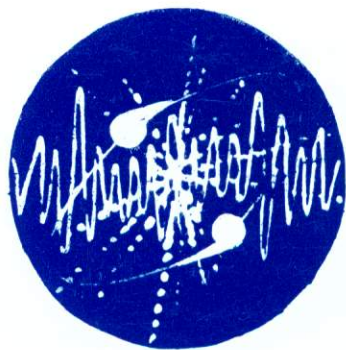


B3  
C880

**МАТЕРИАЛЫ  
XXXVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**"Студент  
и научно-технический  
прогресс"**

21



**ФИЗИКА**

2000 2 12

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АКАДЕМИИ НАУК  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРИАЛЫ  
XXXVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**"Студент и научно-технический прогресс",  
посвященной 100-летию со дня рождения основателя  
Сибирского отделения РАН академика М.А. Лаврентьева**

**ФИЗИКА**

**Часть 1**

**НОВОСИБИРСК  
2000**

Материалы XXXVIII Международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс": Физика / Новосибир. ун-т. Новосибирск, 2000. 107 с.

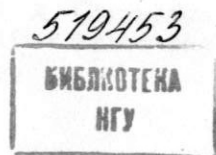
Спонсоры конференции:

Российский фонд фундаментальных исследований (Грант № 99-01-10027)  
Федеральная целевая программа "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997-2000 годы"  
Международная ассоциация содействия сотрудничеству с учеными из Новых независимых государств бывшего Советского Союза (INTAS)  
При участии Совета научной молодежи Новосибирского научного центра

Редакционная коллегия

Председатель – чл.-кор. РАН А.К. Ребров,  
Зам. председателя – канд. физ.-мат. наук А.Е. Зарвин

Члены бюро: проф. В.И. Нифонтов, чл.-кор. РАН С.Г. Раутиан, проф. А.Ф. Курбацкий, д-р хим. наук В.В. Храмов, д-р хим. наук Н.П. Грицан, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. А.В. Романовский, доц. С.И. Чикичев, д-р физ.-мат. наук А.В. Латышев, проф. В.И. Тельнов, проф. М.М. Карлинер



B3  
e880

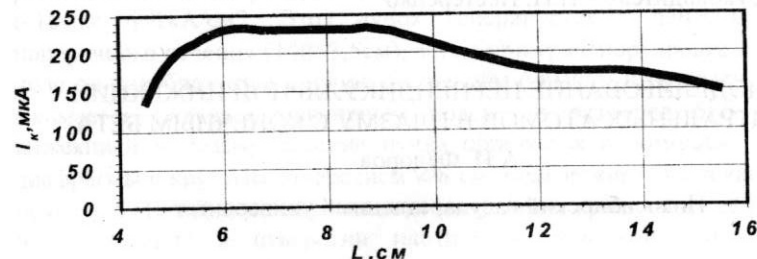
ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ПОЛОГО КАТОДА НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

А.В. Петренко

Новосибирский государственный университет

Работа посвящена экспериментальному определению влияния длины цилиндрического полого катода на вольт-амперную характеристику газового разряда в аргоне при давлении  $8 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст. Полюс катод состоит из цилиндра, изготовленного из стальной нержавеющей сетки, внутри которого находится свободно перемещающийся изолированный от стенок латунный электрод (коллектор). Расстояние от катода до анода не менялось. Диаметр катода 34 мм, диапазон изменения длины полости L: 0÷15,5 см.

Из полученных вольт-амперных характеристик для коллектора при различных длинах катода установлено, что зависимость тока на коллектор от L имеет максимум в диапазоне отношений длины катода к его диаметру  $2 \div 3$ . (рисунок).



Зависимость тока на коллектор от длины катода при постоянном напряжении между электродами  $U_d=520$  В. Давление  $8 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А.С. Золкин

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ФРАУНГФЕРОВЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ В СПЕКТРЕ СОЛНЦА

М.А. Никулин

Новосибирский государственный университет

В работе проведена идентификация основных фраунгоферовых линий в спектре Солнца в диапазоне длин волн 3500...6700 Ангстрем. Спектр был получен на автоматизированной установке, созданной в обсерватории «Вега». Эта установка имеет следующие характеристики:

диапазон длин волн – 2000...8000 Ангстрем, минимальный шаг спектра равен 0,2 Ангстрем, ширина аппаратной функции с наиболее узкими щелями равна 0,7 Ангстрем.

Для расшифровки была написана программа, сравнивающая линии поглощения, найденные в спектре, с таблицами спектральных линий элементов. При этом использовалась база данных спектральных линий:

[http://www.aist.go.jp/RIODB/rfp\\_db/waveleng/](http://www.aist.go.jp/RIODB/rfp_db/waveleng/)

Примененная методика может быть использована для расшифровки спектров других объектов.

Научный руководитель – И.Н. Нестеренко

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ИНЖЕКЦИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ В ПЛАЗМУ С КОНЕЧНЫМ БЕТА

А.И. Фёдоров

Новосибирский государственный университет

Данная работа посвящена численному моделированию эксперимента, планируемого на установке ГДЛ Института ядерной физики. В ней рассматривается поведение ионного сгустка, перезаряженных на ионах плазмы быстрых нейтральных атомов, инжестрированных в плазму внешним источником. В качестве исходных данных для программы необходимы параметры плазмы и магнитного поля в ловушке и параметры атомного пучка. Программа - суть итерационный цикл. Нулевой итерацией считается распределение горячих ионов в невозмущённом магнитном поле, последующие итерации получаются при учёте искривления силовых линий поля за счёт конечной плотности тока частиц. В программе используются приближение малости отклонения силовых линий поля от исходных на каждом шаге итерации, приближение нулевого ларморовского радиуса

частиц, а также неизменность энергии быстрых ионов, т.е. отсутствие столкновений. Особенностью работы является учёт конечного давления ионного сгустка (конечного бета). Результатом работы являются рассчитанные профили плотности частиц и картина силовых линий поля. Предполагается исследование полученной системы на устойчивость и выбор оптимальных для эксперимента параметров магнитного поля и инжекции.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук К.В. Лотов

## ДИАГНОСТИКА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНОГО РЭП ПОСЛЕ ЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗ ЛЕНТОЧНОГО В КРУГЛЫЙ И МОДИФИКАЦИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ УСКОРИТЕЛЯ У-2 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТАКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

С.Г. Сафонов

Новосибирский государственный университет

Для нагрева плазмы на установке ГОЛ-3-II используется сильноточный релятивистский электронный пучок (РЭП) с параметрами:  $E \sim 1 \text{ МэВ}$ ,  $I \sim 30 \text{ кА}$ ,  $t \sim 10 \text{ мкс}$ ,  $j \sim 1 \text{ кА/см}^2$ . Этот пучок генерируется с ленточной формой поперечного сечения ( $140 \times 3,5 \text{ см}$ ), затем при транспортировке в магнитном поле он преобразуется в пучок с сечением близким к квадрату и, наконец, сжимается сильным магнитным полем до размеров  $6 \times 6 \text{ см}$ . Перед инжекцией в плазму сечение пучка обрезается с помощью графитовой диафрагмы с круглым отверстием  $\varnothing 6 \text{ см}$ . Вследствие сброса части энергии пучка ( $\sim 5 \div 10 \text{ кДж}$ ) на поверхность диафрагмы происходит её разрушение и образование в отверстии плотной и холодной плазмы, которая обуславливает значительный сток энергии из нагреваемой в ловушке плазмы.

Для решения этой задачи были проведены численные расчёты магнитных полей в ускорителе, по результатам которых подобраны необходимые катушки, обеспечивающие круглую форму сечения пучка.

Для оперативного мониторинга степени аксиальной несимметричности сечения пучка была создана специальная диагностика. Она представляет собой графитовую диафрагму, снабжённую шестнадцатью термопарами, обеспечивающую как обрезание сечения пучка до круглого, так и получение данных с термопар о распределении поглощённой энергии в диафрагме. Из этих распределений были получены вид и степень аксиальной несимметричности поперечного сечения сжатого пучка.



В данной работе приводятся результаты измерений степени несимметричности сечения пучка до и после модификации магнитной системы ускорителя.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С.Л. Сеницкий

## АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОСФЕРЫ

А.С. Зайцев

Новосибирский государственный университет

Проблема нахождения достаточно точной модели строения Солнца наиболее успешно решается численными методами для центральных областей на основе знания стандартных цепочек термоядерных реакций. Функция источника по этим данным может быть построена для зоны лучистого переноса с точностью, значительно превышающей точность аналогичного построения для внешних слоёв зоны лучистого переноса, конвективной зоны и фотосферы Солнца. Ввиду наличия в верхних слоях сложной картины движений вещества недостаточно подробно исследованы вопросы угловой изотропии распределений термодинамических параметров. Основным источником информации для построения модели строения верхних слоёв солнечной атмосферы являются данные об уходящем с «поверхности» Солнца излучении.

