

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЧ РАЗРЯДА В МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ ПРОВОЧНОГО ТИПА

В.В.Доброхотов, Г.А.Марков

Нижегородский госуниверситет

Экспериментальное моделирование неравновесных процессов в магнитосфере Земли является важной задачей современной физики. Потребность в подобном моделировании связана с трудностями и дороговизной натуральных экспериментов, а также с необходимостью более глубокого понимания физики солнечно-земных связей и разработки эффективной КНЧ и СЧ радиосвязи с помощью источников сравнительно малых мощностей и малых, по сравнению с длиной волны, размеров. В данной работе представлены результаты исследования плазменно-волнового разряда в пробочной магнитной ловушке. Как оказалось, структура такого разряда в свистовом диапазоне частот во многом удовлетворяет требованиям, необходимым для лабораторного моделирования волновых процессов в магнитосфере Земли.

На рис.1 представлена схема экспериментальной установки [1]. Плазменно-волновой разряд возбуждался в стеклянном баллоне длиной 1500 мм и диаметром 60 мм (рис.1, элемент 1) при давлении гелия $p \sim 10^{-3}$ Торр квадрупольной антенной из трех колец диаметром 60 мм, размещенных в центральной части баллона вдоль его оси на расстоянии ~ 60 мм друг от друга. ВЧ напряжение ($f_0 = 185$ МГц, $V_0 = 50$ В) от генератора ГСТ-2 ($W_0 \sim 20$ Вт) подводилось к возбуждающим кольцам коаксиальным кабелем. Крайние кольца были соединены с внешней обмоткой кабеля, а центральное кольцо соединялось с внутренней жилой кабеля. Продольное магнитное поле создавалось двумя соленоидами с автономным питанием (рис.1, катушки 2 и 3). Катушки соленоида 2 формировали квазиоднородное поле ($B_z \approx 350$ Гс, $\Delta B_z/B_z < 0,1$) во всем объеме разрядного баллона. Катушки соленоида 3 формировали поле в пробках.

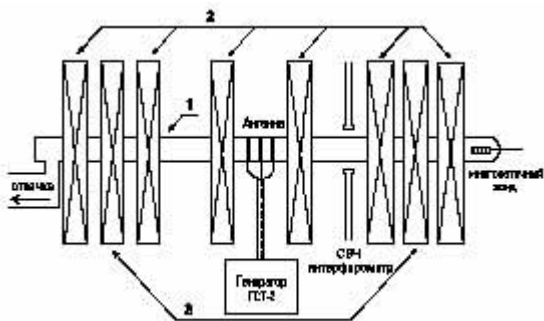


Рис. 1

Катушки соленоида 2 формировали квазиоднородное поле ($B_z \approx 350$ Гс, $\Delta B_z/B_z < 0,1$) во всем объеме разрядного баллона. Катушки соленоида 3 формировали поле в пробках.

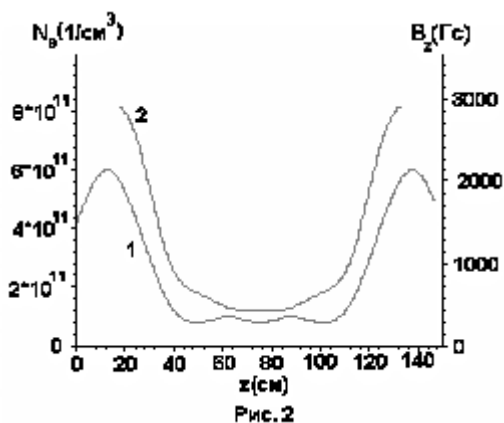
Расстояние между центрами пробок 1~1200 мм. Концентрация плазмы в разрядном канале определялась с помощью интерферометра на частоте 9,55 ГГц.

На рис.2 приведены распределения вдоль продольной оси z магнитной индукции $B_z(z)$ (кривая 1) и усредненной по поперечному сечению разрядного канала концентрации плазмы $N_e(z)$ (кривая 2). Важным экспериментальным результатом является существенное возрастание плотности плазмы при удалении от возбуждающей антенны вдоль оси разрядного баллона к магнитным пробкам. Этот результат качественно отличается от результатов экспериментов, проводившихся в пробочных ловушках с распадающейся плазмой, в которых из-за диффузионного расплывания плазменного образования концентрация существенно уменьшается при удалении от центра ловушки к пробкам. В наших экспериментах плазма создавалась в условиях

ионизационного самоканалирования волновых полей, излучаемых квадрупольной антенной. В данном случае оказалось, что амплитуда волновых полей вдали от источника достаточна для создания и поддержания высокой плотности плазмы в области сильного магнитного поля в пробках. Отметим, что распределения на рис.2 качественно отражают распределения магнитного поля и плотности плазмы вдоль силовой трубки магнитосферного резонатора. Это дает новые экспериментальные возможности лабораторного моделирования и изучения нестационарных процессов в магнитосфере Земли. Самостоятельный научный интерес представляют новые знания о структуре и динамике плазменных образований, формируемых ВЧ разрядом в магнитной ловушке.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (01-02-16949, 03-02-06477, НШ-1637.2003.2), КЦФЕ (Е 02-3.5-478), "Университеты России" (УР.01.01.039) а также Минпромнауки РФ (контракт №40.020.1.1.1171).

[1] Доброхотов В.В., Марков Г.А. //Физическая Мысль России. 2002, №1/2. С.126.



ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ МАЗЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ПЛАЗМЕННОМ РЕЗОНАТОРЕ МАГНИТОСФЕРНОГО ТИПА

В.В.Доброхотов, Г.А.Марков

Нижегородский госуниверситет

Магнитосфера Земли является пробочной магнитной ловушкой для заряженных частиц. Плазме в таких ловушках присуща инверсия населённости по поперечным скоростям. Частиц с малыми поперечными скоростями в плазме меньше, чем частиц с большими поперечными скоростями. Частицы с малыми поперечными скоростями не удерживаются магнитными пробками и высыпаются из магнитосферы вдоль силовых линий магнитного поля B_0 в плотные слои атмосферы и рекомбинируют. Частицы с большими поперечными скоростями отражаются от магнитных пробок, перемещаясь от полюса к полюсу вдоль силовых линий, и их плотность увеличивается из-за диффузии из радиационных поясов. Если количество таких частиц начинает превышать некий пороговый уровень, шумовые волновые поля, всегда присутствующие в магнитосфере, стимулируют возбуждение магнитосферного мазера [1, 2].

Лабораторное моделирование магнитосферного альфвеновского мазера представляет большой интерес для исследователей неравновесных волновых процессов в магнитосфере Земли и для разработчиков каналов КНЧ радиосвязи. В настоящей работе представлены результаты лабораторных экспериментов, в которых исследовалась неравновесная плазма ВЧ разряда в магнитной ловушке пробочного типа. В ходе эксперимента были исследованы спектры собственных колебаний полей и частиц в плазменно-волновом канале, сформированном плазменной волной, возбуждаемой линейной квадрупольной антенной из трех проволочных колец диаметром 6 см [3]. Кольца располагались на расстоянии 6 см друг от друга. На антенну с помощью коаксиального кабеля подавался сигнал частотой 185 МГц и мощностью 20 Вт с генератора ГСТ-2. Приемная антенна через НЧ фильтр коаксиальным кабелем соединялась с осциллографом TECTRONIX, позволяющим определять спектральные характеристики принимаемого сигнала. Результаты экспериментов представлены на рис.1 и 2 в виде зависимостей спектральной плотности мощности сигнала от частоты $S(f)$.

