., Konyukh A. V. Exact extreme bounds of the Bohl exponents of solutions to the linear differential system with small perturbations	36
Egorov A. D. Order of convergence of approximations for one class of functionals of the Wiener process	52
Chichurin A. V., Shvychkina A. N. Computer modeling of chemostat of population dynamics of bacterial plasmids	59
Kudin A. S., Lunevich A. V. Analog of the Khintchine theorem in the case of divergence in the three-dimensional Euclidean space	66

PHYSICS

Pletyukhov V. A. United Maxwell – Kalb – Ramond field and the interaction of strings	82
Auffray E., Buganov O. V., Korjik M. V., Tikhomirov S. A., Fedorov A. A., Shirokanov A. D. Use of two-photon absorption in inorganic scintillator materials for forming sub-picosecond time stamps of interaction with ionizing radiation	91
Burakov V. S., Butsen A. V., Tarasenko N. V. Spectroscopic diagnostics of double-pulse laser ablation plasma in liquid for nanoparticle synthesis optimization	98

Arkhipenko V. I., Kirillov A. A., Paulav A. V., Simonchik L. V., Dudchik N. V., Kuraica M. M., Obradović B. M. Bactericidal components in an air plasma jet within dc and ripple current regimes	104
Mikitchuk K. B., Malyshev S. A., Chizh A. L. Single-frequency oscillation in the all-optical gain optoelectronic oscillator based on fiber-optic delay line	111

INFORMATICS

Cheremisinova L. D. Shortest synchronizing sequence search for a sequential network with memory on D flip-flops	119
---	-----

М. В. КАРПУК

**ПОЛНОЕ ОПИСАНИЕ СТАРШЕГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЛЯПУНОВА
ЛИНЕЙНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПАРАМЕТРОМ-МНОЖИТЕЛЕМ**

*Институт математики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: m.vasilitch@gmail.com*

Для семейства $dx/dt = \mu A(t)x$, $x \in \mathbb{R}^n$, $t \geq 0$, линейных n -мерных дифференциальных систем с кусочно-непрерывной матрицей $A(t)$, $t \geq 0$, и вещественным параметром μ получено для любого натурального n полное описание старшего показателя Ляпунова его систем, рассматриваемого как функция параметра μ . Доказано, что функция $f: \mathbb{R} \rightarrow \overline{\mathbb{R}}$ является старшим показателем Ляпунова некоторого такого семейства, если и только если она удовлетворяет четырем условиям: 1) принадлежит бэровскому классу $(*, G_\delta)$; 2) равна нулю в нуле; 3) неотрицательна на некоторой полуоси; 4) если она не равна тождественно $+\infty$ ни на одной из открытых полуосей, то существует действительное число b такое, что неравенство $f(\mu) \geq b\mu$ выполняется при всех $\mu \in \mathbb{R}$.

Ключевые слова: линейные дифференциальные системы, параметр-множитель, показатели Ляпунова, бэровский класс.

M. V. KARPUK

**DESCRIPTION OF THE LARGEST LYAPUNOV EXPONENT OF LINEAR DIFFERENTIAL SYSTEMS
WITH A PARAMETER-MULTIPLIER**

*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: m.vasilitch@gmail.com*

The largest Lyapunov exponents of linear differential systems $dx/dt = \mu A(t)x$, $x \in \mathbb{R}^n$, $t \geq 0$, with the real parameter-multiplier μ are considered. It is proven that a function $f: \mathbb{R} \rightarrow \overline{\mathbb{R}}$ is the largest Lyapunov exponent of some linear differential system with a real parameter-multiplier if and only if it fits the next four conditions: 1) it belongs to the $(*, G_\delta)$ Baire class; 2) it vanishes at zero; 3) it is nonnegative on some real semi-axis; 4) if it is not identically equal to $+\infty$ on any real semi-axis, then there exists such a real number b that the inequality $f(\mu) \geq b\mu$ holds for all $\mu \in \mathbb{R}$.

Keywords: linear differential systems, parameter-multiplier, Lyapunov exponents, Baire class.

А. С. ВОЙДЕЛЕВИЧ

**СУЩЕСТВОВАНИЕ БЕСКОНЕЧНЫХ ВСЮДУ РАЗРЫВНЫХ СПЕКТРОВ
ВЕРХНИХ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ НУЛЕЙ И ЗНАКОВ
ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

*Институт математики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: voidelevich@gmail.com*

Построены примеры двух линейных дифференциальных уравнений с непрерывными на временной полуоси коэффициентами, спектры верхних характеристических частот нулей и знаков одного из которых состоят из множества рациональных чисел отрезка $[0, 1]$, а другого – из множества иррациональных чисел отрезка $[0, 1]$ и числа нуль.