Целями данной работы являлись нахождение областей применимости геометрических моделей звёздной атмосферы к верхним слоям атмосферы Солнца и их уточнение путём учёта поправок на поглощение излучения в непрерывном спектре.

В качестве основного критерия применимости использовался метод сопоставления теоретических яркостных распределений с результатами анализа точной фотометрии поверхности Солнца в видимом диапазоне длин волн. Результаты показывают, что приближённая и точная геометрические модели атмосферы удовлетворительно описывают реальные распределения лишь вблизи центра диска. В то же время учёт дополнительных эффектов (поглощение водородом) позволяет получить хорошее согласие (с интегральной неравномерностью  $\sim 0.04$ ) с данными наблюдений равномерно по всему диску.

Научный руководитель – И.Н. Нестеренко

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В ТОНКИХ ПЛАЗМЕННЫХ СЛОЯХ

О.Л. Белобородова

Новосибирский государственный университет

Каталитическая фоторезонансная ионизация [1] – один из возможных способов получения плазмы с низкой температурой ионов – изучается на установке КАТРИОН в НГУ. Для измерения распределения показателя преломления плазмы используются бесконтактные методы диагностики: лазерная дефлектометрия и шлирен-метод.

Как правило, при обработке шлирен-фотографий используется приближение геометрической оптики, в котором угол отклонения луча после прохождения оптической неоднородности пропорционален градиенту показателя преломления [2,3]. В паракиальном приближении измеряемая с помощью шлирен-метода интенсивность связана с изменением фазы в исследуемом объекте интегральным уравнением [4]. Ранее нами была предложена методика обработки шлирен-фотографий с помощью решения интегрального уравнения для случаев освещения объекта плоской волной и гауссовым пучком.

В данной работе для восстановления фазы по измеренной интенсивности решалась обратная задача путем многократного решения прямой и минимизации невязки с помощью алгоритма Нелдера – Мида. В качестве начального приближения было использовано распределение фазы, полученное с помощью традиционной обработки шлирен-фотографий в приближении геометрической оптики. Написана программа для обработки шлирен-фотографий. Обработаны фотографии ударной волны в воздухе и облака лазерной плазмы.

1. Knyazev V.A., Photoresonance plasma production by excimer lasers as a technique for anode – plasma formation, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1998, A 415, P.525.
2. Скотников М.М., Теневые количественные методы в газовой динамике М.: Наука, 1976.
3. Клишкин В.Ф., Папырин А.Н., Солоухин Р.И. Оптические методы регистрации быстротекущих процессов. М.: Наука, 1980.
4. Гудмен Дж., Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Б.А. Князев, канд. техн. наук, доц. В.С. Черкасский

ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ  
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЛЁНОК, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ  
 $C_2H_5OH$

А.Е. Образовский, И.А. Плотников

Новосибирский государственный университет

Уменьшение размеров элементов в микросхемах вызвало новый интерес к углеродным и углеводородным пленкам со стороны электронной промышленности. Эллипсометрия – один из методов исследования свойств тонких плёнок [1]. Поляризационные характеристики излучения, отраженного от поверхности, особенно чувствительны к состоянию вещества в приповерхностном слое, эллипсометрию стало возможным использовать как тонкий метод исследования физико-химических процессов, протекающих на поверхности твердого тела [2].

Цель работы – определение толщины и показателя преломления углеводородных плёнок, полученных при напылении паров этилового спирта ( $C_2H_5OH$ ) на кремниевую подложку с температурой до  $400^\circ C$  с помощью ионного источника с азимутальным дрейфом электронов (УАД).

Метод эллипсометрии состоит в измерении параметров эллипса поляризации отраженного от исследуемой поверхности света и сравнении с соответствующими параметрами падающего света [3,4].

Процесс напыления плёнок происходил в вакуумной камере, где располагались источник ионов типа УАД и нагреватель с подложкой. Напыление паров  $C_2H_5OH$  производилось на кремниевую монокристаллическую подложку, при давлении в камере  $P=8 \cdot 10^{-4}$  торр.

Для исследования плёнок использовался эллипсометр типа ЛЭФ-3М, работающий по схеме PCSA (поляризатор – компенсатор – образец – анализатор) с длиной волны лазера  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$  и диаметром луча 1 мм. После измерений эллипсометрических параметров  $\Psi$  и  $\Delta$ , обработки этих данных с помощью номограммы получены толщина и показатель преломления в различных областях плёнки. Средние значения показателя преломления и толщины  $n=1.92 \pm 0.11$  и  $d=304 \pm 20 \text{ \AA}$ , соответственно. Ошибка измерений составила: для коэффициента преломления – 5%, для толщины – 8%.

Нами получена информация и о составе плёнок с использованием метода комбинационного рассеяния на приборе Spex Triplemate (длина волны лазера  $\lambda=4880 \text{ \AA}$ , мощность 20-300 мВт). Установлено, что в плёнках присутствует графит. В спектрах зафиксирована интенсивная линия графита ( $1580 \text{ см}^{-1}$ ).

Работа выполнена при поддержке институтов СО РАН. Авторы благодарят В.А. Швеца, С.И. Чикичева (ИФП СО РАН) за консультации и внимание к работе, а также Т.В. Басову (ИНХ СО РАН) за помощь при работе на спектрометре КРС.

1. Эллипсометрия: теория, методы, приложения: Сб. науч. тр. Наука, 1991.
2. Основы эллипсометрии / Под ред. Ржанова А.В. Новосибирск: Наука, 1979.
3. Баранов А.М. Перспективы применения аморфных углеродных пленок в микроэлектронике: Мат-лы V междунар. науч.-техн. конф. "Высокие технологии в промышленности России". М., 1999.
4. Громов В.К. Введение в эллипсометрию. Л.: Из-во ЛГУ, 1986.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А.С. Золкин

ДОЗВУКОВАЯ МАГНИЕВАЯ МИШЕНЬ, ГЕНЕРИРУЕМАЯ  
ВАКУУМНОЙ ДУГОЙ

В.В. Разоренов

Новосибирский государственный университет

В работе проведено исследование состава и количества вещества в облаке нейтрального пара магниевого мишени новой конструкции. Мишень для перезарядки пучка протонов в диагностическом инжекторе, генерируемая вакуумной дугой на холодном катоде, имеет импульсный характер и лишена недостатков традиционной термической мишени, таких, как необходимость предварительного разогрева магния и наличие клапана. Нейтрализация плазмы вакуумной дуги происходит в изогнутой тонкостенной ниобиевой трубке, разогреваемой импульсом тока 600 А за время 0,1 секунды до температуры  $\sim 900^\circ C$ .

Анализ осевшего на подложку магния показал, что из трубки выходит 15% от полного количества испаренного дугой вещества, остальное возвращается на катод. В качестве подложки использовалось стекло, расположенное на расстоянии 3 см от выходного отверстия трубки. Проведенное компьютерное моделирование молекулярного течения газа в изогнутой трубке дает аналогичный результат.

Наблюдения подложки в микроскоп выявили наличие капель, средний размер которых составляет 5 мкм. Оценка их количества показывает, что в каплях содержится до 25% от всего вещества в облаке. При этом не учитывались капли размером меньше толщины осевшей на подложку



пленки. Плотность пара в облаке  $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , толщина мишени  $1014 \text{ см}^{-2}$ . По данным зондовых измерений ионного тока насыщения плотность плазмы в облаке нейтрального пара незначительна и составляет  $6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ .

Научный руководитель – А.С. Кривенко

### СТАБИЛИЗАЦИЯ МГД НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

С.Г. Мелехов

Новосибирский государственный университет

Целью работы является анализ возможности стабилизации МГД неустойчивости плазмы на установке Газодинамическая Ловушка (ГДЛ) методом обратных связей. Возможность использования этого метода была показана В.А. Чуяновым, в открытой ловушке, где параметры плазмы были:  $E=20 \text{ кЭв}$  и плотность  $n=10^8 \text{ см}^{-3}$ , что существенно отличается от параметров ГДЛ, где более высокие параметры плазмы:  $E=100 \text{ Эв}$  и  $n=10^{14} \text{ см}^{-3}$  и большее  $\beta$ .

В работе изучается поведение “жесткой” моды МГД неустойчивости в зависимости от возмущающего дипольного поля. Теоретический расчет влияния этого поля на МГД неустойчивость в установке сложен из-за учета большого числа различных факторов. Для проектирования такой системы необходимо анализ динамики движения плазмы в процессе развития МГД неустойчивости. Анализ этих эмпирических данных позволяет, пользуясь теорией управления, создать механизм, позволяющий влиять на устойчивость системы.