На рис.1 характерный максимум на графике спектральной плотности мощности излучения S на частоте $f \sim 680$ КГц соответствует колебаниям быстрых электронов между пробками магнитной ловуш-

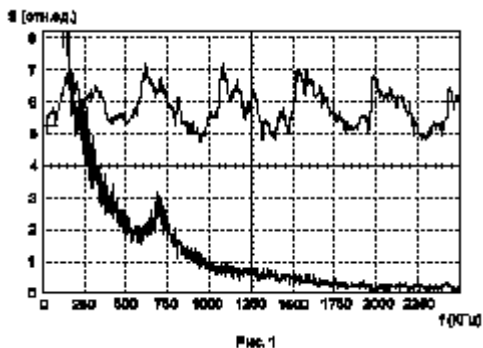


Рис. 1

ки. Характерные максимумы в графике спектральной плотности мощности излучения на частотах f от 12,5 кГц до 95 кГц (рис. 2) соответствуют резонансному возбуждению ионно-циклотронных колебаний. Положение резонансных максимумов на частотной оси зависело только от магнитных полей в соленоиде и в пробках магнитной ловушки. Следует также отметить, что увеличение давления $p > 5 \cdot 10^{-3}$ Торр или выключение магнитного поля в пробках приводило к исчезновению максимумов на характерных резонансных частотах. Это может служить подтверждением наблюдения собственных колебаний плазменного резонатора, частота которых зависит, прежде всего, от геометрических параметров магнитной ловушки, и не зависит от частоты сигнала, формирующего разрядный канал. Полученные в работе результаты позволяют сделать вывод о возможности лабораторного исследования управляемых мазерных эффектов в пробочной магнитной ловушке.

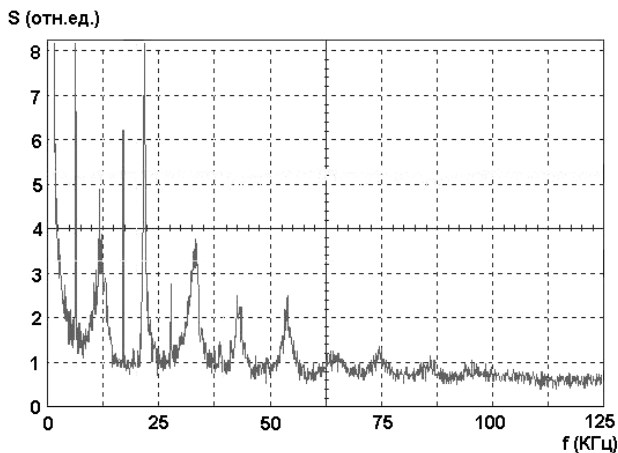


Рис. 2

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (01-02-16949, 03-02-06477, НШ-1637.2003.2), КЦФЕ (Е 02-3.5-478), “Университеты России” (УР.01.01.039) а также Минпромнауки РФ (контракт №40.020.1.1.1171).

[1] Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю. Альфвеновские мазеры. –Горький, 1986.

[2] Трахтенгерц В.Ю., Демехов А.Г. //Природа. 2002. №4.С.25-30.

[3] Доброхотов В.В., Марков Г.А. //Физическая Мысль России. 2002. №1/2. С.126.

МЕЖМОДОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ОКОНЕЧНОСТИ ОПТОВОЛОКОННОГО ЗОНДА ДЛЯ БЛИЖНЕПОЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ

М.И.Бакунов, С.Б.Бодров

Нижегородский госуниверситет

Сканирующая ближнеполюсная оптическая микроскопия (БСОМ) является одной из наиболее активно развиваемых в последние годы разновидностей зондовой микроскопии. В апертурной БСОМ излучение подводится к исследуемому образцу с помощью зонда, представляющего собой заостренный (под углом $\sim 10^\circ$) конец оптоволоконна обычно с нанесенным на него металлическим (чаще всего алюминиевым) покрытием. Одной из основных проблем ближнеполюсной оптической микроскопии является малая ($\sim 10^{-5}$ - 10^{-3} по интенсивности) пропускная способность зонда. Дело в том, что ввиду малости выходной апертуры зонда (по сравнению с длиной световой волны) оконечная часть зонда является закритической для падающей основной моды оптоволоконного волновода. Вследствие этого световое поле быстро спадает за критическим сечением сужающегося волновода (зонда), и лишь малая часть подводимого по оптоволокну света достигает выходной апертуры (рис.1).

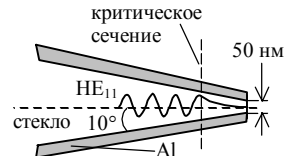


Рис.1

Несмотря на практическую важность задачи о распространении световой волны через зонд, этой теме посвящено сравнительно небольшое число теоретических работ. В работе [1] исследованы дисперсионные характеристики однородного диэлектрического цилиндрического волновода с металлической оболочкой в зависимости от его радиуса, что позволяет качественно пояснить распространение излучения через оптический зонд. В работе [2] проводились численные расчёты прохождения излучения через заострённый зонд методом множественных мультиполей (ММП). Однако последовательная картина прохождения излучения через сужающийся оптический волновод до сих пор не получена.

В данной работе на основе метода поперечных сечений исследовано распространение основной моды оптоволоконного световода в сужающемся металлизированном зонде с учетом межмодовой трансформации, вызванной неоднородностью (уменьшением радиуса) волновода. Исследованы возможности повышения пропускной способности зонда путем профилирования (гофрирования) его стенок и преобразования за счет этого падающей моды в моду с наименьшим критическим радиусом. Расчёты проведены для света с длиной волны $\lambda = 488$ нм.

На рис.2 приведены зависимости коэффициентов замедления h/k_0 мод с азимутальным индексом $m = 1$ диэлектрического волновода с алюминиевым покрытием ($\text{Re } \epsilon_{\text{Al}} = -34$ при $\lambda = 488$ нм) от радиуса волновода a . Как видно из рисунка 2, существует мода (штрихпунктирная линия), имеющая меньший, по сравнению с основной модой (сплошная линия), критический радиус. В широкой части волновода эта волна является поверхностной и прижата к металлической стенке

эта волна является поверхностной и прижата к металлической стенке волновода. В узкой части – это HE_{11} мода металлического волновода. Идея повышения коэффициента прохождения излучения через зонд заключается в организации перекачки энергии из основной моды в HE_{11} моду за счёт создания гофра на поверхности зонда.

На основе метода поперечных сечений [3] выполнен расчёт распространения света в зонде – как равномерно сужающемся, так и гофрированном. В качестве падающей (со стороны широкой части зонда) волны задается основная (HE_{11}) мода оптоволоконного световода (в узкой части зонда она становится EH_{11} модой металлизированного волновода). На рис.3 показаны энергии некоторых возбуждаемых мод, бегущих в прямом и обратном направлениях, в зависимости от текущего радиуса волновода (без гофра). В HE_{11} моду металлического волновода, обладающую наименьшим критическим радиусом, трансформируется небольшая доля энергии. На выходном радиусе волновода присутствуют в основном (спадающие) поля HE_{11} и EH_{11} мод. Гофрирование поверхности зонда позволяет повысить интенсивность света на выходе примерно на порядок (рис.4).

