

АННОТАЦИИ

1

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНАРНЫХ МАЗЕРОВ С ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ДВУМЕРНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

*А. В. Аржанников, В. Б. Бобылев, Н. С. Гинзбург, В. Г. Иваненко, П. В. Калинин,
С. А. Кузнецов, Н. Ю. Песков, А. С. Сергеев, С. Л. Сеницкий, В. Д. Степанов*

Обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание многоканального планарного мазера мм-диапазона с двумерной пространственно распределенной обратной связью. Компьютерное моделирование процессов одновременной генерации нескольких ленточных пучков в одном ускорительном диоде, а также синхронизации фазы колебаний в параллельно работающих каналах мазера показывают возможность практической реализации предложенной концепции многоканального генератора. Приведены результаты экспериментов на установке ЭЛМИ с 1МэВ/3кА/3мкс ленточным пучком по генерации мощных микросекундных импульсов 4-мм излучения в отдельном канале такого многоканального генератора.

2

ВЛИЯНИЕ ОТРАЖЁННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА ПОТЕНЦИАЛ И ФУНКЦИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ РЭП ПО СКОРОСТЯМ

И.Л. Богданкевич, П.С. Стрелков, В.П. Тараканов, Д.К. Ульянов

Экспериментально и методом численного моделирования исследовано влияние отражённых от коллектора электронов на параметры сильноточного релятивистского электронного пучка при его транспортировке в сильном продольном магнитном поле. Показано, что отражённые электроны могут приводить к значительному замедлению электронов пучка в дрейфовом пространстве и уширению функции их распределения по энергии.

3

ВИРКАТОР В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ТОРМОЗНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А.Е. Дубинов, И.А. Ефимова, В.И. Каргин, М.В. Лойко,
Е.А. Ряслов, В.Д. Селемир*

Впервые создан и введен в эксплуатацию мощный виркатор с многократным пролетом электронов сквозь оптически тонкую анодную фольгу для генерации мощных импульсов рентгеновского излучения. Виркатор реализован на базе электронного ускорителя прямого действия с питанием от индуктивного накопителя энергии с плазменным прерывателем тока. Приведены результаты 2-мерных самосогласованных расчетов динамики электронного пучка в камере виркатора и определены спектры сопутствующего СВЧ-излучения. Приведены также результаты 1-мерных самосогласованных расчетов динамики электронного пучка с учетом рассеяния на анодной фольге и определены спектры тормозного рентгеновского излучения. Представлены результаты первых экспериментов по исследованию тормозного рентгеновского излучения виркатора для тонкой (10 мкм, Та) и толстой (100 мкм, Та) анодной фольги. Для тонкой фольги доза рентгеновского излучения ($E_\gamma > 30$ кэВ) в 8 раз превысила дозу, полученную при толстом аноде, а средняя энергия квантов снизилась с 80 до 30 кэВ.

4

ГЕНЕРИРОВАНИЕ КОРОТКИХ МОЩНЫХ СВЧ-ИМПУЛЬСОВ В РЕЖИМЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ

В теории и эксперименте исследована возможность генерирования коротких, в несколько ВЧ-периодов, мощных СВЧ-импульсов в протяженных неоднородных замедляющих системах типа ЛОВ в режиме пространственного накопления электромагнитной энергии. Показано, что мощность формируемого СВЧ-импульса не ограничена мощностью электронного пучка. В эксперименте с использованием малогабаритного сильноточного электронного ускорителя СИНУС-200 получены СВЧ-импульсы длительностью 0.6...0.7 нс с пиковой мощностью ~3 ГВт, при коэффициенте преобразования по мощности 150...180% и КПД по энергии ~15%.

5

CHARGED PARTICLE (CP) ACCELERATION BY AN INTENSE WAKE-FIELD (WF) EXCITED IN PLASMAS BY EITHER LASER PULSE (LP) OR RELATIVISTIC ELECTRON BUNCH (REB)

V.A.Balakirev, I.V.Karas', V.I.Karas', V.D.Levchenko, M.Bornatici

In the present paper the results from theoretical and experimental studies as well as from 2.5-D numerical simulation of both the plasma WF excitation by either REB or LP and the CPWF acceleration are discussed. The results of these investigations make it possible to evaluate the potentialities of the WF acceleration method and to analyse whether it can serve as basis for creating a new generation of devices capable of accelerating CP at substantially higher (by two to three orders of magnitude) rates in comparison with those achievable in classical linear high-frequency (resonant) accelerators.

В настоящей работе обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также 2.5 – мерного численного моделирования возбуждения кильватерных волн релятивистскими электронными сгустками или лазерными импульсами и ускорения заряженных частиц кильватерными волнами. Результаты этих исследований дают возможность оценить перспективы кильватерного метода ускорения и проанализировать его возможности как основы создания новой генерации устройств, способных ускорять заряженные частицы с существенно более высоким (на два - три порядка) темпом ускорения по сравнению с классическими линейными высокочастотными (резонансными) ускорителями.

В цій роботі обговорюються результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також 2.5-вимірне чисельне моделювання збудження кильватерних хвиль релятивістськими електронними згустками або лазерними імпульсами та прискорення заряджених частинок кильватерними хвилями. Результати цих досліджень дають можливість оцінити перспективи кильватерного методу прискорення і проаналізувати його можливості як основи створення нової генерації пристроїв, здатних прискорювати заряджені частинки з суттєво більш високим (на два - три порядки) темпом прискорення у порівнянні з класичними лінійними високочастотними (резонансними) прискорювачами

6

КОЛЛЕКТИВНОЕ УСКОРЕНИЕ ИОНОВ ПОДВИЖНОЙ ГРАНИЦЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВИРТУАЛЬНОГО КАТОДА

А.Г. Лымарь

Приведены результаты численного моделирования поведения границы распределенного виртуального катода плоской геометрии, описаны различные варианты ускоряющих систем, позволяющих использовать электрическое поле границы виртуального катода для коллективного ускорения ионов. Качественно обосновывается возможность продольной и поперечной устойчивости ускоряемого сгустка и устойчивости системы ионный сгусток – ускоряющая волна.

7

2

ION ACCELERATION IN SCANNING WAKE-FIELD ACCELERATOR

E.M. Latsko

We propose a concept of high-gradient acceleration in a Scanning Wake-Field Accelerator (SWFA). Advantages inherent to this concept make it possible to create a compact accelerator with a stable, long-duration and controlled acceleration in a wide range of velocities, that is very significant for ion acceleration with a small ratio Z_i/M_i (Z_i is the ionization state, M_i – ion mass).

8

АВТОРЕЗОНАНСНОЕ УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ГАУССОВЫМ ПУЧКОМ

В.П.Милантьев, С.П.Степина

Проведено исследование авторезонансного ускорения электронов в поле лазерного аксиально-симметричного пучка первого порядка. Показано, что на одном и том же интервале темп ускорения в пучке первого порядка может быть выше, чем в случае пучка низшей моды, при этом для эффективного ускорения необходимо, чтобы поперечные размеры электронного пучка не превосходили $1/4$ сужения ускоряющего гауссова пучка. Дана оценка возможности ускорения электронов излучением высших мод.

9

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЭЛЕКТРОННЫМИ СГУСТКАМИ

Ю.О.Аверков, В.М.Яковенко

Исследовано переходное излучение поверхностных электромагнитных волн нерелятивистским электронным сгустком, пересекающим границу раздела вакуум-полупроводник. Сгусток имеет вид эллипсоида вращения с равномерным распределением заряда по объему и движется вдоль нормали к границе раздела сред. Учтена диссипация энергии излучения в полупроводнике. Показано, что спектр переходного излучения поверхностных волн имеет вид импульса, ширина которого соизмерима с его средней частотой. Появление максимумов спектральной плотности излучения связано с выполнением определенных резонансных соотношений между размерами сгустка, длиной волны излучения и длиной волны Ван Кампена. Установлено, что существуют такие значения размеров сгустка, при которых коэффициент полезного действия, равный отношению энергии излучения к суммарной кинетической энергии частиц сгустка, имеет максимум.

10

ЯКІСНА ТЕОРІЯ ПАСОТРОНА

Ю. П. Бліох

Описано основні фізичні процеси і їхні взаємозв'язки, що визначають специфіку властивостей пасотрона – плазмозаповненого джерела НВЧ випромінювання, транспортування електронного пучка в якому відбувається без зовнішнього магнітного поля.

THE QUALITATIVE THEORY PASOTRON

Yu. Bliokh

The basic physical processes and their interrelations defining specificity of pasotron properties are described. It is a plasma filling source of UHF radiation in which the transporting of an electron beam is carried out without an external magnetic field.