Ключевые слова: однородное дифференциальное уравнение, верхняя характеристическая частота нулей, верхняя характеристическая частота знаков.

A. S. VAIDZELEVICH

**EXISTENCE OF THE INFINITE EVERYWHERE DISCONTINUOUS
UPPER SPECTRA OF CHARACTERISTIC FREQUENCIES OF ZEROS
AND SIGNS OF LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS**

Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: voidelevich@gmail.com

Two examples of linear differential equations with continuous coefficients on the time semi-axis were constructed, such that spectra of upper characteristic frequencies of zeros and signs of the first equation are the set of rational numbers from the segment $[0, 1]$ and spectra of upper characteristic frequencies of zeros and signs of solutions of the second equation consist of the set of irrational numbers from the segment $[0, 1]$ and zero.

Keywords: homogeneous differential equation, upper characteristic frequency of zeros, upper characteristic frequency of signs.

A. T. SAZONOVA

АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ЧЕТЫРЕХ ТЕЛ В ПЛОСКОСТИ

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь,
e-mail: sazonova@mf.grsu.by*

Целью исследования данной работы является установление аналитических свойств решения системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающей плоское движение четырех тел. Найдено 50 наборов значений констант межчастичного взаимодействия в задаче четырех тел в плоскости, при которых компоненты общего решения являются мероморфными функциями, а также 15 наборов, при которых соответствующие им системы имеют решения с подвижными критическими особенностями. Полученные результаты могут быть применены в аналитической теории дифференциальных уравнений, а также для решения ряда задач космической динамики.

Ключевые слова: движение четырех тел, константа взаимодействия, подвижные критические особенности, мероморфное решение.

A. T. SAZONOVA

ANALYTICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS OF THE PROBLEM OF THE MOTION OF FOUR BODIES IN THE PLANE

*Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus,
e-mail: sazonova@mf.grsu.by*

The purpose of the study is to establish the analytical properties of solutions of nonlinear differential equations describing the planar motion of four bodies. 50 sets of constant values of interparticle interactions in the problem of four bodies in the plane are found, at which the components of the general solution are the meromorphic functions, as well as 15 sets, at which the corresponding systems have no Painlevé property. The results obtained can be applied in the analytic theory of differential equations, as well as for solving the problems of cosmic dynamics.

Keywords: motion of four bodies, the constant interaction, Painlevé property, meromorphic solution.

Э. И. ЗВЕРОВИЧ

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КОНФОРМНОГО ГОМЕОМОРФИЗМА КОНЕЧНОЛИСТНОЙ РИМАНОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПЛОСКОСТЬ

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: zverovich@bsu.by

Рассматривается конечнолистная рода нуль поверхность наложения сферы. Дается алгоритм построения конформного гомеоморфизма этой поверхности на сферу по заданным точкам разветвления и подстановкам, описывающим закон склеивания листов.

Ключевые слова: конформный гомеоморфизм, накрывающая поверхность, замкнутая риманова поверхность, род поверхности, индекс разветвления, фундаментальный базис, алгебраическая кривая, особая точка, дискриминант.

E. I. ZVEROVICH

CONSTRUCTION ALGORITHM OF CONFORMAL HOMEOMORPHISM OF THE FINITE-SHEETED RIEMAN SURFACE ONTO THE PLANE

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: zverovich@bsu.by

We consider a finite-sheeted covering surface of the sphere of genus zero. We built the algorithm of construction of the conformal homeomorphism of this surface on the sphere by a given branch point and permutations describing the sheets gluing order.

Keywords: conformal homeomorphism, covering surface, closed Riemannian surface, genus of surface, branch index, fundamental basis, algebraic curve, singular point, discriminant.

Е. А. БАРАБАНОВ¹, А. В. КОНЮХ²

**ТОЧНЫЕ КРАЙНИЕ ГРАНИЦЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БОЛЯ
РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
С МАЛЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ**

¹*Институт математики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: bar@im.bas-net.by*

²*Белорусский государственный экономический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: al3128@gmail.com*

Получены формулы вычисления по матрице Коши линейной дифференциальной системы точной верхней границы подвижности вверх нижних показателей Боля и точной нижней границы подвижности вниз верхних показателей Боля ее решений при малых возмущениях коэффициентов системы. Доказано, что при малых возмущениях коэффициентов системы первая из указанных границ устойчива вверх, но неустойчива вниз, а вторая – устойчива вниз, но неустойчива вверх.