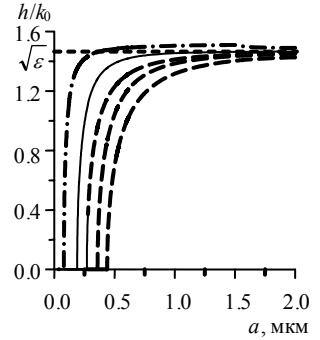


Рис.2

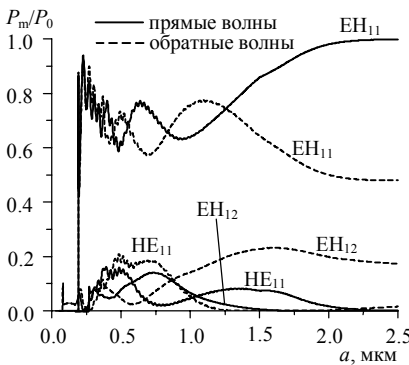


Рис.3

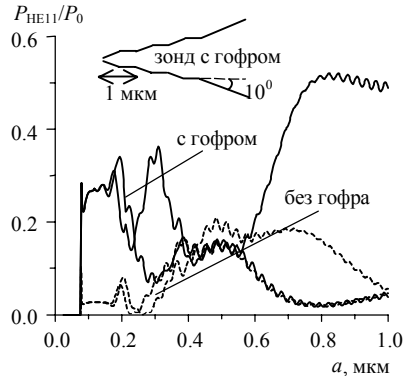


Рис. 4

[1] Novotny L. and Hafner C. //Phys. Rev. E, 1994. V.50. P.4094.

[2] Novotny L., Pohl D. W. and Hecht B. //Optics Letters, 1995. V.20. P.970.

[3] Каценеленбаум Б. З. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами. – М.: Изд-во АН СССР, 1961, с.215.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ АРТ-СЕТЕЙ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОВОЛНОВОЙ ЛОКАЦИИ

Д.А.Головачёв, А.Л.Умнов, В.А.Яшнов

Нижегородский госуниверситет

Идея предлагаемого метода состоит в регистрации и интерпретации отклика систем взаимодействующих нелинейных рассеивателей с оптическим управлением (НРОУ) на возмущения структуры электромагнитного поля, зондирующего исследуемый объём [1].

В разрабатываемой системе нелинейные рассеиватели (вибраторные антенны с нагрузками – полупроводниковыми приборами) размещаются в фиксированных точках пространства.

Сигналы, переизлучённые системой рассеивателей, регистрировались с помощью радиоприемного устройства на частотах гармоник и комбинационных частотах возбуждающего поля. Экспериментально было показано, что характеристики НЧ спектров этих сигналов несут в себе информацию об абсолютном значении амплитуды поля в местах расположения нелинейных рассеивателей.

В предыдущих работах авторов был разработан радиоволновой локатор с RBF-сетью [2]. Однако последующие исследования показали, что существует возможность увеличения разрешающей способности системы. Идея метода состоит в разбиении лоцируемого объёма на естественные для нейронных сетей области и дальнейшем обучении на полученных кластерах. Такой подход одновременно позволяет избавиться от неоднозначности, связанной с одинаковостью спектральных портретов пространственно разнесённых точек лоцируемого объёма.

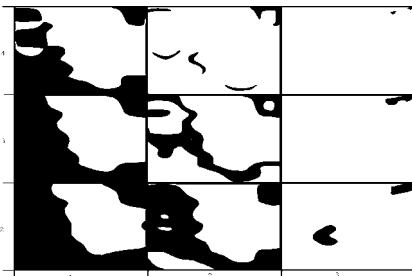
Таким образом, в построенной системе производилась предварительная пространственная кластеризация для выявления в интерференционной картине поля областей, которым соответствуют одинаковые значения амплитуд гармоник в ВЧ огибающей. Для этого использовались адаптивно-резонансные (АРТ) нейронные сети [3]. Обучающие вектора для АРТ-сети формировались путем записи значений гармоник при нахождении лоцируемого объекта в известной точке, а также данных о координатах этой точки. Соответствующие целевые вектора характеризовали координаты точки.

Сеть АРТ представляет собой векторный классификатор. Входной вектор классифицируется в зависимости от того, на какой из множества ранее запомненных образов он похож. Свое классификационное решение сеть АРТ выражает в форме возбуждения одного из нейронов распознающего слоя. Если входной вектор не соответствует ни одному из запомненных образов, создается новая категория посредством запоминания образа, идентичного новому входному вектору. Если определено, что входной вектор похож на один из ранее запомненных векторов с точки зрения определенного критерия сходства, запомненный вектор будет изменяться (обучаться) под воздействием нового входного вектора таким образом, чтобы стать более похожим на этот входной вектор. Запомненный образ не будет изменяться, если

текущий входной вектор не окажется достаточно похожим на него. Новый образ может создавать дополнительные классификационные категории, однако новый входной образ не может заставить измениться существующую память.

Вектора, полученные в результате самообучения АРТ-сети (т.е. кластеризации входных данных), использовались для обучения RBF-сети, предназначенной для классификации зашумлённых входных векторов во время распознавания положения лоцируемого объекта [2].

Для изучения эволюции размеров кластеров при изменении параметров системы была создана упрощенная модель работы АРТ-сети. На рисунке показано изменение размеров кластера при изменении числа рассеивателей и чувствительности модели АРТ-сети. Здесь чёрным цветом показана область, занимаемая одним кластером. Реальный размер каждой ячейки составляет 2×3 м. По горизонтальной оси отложено число используемых для локации НРОУ, по вертикальной оси – чувствительность модельной АРТ-сети. Как видно из рисунка, увеличение числа НРОУ, как и увеличение чувствительности АРТ ведёт к уменьшению размеров областей неоднозначности локатора. Однако при чрезмерном увеличении числа НРОУ или чувствительности АРТ области возможного положения объекта вырождаются в точки, что приводит к ухудшению работы локатора.



Эволюция размеров кластера

Проведённые экспериментальные исследования показали возможность увеличения разрешающей способности предлагаемой системы нелинейной радиоволновой локации за счет пространственной кластеризации исследуемого объема. В дальнейшем планируется детальное экспериментальное и теоретическое изучение свойств систем взаимодействующих НРОУ.

- [1] Кашин А.В., Умнов А.Л., Яшнов В.А. //Письма в ЖТФ. 2001. Т.27, Вып.7. С.26.
- [2] Головачёв Д.А., Умнов А.Л., Яшнов В.А. //В кн.: Тр. 6-й научн. конф. по радиофизике. 7 мая 2002 г. /Ред. А.В.Якимов. – Н.Новгород: ТАЛИАМ, 2001, с.49.
- [3] Carpenter G.A., Grossberg S. //Appl. Opt. 1987. V.26. P.4919.

ВЛИЯНИЕ СТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ НА ВОЗБУЖДЕНИЕ СВИСТОВЫХ ВОЛН В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ НАЛИЧИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЛАЗМЕННОГО КАНАЛА

А.В.Кудрин, Л.Е.Курина, М.Ю.Лях

Нижегородский госуниверситет

Исследуется влияние диссипативных потерь, обусловленных электронными соударениями, на возбуждение волн свистового диапазона $\omega_{LH} < |\omega - i\nu_e| \ll \omega_H \ll \omega_p$ заданными кольцевыми электрическими токами в магнитоактивной плазменной среде при наличии цилиндрического канала с повышенной плотностью плазмы (ω_{LH} — нижняя гибридная частота, ω — круговая частота поля, ν_e — эффективная частота электронных соударений, ω_H и ω_p — гирочастота и плазменная частота электронов соответственно). Такие каналы формируются в магнитоактивной плазме вблизи электромагнитных источников, работающих в указанном диапазоне, вследствие нелинейных эффектов [1]. Как показано в работах [2, 3], каналы с повышенной плотностью могут направлять в свистовом диапазоне частот моды, поля которых содержат как крупномасштабную вистлеровскую, так и мелкомасштабную квазиэлектростатическую составляющие. При этом в условиях активных ионосферных и соответствующих модельных лабораторных экспериментах основная доля мощности, излучаемой кольцевыми электрическими токами, идет в моды, поддерживаемые каналом [2].