Дипольное возмущение обеспечивалось двумя катушками расположенными в расширителях установки. Рассматривалось смещение столба плазмы относительно центра равновесия, динамика этого процесса. Анализ динамики поведения жесткой моды позволил на основе теории регулирования, не зная всех механизмов, происходящих в МГД неустойчивости, построить модель системы с обратной связью.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук П.А. Багринский

### РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МАГНИТНОЙ СТЕНКИ ДЛЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ДУГОВОГО ПЛАЗМЕННОГО ГЕНЕРАТОРА

В.П. Петроченко

Новосибирский государственный университет

Плазменные генераторы используются в атомарных инжекторах, а также находят применение в различных плазменных технологиях. Важным параметром таких источников является однородность плазменного потока. Исходный поток плазмы из дугового генератора хорошо аппроксимируется формулой

$$j = \frac{I_0}{\pi \cdot z^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r^2}{z^2}}},$$

(где  $z$  – расстояние от источника до эмиттера,  $r$  – расстояние до оси системы,  $I_0$  – полный поток ионов) и имеет существенный спад от оси источника к периферии. Один из способов повышения однородности потока плазмы – это создание азимутального магнитного поля на периферии источника – «магнитной стенки», которая отражала бы ионы к оси системы.

Темой представленной работы является разработка и оптимизация магнитной стенки на основе постоянных магнитов. Была спроектирована и изготовлена конструкция подвижной магнитной стенки, которая позволяет оперативно перемещать стенку вдоль оси источника, вращать ее по азимуту, а также менять число магнитов.

В рамках данной работы исследовано несколько конфигураций магнитной стенки на однородность потока плазмы.

Параллельно с экспериментальной работой велось численное моделирование параметров магнитной стенки. Использованы как стандартные пакеты программ (SAM, MERMAID), так и собственные вспомогательные программы для обработки выходных данных. Были проведены расчеты траекторий ионов в поле магнитной стенки, вычисление зависимости потерь частиц от длины магнитной стенки, оптимизированы азимутальные и радиальные профили магнитного поля.

Научный руководитель – Н.В. Ступишин

# ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПЕЛЛЕТ-ИНЖЕКТОР ДЛЯ УСТАНОВКИ ГОЛ-3-II

Р.Ю. Акентьев

Новосибирский государственный технический университет

На установке ГОЛ-3-II проводятся эксперименты по нагреву плотной ( $n \sim 10^{15}-10^{16} \text{ см}^{-3}$ ) и горячей ( $T_e \sim 1 \text{ кэВ}$ ) плазмы в гофрированном магнитном поле. Нагрев плазмы осуществляется мощным релятивистским электронным пучком с энергией электронов  $\sim 1 \text{ МэВ}$ , длительностью  $\sim 8 \text{ мкс}$ , и энергосодержанием до  $200 \text{ кДж}$ . При этом инжекция пучка осуществляется в предварительно ионизированный газ (предварительная плазма).

Целью работы является создание локальных областей плотной плазмы. Одним из вариантов является увеличение локальной плотности плазмы путем испарения крупинки, которая предварительно помещается в центр плазменного столба.

Для инжектирования крупинки в рабочий объем вакуумной камеры был создан пеллет-инжектор (инжектор крупинок). Инжектор собран по электродинамической схеме. Он состоит из двух частей: системы инжектирования частицы в рабочий объем и системы питания. Система инжектирования состоит из катушки индуктивности в виде спирали, на которую помещается диск, изготовленный из сплава Д16Т, в центре которого располагается инжектируемая частица. Импульсная система питания обеспечивает ток через катушку индуктивности  $\sim 1.5 \text{ кА}$  при длительности  $\sim 100 \text{ мкс}$ .

Калибровка инжектора осуществлялась следующим образом. В рабочем объеме, в середине камеры помещался пьезокристалл, который для уменьшения искажения сигналов был подвешен на упругой подвеске. С помощью этого датчика определялась зависимость времени пролета крупинки (от инжектора до середины камеры) от параметров эксперимента. Измерения проводились как в вакууме так и в атмосфере. При калибровке прибора использовались крупинки массой  $0.1-1 \text{ мг}$  (из полиэтилена), крупинки массой порядка  $10 \text{ мг}$  (из меди).

В экспериментах подходящим для испарения материалом является полиэтилен и крупинки массой  $0.1-0.5 \text{ мг}$ . Были проведены первые эксперименты, в которых получены цифровые фотографии плазменного столба, образовавшегося в результате испарения крупинки.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.В. Поступаев

# УСТРОЙСТВО ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Д.С. Денисов, Т.Ю. Мельников

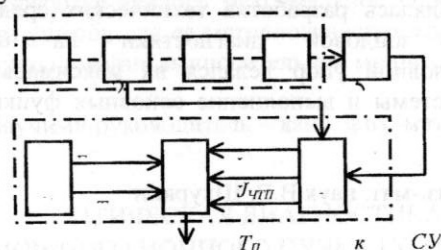
Сибирская академия государственной службы

Для решения прикладных задач высоких технологий, в частности, нанесения износостойких и коррозионностойких покрытий, а также при проведении научных исследований требуется бесконтактное измерение температуры низкотемпературной плазмы.

Для измерения температуры плазмы используется оригинальный метод, для реализации которого разработано электронное устройство.

Метод основан на одновременной регистрации интенсивности излучения источника сравнения  $J_{\text{чт}}$ , интенсивности излучения плазмы  $J_{\text{п}}$  и интенсивности излучения источника сравнения, прошедшего сквозь плазму  $J_{\text{чп}}$  (на одной и той же длине волны  $\lambda$ ). Аналитическое выражение для расчета температуры получено на основании формулы Планка и не имеет ограничений ни по измеряемой температуре, ни по длине волны применяемого излучения.

Структурная схема соответствующего устройства приведена на рисунке.



- А – оптическая система
- Б – регистрирующее устройство
- 1 – источник сравнения
- 2 – обтуратор
- 3 – объект измерения (плазма)
- 4 – монохроматор
- 5 – приемник излучения
- 6 – блок разделения сигналов
- 7 – вычислитель
- 8 – блок начальной установки

Измерения интенсивностей излучения  $J_{\text{чт}}$ ,  $J_{\text{п}}$  и  $J_{\text{чп}}$  производятся одним и тем же фотоприемником, т. е. в устройстве применяется относительный "нуль-метод" измерения, практически не зависящий от изменения со временем основных электрических параметров фотоприемника, применяемого в электрической цепи схемы, что намного повышает надежность устройства, а также точность измерений при длительной эксплуатации. Три сигнала, пропорциональные интенсивностям излучения, усиливаются и регистрируются по одному и тому же каналу. Данные обрабатываются в регистрирующем устройстве, к выходу которого подключена система управления (СУ) плазматроном.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.Х. Шарфштейн



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ

А.С. Андреев

Омский государственный университет

Популярность зондовых методов диагностики плазмы объясняется тем, что наряду с простотой технической реализации эти методы позволяют получить достаточно полную информацию об объекте исследования (функцию распределения электронов по энергиям, плотность электронов и ионов, распределение потенциала в плазме) с хорошим временным и пространственным разрешением.

Однако традиционное оформление зондовых методов – изменение потенциала зонда с помощью генератора развертки и регистрации вольт-амперной характеристики (ВАХ) на диаграммной ленте с помощью самопишущего автоматического потенциометра не очень удобно для анализа полученной информации. Обработка такой характеристики занимает много времени и не позволяет получить хорошую точность.

Решением, позволяющим преодолеть указанные недостатки, может служить автоматизированная система регистрации ВАХ зонда с использованием средств вычислительной техники.

Целью настоящей работы являлась разработка технических средств автоматизированной системы зондовой диагностики на базе персонального компьютера. Основным упор делался на максимальное упрощение аппаратной части системы и выполнение основных функций программным обеспечением.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.В. Шкуркин

## СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ МАСС-СПЕКТРОВ

А.С. Яцунский

Омский государственный университет

Качественные характеристики покрытий, получаемых ионноплазменным методом, существенным образом зависят от качественного состава плазмы, в которой производят осаждение. Наиболее подходящим прибором, позволяющим исследовать качественный состав плазмы, является масс-спектрометр. Для целей оперативного анализа качественного состава тяжелой компоненты плазмы в наибольшей степени

подходят радиочастотные масс-спектрометры, в частности, квадрупольные, которые, обладая достаточно высоким разрешением, способны работать при наличии умеренного вакуума в анализаторе, что облегчает его сопряжение с экспериментальными установками, рабочее давление в которых лежит в пределах единиц – десятков мм рт.ст.