Ключевые слова: линейная дифференциальная система, верхний и нижний показатели Боля, верхний и нижний генеральные показатели.

E. A. BARABANOV¹, A. V. KONYUKH²

**EXACT EXTREME BOUNDS OF THE BOHL EXPONENTS OF SOLUTIONS
TO THE LINEAR DIFFERENTIAL SYSTEM WITH SMALL PERTURBATIONS**

¹*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: bar@im.bas-net.by*

²*Belarus State Economic University, Minsk, Belarus,
e-mail: al3128@gmail.com*

Using the Cauchy matrix, the formulas for calculation of the linear differential system of the exact upper bound of the upward mobility of the lower Bohl exponents and of the exact lower bound of the downward mobility of the upper Bohl exponents of its solutions under small perturbations of the coefficients of the system are obtained. It is proved that under small perturbations of the coefficients, the first of the mentioned bounds is upward stable, but is downward unstable, and the second one is downward stable, but is upward unstable.

Keywords: linear differential system, lower and upper Bohl exponents, lower and upper general exponents.

А. Д. ЕГОРОВ

О ПОРЯДКЕ СХОДИМОСТИ АППРОКСИМАЦИЙ ОДНОГО КЛАССА ФУНКЦИОНАЛОВ ОТ ВИНЕРОВСКОГО ПРОЦЕССА

*Институт математики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: egorov@im.bas-net.by*

Получена теорема о порядке сходимости приближенной формулы для вычисления математического ожидания одного класса функционалов специального вида от винеровского процесса. Формула основана на использовании дискретизации временного интервала и квадратурных формул, точных для функциональных многочленов третьей степени.

Ключевые слова: винеровский процесс, функционал от винеровского процесса, математическое ожидание, приближенное вычисление, порядок сходимости.

A. D. EGOROV

ORDER OF CONVERGENCE OF APPROXIMATIONS FOR ONE CLASS OF FUNCTIONALS OF THE WIENER PROCESS

*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: egorov@im.bas-net.by*

The result on the order of convergence of the approximate formula is obtained for evaluation of the mathematical expectation of one class of special-type functionals of the Wiener process. The formula is based on the use of sampling the time interval and the quadrature formulas exact for third-degree functional polynomials.

Keywords: Wiener process, functional of the Wiener process, mathematical expectation, approximate evaluation, order of convergence.

УДК 519.688:004.021

А. В. ЧИЧУРИН¹, Е. Н. ШВЫЧКИНА²

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХЕМОСТАТА ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПЛАЗМИД

¹*Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина, Брест, Беларусь,
e-mail: achichurin@gmail.com*

²*Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: shvychkina@yandex.ru*

Рассматривается модель Стюарта – Левина, описывающая динамику нестабильных штаммов двух микроорганизмов при условии, когда удельная скорость потребления субстрата плазмидосодержащим и бесплазмидным микроорганизмами задается при помощи функции Моно. Для случая равенства констант полунасыщения приведена редукция дифференциальной системы третьего порядка, описывающей рассматриваемую модель, к нелинейному дифференциальному уравнению первого порядка. Для такой системы построены программные модули, позволяющие моделировать свойства ее решений в зависимости от входящих параметров. Найдены коэффициентные соотношения, при которых дифференциальная система третьего порядка имеет аналитическое решение, и приведена визуализация решений для некоторых наборов параметров.

Ключевые слова: компьютерное моделирование хемостата, конкуренция для одного ограниченного субстрата, плазмидосодержащий микроорганизм, бесплазмидный микроорганизм, дифференциальное уравнение, решение, визуализация решений.