Напомним, что в однородной столкновительной магнитоактивной плазме постоянные затухания волн, принадлежащих вистлеровской и квазиэлектростатической частям пространственного спектра, различаются весьма существенно. Как оказалось, при наличии плазменного канала данное обстоятельство может приводить к достаточно сложной зависимости постоянных затухания мод, поля которых содержат составляющие, отвечающие указанным двум участкам пространственного спектра, от эффективной частоты электронных соударений, а также других факторов. В настоящей работе показано, что в случае цилиндрического канала достаточно большого радиуса с увеличением частоты электронных соударений происходит качественное изменение дисперсионных зависимостей и структуры полей мод, поддерживаемых каналом: моды разделяются на слабозатухающие с преимущественно крупномасштабной (вистлеровской) структурой поля и постоянными затухания p'' , определяемыми соотношением $p''/p' \sim \nu_e/\omega_H$, и сильнозатухающие, у которых в структуре полей преобладает мелкомасштабная (квазиэлектростатическая) составляющая. Постоянные затухания определяются соотношением $p''/p' \sim \nu_e/\omega$ (p' и p'' — соответственно действительная и мнимая части комплексной постоянной распространения моды $p = p' - ip''$). На рис.1 в качестве примера представлены зависимости постоянных затухания p'' двух соседних азимутально-симметричных мод от эффективной частоты электронных соударений при $\omega/\omega_H = 0,1$, $\omega_p/\omega_H = 5,4$, $\omega_H a/c = 2$ и отношении плотности плазмы внутри канала и плотности фоновой

плазмы, равном 1,7 (здесь ω_p – плазменная частота, отвечающая фоновой плотности, a – радиус канала). Нетрудно видеть, что при достижении определенного значения частоты соударений рост постоянной затухания “вистлеровской” моды (кривая 1) существенно замедляется, в отличие от постоянной затухания “квазиэлектростатической” моды (кривая 2). Таким образом, наличие электронных соударений приводит к селекции мод по постоянным затухания.

На рис.2 показаны зависимости нормированной мощности P , расходуемой азимутально-симметричным однородным кольцевым электрическим током I_0 (радиус кольца $b = 0,1a$) на возбуждение рассматриваемых мод применительно к ионосферным условиям ($\omega_H = 8,78 \cdot 10^6 \text{с}^{-1}$, значения безразмерных параметров прежние). Из данных, представленных на рис.2, следует, что при значениях ν_e , начиная с которых происходит изменение зависимостей $p''(\nu_e)$ и структуры полей мод, наблюдается существенное уменьшение мощности, идущей в “квазиэлектростатическую” моду и увеличение мощности, идущей в “вистлеровскую” моду, по сравнению со случаем бесстолкновительной плазмы. В результате имеет место селекция мод по эффективности возбуждения, которая объясняется отмеченным выше изменением поперечной структуры полей мод при наличии электронных соударений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 01-02-16949, 01-02-17390, 03-02-06475), программы «Университеты России» (проект УР.01.01.039), а также Минобрнауки РФ (грант Е02-3.5-478) и Минпромнауки РФ (контракт 40.020.1.1.1171).

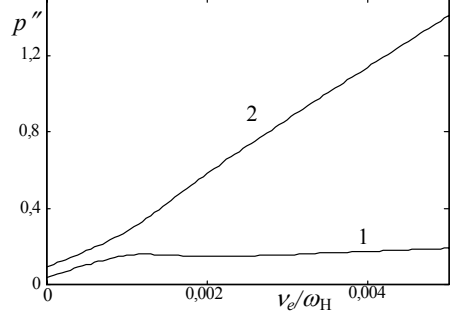


Рис.1

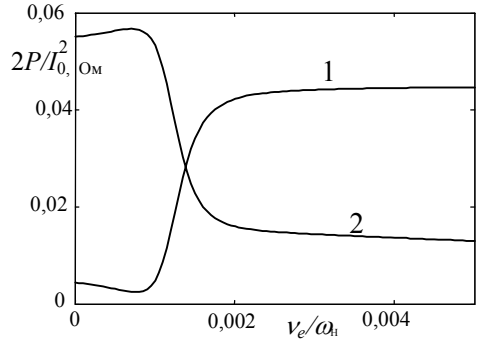


Рис.2

- [1] Kostrov A.V., Kudrin A.V., Kurina L.E. et al. // Physica Scripta. 2000. V.62, Pt.1. P.51.
- [2] Kondrat'ev I.G., Kudrin A.V., Zaboronkova T.M. Electrodynamics of density ducts in magnetized plasmas. -Amsterdam: Gordon and Breach, 1999. 288 p.
- [3] Заборонкова Т.М., Кудрин А.В., Лях М.Ю., Попова Л.Л. //Иzv. вузов. Радиофизика. 2002. Т.45, №10. С.835.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ОБРАЗЦЕ ВСЛЕДСТВИЕ НАГРЕВА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.А.Соловьев

Нижегородский госуниверситет

При использовании мощных лазеров необходимо учитывать тепловые линзы, возникающие вследствие поглощения элементами оптической схемы лазерного излучения. Особенно остро такая проблема встает при проведении прецизионных измерений. При нагревании оптический элемент существенно меняет свои свойства: с температурой изменяется показатель преломления; из-за неоднородного теплового расширения меняется форма, возникают упругие напряжения; в общем случае наводится двулучепреломление, обусловленное фотоупругим эффектом. Изучение этих явлений актуально в связи с существованием большого числа прикладных задач, в которых важную роль играет возникновение наведенных оптических aberrаций.

Актуальной является проблема детектирования гравитационных волн. В настоящее время в США активно ведутся исследования в рамках усовершенствования детектора гравитационных волн LIGO. Детектор LIGO представляет собой гигантский интерферометр Майкельсона, плечи которого имеют длину 4 километра и находятся в трубах, в которых поддерживается вакуум. Принцип обнаружения гравитационных волн состоит в том, что согласно современным представлениям, прохождение гравитационных волн через некую область пространства связано с изменением метрики и течения времени в данной области. Эти явления должны, как предполагается, вызвать рассогласование плеч интерферометра и, как следствие, появление на его выходе оптического сигнала. Мощность этого сигнала зависит от величины рассогласования, а его суммарная энергия – от энергии, запасенной в плечах интерферометра. Таким образом, для увеличения чувствительности детектирования гравитационных волн необходимо увеличивать эту энергию.

Каждое плечо интерферометра в детекторе LIGO принципиально представляет собой резонатор Фабри-Перо, что позволяет аккумулировать в нем большую энергию при сравнительно малых мощностях лазерного источника. При мощности этого источника около сотни Ватт на отражающее зеркало резонатора в стационарном режиме падает излучение с мощностью порядка мегаватта. При работе с такими мощностями нельзя пренебрегать нагревом отражающих зеркал, который происходит из-за поглощения лазерного излучения. С изменением температуры изменяется геометрическая форма зеркала, что вызывает расстройку и снижение добротности резонатора; ограничивается возможность накопления энергии в плечах интерферометра и чувствительность детектора гравитационных волн в целом.

Таким образом, для контроля работы установки и повышения ее чувствительности необходимо разработать методику диагностики тепловых эффектов в оптиче-

ских элементах детектора LIGO. Для этого необходимо выполнить расчет возникающих оптических аберраций.