В настоящий момент доступными масс-спектрометрами являются те, которые выпускались 10 – 15 лет назад, по этой причине они не удовлетворяют современным требованиям масс-спектрометрии по таким параметрам, как оперативность измерения спектров, их обработки и хранения результатов. По этой причине представляется целесообразным сопряжение масс-спектрометра с персональным компьютером для проведения регистрации масс-спектров и обработки результатов измерений в реальном масштабе времени.

Целью настоящей работы являлось разработка системы для автоматического снятия спектров масс и преобразование их к виду, удобному для дальнейшей обработки. Основными компонентами системы послужили квадрупольный масс-спектрометр РОМС-4 и персональный IBM-совместимый компьютер (ПК).

При проектировании основное внимание было уделено разумному распределению функций управления и измерения между техническими и программными средствами системы. Основным требованием при разработке явилось максимальное упрощение аппаратной части системы без ущерба для ее метрологических характеристик за счет максимального использования вычислительной мощности ПК.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.В. Шкуркин

## ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА ПО ИЗЛУЧЕНИЮ ЛИНИИ БАЛЬМЕР- $\alpha$

И.А. Банников

Новосибирский государственный технический университет

В физике плазмы используются мощные источники ионов. На установке АМБАЛ-М для нагрева и поддержания плазмы в концевом пробкотроне используются мегаваттные квазистационарные источники ИК-50.

Тренировка и настройка источников происходит на специально разработанном тренировочном стенде ИК-50. В процессе кондиционирования источника существует необходимость следить за

поведением пучка во времени, его геометрическими размерами, расходимостью и направленностью.

Контактная диагностика, которая применяется в настоящее время, достаточно затруднительна, т. к. измерения производятся в вакуумной камере, и из-за больших тепловых нагрузок. Кроме того, датчики малоподвижны и имеют сложную конструкцию. Поэтому был разработан бесконтактный метод диагностики на основе измерения излучения линии Бальмер- $\alpha$  возбужденного атома водорода ( $\lambda=656.3$  нм).

С помощью оптической системы и линейки фотодиодов через смотровое окно производится "фотографирование" пучка в момент выстрела. Данные записываются в АЦП и выводятся на ЭВМ в виде осциллограмм, одновременно сохраняются в файл для дальнейшей обработки.

В настоящее время по данным измерений определяются размеры пучка, его направленность и поведение во времени. Данные измерений оптическим методом находятся в хорошем соответствии с данными прямых измерений контактным методом.

В перспективе на основе данного метода предполагается разработка метода реконструктивной томографии пучка. Этот метод позволит измерять не только пространственные параметры пучка, но и распределение тока по сечению, а также наблюдать зависимость его от функционирования ионнооптической системы источника.

К достоинствам оптического метода следует отнести его конструктивную простоту по сравнению с используемыми контактными методами диагностики, а также его бесконтактность, т. е. он не оказывает воздействие на пучок и наоборот, пучок не воздействует на датчик. Достоинством также является высокая информативность получаемых данных по сравнению с данными контактного метода.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И.И. Морозов

## ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

### T-НЕЧЕТНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ В $K_{\mu_3}^+$ -МЕЗОН РАСПАДЕ

Г.Г. Кирилин

Новосибирский государственный университет

Для понимания законов физики важную роль играет их поведение при СРТ преобразованиях. На данный момент уже ясно, что инвариантность законов относительно обращения времени не является абсолютной для всех взаимодействий.

Как видно из общего вида выражения для вероятности  $K_{\mu_3}$ -распада, конечная поляризация мюона, перпендикулярная к плоскости распада, приводит к T-нечетному члену в этом выражении. Такая поляризация отлична от нуля только при наличии мнимой части амплитуды рассеяния, обусловленной или нарушением CP-четности, или реальными промежуточными состояниями.

В настоящей работе вычислена поляризация мюона в распаде заряженного K-мезона на нейтральный  $\pi$  мезон, мюон и нейтрино, нормальная к плоскости распада, обусловленная промежуточными состояниями, содержащими фотоны. Вычисление мнимой части амплитуды рассеяния производилось с помощью коммутационных соотношений для матрицы рассеяния.

Произведено сравнение с ранее исследованной поляризацией, обусловленной промежуточными двухпионными состояниями, а также с поляризацией мюона в распаде нейтральных K-мезонов, возникающей в результате электромагнитного взаимодействия в конечном состоянии.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук И.Б. Хриплович

### АСИММЕТРИЯ СЕЧЕНИЯ ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЯ ДЕЙТОНА

Р.В. Коркин

Новосибирский государственный университет

В работе вычислена разность сечений расщепления дейтона право- и левополяризованными фотонами с энергиями от порога до 5 Mev. Это различие возникает благодаря наличию P-нечетных ядерных сил. Относительная значение этой величины лежит в интервале  $10^{-7}$ - $10^{-8}$ . Вычислен аналитически  $\pi$ -мезонный вклад, доминирующий при энергиях выше 3 Mev. Оценен также вклад векторных мезонов, для



теоретического вычисления которого надежного метода не существует. Этот вклад существен вблизи самого порога.

Экспериментальное измерение асимметрии позволило бы узнать значение слабой  $\pi NN$ -константы а также дало бы полезную информацию о взаимодействии между нуклонами на малых расстояниях. Работа особенно интересна в связи с активно обсуждаемыми экспериментами по фоторасщеплению дейтона.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. И.Б. Хриплович

### ОБ ИЗОМОРФИЗМЕ ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Е.В. Пушкарёва

Горно-Алтайский университет

Известно, что работа, совершаемая по циклу Карно при переходе из состояния  $i$  в состояние  $k$ , следующим образом выражается через разности температур и энтропий:

$$s_{ik} = -(T_i - T_k)(S_i - S_k).$$

Перейдём к новым переменным:

$$x = \frac{1}{2\sqrt{a}}(T - aS)$$

$$y = \frac{1}{2\sqrt{a}}(T + aS)$$

В этих переменных работа  $s_{ik}$  имеет следующий вид:

$$s_{ik} = (x_i - x_k)^2 - (y_i - y_k)^2$$

Таким образом, существует определённый изоморфизм между термодинамикой и специальной теорией относительности.

При этом работе по циклу Карно, разности и сумме температуры и энтропии в термодинамике соответствуют квадрат интервала между двумя

событиями  $i$  и  $k$  и временная и пространственная координата в теории относительности.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г.Г. Михайличенко

### О СВЯЗИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ Г-МАТРИЦ ДИРАКА В МЕТРИКАХ С СИГНАТУРАМИ $\pm 2$

Т.М. Цыпленкова

Томский государственный университет

В современной учебной и научной литературе по физике элементарных частиц используются метрики с сигнатурами  $\pm 2$ . С физической точки зрения совершенно безразлично, какая используется метрика. В настоящее время наибольшее распространение получила метрика с сигнатурой  $-2$  (В.Б. Берестецкий Е.М. Лифшиц и Л.П. Питаевский, Н.Н. Боголюбов и Д.В. Ширков, Л. Ициксон и Ж-Б. Зюбер и др.). Тем не менее, в ряде хорошо известных учебников по классической и квантовой электродинамике (С.Р.де Гроот и Л.Г.Сатторп, Ю.Швингер и др.) применяется метрика с сигнатурой  $+2$ . Ковариантный переход от одной метрики к другой в классической теории поля особых затруднений не вызывает. Однако в квантовой теории положение существенно осложняется тем, что представления  $\gamma$ -матриц в той и другой метриках различны, более того, относительно некоторых матриц нет единства в определении даже внутри одного представления, например, относительно матрицы  $\gamma^5$ .

Как известно, представления  $\gamma$ -матриц Дирака регламентируются фундаментальной теоремой Паули. В данной работе дано обобщение этой теоремы на случай ковариантного перехода от одной метрики к другой и установлена конкретная связь соответствующих представлений.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Бордовицын

### QUARK GLUON PLASMA EVIDENCE FOR NEW STATE OF MATTER AT CERN, SWITZERLAND

Peter Dinkelaker

Institute of Nuclear Physics, University of Frankfurt, Germany

At CERN, the European laboratory for particle physics in Geneva, Switzerland, a five-year program of heavy-ion collision experiments have provided the first data concerning the existence of a new deconfined phase of

matter. According to Quantum Chromodynamics (QCD) quarks – normally bound in hadrons – are expected to have "asymptotic freedom" at very high temperature, they move freely in a color conducting Quark Gluon Plasma (QGP).

In our work at CERN we are looking for a new state of matter the Quark Gluon Plasma (QGP). Theorists suppose that a phase of QGP existed very shortly after the Big Bang and that QGP can be created in high energy heavy ion collisions. In our experiment NA49 a lead beam of up to 160 GeV per nucleon crashes into a fixed lead target. It compresses and heats up the nuclear matter, forming a fireball which "melts" the hadrons into the QGP. After about  $8 \cdot 10^{-23}$  sec this state expands, cools down and emits hadrons (pions, kaons, lambdas, phi.....) into our detector system.