◆

ЗМЕНШЕННЯ АБЕРАЦІЙ У ЛІНЗИ МОРОЗОВА ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВВОДУ ФОКУСУЮЧИХ ПОТЕНЦІАЛІВ

В.І. Бутенко, Б.І. Іванов

Розроблена комп'ютерна модель плазмової лінзи Морозова, в якій магнітні поверхні є екіпотенціалами електричного поля. Наведені результати комп'ютерного моделювання фокусування іонів із обліком їх поздовжнього, радіального та азимутального руху. Утворена оптимізація магнітного та електричного полів по величині та розповсюдженню у просторі. Промодельований вплив дискретного розподілу потенціалів на фокусування іонів та розглянуті пов'язані із цим аберації. З метою зменшення аберацій пропонується більш досконала схема вводу у плазму фокусуємих потенціалів.

DECREASING OF ABERRATIONS IN MOROZOV'S LENS BY IMPROVEMENT OF ITS FOCUSING POTENTIAL INPUT SYSTEM

V.I. Butenko, B.I. Ivanov

A computing model of Morozov plasma lens where magnetic surfaces are equipotentials of electric field is developed. The results of computing simulation of ion focusing are presented with account of longitudinal, radial and azimuthal motion. The optimization of magnetic and electric fields was carried out in respect of their quantity and space distribution. The influence of discrete potential distribution on ion focusing was simulated, and corresponding aberrations are investigated. To the aim of aberrations decreasing, it is proposed more perfect scheme of the focusing potentials input into the plasma lens.

◆

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА В СИЛЬНОТОЧНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЛИНЗЕ

А.М.Завалов, В.Н.Горшков, А.А.Гончаров

Приводятся результаты компьютерного моделирования процесса установления стационарных состояний в сильноточной электростатической плазменной линзе, плазменная среда которой образуется широкоапертурным ионным пучком и электронами вторичной ионно-электронной эмиссии. В математической модели учитывались конкретные параметры плазменной линзы, используемой в экспериментах. Установлено образование в объеме ПЛ слоистой электронной структуры, определяемой неоднородным характером распределения внешнего потенциала на электродах-фиксаторах и изолирующего магнитного поля.

◆

ПРО ВПЛИВ ПЛАЗМОВИХ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ НА ЗБУЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРОННИМ ПУЧКОМ У КОРОТКОМУ ПЛАЗМЕННОМ РЕЗОНАТОРІ

А.П. Толстолужский

У кінетичному наближенні проведено теоретичне дослідження динаміки збудження коливань потоком електронів у короткому плазмовому резонаторі. Аналітично визначені зони генерації та ефективність взаємодії пучка з полем резонатора в залежності від фізичних параметрів системи. Показано, що наявність зворотних хвиль істотно змінюють динаміку збудження коливань. Шляхом чисельного аналізу динаміки часток і полів показано, що врахування плазмових нелінійностей приводить до зменшення значень стаціонарної амплітуди збудженого поля, групуванню і захопленню частинок плазми у вузлах збуджених стоячих хвиль. Отримано оцінку застосовності моделі резонатора заповненого плазмою – знайдені значення параметрів системи при яких відбувається захоплення частинок пучка і плазми полем прямої і зворотної

хвилі, що приводить до виносу частинок пучка і плазми з області взаємодії, як через вихідний, так і через вхідний торці резонатора.

ON THE INFLUENCE OF PLASMA NONLINEARITIES ON EXCITATION OF OSCILLATIONS BY AN ELECTRON BEAM IN SHORT PLASMA RESONATOR

A.P. Tolstoluzhsky

In kinetic approximation we carried out the theoretical investigation of dynamics of oscillations' excitation by electron beam in the short plasma resonator. The generation zone and the efficiency of interaction between beam and resonator field are analytically determined depending on physical properties of the system. It is shown that the presence of backward waves essentially changes the dynamics of oscillations' excitation. The numerical analysis for dynamics of particles and fields was used to show, that the accounting of plasma nonlinearities leads to decrease the values of stationary amplitude of excited field, to particles grouping and plasma particles capturing in junctions of excited standing waves. It is obtained the applicability evaluation for the model of resonator filled by plasma - the values for system parameters are found, at which occurs the capturing of beam particles and plasma particles by field of direct and backward wave, that leads to ejection of beam particles and plasma particles from interaction region, both through output end, and through entrance end of the resonator

14

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СТОХАСТИЧЕСКИ ПРЫГАЮЩЕЙ ФАЗОЙ (МВИСПФ) В СВЕРХПЛОТНОЙ ПЛАЗМЕ

А.Ф. Алисов, А.М. Артамошкин, И.А. Загребельный, Н.М. Землянский, В.И. Карась, Я.Б. Файнберг, С.И. Солодовченко, А.Ф. Штань

В цій статті наведені результати експериментальних досліджень проходження в плазмі різноманітної густини регулярних та стохастичних електромагнітних хвиль. Ми розглянули поширення в обмеженій плазмі надкритичної густини як МВССФ, так і регулярних електромагнітних хвиль. Дослідження залежностей коефіцієнта проходження відрізка плазмового хвилевода від типу випромінювання показало, що збудження та проходження монохроматичного поля суттєво ослаблене, проходження ж випромінювання зі стохастично стрибаючою фазою сильно залежить від густини плазми. Результати експериментальних досліджень знаходяться в задовільній узгодженості з висновками теоретичних досліджень.

EXPERIMENTAL STUDY OF A PROPAGATION OF MICROWAVE WITH STOCHASTIC JUMPING PHASE (MWSJP) IN OVERDENSE PLASMAS

A.F. Alisov, A.M. Artamoshkin, I.A. Zagrebelny, N.M. Zemlyansky, V.I. Karas', Y.B. Fainberg, S.I. Solodovchenko, A.F. Shtan'

In this paper the experimental study results on the regular and stochastic electromagnetic wave propagation in a different density plasma are presented. We considered in a bounded magnetized plasma a propagation of a microwave with stochastic jumping phase as well as the regular electromagnetic waves. Our studies of a dependence of the penetration coefficient (PC) of a plasma waveguide piece of radiation type shown that both monochromatic electromagnetic wave excitation and propagation is essential weakened and the MSJP propagation depends strong on plasma density. The experimental study results are content with the theoretical investigation conclusions.

15

WHISTLER WAVE EMISSION BY A MODULATED ELECTRON BEAM ON A METAL-PLASMA BOUNDARY

I.O. Anisimov, O.I. Kelnyk, C. Krafft, T.V. Nychporuk

The transition radiation of a thin modulated electron beam injected from a conducting plane into a plasma along an arbitrary magnetic field normal to that plane is calculated. The radiation field is formed as a result of the interference of three waves with different wave vectors. The radiation pattern is mainly determined by one of those waves, depending on the parameters of the model.

16

◆

EVOLUTION OF ELECTRONS' DISTRIBUTION FUNCTION DURING THEIR INTERACTION WITH PLASMA: NUMERICAL SIMULATION

I.O. Anisimov, S.M. Levitsky, D.V. Sasyuk, T.V. Siversky
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Radio Physics Faculty, Kyiv, Ukraine, ioa@univ.kiev.ua

One-dimension numerical simulation of the beam-plasma system was carried out using the big-particles-in-cells method. Instantaneous velocity distribution of the beam electrons depending of the distance from injector was received. The distribution function was found to be oscillating and strongly irregular. This result corresponds with the data of the previous calculations and laboratory experiments. After averaging over the sufficiently long time interval the distribution function becomes smoothed and similar to a plateau that was observed in the laboratory experiments.

17

◆

NUMERICAL SIMULATION OF THE BEAM-PLASMA TURBULENCE SPECTRUM EVOLUTION FOR WEAK BEAMS

I.O. Anisimov, T.V. Siversky

The results of the numerical simulation of weak non-relativistic monochromatic beam interaction with plasma are introduced. The modified PDP1 package for one-dimensional plasma systems simulation was used. Evolution of the phase portrait and electric field distribution during beam-plasma turbulence was investigated. Plasma oscillations spectra were obtained. Their temporal and spatial evolution was studied.

18

◆

KIJASHKO-PIKOVSKY-RABINOVICH NOISE GENERATOR: COMPUTER SIMULATION AND EXPERIMENT

I.O. Anisimov, A.V. Schur, T.V. Siversky

Characteristic regimes of Kijashko-Pikovskiy-Rabinovich (KPR) noise generator were investigated on the basis of analytic theory and numerical simulation. Previously unknown regimes were found out. Modified circuit of KPR noise generator using the operational amplifiers was developed. Signal waveforms were measured. Several regimes of KPR noise generator predicted by simulation were experimentally verified. Especially the relaxation regimes for large gain factors of the operational amplifier were obtained.