В настоящем докладе представлены результаты расчетов изменения длины оптического пути луча, проходящего через прозрачный цилиндрический образец, нагреваемый лазерным излучением.

Была создана компьютерная программа, реализованная на языке программирования MatLab, при помощи которой можно рассчитать изменение оптических свойств прозрачного диэлектрического образца, нагреваемого электромагнитным излучением. На первом этапе программа рассчитывает нестационарное температурное поле, создаваемое произвольными аксиально-симметричными источниками тепла, как в объеме, так и на поверхности цилиндра. Источники можно задать, исходя из условий конкретной прикладной задачи. Граничные условия учитывают только излучательный теплообмен. Такая постановка граничных условий хорошо согласуется с условиями реального эксперимента, так как отражающие зеркала в детекторе LIGO представляют собой толстые диски, изготовленные из кварцевого стекла, подвешенные в вакууме на системе металлических растяжек для уменьшения теплообмена. На втором этапе программа производит расчет векторного поля деформаций диска и соответствующего ему тензорного поля напряжений. На третьем этапе вычисляется изменение оптического пути лазерного луча. В математической модели была учтена геометрическая деформация образца, зависимость показателя преломления n от температуры и оптическая анизотропия, вызванная температурными напряжениями.

В ИПФ РАН был проведен эксперимент, в котором цилиндрический образец из стекла марки К8, находящийся в вакуумной камере, нагревался излучением CO_2 лазера с длиной волны 10,6 мкм. Излучение такой длины волны полностью поглощается в тонком приграничном слое стекла. Условия проведения эксперимента соответствовали условиям, в которых происходит нагрев цилиндрических отражающих зеркал детектора LIGO. Полученные экспериментальные данные хорошо совпали с результатами численных расчетов лишь для малых значений мощности излучения CO_2 лазера. Это связано с тем, что при больших отклонениях температуры T образца от температуры окружающей T_c среды линеаризация принципиально нелинейных условий излучательного теплообмена становится неадекватной реально существующему теплообмену.

Полученный программный пакет будет в дальнейшем использован при разработке системы диагностики тепловых деформаций отражающих зеркал детектора гравитационных волн LIGO. Обсуждается возможность использования программы в процессе нахождения режимов работы системы накачки для широкополосного параметрического усилителя для 100 ТВт лазера.

Задача расчета тепловых напряжений цилиндра решалась и раньше, но в настоящей работе особое внимание уделено фотоупругому эффекту, учет которого существенно влияет на расчетные характеристики тепловой линзы.

К ВОПРОСУ О ЛАБОРАТОРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

А.В.Водопьянов, С.В.Голубев, А.Г.Демехов, В.Г.Зорин, Д.А.Мансфельд,
С.В.Разин, В.Ю.Трахтенгерц

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Интерес к лабораторному моделированию процессов, протекающих в условиях ближнего космоса, обусловлен серьезными ограничениями, которым подвержены исследования космических процессов в спутниковых и наземных экспериментах. Данная работа посвящена лабораторному моделированию вспышечных явлений в космических магнитных ловушках. Одним из таких процессов является функционирование в условиях магнитосфер планет, в т.ч. и Земли, космических циклотронных мазеров (КЦМ).

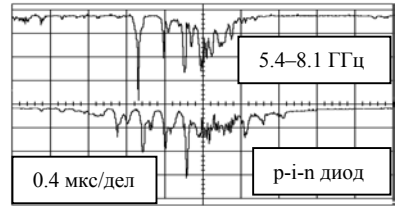
Электродинамической системой такого мазера служит магнитная силовая трубка, заполненная плотной холодной плазмой. Фоновая плазма в основном определяет дисперсионные свойства генерируемых электромагнитных волн. Например, в КНЧ-ОНЧ диапазоне (частоты от нескольких сот до 10-15 кГц), таковыми являются эффективно взаимодействующие с электронами свистовые волны. Области ионосферы, на которые опирается магнитная силовая трубка, исполняют роль зеркал резонатора. Активным веществом мазера являются энергичные частицы радиационного пояса (РП) с неравновесным распределением по скоростям.

Действие подобного мазера основано на циклотронном резонансе электронов, вращающихся с частотой ω_B в магнитном поле, с волной, частота которой ω удовлетворяет условию: $\omega - \omega_B = k_{\parallel} v_{\parallel}$, где k_{\parallel} и v_{\parallel} есть составляющие волнового вектора и скорости электрона вдоль магнитного поля соответственно. Электроны, для которых оно выполнено, находятся в синхронизме с волной (т.е. частота волны в их системе отсчета совпадает с частотой гировращения), и при определенных условиях могут отдавать энергию волне. Если в распределении резонансных электронов по скоростям преобладают частицы с большими поперечными (по отношению к магнитному полю) скоростями, то имеет место раскачка волны (циклотронная неустойчивость). В результате, пакет свистовых волн, распространяясь между зеркалами, усиливается в центральной части магнитной ловушки. Кроме того, при взаимодействии с волной электроны уменьшают свою поперечную энергию, попадают в конус потерь в пространстве скоростей, и выносятся из ловушки в ионосферу. Оказывается, что КЦМ могут функционировать как в режиме квазистационарной генерации излучения, так и в импульсном режиме, который проявляется в виде вспышечных выбросов потоков энергичных частиц в ионосферу, сопровождаемых короткими всплесками КНЧ-ОНЧ излучения. Так, при измерениях электромагнитного излучения в этом диапазоне частот были обнаружены сигналы естественного происхождения с аномально большой интенсивностью[1]. В частности, наблюдалось модулированное по интенсивности (период $10 \div 100$ с) квазипериодическое излучение длительностью $20 \div 30$ с. Сигналы повторялись регулярно и были тесно связаны

с магнитными бурями. В настоящее время ясно, что сигналы генерируются электронной компонентой РП, а различные динамические спектры излучений есть следствие различных режимов генерации волн в космическом циклотронном лазере [2].

Условия, необходимые для осуществления лабораторного моделирования такого процесса, можно воссоздать в плазме электронного циклотронного резонансного (ЭЦР) разряда в пробочной магнитной ловушке. В настоящей работе, для создания плазмы использовался гиротрон (частота 37,5 ГГц, мощность 80 кВт, длительность импульса 1,5 мс), излучение которого фокусировалось в центр разрядной камеры, помещенной в простую магнитную ловушку. В качестве рабочего газа использовался аргон при давлении $10^{-4} \div 10^{-5}$ Торр. Из проведенных ранее исследований [3] известно, что в плазме присутствуют две популяции электронов, одна из которых (фоновая изотропная) имеет концентрацию $N_e \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и температуру $T_e \sim 300$ эВ, а другая (энергичная анизотропная) – $N_e \sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$ и $T_e \sim 10$ кэВ. Для приема собственного СВЧ излучения плазмы в диапазонах 2-4.5, 5,4-8,1, 8,2-12,4, 11,8-17,8 ГГц на оси ловушки размещались коаксиально-волноводные переходы. Для измерения потока энергичных электронов использовался рп-диод, регистрирующий частицы с энергиями больше 7 кэВ.