There are about 1500-2000 charged particles created in each of these violent collision events. The detector system thus has to have an extreme spatial resolution to separate the particle tracks. In NA49 experiment we use an array of large volume gas-drift-chambers called TPC (Time Projection Chamber), which record electronically the track of ionization electrons left behind in the gas by each traversing particle. To read out the TPCs we employ about 180000 electronic channels, thereby recording the particle trajectories and ionization strength. By measuring the time of flight and the momenta, we can identify the particles and compare their multiplicity, i.e. their average ratio of creation.

The comparison with experimental data at lower energies shows a change in particle multiplicities. The production of some particles is suppressed, while others seem to be enhanced. This can be explained with the model of a phase transition from hadronic to quark matter.

Six other experiments at the CERN SPS 33 TeV Pb beam facilities (NA44/45/50/52 and WA 97/98) have contributed complementary aspects of this model: The phase transition seems to take place at a temperature of 175 MeV and an energy density of 1 GeV per cubic fermi [ $(10^{-15}m)^3$ ]. A "classical" translation of these conditions results in an estimate of the pressure corresponding to the hadronization point: about  $10^{32}$  kg/cm<sup>2</sup> (i.e. about 50 solar masses per cm<sup>2</sup>).

This energy density is reached in central collisions at a laboratory energy of about 40 GeV. Last year we took several million of these events. When the raw data is processed it can give us more information about the nature of the phase transition and hopefully solves some open questions about the Quark Gluon Plasma.

Supervisor: Prof. Dr. Reinhard Stock

## ВЛИЯНИЕ КРАЕВОГО ПОЛЯ КВАДРУПОЛЬНОЙ ЛИНЗЫ НА НЕЛИНЕЙНЫЙ СДВИГ БЕТАТРОННОЙ ЧАСТОТЫ

П.А. Пиминов

Новосибирский государственный технический университет

Институт ядерной физики СО РАН

Для циклического ускорителя основными источниками зависимости частоты бетатронных колебаний от амплитуды являются главные нелинейные компоненты ведущего магнитного поля. Их влияние на пучок исследовалось многими авторами как с помощью численного моделирования, так и аналитически. Однако существуют и другие источники зависимости частоты колебаний от амплитуды, которые могут существенно влиять на нелинейную динамику пучка. Так, например, для кольца низкой энергии (LER) комплекса РЕР-II преобладающий вклад в сдвиг бетатронной частоты вызван краевым полем квадрупольных магнитов. Так, например, нелинейность краевого поля исследовалась для кольца низкой энергии (LER) комплекса РЕР-II, и было показано, что преобладающий вклад вызван краевым полем квадрупольных магнитов. Для В-фабрики КЕК указывается, что основное ограничение динамической апертуры вызывается кинематическими эффектами места встречи и краевым полем линз финального фокуса. В данной работе получены простые аналитические выражения для вклада краевого поля квадрупольных линз в нелинейный сдвиг частоты бетатронных колебаний. Величина эффекта сравнивается с другими источниками нелинейности: секступольными линзами, компенсирующими хроматизм, октупольными ошибками магнитного поля и кинематическими слагаемыми для электрон-позитронного накопителя ВЭПП-4М.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Е.Б. Левичев

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ АТОМОВ ОСТАТОЧНОГО ГАЗА В ВАКУУМНЫХ КАМЕРАХ УСКОРИТЕЛЕЙ И НАКОПИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ФЭУ

Р.В. Достовалов

Новосибирский государственный технический университет

Контроль плотности остаточных газов является важной задачей при эксплуатации ускорителей и накопителей заряженных частиц. В



современных ускорителях принципиальное затруднение возникает при измерении давления в криогенной вакуумной камере манометром, расположенным вдали от ней. Оно связано с тем, что обычная техника измерения давления вакуумными датчиками и анализаторами остаточного газа (RGA) установленными в теплой части экспериментальной установки не дают достоверных значений плотности газа в холодной вакуумной камере, т. к. средняя скорость фотодесорбированных со стенок вакуумной камеры под действием синхротронного излучения (СИ) молекул неизвестна. В основе предлагаемого метода измерения давления в криогенных вакуумных камерах ускорителей и накопителей лежат следующие важные обстоятельства:

1. В вакуумных камерах ускорителей и накопителей всегда присутствует синхротронное излучение (СИ), обладающее широким сплошным спектром и большой интенсивностью;
2. Фотоны СИ возбуждают атомы остаточного газа в камере, что приводит к люминесценции последних, причем интенсивность люминесценции пропорциональна плотности атомов или ионов остаточного газа и интенсивности СИ. Следует заметить также, что в криогенной вакуумной камере доминирующим газом является водород  $H_2$ ;
3. Люминесценцию остаточного газа в вакуумной камере можно зарегистрировать с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и тем самым получить систему, регистрирующую давление в вакуумной камере ускорителя или накопителя по переизлучению возбужденных под действием СИ частиц остаточного газа, регистрируемому и переведенному с помощью ФЭУ в электрический аналог.

В Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск, РФ) на канале вывода СИ накопителя ВЭПП-2М собрана экспериментальная установка для изучения возможности применения этого нового метода измерения давления на практике. В диапазоне давлений водорода от  $10^{-5}$  Па до  $10^{-3}$  Па при энергии частиц в накопителе  $E=680$  МэВ и среднем токе в накопителе  $I=15$  мА получена линейная зависимость скорости счета импульсов ФЭУ от давления водорода в вакуумной камере. Чувствительность метода не хуже  $5 \cdot 10^{-5}$  Па при интенсивности СИ в канале  $10^{13}$  фот/(сек·мА). Работа проведена в ИЯФ СО РАН в 1998 - 1999 гг.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. РАН Г.Н. Кулипанов

## НЕЙТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Е.В. Кремянская, А.В. Богомягков, Ю.А. Пахотин

Новосибирский государственный университет

Задача регистрации низкоинтенсивных потоков нейтронов (порядка фоновых потоков, т.е.  $\sim 0.001 - 0.01$  Гц) требует повышенной помехозащищенности детектора и тщательного анализа систематических ошибок.

В данной работе для регистрации тепловых нейтронов используются счетчики нейтронов на основе  $^3He$  (реакция  $^3He + n \rightarrow ^3H + p$ , в которой далее как в обычном ионизационном счетчике регистрируется протон); для регистрации нейтронов с энергией порядка нескольких MeV также используется реакция с образованием протона, который затем регистрируется сцинтилляционным счетчиком.

Для защиты от помех электроники используется специальный блок блокировок, для защиты от внешних и внутренних электромагнитных наводок – двойной металлический экран. Для снижения внешнего уровня потока нейтронов ставится поглотитель нейтронов – полиэтилен с высоким содержанием бора, уменьшающий фон примерно в 30 раз.

Анализ систематических ошибок показывает, что основной вклад в ошибку эксперимента дает поток нейтронов от сцинтиллятора, возникающий вследствие содержания естественного уровня радиоактивных примесей.

Научные руководители – Н.Ю. Мучной, д-р физ.-мат. наук, проф. Г.Я. Кезерашвили

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ РОКК-1М

А.В. Богомягков, Ю.А. Пахотин, Е.В. Кремянская

Новосибирский государственный университет

Установка РОКК-1М предназначена для получения высокоэнергетичного пучка  $\gamma$ -квантов путем обратного комптоновского рассеяния лазерного света на электронном и/или позитронном пучках. Полученный пучок  $\gamma$ -квантов позволяет решать следующие экспериментальные задачи:

Калибровка различных типов детекторов.

Диагностика пучка.

Работы на выведенном пучке  $\gamma$ -квантов.

Лазерная поляриметрия.

Исходя из поставленных задач и опыта проведенных экспериментов лазерная система установки должна обеспечивать:

Высокую электрон-фотонную светимость для получения интенсивного пучка рассеянных  $\gamma$ -квантов.

Возможность генерации различных линий лазерного излучения.

Долговременную стабильность работы.