19

◆

NONLINEAR TRANSITION RADIATION OF THE MODULATED ELECTRON BEAM FROM THE SHARP VACUUM-PLASMA BORDER

I.O. Anisimov, O.I. Kelnyk, V.K. Tyazhemov

The transition radiation of the radially unbounded modulated electron beam on the sharp vacuum-isotropic plasma boundary is studied up to quadratic nonlinearity approximation. Solution for the second harmonic radioemission and stationary forced fields is considered in details.

6

◆

**DEFORMATION OF THE PLASMA CONCENTRATION PROFILE DUE FIELD
OF THE MODULATED ELECTRON BEAM: NUMERICAL SIMULATION**

I.O. Anisimov, O.I. Kelnyk, T.V. Siversky, C.V. Soroka

Deformation of the concentration profile of the weakly inhomogeneous plasma due to the modulated electron beam was studied via computer simulation using big-particles-in-cells method. At the first stages the electric field increase in the local plasma resonance region was observed. It resulted to the density cavity formation. For the isothermic plasma the density cavity transformed into the plasma concentration jump. For plasma with the hot electrons ion-acoustic turbulence was observed at the late time points.

◆

**О РОЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
В ДИНАМИКЕ МОЩНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВИХРЕЙ**

С.Н.Артеха, Е.Гольбрайх, Н.С.Ерохин

Проблема зарождения, усиления и устойчивого существования мощных атмосферных вихрей типа тропических циклонов, ураганов и торнадо имеет как большое теоретическое, так и практическое значение. В настоящей работе сделана попытка с единых позиций взглянуть на эти кризисные явления с учетом важной роли электромагнитных сил. Рассмотрена электромагнитная модель тропических циклонов (ТЦ), включающая плазмоподобные подсистемы. Обращено внимание на целый ряд общеизвестных важных наблюдательных данных и дополнительных косвенных фактов, которые не объясняются общепринятыми чисто термодинамическими и гидродинамическими теориями ТЦ.

◆

FEATURES OF DYNAMICS OF THE INSTABILITIES AT PRESENCE MULTIPLICATIVE FLUCTUATION

V.A. Buts, A.V. Buts, S.A. Serikov

Dynamics of systems, which parameters are subject to random influences, is considered. The random affect can be as external, and be caused by own chaotic dynamics of system. The important features of dynamics of such systems are allocated: their behavior has an intermittence character; in these systems (even linear) the properties characteristic for a stochastic resonance can be shown; instability, which are caused by noise, practically are not stabilized by nonlinearities.

◆

PARAMETRIC STOCHASTIC INSTABILITY OF CONNECTED OSCILLATOR

V.A. Buts, I.K. Kovalchuk

Oscillators are used for investigation different physical processes, for example, oscillation in plasma, modeling of continuous medium etc. The large interest is fluctuation influence on oscillation processes. It is well known that multiplicative fluctuation causes the instability in thus systems. We investigated the systems of two and three connected oscillators. We have shown that it is possible considerably to increase the increment of this instability. The conditions when this is possible are obtained. The numerical simulation of processes in the system of two and three connected oscillators was carried out. Oscillation increment was increasing when correspond conditions were performed.

**STABILIZATION OF BEAM INSTABILITY AS A RESULT OF DEVELOPMENT
OF LOCAL INSTABILITY IN WAVE-WAVE INTERACTION**

V.A. Buts, I.K. Kovalchuk, E.A. Kornilov, D.V. Tarasov

The new mechanism of stabilization of beam instability is proposed. The considered mechanism plays a special role at stabilization of beam instability in plasma systems with small size of interaction area of a beam of particles with field of exited waves. The basis of this mechanism is the process of three-wave decay with participation of a wave which easily abandons the field of interaction and also the process of chaotization of the fields at nonlinear interaction of waves.



**HIGH NUMBER HARMONIC EXCITATION BY OSCILLATORS
IN PERIODIC MEDIA AND IN PERIODIC POTENTIAL**

V.A. Buts, E.A. Kornilov

The some results of theoretic and experimental investigations about excitation high number harmonics by non-relativistic oscillators are represented in this report. Were shown that in media, which has even small periodic heterogeneity of dielectric permeability or potential, non-relativistic oscillators can radiate as relativistic particles. They can efficiency radiate high number harmonics. The theory as one particle radiation as selfconsistent nonlinear theory radiation of oscillator ensemble was created. The experimental results confirm the main results of theory. In particularly, there was exited ultraviolet radiation in experiment, when on a crystal intense ten-centimetric radiation was acting.



**WHISTLER WAVES SELF-FOCUSING IN LABORATORY AND IONOSPHERIC PLASMAS
IN DENSITY TROUGHS**

T.A. Davydova, A.I. Yakimenko

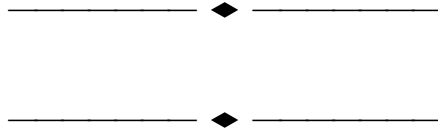
Stationary self-focusing of whistler waves, which propagate along magnetic field with frequencies below half electron-cyclotron frequency is considered in the framework of two-dimensional generalized nonlinear Schroedinger equation. It takes into account electrostatic wave component of whistler waves and nonlocal nonlinearity caused by plasma heating during intense whistler wave propagation, which may be essential in laboratory plasma and in ionospheric experiments. Necessary conditions for stationary nonlinear self-trapping in self-sustained waveguides are found and their stability confirmed both analytically and numerically.



РАЗВИТИЕ ФИЛАМЕНТАЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА СО СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ПЛАЗМОЙ

Н.В. Ёлкина, В.Д. Левченко

В рамках кинетического моделирования взаимодействия лазерного импульса со сверхкритической плазмой исследуются процессы развития филаментационной неустойчивости, связанной с анизотропией функции распределения по импульсам пучка быстрых электронов, ускоренных лазерным импульсом с поверхности вглубь мишени. Обсуждается возможный сценарий развития филаментационной неустойчивости, предложенный с учетом особенностей взаимодействия лазерного излучения с плазмой. Особое внимание уделено особенностям поведения плазменных ионов на поздних стадиях взаимодействия.



Обсуждаются результаты теоретического исследования и численного моделирования нормального и наклонного падения на границу раздела вакуум-плазма сверхкритической плотности линейно поляризованных электромагнитных волн. Главные результаты наших исследований следующие: (а) при рассматриваемых параметрах коэффициент проникновения (КП) микроволнового излучения со стохастически прыгающей фазой (МИСПФ) на порядок выше, чем коэффициент проникновения широкополосной регулярной электромагнитной волны с такой же спектральной плотностью как у МИСПФ; (аа) особенно при наклонном падении МИСПФ нагрев электронов наиболее существен и кроме того электронная функция распределения имеет высокоэнергетические «хвосты». Такое anomalous поведение КП и электронного нагрева связано с прыгающей фазой МИСПФ.

В цій статті обговорюються результати теоретичного дослідження і чисельного моделювання нормального і похилого падіння на межу розділу вакуум-плазма надкритичної густини лінійно поляризованих електромагнітних хвиль. Головні результати наших досліджень такі: (а) при розглядуваних параметрах коефіцієнт проникнення (КП) мікрохвильового випромінювання зі стохастично стрибаючою фазою (МХВССФ) на порядок вище, ніж коефіцієнт проникнення широкосмугової регулярної електромагнітної хвилі з такою ж спектральною густиною як у МХВССФ; (аа) особливо при похилому падінні МХВССФ нагрівання електронів найбільш суттєве і окрім цього електронна функція розподілу має високоенергетичні «хвости». Така anomalous поведінка КП і електронного нагрівання пов'язана зі стрибаючою фазою МХВССФ.



FORMATION OF STEADY - STATE NONEQUILIBRIUM DISTRIBUTIONS OF THE COULOMB INTERACTING - PARTICLES

V.I. Karas', I.F. Potapenko

Столновительная динамика частиц в таких системах исследована с использованием пространственно однородного интеграла столкновений в форме Ландау или Фоккера-Планка, которые являются моделью интеграла столкновений Больцмана для произвольных потенциалов взаимодействия, соответствующих малой передаче импульса при столкновениях частиц. Показано, что принципиальным условием для существования стационарного неравновесного распределения является наличие в импульсном пространстве соответствующим образом направленного потока частиц или энергии. Стационарное локальное распределение существует в промежутке импульсов между источником и стоком энергии и имеет форму степенным образом спадающей функции. Полученные результаты могут быть использованы для предсказания поведения полупроводников с внешней или внутренней проводимостью под действием потоков частиц.

Зіткненева динаміка частинок в таких системах досліджена, використовуючи просторово однорідний інтеграл зіткнень у формі Ландау або Фоккера-Планка, які є моделлю інтеграла зіткнень Больцмана для довільних потенціалів взаємодії, що відповідають малій передачі імпульсу при зіткненнях частинок. Показано, що принциповою умовою для існування стаціонарного нерівноважного розподілу є наявність у імпульсному просторі відповідним чином спрямованого потоку частинок або енергії. Стаціонарний локальний розподіл існує в проміжку імпульсів між джерелом та стоком енергії та має форму ступеневим чином спадаючої функції. Отримані результати можуть бути використані для передбачення поведінки напівпровідників з зовнішньою або внутрішньою провідністю під дією потоків частинок.