A. V. CHICHURIN¹, A. N. SHVYCHKINA²

COMPUTER MODELING OF CHEMOSTAT OF POPULATION DYNAMICS OF BACTERIAL PLASMIDS

¹*Brest State University named after A. S. Pushkin, Brest, Belarus, e-mail: achichurin@gmail.com*

²*Brest State Technical University, Brest, Belarus, e-mail: shvychkina@yandex.ru*

The Stewart – Levine model is considered, which describes the dynamics of unstable strains of two micro-organisms, provided that a specific consumption rate of a substrate by both the plasmid-bearing organism and the plasmid-free organism is given by the Mono function. For the case when the half-saturation constants are equal, the reduction of the third-order differential system describing the considered model to a nonlinear differential equation of the first-order is realized. For such a system we built the software modules that allow simulating its solutions properties which depend on the input parameters. The coefficient relations, at which the third-order differential system has an analytical solution, are found, and the visualization of solutions for the certain sets of parameters is given.

Keywords: computer modeling of chemostat, competition for one complementary nutrient, plasmid-bearing organism; plasmid-free organism, differential equation, solution, visualization of solutions.

А. С. КУДИН, А. В. ЛУНЕВИЧ

**АНАЛОГ ТЕОРЕМЫ ХИНЧИНА В СЛУЧАЕ РАСХОДИМОСТИ
В ТРЕХМЕРНОМ ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

*Институт математики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: kunixd@gmail.com*

Получено доказательство теоремы Хинчина в случае расходимости в трехмерном евклидовом пространстве для множества неприводимых полиномов степени ровно n . В ходе доказательства в трехмерном евклидовом пространстве построена регулярная система троек сопряженных действительных алгебраических чисел степени ровно n . Все результаты получены с помощью методов метрической теории чисел.

Ключевые слова: диофантовы приближения, метрическая теория трансцендентных чисел, теорема типа Хинчина, регулярная система.

A. S. KUDIN, A. V. LUNEVICH

**ANALOG OF THE KHINTCHINE THEOREM IN THE CASE OF DIVERGENCE
IN THE THREE-DIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE**

Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: kunixd@gmail.com

In the article we proved the Khintchine theorem in the case of divergence in the three-dimensional Euclidean space while considering only irreducible polynomials of degree exactly n . In the course of proof we built a regular system of triples of conjugate real algebraic numbers of degree exactly n in the three-dimensional Euclidean space. All results are obtained using the methods of metric number theory.

Keywords: Diophantine approximation, metric theory of transcendental numbers, Khintchine-type theorem, regular system.

В. А. ПЛЕТЮХОВ

**ОБЪЕДИНЕННОЕ ПОЛЕ МАКСВЕЛЛА – КАЛЬБА – РАМОНДА
И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СТРУН**

*Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина, Брест, Беларусь,
e-mail: pletyukhov@yandex.by*

Даны тензорная и матричная формулировки релятивистского волнового уравнения, обеспечивающего совместное описание электромагнитного поля и безмассового поля Кальба – Рамонда с нулевой спиральностью. Показано, что данное уравнение является частным случаем системы уравнений Дирака – Кэлера. Этот результат открывает новые возможности применения поля Дирака – Кэлера в теории струн.

Ключевые слова: электромагнитное поле, поле Кальба – Рамонда, нотоф, релятивистские волновые уравнения, струны.

V. A. PLETYUKHOV

UNITED MAXWELL – KALB – RAMOND FIELD AND THE INTERACTION OF STRINGS

Brest State University named after A. S. Pushkin, Brest, Belarus, e-mail: pletyukhov@yandex.by

Tensor and matrix formulations of the relativistic wave equation providing a description both of an electromagnetic field and a massless Kalb – Ramond field with the zero helicity are given. It is shown that this equation is a particular case of the Dirac – Kähler system. It opens new possibilities for applications of the Dirac – Kähler field in the string theory.

Keywords: electromagnetic field, Kalb – Ramond field, relativistic wave equations, strings.

Э. АУФРЕЙ¹, О. В. БУГАНОВ², М. В. КОРЖИК³, С. А. ТИХОМИРОВ²,
А. А. ФЕДОРОВ³, А. Д. ШИРОКАНОВ²

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ
В НЕОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СУБПИКОСЕКУНДНЫХ ВРЕМЕННЫХ МЕТОК
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

¹ЦЕРН, Женева, Швейцария, e-mail: etiennette.auffray@cern.ch

²Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: stik@presidium.bas-net.by

³Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь,
e-mail: korzhik@bsu.inp.by

Рассмотрены особенности сигнала двухфотонного поглощения в кристалле вольфрамата свинца (PbWO₄) в эксперименте типа «накачка – зондирование». Обнаружены различия в спектральных зависимостях регистрируемого эффекта двухфотонного поглощения при наличии ионизирующего облучения кристалла и без него. Предложен метод использования эффекта для формирования временной метки взаимодействия ионизирующего излучения с сцинтиллятором.