В ходе анализа проведенных экспериментов стало понятным, что для удовлетворения предъявленных требований необходимо изменить параметры существующей лазерной системы. Используемая до сегодняшнего дня лазерная система на основе твердотельного лазера ЛТИ-701 не позволяет сделать нужные изменения. Поэтому был приобретен новый лазер фирмы Quanta System, проведена его модернизация и адаптация к условиям установки РОКК.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г.Я. Кезерашвили

#### ПОЗИТРОННАЯ ЧАСТЬ ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА УСТАНОВКИ РОКК-1М.

Ю.А. Пахотин, А.В. Богомяков, Е.В. Кремянская

Новосибирский государственный университет

В настоящее время достижения в области физики и техники электрон-позитронных накопителей открывают новые возможности в постановке физических экспериментов. Одной из таких возможностей является создание монохроматических поляризованных пучков гамма-квантов высокой энергии и интенсивности. Для их получения используются следующие способы: метод аннигиляции ускоренных позитронов, метод мечения тормозных гамма-квантов, метод когерентного рассеяния электронов в ориентированных монокристаллах и др. Более перспективным по сравнению с перечисленными выше методами является метод обратного комптоновского рассеяния (ОКР) лазерных фотонов на ускоренных электронах, который обладает высокой интенсивностью, достаточно жестким спектром, 100% линейной или циркулярной поляризацией, которой можно управлять в процессе эксперимента и др. Метод ОКР, предложенный в 1963 году Арутюняном и Туманяном [1] (СССР), а также независимо Мильбурном [2] (США), получил широкое распространение благодаря бурному развитию лазерной и ускорительной техники.

В ИЯФ СО РАН им. Г. И. Будкера развитие методов ОКР началось в 1980 году. Первая установка РОКК-1 (Рассеянные Обратно Комптоновские Кванты) на накопителе ВЭПП-4 была запущена в 1983 году. Новая установка РОКК-1М [3] создана на накопителе ВЭПП-4М. Установка РОКК-1М позволяет решить несколько задач, имеющих отношение к различным областям экспериментальной физики, а именно: измерение энергии накопителя, изучение фотоядерных процессов и нелинейной квантовой электродинамики и др.

В настоящее время на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-4М создан детектор КЕДР, оснащенный системой регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) для изучения двухфотонных процессов. Наличие резкого края у комптоновского спектра и возможность перестройки частоты лазерного излучения, позволяет использовать ОКР для её калибровки. Более того, поскольку СРРЭ должна обеспечивать высокую точность измерения энергии рассеянных электронов (на уровне  $2 \cdot 10^{-3} E_e$ ), то метод ОКР является единственным реально осуществимым вариантом. Калибровка элементов СРРЭ является одной из задач установки РОКК-1М, наряду с оперативным измерением абсолютной энергии ускоренных электронов и позитронов методом резонансной деполяризации. Необходимость в калибровке элементов СРРЭ, регистрирующих позитроны, привела к созданию “позитронной” части лазерно-оптического тракта. Кроме того, эта же система регистрации идеально подходит по своим параметрам (энергетическому диапазону, разрешению, быстродействию) как система мечения комптоновских гамма-квантов по энергии. Наличие СРРЭ позволяет обеспечить монохроматизацию вторичных гамма-квантов в широком диапазоне энергий по измерению импульса зарегистрированного на совпадение электрона или позитрона. Таким образом, с введением в строй “позитронной” части установки РОКК-1М в ИЯФ СО РАН получен еще один пучок меченых, поляризованных, высокоэнергетичных гамма-квантов, который может быть использован в различных физических экспериментах.

1. Арутюнян Ф.Р., Туманян В.А. Комптон-эффект на релятивистских электронах и возможности получения пучков жестких гамма-квантов ЖЭТФ. 1963. 2101.
2. Milburn R. H., Electron scattering by an intense polarized photon field. Phys. Rev. Lett., vol. 10, p. 75 (1963).
3. Kezerashvili G. Ya. et. al., Nucl. Instr. and Meth., vol. B145, p. 40 (1998).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г.Я. Кезерашвили



## РАЗРАБОТКА И ТЕСТЫ ОДНОКООРДИНАТНЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОД5, ОД120

А.А. Дроздецкий

Новосибирский государственный университет

Однокоординатные проволочные газонаполненные детекторы рентгеновского излучения класса ОД предназначены для экспериментов на пучке СИ с энергией  $\gamma$ -квантов от 6 до 30 кэВ. Отличительными чертами данных детекторов являются: высокая загрузочная способность (до  $10^7$  фотонов/с); отсутствие параллакса; относительная точность измерения угла  $10^{-2}$ ; возможность работы в режиме реального времени.

В 1998-1999 годах был сконструирован и протестирован однокоординатный детектор рентгеновского излучения ОД5. Детектор предназначен для регистрации однородных по азимутальному углу дифракционных картин с особенностью при малых углах рассеяния  $\gamma$ -квантов и представляет из себя цилиндр (катод) с натянутой по оси анодной проволочкой. Тесты ОД5 на пучке СИ показали, что его угловое разрешение составляет 2% (для энергии фотонов 8 кэВ), что соответствует проектному разрешению. Эксперименты с космическими частицами, работа с изотопом и на пучке СИ также обнаружили несовершенство его конструкции: «рабочая область» детектора составила около 5% от проектируемой. Это можно объяснить влиянием металлической части крепления анода на глубину распространения краевых эффектов. Данное предположение было подтверждено расчетом распределения электрического потенциала и моделированием процесса регистрации в детекторе. Данный детектор после незначительного изменения конструкции может быть использован в дифракционных экспериментах, с требуемой точностью измерения 1%.

Для дифракционных экспериментов с регистрацией  $\gamma$ -квантов, рассеянных на большие углы, ведется разработка и тесты широкоугольного детектора ОД120. Отличительной особенностью прототипа детектора является параллельное расположение анодных проволочек и катодных полосок, при этом в ОД120 метод определения координаты фотона - по наведенному на катод заряду. Планируемый угол регистрации фотонов - более  $100^\circ$  при разрешении  $10^{-3}$  ад.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. В.П. Дружинин, В.В. Шарый

## РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛА ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ (FLASH ADC)

А.Г. Скрипкин

Новосибирский государственный университет

В связи с планируемой модернизацией ускорительного комплекса ВЭПП-2М (режим круглых пучков), разрабатывается новая электроника для съема сигнала с дрейфовой камеры детектора СНД. В данной работе исследуется съём информации цифровым регистратором формы импульсного сигнала (Flash ADC), с шагом оцифровывания 12.5 нсек. Блок включает в себя четыре аналого-цифровых преобразователя, работающих на частоте 40 М гц., предназначенных для съема информации с двух концов проволочки. Для тестирования АЦП была собрана установка представляющая собой полый цилиндр с натянутой по центру анодной проволочкой. Координата вдоль проволочки в камере измеряется методом деления заряда, координата в радиальном направлении определяется по времени дрейфа ионизации. Достигнуто временное разрешение 1.8 нсек. Разрешение, измеренное методом деления заряда,  $\sim 2\%$ .

Научный руководитель – В.В. Шарый

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА $e^+e^- \rightarrow \omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ С ДЕТЕКТОРОМ СНД НА ВЭПП-2М

Г.А. Кукарцев

Новосибирский государственный университет

Эксперименты с детектором СНД на ускорительном комплексе ВЭПП-2М ведутся в Институте ядерной физики СО РАН в течение пяти лет. Прецизионное изучение свойств легких векторных мезонов является важной частью исследований  $e^+e^-$  - взаимодействий в диапазоне энергий двух пучков 0.36 – 1.4 ГэВ.

Процесс  $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  – основная мода распада  $\omega$ -мезона. Представленная работа посвящена изучению сечения этого процесса в диапазоне энергий 0.36 – 0.97 ГэВ. Используемые в работе данные были получены в ходе эксперимента ОМЕ-9803, проводившегося с 25 марта по 30 июня 1998 года. В эксперименте была набрана интегральная светимость  $3.7 \text{ пб}^{-1}$ .

В ходе данной работы была проведена предварительная реконструкция экспериментальных событий, внесены поправки в значения энергии

пучков, обусловленные особенностями работы ускорителя. На следующем этапе были разработаны условия отбора событий изучаемого процесса, исследованы фоновые явления: способы их выделения и вносимые ими искажения эффекта. По отобранным событиям было построено сечение  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ , определена масса  $\omega$ -мезона ( $783.0 \pm 0.5$  МэВ) и его ширина ( $8.8 \pm 0.4$  МэВ).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доц. В.И. Иванченко

### ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ КМД-2М

А.В. Успенский

Новосибирский государственный технический университет

В 1992 году на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2М был установлен детектор КМД-2.

Целью моей работы является разработка предусилителя для дрейфовой камеры КМД-2М. К предусилителю предъявляется ряд требований:

низкое входное сопротивление (75 Ом);

малое время нарастания фронта ( $\sim 5$  нс) и низкие собственные шумы ( $< 5000 e^-$ );

двухполярный выход.

На первом этапе работы проведено сравнение имеющихся усилителей, таких как ПУ КМД-2, ПУ 174УВ5 (на микросхеме) и VTX (итальянский), по их шумовой и временной характеристикам. Для измерения собственного шума усилителей использовался стенд, состоящий из импульсного генератора, ЗЦП и осциллографа, в стандарте КАМАК, а для управления стендом написаны программы.