31

◆

ON THE MECHANISMS OF STRONG MAGNETIC FIELD EXCITATION AT THE INTERACTION OF ULTRASHORT LASER PULSE WITH AN PLASMA TARGET

V.I. Karas^a, O.V. Batishchev, M. Bornatici

С помощью 2.5 – мерного численного моделирования методом макрочастиц можно найти пространственное и временное распределение магнитного поля без использования подгоночных параметров в отличие от обычного $\nabla n \times \nabla T$ механизма. С другой стороны, теоретическая модель генерации магнитного поля, предложенная Р. Суданом, неподходящая. Так как эта модель соответствует очень большому отношению плотности плазмы к критической плотности, вклад, обусловленный механизмом $\nabla n \times \nabla T$, несуществен.

За допомогою 2.5 – вимірного чисельного моделювання методом макрочастинок можна знайти просторовий та часовий розподіл магнітного поля без використання вільних параметрів на відміну від звичайного $\nabla n \times \nabla T$ механізму. З іншого боку, теоретична модель генерації магнітного поля, запропонована Р. Суданом, не підходяща. Ця модель відповідає дуже великому відношенню густини плазми до критичної густини і несуттєвість внеску, обумовленого механізмом $\nabla n \times \nabla T$.

32

◆

NONEQUILIBRIUM ELECTRON DISTRIBUTION FUNCTIONS INDUCED BY FAST IONS IN SEMICONDUCTOR PLASMA

V.P. Zhurenko, S.I. Kononenko, O.V. Kalantaryan, V.T. Kolesnik, V.I. Muratov

The results of experimental investigations of distribution functions of nonequilibrium electrons induced by H^+ and He^+ ion beams with energies 1-2,25 MeV in solid-state plasma of Ge, GaAs and CdTe semiconductors are presented. It is shown, that distribution functions have a power-law character with one power index on the whole electron energy range of 5÷100 eV being investigated; the corresponding power indices are presented. The yields of secondary electron emission induced by He^+ ions are measured.

33

◆

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

С.С. Костина

In report some questions of designing of computer laboratories- problem-oriented program complexes intended for realization of research and training with reference to a subject area of forming and processing of complex signals at absence and presence of additive or multiplicative interferences and other distortions of a signal are considered.

34

◆

НЕРАВНОВЕСНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ И НЕЭКСТЕНСИВНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

В.И. Карась, В.Е. Новиков

Присутствие источников и стоков приводит к формированию неравновесного состояния в пространственно однородных системах, обладающего степенными асимптотиками. Получено решение кинетического

уравнений для электронов, рассеивающихся на акустических фононах в твердом теле и показана связь степенных асимптотик решений с потоками частиц или энергии, возникающими в фазовом пространстве. В работе разрабатывается неэкстенсивная термодинамика неравновесной твердотельной плазмы с источниками и стоками и приведена зависимость потока в фазовом пространстве от параметра неэкстенсивности термодинамики Тсаллиса.

35



36

К ТЕОРИИ ПУЧКОВЫХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В ГЕНЕРАТОРАХ С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ

И.И. Магда, А.В. Пащенко, С.С. Романов, И.Н. Шапова, В.Е. Новиков

Рассмотрена самосогласованная нестационарная модель пучковой обратной связи в приборах с виртуальным катодом (ВК), использующая неустойчивость потока в катод-анодном промежутке и нелинейное взаимодействие частиц с колебаниями ВК. Нелинейные процессы в этих областях описываются на основе взаимодействия связанных генераторов Ван дер Поля - Дуффинга.



37

ПРОЦЕССЫ С ОБОСТРЕНИЕМ И ДРОБЛЕНИЕМ МАСШТАБОВ В ПЛАЗМЕННО-ПОЛЕВЫХ СТРУКТУРАХ

С.В. Адаменко, А.В. Пащенко, И.Н. Шаповал, В.Е. Новиков

Проанализировано распространение тепла по электронной системе при воздействии на нее с поверхности потоков энергии и изучены процессы с обострением. При выполнении некоторых условий на потоки электронов и ионов в системе уравнения Максвелла и уравнений среды с цилиндрической и сферической симметрией возникают квазистационарные плазменно-полевые структуры с пространственным масштабом, уменьшающимся от периферии к центру. Такое дробление масштабов приводит к существенному увеличению поля и его неоднородности.



38

ОСОБЕННОСТИ УСКОРЕНИЯ И НАГРЕВА ЭЛЕКТРОНОВ В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ РАЗРЯДЕ

О.Ф. Ковник, Е.А. Корнилов, Н.С. Педенко, И.Ф. Харченко

Приведены результаты исследований ускорения (до 80 кэВ) частицы (до 10 %) электронов плазмы та нагрева электронов пучком (з энергією 5 кэВ, струмом до 100 мА) в магнітному полі до 0.2 Тл з щільністю плазми $n_{pe} \sim 10^{11}$ ел/см³. Визначена область локалізації прискорених електронів по рентгенівському випромінюванню із пучково-плазмового розряду. Приведена діаграма направленості руху високо енергетичних електронів в пучково-плазмовому розряді, рухаються на зустріч пучку. Досліджено розподіл амплітуди збуджуваних над високочастотних коливань вздовж руху пучка. Показано, що в область локалізації високоенергетичних електронів 'прив'язана' до максимальної амплітуди збуджуваних коливань. Визначена часова кореляція електронної температури і густини плазми (n_{pe}). Досліджена кореляція між амплітудою над високочастотних і низько частотних коливань, густиною і температурою електронів плазми в пучково-плазмовому розряді

The authors have determined the conditions for acceleration (up to 80 KeV) of a part of the plasma electrons (no less than 10%) in the beam-plasma discharge. Besides, the heating of electrons and ions of the plasma principal component by the beam of the energy 5 KeV and the current up to 100mA in has been investigated. The experiments are fulfilled in the external magnetic field up to 0,2T, the plasma density being $n_{pe} \sim$ beam-plasma discharge 10^{11} el/ sm^3 , and $\omega_{pe} > \omega_{H\Omega}$. The area of spatial localization of accelerated electrons on respect to the X-ray radiation emitted from beam-plasma discharge is determined. is presented. The authors have also investigated the amplitude distribution of microwaves along the direction of the beam motion. It has been demonstrated that the plasma high-energy electrons move in the direction, opposite to the direction of motion of the beam electron. The area of localization of the high-energy electrons is correlated with the maximum amplitude of the microwaves excited. The time correlation dependences of the electron temperature and plasma density (n_p) is determined. The authors have also investigated the correlation between the amplitudes of microwaves and low-frequency oscillations in beam-plasma discharge/

39

◆

**EXPERIMENTS WITH THE TINY NANOSECOND OUTPUT DEVICE
ON THE S-300 HIGH-CURRENT GENERATOR**

*A.S. Kingsep, Yu.L. Bakshaev, A.V. Bartov, P.I. Blinov, A.S. Chernenko,
R.V. Chikin, K.V. Chukbar, S.A. Danko, L.G. Dubas, Yu.G. Kalinin, I.V. Kovalenko, A.I. Lobanov,
V.I. Mizhiritsky, V.A. Shchagin, V.P. Smirnov*

On the S-300 pulsed power generator (4.5 MA, 70 ns, 0.15 Ohm), within the frames of ICF program based on fast high-current Z-pinches, experiments are being carried out studying promising schemes of output units. In particular, a device similar to the plasma flow switch is being investigated aimed at sharpening the pulse. In the experiments with such a device, by means of variation the geometry of the inner electrode of a co-axial, as well as the acceleration of a cascade of plasma “washers”, the switching of the current up to 750 kA has been obtained, with the rise time $\sim 5 \dots 7$ ns and subsequent decrease being in accordance with that of the net current (~ 100 ns). Thereby the opportunity of switching of much more amount of energy onto the load has been demonstrated compared to our preliminary experiments (2.5 MA/2.5 ns). Soft X-ray radiation from the cavity was recorded by means of vacuum diodes with a nickel cathode and especially selected filters. The radiative temperature of the cavity walls estimated from the ratio of diode signals was close to 50 eV.

40

◆

ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СКОРОСТЯМ В ПЛАЗМЕННОМ ТОРЕ ИО

А.Г. Боев

Проведено объяснение вида функций распределения электронов по скоростям в различных областях плазменного тора Ио, измеренных КА «Voyager-1». В основе объяснения лежит представление о плазме тора Ио как о полностью ионизованной замагниченной термически неравновесной плазме, неравновесность которой связана с действующим в ней электрическим полем, вызванным «юпитерианским ветром». Сопоставление теоретической модели с данными космического эксперимента позволило оценить величину электрического поля и дать объяснение природы максвелловского «ядра» функций распределения – ему соответствует система электронов, находящихся в равновесии с излучением.