Ключевые слова: двухфотонное поглощение, кристалл вольфрамата свинца, ионизирующее излучение, нестационарная фемтосекундная спектроскопия, сцинтиллятор.

E. AUFFRAY¹, O. V. BUGANOV², M. V. KORJIK³, S. A. TIKHOMIROV², A. A. FEDOROV³, A. D. SHIROKANOV²

**USE OF TWO-PHOTON ABSORPTION IN INORGANIC SCINTILLATOR MATERIALS
FOR FORMING SUB-PICOSECOND TIME STAMPS OF INTERACTION WITH IONIZING RADIATION**

¹CERN, Geneva, Switzerland, e-mail: etiennette.auffray@cern.ch

²B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: stik@presidium.bas-net.by

³Research Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: korzhik@bsu.inp.by

The features of the two-photon absorption signal in lead tungstate crystals (PbWO₄) in the “pump – probe” experiment are considered. The differences in the spectral dependences of the recorded two-photon absorption effect in the presence of ionizing radiation of a crystal and without it are discovered. The method of utilizing the effect to generate a time stamp of interaction of ionizing radiation with a scintillator is proposed.

Keywords: two-photon absorption, lead tungstate crystal, ionizing radiation, transient femtosecond spectroscopy, scintillator.

В. С. БУРАКОВ, А. В. БУЦЕНЬ, Н. В. ТАРАСЕНКО

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДВУХИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНО-
АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ В ЖИДКОСТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА
СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ**

Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: a.butsen@ifanbel.bas-net.by

Исследуются особенности плазмообразования при двухимпульсной лазерной абляции в жидкости с целью оптимизации процесса синтеза наночастиц. На основе спектроскопической диагностики выяснена пространственная структура и временной диапазон излучения лазерно-индуцированной плазмы, создаваемой под действием двоекных лазерных импульсов в жидкости, и определен ее компонентный состав.

Ключевые слова: лазерная абляция в жидкости, эмиссионный спектр, двухимпульсный режим.

SPECTROSCOPIC DIAGNOSTICS OF DOUBLE-PULSE LASER ABLATION PLASMA IN LIQUID FOR NANOPARTICLE SYNTHESIS OPTIMIZATION

*B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: a.butsen@ifanbel.bas-net.by*

The features of plasma formation in double-pulse laser ablation in liquid have been studied to optimize the process of nanoparticles synthesis. On the basis of spectroscopic plasma diagnostics the spatial structure and the time range of laser-induced plasma emission have been revealed and the composition of its component has been determined.

Keywords: laser ablation in liquid, emission spectrum, double-pulse regime.

УДК 533.9.03, 533.9.082.5, 543.422; 537.523/527

*V. I. АРХИПЕНКО¹, А. А. КИРИЛЛОВ¹, А. В. ПАВЛОВА¹, Л. В. СИМОНЧИК¹,
Н. В. ДУДЧИК², М. М. КУРАИЦА³, Б. М. ОБРАДОВИЧ³*

БАКТЕРИЦИДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ ПРИ ПОСТОЯННОМ И ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ ТОКОВЫХ РЕЖИМАХ

*¹Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: a.kirillov@dragon.bas-net.by*

*²Республиканский научно-практический центр гигиены, Минск, Беларусь,
e-mail: n_dudchik@tut.by*

*³Белградский университет, физический факультет, Белград, Сербия,
e-mail: kuki@ff.bg.ac.rc*

Получены воздушные плазменные струи атмосферного давления на постоянном, импульсно-периодическом и автоколебательном токовых режимах. Показано, что основным механизмом инактивации бактерий *Staphylococcus aureus* является воздействие химически активных молекул NO, NO₂ и HNO₂. Методом ИК-абсорбционной спектроскопии определены их концентрации. Выявлен оптимальный режим разряда, индуцирующий плазменные струи, наиболее подходящий для получения бактерицидных компонент.

Ключевые слова: плазменная струя, тлеющий разряд, ИК-абсорбционная спектроскопия, инактивация микроорганизмов, импульсно-периодический режим.