Лучшие характеристики оказались у итальянского предусилителя: низкое значение шума, однополярное питание, малое потребление мощности, но у него сравнительно высокая цена. У остальных усилителей довольно высокое значение шума. Поэтому возникла необходимость в новом предусилителе, обладающем малым временем нарастания фронта и меньшим шумовым зарядом.

Был сделан расчет усилителя с входным каскадом по схеме с ОЭ с введением ОС и получены следующие результаты: коэффициент усиления по напряжению  $K_u=39$ , коэффициент преобразования  $K=6$  мВ/мкА, время нарастания фронта  $t=4$  нс, потребление мощности  $P=140$  мВт, однополярное питание +10 В.

Рассчитанный двухкаскадный усилитель был собран на макете, но его работа оказалась не достаточно устойчивой.

Поэтому следующим этапом работы будет расчет усилителя с входным каскадом по схеме с ОБ: по схеме с разделенным усилением тока и напряжения, с комбинациями каскадов с общей базой и эмиттерными повторителями (такой подход позволит избежать введения обратной связи).

В настоящее время самым лучшим вариантом является ПУ174УВ5 с заменой транзистора во входном каскаде на КТЗ101.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Г.Я. Куркин

### РАДИОФИЗИКА

#### МОЩНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ ДЛЯ УСКОРЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МИКРОТРОНА-РЕКУПЕРАТОРА

В.Ю. Лоскутов

Новосибирский государственный технический университет

В Институте ядерной физики СО РАН продолжаются работы по созданию разрезного микротрона-рекуператора непрерывного действия на энергию электронов 80 МэВ, предназначенного для лазера на свободных электронах с пиковой мощностью 100 кВт и излучением в диапазоне длин волн от 30 до 7 микрон.

Амплитуда рабочего напряжения ВЧ-резонаторов общего прямолинейного промежутка микротрона составляет 800 кВ. Эти ВЧ-резонаторы отстоят друг от друга на половину длины волны  $L=165$  см, соответствующей их резонансной частоте  $f = 180$  МГц. Для питания резонаторов общего прямолинейного промежутка создан мощный ВЧ-генератор на частоту 180 МГц с выходной мощностью 800 кВт.

Я занимаюсь созданием мощного волноводного ВЧ-тракта, предназначенного для передачи энергии от генератора к резонаторам и распределения энергии между ними. Расчетная передаваемая мощность ВЧ-тракта 1 МВт. Он состоит из коаксиально-волноводного перехода (КВП) генератора; волновода, находящегося в генераторном блоке; КВП и коаксиальной линии для передачи мощности от волновода в генераторном блоке к волноводу в резонаторном блоке; волновода, находящегося в резонаторном блоке; коаксиально-волноводных переходов для распределения мощности между резонаторами общего ускоряющего промежутка.

От генератора мощность в волновод передается с помощью емкостного ввода, этот КВП выполнен таким образом, чтобы обеспечить развязку по



напряжению, поэтому он вносит некую емкость в волноводный тракт. Емкость, созданная КВП регулировкой положения задней стенки волновода. КВП генератора был собран на модели, которая в 2,5 раза меньше будущего. Положение и размер КВП были выбраны из расчета наилучшего КСВН. Этот КВП имеет систему регулировки связи между волноводом и генератором.

КВП от волновода к резонаторам. КВП представляет собой индуктивный стержень, закрепленный на широкой стенке волновода.

Для равномерного распределения мощности между резонаторами необходимо, чтобы коэффициент связи был одинаков для всех КВП и равен  $\sim 0.1$ . Для регулировки коэффициента связи индуктивный стержень будет изменять свое положение в волноводе при помощи эксцентричного вращения.

Научный руководитель – канд. физ. наук Э.И. Горникер

#### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АМПЛИТУДОЙ И ФАЗОЙ УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ МИКРОТРОНА - РЕКУПЕРАТОРА

А.М. Попов

Новосибирский государственный технический университет

Институтом ядерной физики СО РАН строится разрезной электронный микротрон-рекуператор – источник синхротронного излучения для Сибирского Центра Фотохимических Исследований.

Ускоряющая ВЧ система комплекса состоит из двух одинаковых каналов, включающих ВЧ усилитель с выходной мощностью 500 кВт, нагруженный на восемь ускоряющих резонаторов через волноводный делитель мощности. Система управления регулирует амплитуду ускоряющих напряжений и осуществляет фазирование каналов между собой и с ВЧ системой инжектора.

Для улучшения параметров регулирования ускоряющих напряжений введены цепи обратной связи. Цепь регулирования амплитуды использует в качестве сигнала обратной связи сумму продетектированных ВЧ напряжений, приходящих от измерительных петель резонаторов канала. Цепь стабилизации фазы имеет фазометр, измеряющий разность фаз между опорным ВЧ напряжением и суммарным ВЧ напряжением от петель резонаторов. В процессе работы были разработаны, смонтированы и налажены следующие блоки, необходимые для функционирования ВЧ системы: блок детекторов, блок гетеродина, блок сумматора и блок фазовращателя.

Блок детекторов предназначен для обеспечения контроля напряжений на резонаторах и токов фидеров резонаторов. Он производит линейное преобразование амплитудного напряжения 180 МГц в диапазоне 0,1 – 20 В в постоянное напряжение. В диапазоне напряжений от 0,2 до 10 В максимальное отклонение от линейного закона не превышает 1,8%.

Блок гетеродина предназначен для преобразования частоты ВЧ сигнала для проведения фазовых измерений. Его частота с помощью цепи обратной связи регулируется таким образом, что разностная частота с частотой входного сигнала остается постоянной.

Блок сумматора предназначен для геометрического сложения векторов, представляющих ВЧ напряжения с измерительных петель резонаторов. Сумматор выполнен на квадратурных мостах и обеспечивает развязку между входными сигналами не хуже  $-24$  дБ.

В работе выполнен анализ устойчивости цепей обратной связи и рассчитаны параметры регулирования. Рассмотрены формы переходных процессов при воздействии дестабилизирующих факторов в тракте усиления сигнала, разработаны схемы коррекции АЧХ. Приведено описание принципа работы и схемы отдельных блоков РЭА, используемых в ВЧ системе.

Научный руководитель – канд. техн. наук Г.Я. Куркин

#### АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

А.И. Милехин

Томский государственный университет

В последнее время большой интерес проявляется к использованию сверхширокополосных электромагнитных импульсов в радиолокации и связи, в результате чего возникает необходимость разработки принципов построения приемных антенн, обеспечивающих регистрацию с минимальными искажениями электромагнитных импульсов, спектр которых может занимать полосу частот шириной несколько октав.

Для выявления факторов, влияющих на искажение формы принимаемого импульса, были исследованы непосредственно в режиме приема диапазонные и направленные свойства симметричного вибратора. Показано, что для неискаженного приема электромагнитных импульсов с широкой спектра порядка двух октав, необходимо использовать вибраторы, длина которых не превышает половины пространственной протяженности импульса, диаметр плеча не менее  $1/10$  его длины и

сопротивление нагрузки в 2-3 раза превышает волновое сопротивление вибратора.

Особый интерес представляет исследование возможности создания направленных сверхширокополосных малогабаритных антенн. В этой связи рассмотрена возможность приема сверхширокополосных импульсов Н-образной антенной. Такая антенна представляет собой комбинацию двух параллельных вибраторов, расположенных на расстоянии друг от друга не более чем  $1/4$  пространственной протяженности импульса и соединенных таким образом, чтобы на нагрузке выделялся разностный сигнал. Для учета взаимодействия между вибраторами предложена методика расчета с использованием метода наложения бегущих волн. Показано, что при работе вибраторов в рассогласованном режиме взаимное влияние может быть существенно ослаблено, что делает возможным создание малогабаритной приемной антенны с диаграммой направленности, форма которой близка к кардиоиде. Такая антенна может использоваться не только для регистрации сверхширокополосных импульсов, но и как малогабаритная всеволновая телевизионная антенна.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Ю.И. Буянов

#### ВЕКТОРНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Е.В. Балзовский

Томский государственный университет

Использование в радиолокации сверхширокополосных сигналов позволяет решать задачи обнаружения и распознавания объектов, построения их радиолокационных изображений. Знание поляризационной структуры рассеянного импульсного поля дает дополнительную информацию о зондируемых объектах и средах.

Начаты исследования по возможности создания векторных приемных антенн для регистрации поляризационной структуры поля широкополосных электромагнитных импульсов. Векторные антенны, способные одновременно и независимо принимать три компоненты вектора напряженности электрического или магнитного поля, используются в системах радиосвязи, однако их использование в качестве измерительных антенн при исследовании поляризационной структуры поля до настоящего времени остается проблематичным из-за малой изученности факторов, определяющих точность измерения.