41

◆

**О СКОРОСТИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ
(ИСТОЧНИКОВ ВСПЛЕСКОВ III И НВ ТИПОВ) В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ**

В.М. Конторович, А.Ю. Никитин

Показано, что данные по скоростям частотного дрейфа всплесков III типа и скоростям компонент вложенной структуры всплесков II типа (НВ-всплесков) не противоречат представлениям о свободном разлете

в солнечной короне источника всплесков – пучка субрелятивистских электронов – при учете кулоновского рассеяния электронов с малыми скоростями. Предложен метод определения скорости разлета по максимуму огибающей эволюционирующей функции распределения пучка на заданной высоте в короне, что позволяет использовать аналитический подход и применять его к различным механизмам ускорения электронов. Результаты кинетической теории приводят к характерной средней скорости дрейфа, существенно зависящей от высоты возникновения пучка, чем в значительной мере может быть обусловлено различие скоростей пучков, порождаемых хромосферными вспышками, и пучков, возникающих на фронтах ударных волн.

42

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ПЛАЗМЕ

В.Н.Мельник, Э.П.Контарь

Недавно было показано, что быстрые электроны могут распространяться в плазме в виде пучково-плазменных образований. В работе исследуется влияние процессов рассеяния ленгмюровских волн на ионах плазмы (процессы $l+i=l+i$) на скорость пучково-плазменных образований. Показано, что эти процессы ограничивают максимальную скорость образований. В случае быстрых электронов, генерирующих солнечные всплески III типа, они определяют характерную максимальную их скорость, равную $0.3c$. Также в работе рассматривается плазменное излучение пучково-плазменных образований на первой и второй гармониках ленгмюровской частоты в процессах соответственно $l+i=t+i$ и $l+l=t$. Найдено, что яркостная температура излучения очень быстро растет с увеличением скорости образования. Для пучково-плазменных образований, распространяющихся в плазме солнечной короне, максимальное излучение достигается при скорости $0.3c$ с яркостными температурами $T_F = 10^{13} K$ и $T_H = 10^{16} K$.

43

ON THE SYNCHROTRON RADIATION OF ULTRARELATIVISTIC ELECTRONS MOVING ALONG CURVED SPIRAL TRAJECTORY

Ya.M. Sobolev

The synchrotron radiation of an ultrarelativistic charged particle moving along spiral trajectory winded on curved magnetic force line is considered. The radiation pattern has new properties on a comparison with the radiation in homogeneous magnetic field: there is a range of characteristic frequencies instead of one characteristic frequency, the peaks of the radiation pattern correspond to periodically repeated directions in space, which position depends on the frequency of radiation.

44

ЭЛЕКТРОННО-МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ КАТОДНОГО ПЯТНА ВАКУУМНОЙ ДУГИ

А.А. Андреев

The movement of electrons in the neighborhood of a cathode spot cell is considered. The cell current is a pulse with rising-up part and descending part with about $5 \cdot 10^{-9}$ s time duration each. This current generates the magnetic field around a cell. During these rising-up and descending current stages, electric fields with an amplitude up to $3,5 \cdot 10^7$ V/cm are induced in the neighborhood of a cell. Thus, around a cell, near the cathode surface, the crossed fields $E \times B$ are building up which amplitudes become lower with increasing distance from the cell center, approximately as $1/R$. Under the action of electric fields the currents become to flow around the perimeter of a cell current channel. These currents are in some aspect similar to halo-currents arising in the plasma of tokamak during pulsed ohmic current. When the cell current grows, the "hallo" currents are directed oppositely to the cell current, i.e., electrons are moving to cathode and ions are accelerated to anode. When cell current decreases, the induced electric field causes an autoelectronic emission from the cathode surface. The emitted electrons move along cycloids to the direction of the cell center making the gas desorption and building up of near-surface plasma (aureole) around the cell. These electrons interact with external magnetic field, and the summed magnetic field (external and intrinsic field of the cell current) influences on the surface plasma in such a way that plasma density

increases in those parts of the near-cell area where magnetic fields are in the same directions. Consequently, just this direction becomes to be preferred direction for cathode spot movement. Within the framework of this model it is possible to explain qualitatively many observed experimental facts: appearance of a weak luminosity around cathode spot, existence of cathode spots of different kinds, disintegration of cathode spots, the spot movement in tangential magnetic field, etc.

Розглядається рух електронів в околицях чарунки катодної плями. Струм чарунки, що має собою імпульс з переднім і заднім фронтами кожний тривалістю приблизно $5 \cdot 10^{-9}$ с кожний, створює кругом неї магнітне поле. Коли ці фронти проходять через чарунку в її околицях наводяться електричні поля, що досягають $3,5 \cdot 10^7$ В/см. Кругом чарунки на поверхні катода з'являються перехрещені $E \times H$ поля, величини яких зменшуються зі збільшенням відстані від центра чарунки як $1/R$. Під дією електричних полів по периметру струмового каналу протікають струми, аналогічні гало-струмам, що з'являються в плазмі Токамака, коли по ній проходять імпульси розрядного струму. При збільшенні струму через чарунку гало-струми протилежні йому, а іони прискорюються в бік аноду. При зменшенні струму наведене електричне поле створює з поверхні катода автоемісію електронів, які в перехрещених $E \times H$ полях рухаються по циклоїдах в напрямі центра чарунки, десорбуючи гази і створюючи поверхневу плазму (ореол) кругом неї. Ці електрони взаємодіють з зовнішнім магнітним полем і в напрямі, де сума магнітних полів (зовнішнього і власного) максимальна, густина поверхневої плазми поблизу катодної плями збільшується, що визначає напрям його руху. За допомогою цієї моделі якісно пояснюється поява слабого світла кругом катодної плями, існування різних типів катодних плям, їх розподіл, зворотній рух в тангенціальних магнітних полях і т.д.

45

◆

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАГРІВАННЯ ЕЛЕКТРОНІВ
У ПУЧКОВО-ПЛАЗМОВОМУ РОЗРЯДІ В ДЗЕРКАЛЬНІЙ МАГНІТНІЙ ПАСТЦІ**

*В.М.Атаманів, Т.А.Біман, Л.И.Єлізаров, А.А.Іванов, Ал.А.Іванов, А.О.Ливадний, М.В.Пальтов,
А.В.Переславцев*

Виконано експериментальне дослідження нагрівання електронів у пучково-плазмовому розряді в дзеркальній магнітній пастці. Показано, що існують умови, при яких відбувається нагрівання електронів до високих енергій. Виміряні експериментальні спектри енергії квантів рентгенівського випромінювання з плазми розряду. Результати можуть бути використані для створення джерела рентгенівського випромінювання на основі пучково-плазмового розряду.

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ELECTRON HEATING IN THE BEAM PLASMA DISCHARGE
AT A MIRROR MAGNETIC TRAP**

*V.M. Atamanov, T.A. Biman, L.I. Yelizarov, A.A. Ivanov, Al.A. Ivanov, A.O. Livadny, M.V. Paltov,
A.V. Pereslavitsev*

The experimental investigation of electron heating in the beam-plasma discharge at a reflecting magnetic trap is fulfilled. It is shown that there are requirements, at which heating of electrons is up to high energies. The experimental X-ray quantum energy spectrums from plasma of the discharge are measured. The results can be used for providing X-rays radiation on the beam-plasma discharge basis.

46

◆

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКИСЛОВ И ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ
В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ РАЗРЯДЕ**

В.М.Атаманов, Л.И.Елизаров, А.А.Иванов, А.В.Переславцев, Г.В.Поволоцкая

Для получения чистых металлов из чистых окислов или хлоридов (Fe_2O_3 , $FeCl_3$, $CuCl_2$, $LaCl_3$, Sc_2O_3) был использован пучково-плазменный разряд. Выполнен ряд экспериментов по восстановлению окислов и хло-

ридов в пучково-плазменном разряде на установке «Оратория-10». Снижение степени чистоты восстанавливаемого металла по сравнению с исходным окислом или хлоридом не наблюдалось.

47

◆

INFLUENCE OF SATURATION DEGREE OF METAL-HYDRIDE CATHODE ON CHARACTERISTICS OF PENNING TYPE ION SOURCE OF HYDROGEN

V.N. Borisko, Ye.V. Klochko, I.N. Sereda*

The experimental examinations of Penning type plasma source of hydrogen ions using metal-hydride cathode was carried out. The discharge characteristics, radial distributions of plasma parameters were measured in a gap between the anode and the metal-hydride cathode for different degree of hydrogen saturation of the cathode material. The plasma parameters and voltage drop on the discharge was shown to be depended on the degree of saturation with hydrogen of the metal-hydride cathode. Plasma density on the axis of the system was established to be increased in accordance to the increase of the initial hydrogen saturation of the metal-hydride cathode. This phenomenon is explained by the increase of a desorption intensity of hydrogen from the central part of the surface of the metal-hydride cathode.