Обнаружен автоколебательный режим развития циклотронной неустойчивости. Неустойчивость проявляется в виде квазипериодических (характерный период 200 нс) всплесков (характерная длительность 30 нс) СВЧ излучения плазмы и синхронных с ними выбросов горячих электронов из магнитной ловушки (см. рис.). Средняя энергия горячих электронов, покинувших магнитную ловушку, составляет около 10 кэВ. Следует отметить, что длительность регистрируемых импульсов заметно больше времени группового распространения свистового сигнала в ловушке $t_{гр} = 4$ нс. Это свидетельствует о том, что в магнитной ловушке формируется резонатор для свистовых волн, зеркалами которого служат, по-видимому, области перехода плазма-вакуум. Исследования показали, что спектр СВЧ излучения плазмы ограничен сверху частотой 12 ГГц и сдвигается в область более высоких частот при увеличении магнитного поля ловушки, что согласуется с существующими теоретическими представлениями. Проведенные эксперименты позволили установить, что высыпания электронов связаны с возбуждением свистовых волн с направлением распространения вдоль оси ловушки, и что наблюдаемая неустойчивость имеет много общего с явлениями, наблюдаемыми в космических магнитных ловушках, таких как радиационные пояса в магнитосферах планет. Результаты эксперимента демонстрируют возможность моделирования космических циклотронных лазеров в лабораторных условиях.



- [1] Helliwell R.A. Whistlers and Related Ionospheric Phenomena. Stanford, 1965.
 [2] Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю. Альвеновские мазеры. Горький, 1986.
 [3] Водопьянов А.В. и др. //Письма в ЖТФ. 1999. Т.25, В.14. С. 90-94.

НОВЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРООПТИКИ

О.Л.Антипов¹⁾, Н.Л.Ермолаев¹⁾, И.В.Юрасова²⁾

¹⁾Институт прикладной физики РАН, ²⁾Нижегородский госуниверситет

Нелинейно-оптические и электрооптические свойства различных органических материалов являются предметом активного исследования благодаря широкому спектру возможных применений подобных сред (например, для обработки и хранения оптической информации), а также ряду их преимуществ перед неорганическими материалами [1]. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования электрооптических свойств новых органических и металлоорганических веществ трех групп:

1. гетероциклические германийсодержащие соединения (BTG);
2. органические комплексы с внутримолекулярным переносом заряда (N23);
3. 2-нитро-1-[4-(диметиламино)-фенил]этан (N1).

Молекулы данных соединений обладают свойством внутримолекулярного переноса заряда наряду со способностью поляризоваться под действием внешнего электрического поля, что предполагает наличие электрооптического отклика исследуемых материалов. Изучались как растворы перечисленных веществ, так и тонкие

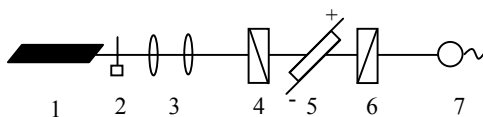


Рис. 1

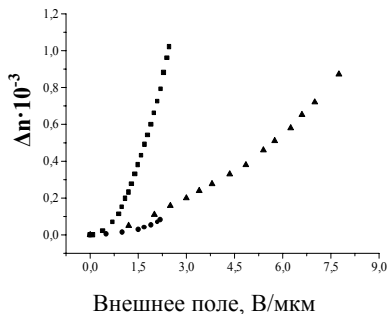


Рис. 2

полимерные пленки с внедренными в них молекулами. Образцы двух различных конструкций заключали в себе слои исследуемого материала толщиной 15...100 мкм.

Электрооптический отклик среды тестировался путем измерения оптического двулучепреломления, индуцируемого внешним электрическим полем [2].

Схема эксперимента представлена на рис.1 (1 – гелий-неоновый лазер ($\lambda = 633$ нм), 2 – прерыватель, 3 – фокусирующий телескоп, 4 – поляризатор, 5 – исследуемый образец, 6 – анализатор, 7 – фотоприемник). При этом был обнаружен эффект появления двулучепреломления под действием постоянного электрического поля, величина которого варьировалась в пределах $E = 1 \dots 10$ В/мкм. Данный факт может быть объяснен форми-

рованием и переориентацией эффективных донорно-акцепторных электрических диполей.

На рис.2 приведены графики зависимостей показателя преломления от величины внешнего поля для трех образцов: жидкого BTG (квадраты), пленки с молекулами BTG при температуре стеклования матрицы (треугольники) и раствора N23 в хлороформе (круги). Максимальное значение константы Керра было получено для образца с жидким BTG 100-микронной толщины и составило величину $K = 4 \cdot 10^{-10} \text{ м/В}^2$. Также была исследована зависимость электрооптических свойств растворов от типа растворителя.

Другие оптические свойства пленок, такие как спектр пропускания и люминесценции, также изучались в настоящей работе.

- [1] Peyghambarian N., Marder S., Koike Y., and Persoons A. //IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2001. V.7. P.757.
 [2] Flueary C., Schrader S., Motschmann H. //Thin Solid Films. 2000. V.379. P.15.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЗОНАТОРА МОЩНОГО САМОСТАРТУЮЩЕГО ЛАЗЕРА НА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ

А.П.Зиновьев²⁾, О.Л.Антипов²⁾, В.В.Ахметов¹⁾, Г.Е.Юдакин¹⁾

¹⁾Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

²⁾Институт прикладной физики РАН

Требования современных технологий с каждым годом становятся все более высокими. Это, в первую очередь, стимулирует развитие научно-технической базы. В частности, предъявляются высокие требования к характеристикам излучения мощных лазерных систем. Лазеры с высоким качеством пучка в последние годы находят применение в таких областях деятельности как прецизионная обработка материалов, лазерное зондирование атмосферы, военно-технические устройства, медицина. На данный момент существует новый класс самостартующих лазерных систем с голографическим резонатором, сформированным динамическими решетками, наведенными самими пучками генерации в активном кристалле. Эти системы позволяют получить пучки хорошего качества с высокой средней мощностью [1-3,6]. Отличительной осо-

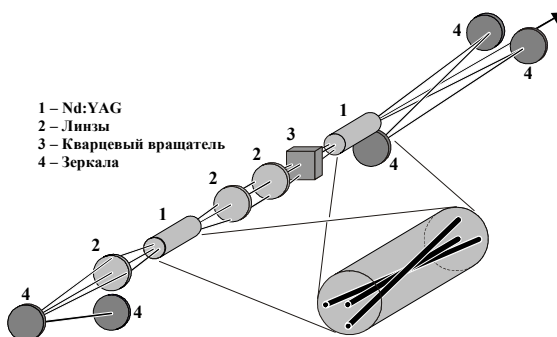


Рис.1. Схема мощной самостартующей лазерной системы с компенсацией двулучепреломления.

бенностью систем данного класса является способность резонатора динамически корректировать фазовые внутрирезонаторные искажения, возникающие в процессе работы. Однако нельзя обойти стороной факторы, приводящие к сильному ухудшению характеристик выходного излучения в мощных лазерах. Так при интенсивной частотно-импульсной или непрерывной накачке Nd:YAG кристаллов возникает наведенное двулучепреломление, приводящее к деполаризации излучения на уровне 30-40 % и сильным абберациям [4-6]. В этой работе мы представляем результаты наших исследований влияния схемного решения мощного самостартующего лазерного генератора с компенсацией наведенного двулучепреломления в кристаллах Nd:YAG на характеристики выходного излучения.

В прошлой работе [6] была предложена и реализована схема самостартующего лазера с компенсацией наведенного двулучепреломления. Дальнейшие исследования в этом направлении позволили уменьшить количество оптических элементов в системе и повысить среднюю мощность выходного излучения до 300 Вт. Хотя качество генерируемого пучка и было достаточно высоким ($M_x^2=1.2$, $M_y^2=1.9$), но поперечное распределение интенсивности в дальней зоне представляло собой сильно вытянутый эллипс по координате Y (рис.2а.). Проведенные дополнительные экспериментальные исследования позволили сделать предположение о появлении дополнительных селективирующих свойств нелинейных зеркал в плоскости распространения излучения по экспериментальной установке самостартующего лазерного генератора с переносом изображения. На основе анализа полученных экспериментальных данных было предложено схемное решение, в котором учитываются дополнительные селективирующие свойства нелинейных зеркал по обоим поперечным координатам (рис.1).