*V. I. ARKHIPENKO¹, A. A. KIRILLOV¹, A. V. PAULAVA¹, L. V. SIMONCHIK¹, N. V. DUDCHIK²,
M. M. KURAIKA³, B. M. OBRADOVIC³*

BACTERICIDAL COMPONENTS IN AN AIR PLASMA JET WITHIN DC AND RIPPLE CURRENT REGIMES

*¹B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: a.kirillov@dragon.bas-net.by*

*²Republican unitary enterprise Scientific Practical Centre of Hygiene, Minsk, Belarus,
e-mail: n_dudchik@tut.by*

*³University of Belgrade, Faculty of Physics, Belgrade, Serbia,
e-mail: kuki@ff.bg.ac.rc*

Atmospheric pressure air plasma jets within dc, pulsed and self-oscillatory current regimes are realized. It is shown that the main mechanism of inactivation of bacteria *Staphylococcus aureus* is the effect of chemically active molecules of NO, NO₂ and HNO₂. The method of IR absorption spectroscopy is used to investigate chemical active component concentrations. The optimal regime of discharge inducing plasma jets, which is more suitable for production of bactericidal components, is found.

Keywords: plasma jet, glow discharge, IR absorption spectroscopy, inactivation of microorganisms, ripple regime.

К. В. МИКИТЧУК, С. А. МАЛЫШЕВ, А. Л. ЧИЖ

РЕЖИМ ОДНОЧАСТОТНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ОПТОЭЛЕКТРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ СВЧ НА ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ С ОПТИЧЕСКИМ УСИЛЕНИЕМ

*Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: mikitchuk@ieee.org*

В данной работе проведено теоретическое исследование квазигармонической генерации в оптоэлектронном генераторе на линиях задержки с оптическим усилением. Рассматриваются особенности применения СВЧ-фазовращателей для обеспечения квазигармонической генерации с низким фазовым шумом и уровнем дискретных составляющих в спектре генерации, а также рассчитано пороговое значение коэффициента усиления контура обратной связи, при котором в оптоэлектронном генераторе на линиях задержки с оптическим усилением наступает режим динамических нестабильностей генерации. Предложен метод обеспечения установления генерации в оптоэлектронном генераторе на частоте максимального усиления.

Ключевые слова: оптоэлектронный генератор, оптическое усиление, одночастотная генерация, динамические нестабильности генерации.

K. V. MIKITCHUK, S. A. MALYSHEV, A. L. CHIZH

SINGLE-FREQUENCY OSCILLATION IN THE ALL-OPTICAL GAIN OPTOELECTRONIC OSCILLATOR BASED ON FIBER-OPTIC DELAY LINE

*B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: mikitchuk@ieee.org*

The theoretical investigation of the single-frequency oscillation in all-optical gain optoelectronic oscillator based on fiber-optic delay lines is performed. It is shown that there is no need in microwave phase shifters within the optoelectronic oscillator loop in order to provide low phase noise and spurious level oscillations. Threshold of the dynamical instabilities in the all-optical gain optoelectronic oscillator is calculated. It is shown that the reproducibility of the oscillation frequency is provided by means of the continuous tuning of the loop gain during the switching-on.

Keywords: optoelectronic oscillator, all-optical gain, single-frequency oscillation, dynamical instabilities of oscillations.

Л. Д. ЧЕРЕМИСИНОВА

ПОИСК КРАТЧАЙШЕЙ УСТАНОВОЧНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СХЕМЫ С ПАМЯТЬЮ НА D-ТРИГГЕРАХ

*Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: cld@newman.bas-net.by*

Рассматривается задача поиска установочной последовательности наименьшей длины для логической схемы с памятью на D-триггерах. Предлагается метод сведения этой проблемы к задаче булевой выполнимости, которая может быть эффективно решена с помощью SAT-решателей. Метод основан на построении конъюнктивной нормальной формы разрешения комбинационного блока, реализующего функции возбуждения триггеров.

Ключевые слова: тестирование, верификация, логический синтез, автоматизация проектирования.

L. D. CHEREMISINOVA

SHORTEST SYNCHRONIZING SEQUENCE SEARCH FOR A SEQUENTIAL NETWORK WITH MEMORY ON D FLIP-FLOPS

*United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: cld@newman.bas-net.by*

The problem under consideration is to find a synchronizing sequence of a minimal size for a logical network having flip-flop primitives of type D as memory elements. A novel method is proposed, which is based on the formulation of the task as the Boolean satisfiability problem solved with any standard SAT-solver. The method is based on forming the conventional conjunctive normal form representation for combinational block, implementing excitation functions of the flip-flops.

Keywords: testing, verification, logic synthesis, design automation.