48

◆

УТВОРЕННЯ ПУСТОТ В ЗАПОРОШЕНІЙ ПЛАЗМІ

О.Ю. Кравченко, Ю.І. Чутов, М.М. Юрчук

Проводиться комп'ютерне моделювання еволюції одновимірного пилового шару, що знаходиться в необмеженій аргонівій плазмі. Для дослідження використовуються гідродинамічні рівняння для пилових частинок та іонів, а також рівноважне наближення для електронів. В результаті проведених розрахунків одержані просторові розподіли плазмових параметрів у різні моменти часу. Показано, що в ряді режимів пилові частинки зосереджуються в тонких шарах, що розділяються областями, де пилові частинки практично відсутні. При збільшенні концентрації нейтральних частинок цей ефект зникає внаслідок дії сили тертя між пиловими частинками та нейтральною компонентою плазми. Показано, що в залежності від концентрації плазми пилові частинки можуть розширюватись чи відбувається їх стискання силою іонного вітру.

49

◆

DUSTY RF DISCHARGES WITH NON-UNIFORM DISTRIBUTIONS OF DUST PARTICLES

Yu. I. Chutov, W. Goedheer, O.Yu. Kravchenko, G.I. Levada, T.E. Lisitchenko, R.O. Romanenko, R.D. Smirnov

PIC/MC computer simulations of dusty RF discharges in argon with various profiles of the dust particle density in the interelectrode gap shows a slow influence of the profiles on a dust particle charge in the quasi-neutral region of the discharges. However the profile influence spatial distributions of electrons and ions in the interelectrode gap as well as the dust particle charge in sheaths.

50

◆

DUSTY SHEATHS IN NON-EQUILIBRIUM PLASMAS

Yu.I. Chutov, O.Yu. Kravchenko

Self-consistent dusty sheaths are investigated using the kinetic PIC/MCC simulation of a temporal evolution of both dusty plasmas consisting of immersed electrodes (walls) and developing dusty discharges without special boundary conditions for the sheaths. Obtained results show an essential influence of dust particles on sheath pa-

rameters. Spatial distributions of a dust particle charge are not trivial due to a self-consistent evolution of electron and ion energy distribution functions.

51

◆

ГЕЛИКОННЫЙ РАЗРЯД, ВОЗБУЖДАЕМЫЙ ПЛОСКОЙ АНТЕННОЙ ВДОЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В.М. Слободян, В.Ф. Вирко, Г.С. Кириченко, К.П. Шамрай

Показано, что наложение магнитного поля на индукционный разряд, возбуждаемый плоской ВЧ-антенной, приводит к значительному росту плотности плазмы и распространению зоны ее активной генерации на весь объем разрядной камеры. Установлено наличие срывов разряда при достижении порога с ростом магнитного поля. В интервале полей ниже порога наблюдается несколько режимов разряда, смена которых сопровождается скачками плотности. Установлено существенное влияние конфигурации магнитного поля на эффективность источника. Расчеты электромагнитных полей и поглощения ВЧ-мощности в плазме источника показывают, что с ростом магнитного поля увеличиваются глубина и эффективность поглощения, а скачки плотности возможны из-за перестройки модовой структуры возбуждаемых геликонных волн.

52

◆

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИКОННОГО РАЗРЯДА В СХОДЯЩЕМСЯ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Ф. Вирко, К.П. Шамрай, Г.С. Кириченко, Ю.В. Вирко

Показано, что возрастание эффективности генерации плазмы в геликонном разряде в сходящемся магнитном поле по сравнению с разрядом в однородном поле существенно зависит от градиента поля в области антенны. Зондовыми и оптическими измерениями обнаружено существование слоя горячих (до 8 эВ) электронов в периферийной области разряда. Магнитные измерения показывают наличие мелкомасштабной радиальной структуры, распространяющейся вдоль силовых линий и связанной с электростатическими волнами. Расчеты показывают, что с ростом наклона магнитных силовых линий к поверхности плазмы под антенной резко увеличивается глубина проникновения электромагнитных полей в плазму вдоль резонансных конусов групповой скорости, что улучшает условия нагрева электронов ближе к центру плазмы.

53

54

◆

СИНТЕЗ ОЗОНУ В ГОЛКА-ПЛОЩИНА ГАЗОВОМУ РОЗРЯДІ В ПОВІТРІ

В.І. Голота, Б.Б. Кадолін, В.І. Карась, І.А. Пащенко, С.Г. Пугач, О.В. Яковлєв

Представлені результати досліджень негативної і позитивної корони, а також нестационарного стримерного розряду. Експериментально вивчався синтез O_3 . Проведено дослідження випромінювання окислу азоту NO та випромінювання атомарного кисню O на довжині хвилі 777,1 нм. Була запропонована концепція синтезу озону в газовому розряді атмосферного тиску.

OZONE SYNTHESIS IN NEEDLE-TO-PLANE GAS DISCHARGE IN AIR

V.I. Golota, B.B. Kadolin, V.I. Karas', I.A. Paschenko, S.G. Pugach, A.V. Yakovlev

16

The researches of negative, positive coronas and also of a non-stationary streamer discharge were carried out. The O₃ synthesis, emission spectrums of NO and atomic oxygen O on wave length 777,1 nm were investigated experimentally. The concept of ozone synthesis in atmospheric pressure gas discharge was offered.

55

INVESTIGATION OF NONSTATIONARY MODES OF ATMOSPHERIC PRESSURE NEEDLE-TO-PLANE GAS DISCHARGE AND STREAMER PROPAGATION

V.I. Golota, L.M. Zavada, B.B. Kadolin, V.I. Karas', I.A. Paschenko, S.G. Pugach, A.V. Yakovlev

The analysis of experimental investigations of current dynamics and dynamics of radiation in the non-stationary gas discharge of atmospheric pressure in the needle-to-plane electrode system at the dry air, laboratory air and in the enriched oxygen are presented in this paper. The existence of two modes of non-stationary gas discharge was detected.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ МОД В ГОЛКА-ПЛОЩИНА ГАЗОВОМУ РОЗРЯДІ ПРИ АТМОСФЕРНОМУ ТИСКУ В РІЗНИХ N₂ – O₂ СУМІШАХ

В.І. Голота., Л.М. Завада, Б.Б. Кадолин, В.І. Карась, І.А. Пащенко., С.Г. Пугач, О.В. Яковлєв

Проводиться аналіз експериментальних досліджень струмової динаміки і динаміки випромінювання в нестационарному розряді атмосферного тиску в системі електродів голка-площина в сухому повітрі, лабораторному повітрі і в кисні, що збагатив. Виділено декілька режимів горіння нестационарного розряду.

56

ГЕНЕРАЦИЯ АНОМАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ТЕРМАЛИЗАЦИИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

А.Г. Орешко

Разряды при атмосферном давлении представляют интерес для создания перспективных источников электромагнитного излучения. С целью исследования физики пробоя, структуры приэлектродной области, а также возможности получения сильных электрических полей при низком значении приложенного напряжения в открытом разряде был выполнен ряд экспериментов. Экспериментально доказан доменный механизм ускорения заряженных частиц в плазме.

57

О СТРУКТУРЕ КОРОНЫ, ТОКОПРОХОЖДЕНИИ И ПРОБОЕ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ РАЗРЯДЕ

А.Г. Орешко

Исследовались: структура короны в области активного электрода, токопрохождение в высоковольтном тлеющем разряде при атмосферном давлении и пробой в искровом разряде. Установлена не идентичность структуры короны при положительной и отрицательной полярности высокого напряжения на активном электроде при одном и том же значении подводимой мощности и межэлектродном зазоре. Не идентичность структуры связана с амбиполярным электрическим полем, которое появляется из-за тока утечки. Получено, что перенос тока при любой полярности высокого напряжения осуществляется электронами. В межэлектродном пространстве самосогласованным образом устанавливается канално-нитеобразный характер протекания тока.

РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ И ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ

А.Г.Орешко

Получены выражения для частоты волн пространственного заряда с учетом силы “трения” и инкременты для доменной неустойчивости, которая устанавливается в плазме при наличии сильного поля. Обоснован эффект конверсии энергии частиц в потоках направленного дрейфа в электромагнитное излучение.