В состав экспериментальной установки входили два лазерных кристалла (1) Nd:YAG Ø12x135 мм, (4) – диэлектрические зеркала, (2) – линзы и (3) – 90° кварцевый вращатель. Линзы (2) и вращатель (3) составляли систему переноса изображения. Лазерный генератор работал в частотно-импульсном режиме с частотой повторения 27 Гц. Средняя по времени выходная мощность составила 260 Вт при качестве пучка $M^2 \sim 2...2,5$. Поперечное распределение интенсивности в дальней зоне представлено на рис.2б.

Экспериментальные исследования по оптимизации резонатора мощного самостартующего лазера на динамических решетках показали возможность улучшения характеристик излучения при высокой средней мощности.

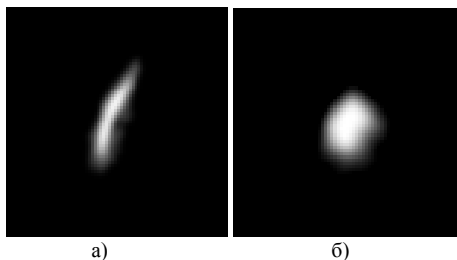


Рис.2. Поперечное распределение интенсивности в дальней зоне для пучка генерации в случае "плоской" (а) и "объемной" (б) схем резонатора самостартующего лазера.

- [1] Damzen M.J., Green R.P.M., Syed K.S. //Opt. Lett. 1995. V.20. P.1704.
- [2] Antipov O.L., Kuzhelev A.S., Vorob'yov V.A., Zinov'ev A.P. // Optics Communications. 1998. V.152. P.313.
- [3] Antipov O.L., Kuzhelev A.S., Chausov D.V., Zinoviev A.P. //Journal of Optical Society of America B. 2001. V.18. P.13.
- [4] Зверев Г.М., Голяев Ю.Д. Лазеры на кристаллах и их применение. – М.: Радио и связь, 1995, с.311.
- [5] Q. Lü, N. Kugler, H. Weber, S. Dong, N. Müller, U. Wittrock //Optical and Quantum Electronics 1996. V. 28. P.57.
- [6] Зиновьев А.П., Антипов О.Л., Ахметов В.В., Юдакин Г.Е. //В кн.: Тр. 6-й научн. конф. по радиофизике. 7 мая 2002 г. /Ред. А.В.Якимов. –Н.Новгород: ТАЛАМ, 2002, с.63.

ND:YAG ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ И РЕЗОНАТОРОМ НА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ

О.Л.Антипов¹⁾, О.Н.Еремейкин²⁾, А.П.Савикин²⁾

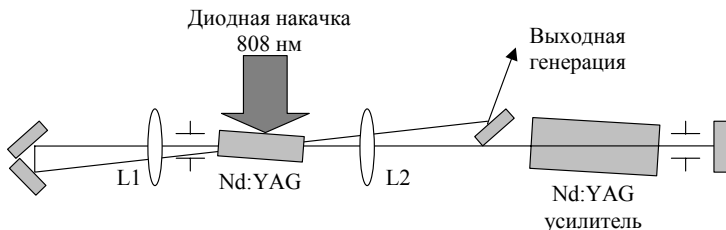
^{1)ИПФ РАН, ^{2)Нижегородский госуниверситет}}

В последние годы в развитии твердотельных лазеров достигнут большой прогресс благодаря использованию диодной накачки, позволяющей существенно увеличить КПД лазерных систем, а также уменьшить термонаведенные аберрации в активных средах (тепловую линзу, деполаризацию). Однако даже узкополосная диодная накачка активных элементов не позволяет полностью устранить их фазовые искажения, которые являются основным фактором, значительно снижающим качество выходной генерации мощных лазеров [1]. Исследования методов создания адаптивных лазерных резонаторов, позволяющих компенсировать различные фазовые искажения и, соответственно, улучшить характеристики пучков генерации, остаются по-прежнему актуальными.

Ранее была продемонстрирована возможность построения самостартующего лазера (на кристалле Nd:YAG с широкополосной ламповой накачкой) с адаптивным резонатором на динамических решетках показателя преломления, индуцируемых в активной среде самими волнами генерации [2]. Была продемонстрирована также возможность получения лазерной генерации в системе с невязанным динамическим резонатором на решетках коэффициента усиления [3]. В то же время, недавние исследования показали, что динамические изменения показателя преломления кристалла Nd:YAG при ламповой и диодной накачках существенно различаются [1,4]. Поэтому, вопрос о возможности создания Nd:YAG лазера с диодной накачкой и взаимным адаптивным резонатором на решетках показателя преломления оставался открытым.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности получения генерации в схеме самостартующего лазера на кристалле Nd:YAG с диодной накачкой и взаимным резонатором на динамических голографических зеркалах, индуцируемых в активной среде самими волнами генерации. Кристалл Nd:YAG накачи-

вался импульсной диодной матрицей, излучающей на длине волны 808 нм (импульсная мощность до 300 Вт). Экспериментально исследовались несколько вариантов схем на кристалле Nd:YAG с диодной накачкой.



В исследуемых схемах была получена генерация, о наличии которой свидетельствовал как пороговый характер зависимости мощности выходного сигнала от мощности диодной накачки, так и характерная для режима генерации пространственная структура пучка и его временная динамика. Были исследованы зависимости величины порога генерации от параметров накачки и от угла сведения волн в кристалле Nd:YAG, а также влияние на порог дополнительного Nd:YAG усилителя.

Кроме того, исследована возможность получения генерации в схеме на одном только кристалле с диодной накачкой.

Таким образом, была продемонстрирована возможность получения одномодовой генерации с качеством пучка, близким к дифракционному пределу в схеме самостартующего лазера на кристалле Nd:YAG с диодной накачкой и взаимным резонатором на динамических решетках населенности.

- [1] Antipov O.L., Eremykin O.N., Savikin A.P., Vorob'ev V.A., Bredikhin D.V., Kuznetsov M.S. //in Technical Digest of 2003 Advanced Solid-State Photonics Topical Meeting. 2003 (February 2-4), San Antonio, USA.
- [2] Antipov O.L., Chausov D.V., Kuzhelev A.S., Vorob'ev V.A., Zinoviev A.P. //IEEE J. Quant. Electronics. 2001. V.37. P.716.
- [3] Damzen M.J., Green R.P.M., Syed K.S. //Opt. Lett. 1995. V.20. P.1704.
- [4] Антипов О.Л., Еремейкин О.Н., Савикин А.П. //Квантовая электроника. 2002. Т.32, №9. С.793.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРА СВИСТОВЫХ ВОЛН В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

М.Е.Гущин¹⁾, С.В.Коробков²⁾, А.В.Костров¹⁾, А.В.Стриковский¹⁾

¹⁾Институт прикладной физики РАН, ²⁾Нижегородский госуниверситет

Взаимодействие свистовых волн с низкочастотными возмущениями магнитного поля и концентрации плазмы – одно из типичных для магнитосферы Земли явлений. Моделирование этих процессов в лабораторных условиях удобно производить в плазменных установках большого объема. В условиях такого эксперимента при-

ходится рассматривать задачу распространения волн в неоднородной и нестационарной плазме, для чего требуется трасса распространения, существенно превышающая длину свистовой волны. Уникальный стенд “Крот” обладает всеми преимуществами, необходимыми для моделирования подобных процессов в свистовом диапазоне частот. Эксперименты, описываемые в работе, проводятся впервые.