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ВЧ-ФОКУСИРОВКИ ПУЧКОВ ИОНОВ

*В.А.Бомко, С.А.Вдовин, Б.В.Зайцев, А.Ф.Кобеи, Б.И.Рудяк,
Е.Д.Маринина, Ю.В.Мелешкова, З.Е.Птухина, Н.И.Ермилова, С.С.Тишкин*

Обсуждаются результаты работ по дальнейшему совершенствованию переменного-фазовой фокусировки ионов в линейных ускорителях. 1. Вариант переменного-фазовой фокусировки с плавущим центром сгустка (ПФФ с ПЦС), предложенный в 1996 году, был широко апробирован в расчетах ускоряющих структур предобдирочной секции линейного ускорителя многозарядных ионов (ЛУМЗИ) для различных характеристик пучка: ПОС-4, ПОС-32, ПОС-46. Достоинство метода заключается в очень высоком темпе ускорения. Недостаток – зависимость радиально-фазовой устойчивости сгустков от тока пучка. 2. Вариант переменного-фазовой фокусировки с шаговым изменением синхронной фазы (ПФФ с ШИФ). Комплексный фокусирующий период формируется из участков радиальной и фазовой фокусировки путем слежения за набегом фаз радиальных и фазовых колебаний. В структуру фокусирующего периода входят ячейки как с большими по абсолютной величине фазами, так и ячейки с ϕ_s близкими к нулю. Апробация на структуре ПОС-4 дала достаточно высокий захват по радиальному и фазовому движению пучка ионов $A/q=4$ с током 15 мА. 3. Комбинация ПФФ с высокочастотными квадрупольями (ПФФ с ВЧК). Разработан и исследован фокусирующий период ПФФ с включением в его структуру блока ВЧ-квадруполья на переходной ячейке длиной $3/2 \beta\lambda$.

ИСКУССТВЕННЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ, ОБРАЗОВАННЫЕ РЕШЕТКАМИ РЕЗОНАНСНЫХ РАССЕЙВАЮЩИХ ТЕЛ

Г.А. Брызгалов, Н.А. Хижняк

Рассмотрена правильная пространственная решетка одинаковых сферических рассеивающих тел при условии $d \ll \lambda$ (d - постоянная решетки, λ - длина волны). В электродинамическом отношении она эквивалентна однородной среде с эффективными значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей. $\epsilon_{\text{эфф}}$ и $\mu_{\text{эфф}}$ искусственного диэлектрика выражаются через матрицы рассеяния электромагнитных волн на отдельных телах, закрепленных в узлах решетки, и через характеристики пространственной решетки. Сравнение расчетных и экспериментальных характеристик решеток показали, что наблюдаются резонансные частоты, соответствующие положительным и отрицательным значениям эффективной диэлектрической проницаемости. Исследованные структуры могут служить моделями естественных кристаллических диэлектриков при изучении их электродинамических свойств, а также моделями структур, образованных ядрами клеток живых тканей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЧ-ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ

В.И.Возный, В.И. Мирошниченко, С.Н.Мордик, В.Е.Сторижко, Д.П.Шульга, Б.Сулкио-Клефф

Разработана экспериментальная установка, позволяющая производить экспрессные измерения полного тока, профиля, массового состава и эмиттанса пучка ВЧ-источников ионов. Реализован индуктивный ВЧ-разряд с внешним магнитным полем (~60 Гс) при 80 Вт вводимой в плазму ВЧ-мощности ($f_{\text{ВЧ}}=27.12$ МГц). Плотность ионного тока составляла величину 20 мА/см^2 при диаметре эмиссионного отверстия 0.6 мм. Для реализации режимов работы ВЧ-источника с плотностью плазмы на уровне $6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ разработана и изготовлена компактная магнитная система с постоянными магнитами (NdFeB) и ферритами кольцевой формы. Реализованы высокоякорстные режимы ВЧ-источника аргонового пучка $B_n = 5 \cdot 10^{12} \text{ А м}^{-2} \text{ рад}^{-2}$.

62

ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ С АНОДНЫМ СЛОЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Гончаров, А.Н. Добровольский, С.Н. Павлов, И.М. Проценко, Е.Г. Костин

Современные технологии магнетронного напыления технологических и декоративных покрытий сегодня широко используются во всем мире. Наряду с использованием вакуумно-дуговых методов обработки, они позволяют отказаться от экологически вредных химических методов получения слоев с заданными параметрами. Для получения качественных покрытий необходима предварительная очистка и активация поверхности непосредственно перед напылением. Наиболее логичным решением представляется использование для этих целей плазменных источников близкого к магнетронам типа. Представляемая статья посвящена рассмотрению возможности работы в едином технологическом цикле с магнетроном различных модификаций плазменного ускорителя с анодным слоем.

Представленные результаты демонстрируют высокую эффективность таких устройств и возможность создания технологических линий по непрерывной обработке поверхностей с различной геометрией. Скорости травления по меди (больше 1 нм/с) не уступают лучшим известным данным для источников Кауфмановского типа. Диапазон рабочих давлений (до $1,2\text{-}3 \cdot 10^{-3} \text{ мм. рт. ст.}$) позволяет их размещать в общей камере с магнетроном.

Плазмовий прискорювач з анодним шаром для обробки поверхні матеріалів

О.А. Гончаров, А.М. Добровольський, С.М. Павлов, І.М. Проценко, Є.Г. Костін

Сучасні технології магнетронного напилення функціональних та декоративних покриттів сьогодні широко використовуються в усьому світі. Як і вакуумно дугові методи обробки, вони дозволяють відмовитися від екологічно шкідливих хімічних методів отримання шарів з заданими параметрами. Для одержання якісних покриттів потрібне попереднє очищення та активація поверхні безпосередньо перед напиленням. Найбільш логічним рішенням здається використання з цією метою плазмових джерел близького до магнетрону типу. Запропонована робота присвячена розгляду можливості роботи у єдиному технологічному циклі з магнетроном різних модифікацій плазмового прискорювача з анодним шаром.

Подані результати демонструють значну ефективність таких пристроїв та можливість створення технологічних ліній з неперервною обробкою поверхні різної геометрії. Швидкість травлення міді (більше за 1 нм/с) не поступається кращим відомим даним для джерел типу Кауфмана. Межа робочого тиску (до $1,2\text{-}3 \cdot 10^{-3} \text{ мм. рт. ст.}$) дозволяє розташовувати їх у спільній з магнетроном камері.

The anode layer plasma thrusters for surface treatment

A.A. Goncharov, A.M. Dobrovol's'kii, S.N. Pavlov, I.M. Protsenko, E.G. Kostin

Modern technologies of magnetron sputtering functional and decorative coatings are widely used now world-wide. As well as vacuum arc techniques, they allow to refuse usage of ecologically hazardous

chemical methods of obtaining layers with predetermined parameters. For obtaining high quality coatings preliminary cleaning and activation of the surface immediately before the deposition are required. The most reasonable solution appears to consist in using for that purpose plasma sources of type close to magnetron one. Proposed proceeding is devoted to consideration of the possibility of operation of various modifications of plasma thruster with anode layer in single technological cycle with the magnetron.

Presented results demonstrate substantial efficiency of such devices and possibility of creation of technological lines with continuous treatment of the surface with different geometry. Rate of copper etching (more than 1 nm/s) is not less than the best known values for the sources of Kaufmann type. Work pressure limit (up to $1,2\text{-}3\cdot 10^{-3}$ Torr) allows use of the device in chamber common with magnetron one.

63

КОНЦЕПЦИЯ ПОЧАТКОВОЙ ЧАСТИ ЛИНЕЙНОГО СИЛЬНОСТРУМОВОГО ПРОТОННОГО ПРИСКОРЮВАЧА ІЗ ФОКУСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОННИМ ПУЧКОМ

Б.І. Іванов, М.Г. Шуліка

У роботі за допомогою комп'ютерного моделювання досліджується прискорення протонів із струмом 0.1–1 А, енергією до 5.5 МеВ. При цьому параметри фокусувального електронного пучка змінюються у межах: струм 15–200 А, енергія 100–150 кеВ, напруженість фокусувального магнітного поля 0.8–2.2 кЕ. Коефіцієнт захоплення протонів у прискорення досягає 99 %. Після прискорення у першій секції із фокусуванням електронним пучком до енергії 2.5 МеВ протони прискорюються у другій секції із модифікованим змінно-фазовим фокусуванням до енергії 5.5 МеВ. Обговорюється можливість рекуперації електронного пучка із ККД вище 90 %.

CONCEPTION OF THE INITIAL PART OF A HIGH-CURRENT PROTON ACCELERATOR WITH FOCUSING BY AN ELECTRON BEAM

B.I. Ivanov, N.G. Shulika

In this work it is simulated the proton acceleration with current of 0.1–1 A, energy up to 5.5 MeV. In this case the parameters of focusing electron beam are varied in the following limits: the current is 15–200 A, energy 100–150 kV, intensity of focusing magnetic field 0.8–2.2 kOe. The efficiency of proton capture to the acceleration process has been calculated as up to 99%. After acceleration up to energy 2.5 MeV in the first section with focusing by electron beam, the protons are accelerated up to energy 5.5 MeV in the second section with the modified alternative-phase focusing. It is discussed the possibility of the electron beam recuperation with the efficiency more than 90 %.

64

ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НЕРАВНОВЕСНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ СУРЬМЯНО-ЦЕЗИЕВЫХ КАТОДОВ БЫСТРЫМИ ИОНАМИ

В.П. Журенко, О.В. Калантарьян, В.Т. Колесник, С.И. Кононенко, В.И. Муратов

Представлены результаты экспериментальных исследований функций распределений неравновесных электронов в твердотельной плазме сурьмяно-цезиевого катода при облучении его пучками ионов H^+ и He^+ с энергиями 1,25...2,25 МэВ. Показано, что эти функции в исследуемом диапазоне энергий электронов от 5 до 100 эВ имеют кусочно-степенную зависимость. Полученные функции распределения имеют два участка, соответствующие различным показателям степени в энергетических интервалах 5...30 эВ и 30...100 эВ, приведены соответствующие показатели степени для этих интервалов энергий электронов. Измерены значения коэффициентов вторичной ион-электронной эмиссии для сурьмяно-цезиевого катода.

ПРИПУСТИМИ ТЕХНОЛОГІЧНІ ОБМЕЖЕННЯ КВАДРУПОЛЬНИХ ЛІНЗ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ У ПАРАМЕТРИЧНИХ МУЛЬТИПЛЕТАХ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІОННОГО МІКРОЗОНДА

К.І.Мельник, О.Г.Пономарьов

Одними з головних параметрів, що визначають роздільну здатність іонного мікрозонда MeV-них енергій на базі параметричних мультиплетів магнітних квадрупольних лінз, є паразитичні компоненти поля лінз. Розглянуто параметричну множину зондоформуючих систем, визначено гранично припустимі величини паразитичних компонент, пов'язані з ними технологічні обмеження на позиціонування полюсних наконечників лінз, що призводять до таких аберацій, які не викликають значної деградації пучка на мішені. Розглянуто вплив паразитичних компонент на іонно-оптичні властивості мультиплетів, приводиться методика їхнього визначення.

ДОПУСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МУЛЬТИПЛЕТАХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИОННОГО МИКРОЗОНДА

К.И.Мельник, А.Г.Пономарев

Одними из основных параметров, определяющих пространственное разрешение ионного микрозонда MeV-ных энергий на базе параметрических мультиплетов магнитных квадрупольных линз, являются паразитические компоненты поля линз. Рассмотрено параметрическое множество зондоформирующих систем, определены предельно допустимые величины паразитических компонент, связанные с ними технологические ограничения на позиционирование полюсных наконечников линз, которые приводят к аберрациям, не вызывающим значительной деградации пучка на мишени. Рассмотрено влияние паразитических компонент на ионно-оптические свойства мультиплетов, приводится методика их определения.

A CONCEPTUAL DESIGN OF A MeV-ENERGY ION MICROPROBE WITH AN IMMERSION PROBE-FORMING SYSTEM

A.G.Ponomarev, I.G.Ignat'ev, D.V.Magilin, V.I.Miroshnichenko, V.E.Storizhko, B.Sulkio-Cleff

The authors propose a new design for a MeV-energy ion microprobe based on the immersion probe-forming system that employs the accelerating tube at an early stage of beam focusing. The final probing beam formation on the target is provided by a separated Russian quadruplet of magnetic quadrupole lenses. As follows from the calculations, the length of this setup along the beamline (from the ion source to the target) does not exceed 4 m, but the resolution may be higher than that of most operating facilities of conventional design.

ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА В СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕ

В.В.Рыбаков, А.П.Смахтин

Рассмотрена физическая модель прямого преобразования кинетической энергии плазменного потока при его торможении в поперечном магнитном поле в монохроматическое СВЧ-излучение. При этом СВЧ-излучение распространяется вдоль магнитных силовых линий и выполняется условие циклотронного резонанса. Рассматриваемое преобразование лежит в основе рабочего процесса плазменного электромагнитного генератора (ПЭМГ). На основе анализа дисперсионного соотношения в приближении кинематики волновых процессов определены условия возникновения и тип неустойчивости в ПЭМГ. Исследованы механизмы преобразования энергии в ПЭМГ и приведены оценки эффективности процесса.

ГОЛОГРАФІЧНА ІНТЕРФЕРОМЕТРІЯ ДИНАМІКИ ГАЗОПЛАЗМОВОГО ФАКЕЛА

А.Г. Толстолуцький, В.В. Уваров, Н.С. Поддубко, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвіненко, А.Г. Пономарьов, О.Л. Рак

Методом голографічної інтреферометрії була досліджена динаміка розльоту газоплазмового факела, що виникає при дії трубчатого РЭП на мішень зі сплаву 12Х18Н10Т. Показано, що в процесі розльоту на вісі системи утворюється зона фокусування, в якій температура та густина мають максимальне значення. Визначені розміри, форма та місцеположення цієї зони.

THE HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY OF THE GAS-PLASMA TORCH DINAMICS

A.G. Tolstolutsky, V.V. Uvarov, N.S. Poddubko, V.F. Klepikov, V.V. Litvinenko, A.G. Ponomarev, O.L. Rak

The gas-plasma torch scattering has been studied by the holographic interferometry method, formed under effect of tubular REB on the tin 12H18N10T target. It is shown that under scattering, the focusing zone is formed on the system axis, in which the temperature and density are maximal. The dimensions, form and situation is determined for this zone.

69

PULSED PLASMA CATHODE WITH LARGE EMITTING SURFACE

V.B. Yufarov, E.I. Skibenko, L.G. Sorokovoj, A.N. Rybalko, V.I. Tkachev, N.A. Kosik, I.V. Buravilov, A.N. Ponomaryov, K.A. Lukin, I.N. Onishchenko

The experiments on elaboration of plasma pulsed cathode with large emitting surface have been performed. It was produced with collection of parallel multigap plasma guns. With the help of 8 mm. Interferometer the plasma density is determined.

ІМПУЛЬСНИЙ ПЛАЗМОВИЙ КАТОД З ВЕЛИКОЮ ЕМІТУЮЧЕЮ ПОВЕРХНЕЮ

В.Б. Юферов, Є.І. Скібенко, Л.Г. Сороковий, А.М. Рибалко, В.І. Ткачов, М.А. Косик, І.В. Буравілов, А.М. Пономарьов, К.А. Лукін, І.М. Оніщенко

Були проведені експерименти по розробці плазмового імпульсного катода з великою поверхнею, що емітує. Він створювався за допомогою набору паралельно працюючих багатозазорних плазмових гармат. За допомогою 8 мм. інтерферометра визначена динаміка щільності плазми.

70

CONCEPTION PROJECT OF PLASMA RESONANT SEPARATOR

A.N. Dovbnya, A.M. Egorov, O.M. Shvets, V.B. Yufarov, S.V. Nevstruev

The construction of plasma separator of isotopes, using the ion cyclotron resonance for their fission has been considered. Parameters of breadboard device are linked with and the main tasks of prototype experiment are determined.

КОНЦЕПЦІОННИЙ ПРОЕКТ ПЛАЗМОВОГО РЕЗОНАНСНОГО СЕПАРАТОРА

А.Н. Довбня, А.М. Егоров, О.М. Швеи, В.Б. Юферов, С.В. Невструев

Розглянуто конструкцію плазмового сепаратора ізотопів, що використовує іонно-циклотронний резонанс для їхнього поділу. Розраховано параметри макетуючого пристрою та визначено основне завдання макетуючого експерименту.

71

◆

**О НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОВЕРХНОСТЯМИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

*И.М. Неклюдов, В.Б. Юферов, Л.Г. Сороковой, О.С. Друй, Н.А. Косик, Е.В. Муфель, И.В. Буравилов,
В.И. Ткачев, А.Н. Пономарев*

The processes determining ablation mechanism have been considered. The experimental results of influence of powerful pulse electron beams on structure of surface and X18H10T steel hardness are presented. It is established, the significant influence of radiation power density on steel structure. The impulse influence by high-power beams of electrons leads to surface melting, hardness increase of near-surface layers.

Розглянуто процеси що визначають механізм абляції. Представлено результати експериментальних досліджень впливу могутніх імпульсних електронних пучків на структуру поверхні і твердість нержавіючої сталі X18H10T. Установлено, істотний вплив щільності потужності випромінювання на структуру сталі. Імпульсний вплив могутніми пучками електронів приводить до оплавлення поверхні, підвищенню твердості приповерхневих шарів.