Установка представляет собой вакуумную камеру большого размера (диаметр 3 м, длина 10 м). Плазма с концентрацией $N_0=10^{12}$ см⁻³ создается в результате индукционного ВЧ-разряда в атмосфере аргона при давлении $4 \cdot 10^{-4}$ торр. Исследовалось распространение высокочастотного сигнала в плазме ($f_2=160$ МГц, $P=100$ Вт, $\tau=1-2$ мкс) во время ее возмущения мощным ВЧ-импульсом ($f_1=3$ МГц, $P=9$ кВт, $\tau=1$ мс), приложенным к рамочной антенне в центре камеры. При величине внешнего магнитного поля $B=100$ Э $f_1=3f_{LH}$, $f_H/2 < f_2 < f_H$, где f_H – электронная гирочастота, f_{LH} – частота нижнегибридного резонанса.

В ходе экспериментов обнаружена амплитудно-фазовая модуляция высокочастотного сигнала ($f_2=160$ МГц) с частотой $f_1=3$ МГц. Спектральный анализ показывает, что спектр сигнала уширен за счет появления спутников основной частоты, отстоящих от нее на частоты, кратные 3 МГц. При увеличении расстояния между приемной и излучающей антеннами спектр, как целое, смещается в сторону низких частот. Процесс взаимодействия с низкочастотными колебаниями носит каскадный характер, при увеличении трассы увеличивается количество возбуждаемых спутников. Когда расстояние между антеннами (вдоль силовой линии магнитного поля) составляет 250 см, спектральный максимум сдвинут на 21 МГц вниз по частоте, а сигнал на основной частоте практически отсутствует. Амплитуды возбуждаемых спутников линейно зависят как от амплитуды самого сигнала ($f_2=160$ МГц), так и от амплитуды низкочастотной волны ($f_1=3$ МГц).

Наблюдаемые экспериментальные результаты могут быть объяснены взаимодействием высокочастотной волны с возмущениями магнитного поля (до 10% от величины внешнего поля), вызванными низкочастотной свистовой волной. Наличие возмущения $\delta B(r, t)$ определяет нестационарный и неоднородный показатель преломления $n(r, t) = (\omega_H(r, t))$ коротковолнового высокочастотного сигнала. Теоретическое описание эффекта модуляции можно проводить в рамках приближения геометрической оптики, обобщенной на случай нестационарных сред [1].

[1] Островский Л.А., Степанов Н.С. //Изв. вузов. Радиофизика. 1971. Т.14, №4.

ИНДУКЦИОННЫЙ ВЧ РАЗРЯД НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.А.Сазонтов, В.Е.Семенов, А.И.Смирнов

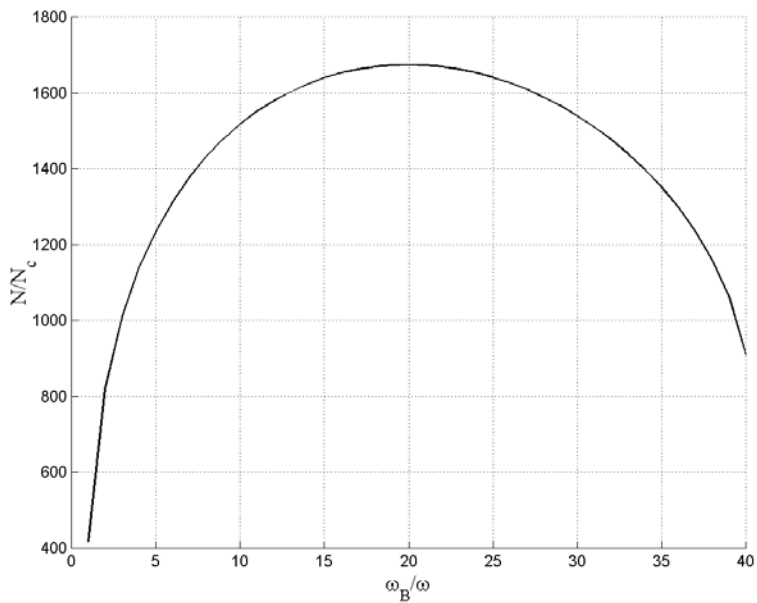
Нижегородский госуниверситет

ВЧ разряд в постоянном магнитном поле, часто называемый геликонным, весьма эффективен при низких давлениях ионизируемого газа ($p \sim 0,1-100$ мТорр). Он широко используется в различных технологических приложениях и в качестве источника плазмы в лабораторном эксперименте [1–3]. Вместе с тем, последовательная теория геликонного разряда до сих пор не создана и является предметом оживленных обсуждений. В данной работе предпринята попытка построения самосогласованной модели такого разряда и показано, что в рамках одномерного приближения удастся качественно описать многие из наблюдаемых в экспериментах эффектов.

Электромагнитное поле в рассматриваемой задаче создается замедленным мюнохроматическим поверхностным электрическим током, протекающим в плоскости, перпендикулярной внешнему магнитному полю: $\vec{j} = \vec{y}_0 j_0 \exp(ikx - i\omega t) \delta(z)$, где ось z ориентирована вдоль внешнего магнитного поля, ω – рабочая частота, а k – поперечное волновое число ($k \gg k_0 = \omega/c$). Рабочая частота и давление газа выбираются таким образом, чтобы выполнялось условие $\omega_B \gg \omega, \nu_e$ (ω_B – электронная гирочастота, а ν_e – эффективная частота электронных соударений). В работе исследуется решение одномерной самосогласованной системы уравнений Максвелла, теплопроводности и баланса концентрации электронов. Особое внимание уделяется области параметров, в которой продольный размер разрядной камеры L мал по сравнению с характерными масштабами электронной теплопроводности L_T и диффузии L_D , но превышает масштаб области локализации электромагнитного поля L_E : $L_E \ll L \ll L_T, L_D$. Следует особо отметить, что магнитоактивная плазма не экранирует электромагнитное поле поверхностного тока. Это позволяет вкладывать в газ энергию на больших по сравнению с изотропным случаем масштабах.

В стационарном режиме средняя поглощаемая одним электроном энергия равна критическому значению, которое находится из решения уравнения электронного баланса в предположении, что частота ионизации определяется только электронной температурой T_e . Проведенные расчеты показывают, что при превышении током порогового значения в некотором интервале изменения напряженности внешнего магнитного поля B_0 зажигается разряд, в результате развития которого образуется плазма с концентрацией N , соответствующей плазменной частоте ω_{pe} , существенно превышающей электронную гирочастоту ω_{Be} ($\omega_{pe} \gg \omega_{Be}$).

Ниже представлена зависимость стационарной концентрации от ω_{Be}/ω при заданной величине поверхностного тока. Из этого рисунка, в частности, видно, что существует оптимальное внешнее магнитное поле, при котором концентрация разрядной плазмы достигает максимального значения.



- [1] Chen F.F., Boswell R.W. //IEEE Transaction on Plasma Science. 1997. V.25. P.1245.
- [2] Breizman B.N., Arefiev A.V. //Phys. Rev. Lett. 2000. V.84. P.3863.
- [3] Breizman B.N., Arefiev A.V. //Phys. Plasmas. 2002. V.9. P.1015.