Методами численного моделирования исследована векторная антенна, представляющая собой три взаимноортогональных симметричных вибратора с совмещенными фазовыми центрами. Выявлены факторы, влияющие на точность воспроизведения формы регистрируемых импульсов, из которых основными являются: геометрические размеры вибраторов; сопротивление нагрузки; степень симметрирования вибратора с фидером; взаимодействие по полю между близкорасположенными вибраторами, обусловленное неточным совмещением их фазовых центров и отклонением осей вибраторов от направления взаимноортогональных ортов. Расчет взаимного влияния между вибраторами векторной антенны производится непосредственно в режиме приема.

В результате исследований сформулированы требования к векторной антенне, пригодной для измерения поляризационной структуры поля широкополосного электромагнитного импульса с шириной спектра порядка двух октав. Чтобы погрешность измерения не превышала 10%, длина вибраторов должна быть не более половины пространственной протяженности регистрируемого импульса; сопротивление нагрузки должно не менее чем в 4 раза превышать волновое сопротивление вибратора; коэффициент асимметрии должен быть не более -30 дБ; расстояние между фазовыми центрами должно быть не более 2% длины вибратора а отклонение оси вибратора от соответствующего орта не должно превышать двух градусов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Ю.И. Буянов

#### ВЫСШИЕ МОДЫ ВЧ РЕЗОНАТОРА НАКОПИТЕЛЯ - ОХЛАДИТЕЛЯ

Е.А. Ротов

Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время в ИЯФ СО РАН ведутся работы по созданию нового поколения коллайдеров, характеризующихся предельно высокой интенсивностью взаимодействующих пучков заряженных частиц, так называемых (- и (- фабриках. В рамках этого проекта необходимо создание нового инжекционного комплекса. Функционально инжекционный комплекс состоит из линейного ускорителя с энергией пучков на выходе 510 МэВ и накопителя-охладителя на эту же энергию.

Для получения приемлемых параметров сгустка в накопителе необходимо ускоряющее напряжение 400 кВ. Требуемое напряжение можно получить при помощи резонатора расположенного в одном из прамолинейных промежутков.



Для обеспечения устойчивости когерентных колебаний необходимо искусственно понизить (демпфировать) добротности высших мод (ВМ) колебаний резонатора. Высшие моды демпфируются при помощи коаксиальных нагрузок, присоединенных к приваренным к резонатору волноводам, запрещенных для 700 МГц. Испытания показали, что не все моды были достаточно демпфированы, и часть из них может негативно повлиять на движение пучка в накопителе.

Для поиска методов борьбы с недемпфированными модами необходимо идентифицировать эти высшие моды, понять конфигурацию электромагнитных полей. Идентификацию возможно провести только расчетным методом, так как резонатор уже стоит в кольце накопителя и нахождение конфигурации полей методом пробного тела является затруднительным.

Задача состояла в том, чтобы теоретически рассчитать частоты ВМ. После чего останется просто сравнить списки рассчитанных и измеренных ВМ.

Расчет высших мод осуществлялся с помощью двух пакетов программ, разработанных в ИЯФ Д.Г. Мякишевым и В.П. Яковлевым SLANS (для расчета осесимметричных мод) и CLANS2 (для расчета осесимметричных мод). При помощи SLANS были рассчитаны все осесимметричные ВМ до частоты 3 ГГц, получены картины полей и распределение поля на оси. После чего определялся их тип. Определение типа необходимо для определения дальнейших мер в отношении данной моды.

То же самое было сделано с осесимметричными модами при помощи CLANS2.

Научный руководитель – И.В. Купцов

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ИМПЕДАНСА

В.Ю. Зорин

Новосибирский государственный университет

В настоящее время на ускорительном комплексе ВЭПП-4М ведутся работы по увеличению тока инжектируемого пучка. Для достижения проектной светимости ток пучка в одном сгустке должен быть не менее 20 мА. В результате проведенных экспериментов было выяснено, что инжектируемый ток ограничен ТМС-неустойчивостью (быстрый head-tail

эффект) вертикальных бетатронных колебаний. Эффект обусловлен электромагнитным взаимодействием пучка с окружающей структурой вакуумной камеры, при этом интенсивность взаимодействия характеризуется величиной реактивного поперечного импеданса связи.

Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное обоснование нового метода измерения локального импеданса. Основная идея метода заключается в следующем: воздействие локального поперечного импеданса на орбиту пучка эквивалентно воздействию некоторой дефокусирующей квадрупольной линзы, сила которой пропорциональна току пучка.

В план работы входит количественный расчет wake-полей и импедансов с помощью соответствующего программного обеспечения (SUPERLANS, GdfidL, Xwake), получение экспериментальных данных путем пучковых измерений на ВЭПП-4М и последующий сравнительный анализ полученных результатов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.В. Смалюк

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО ХОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

С.В. Плешивцев, Е.В. Ославский, П.А. Синяев

Владимирский государственный университет

Вариации Ez-составляющей электромагнитного поля Земли в КНЧ диапазоне характеризуются значительной изменчивостью, как по амплитуде, так и по частоте. Методические и экспериментальные трудности исследований в КНЧ, связанные с необходимостью обеспечения большого сопротивления антенн, привели к тому, что фактические материалы для данного диапазона практически отсутствуют. Владимирский государственный университет имеет загородный полигон, на котором развернут многоканальный комплекс аппаратуры по исследованию вариаций электрической составляющей в КНЧ-диапазоне.

Проведены многосуточные (9÷18.07.99) непрерывные регистрации вариаций Ez-составляющей ЭМПЗ приемно-регистрирующим комплексом при участии студенческих учебно-научных отрядов. Частота записи данных составляла 3 Гц. На основе этих регистраций осуществлены исследования временного хода спектральной составляющей на частоте 0,2 Гц для 3 суток (14÷16.07.99). Метеорологическая обстановка в указанный период характеризуется глубоким и обширным антициклоном с

максимумом дневной температуры около 320°C, низкой влажностью и отсутствием грозных очагов.

При обработке весь временной интервал для каждого суток разбивался на участки длительностью 5 минут, и по каждому участку рассчитывался амплитудный спектр. В полученных спектрах определялся средний уровень на частоте 0,2 Гц в полосе  $\pm 0,025$  Гц.

Результаты исследований временного хода спектральной составляющей показали, что она испытывает непрерывные пульсации, достигающие 10 кратной величины. На фоне пульсаций происходит изменение скользящего среднего значения спектральной составляющей в 2-3 раза на интервале - несколько часов. Усредненный для 3 суток нормированный ход спектральной составляющей имеет два минимума, приходящиеся на время перед восходом и перед заходом Солнца.

Работа выполнена по федеральной целевой программе "Интеграция", проект № 144.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. В.С. Плешивцев

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЛЯ РАДИОПОМЕХ В КНЧ-ДИАПАЗОНЕ

С.В. Плешивцев, В.Ю. Катков, Е.А. Дементьева

Владимирский государственный университет

В настоящей работе приводятся результаты исследований импульсной составляющей поля радиопомех в КНЧ-диапазоне. Исследовались многосуточные (9 – 18.07.99) непрерывные регистрации вариаций ЭМПЗ многоканальным комплексом аппаратуры на полигоне Владимирского госуниверситета. Полигон площадью 2 га расположен в 40 км от города, вдали от источников электромагнитного излучения антропогенного происхождения.

Обработке были подвергнуты данные, полученные 15-18 июля 1999 года с одного канала комплекса. Этот канал представлял собой трехлучевую, горизонтально расположенную антенну жесткой конструкции электрической емкостью 200 пФ, соединенную с входным блоком электрометрического усилителя У5-6. Входное сопротивление канала поддерживалось на уровне 1010 Ом. Выходной сигнал усилителя регистрировался компьютерным комплексом с частотой дискретизации 3 Гц и межканальной задержкой 2,5 мкс. Частотная характеристика канала имеет форму не симметричного колокола с максимумом на частоте 2,5 Гц и шириной полосы пропускания  $\Delta f_{0,5} = 1 \div 12$  Гц. Динамический диапазон

аппаратуры позволял регистрировать сигналы в интервале выходных напряжений  $\pm 5,1175$  В.

Состояние атмосферы в указанный период времени характеризовалось обширным антициклоном, который занимал центрально-европейскую часть России с 13.07 по 19.07.99 г. Дневной фон температуры атмосферы составлял  $+30 \div 32^\circ\text{C}$  при низкой влажности и давлением около нормы. Облачность переменная – от чистого неба до облаков хорошей погоды.

Отмечена значительная изменчивость плотности импульсной составляющей как за весь период наблюдений, так и в течение суток. На общем фоне роста плотности числа импульсов (от 5 до 500 час<sup>-1</sup>) отмечены периоды аномально большой частоты их следования в послеобеденное время: 15.07.99 – с 15 до 19 часов; 16.07.99 с 14 до 19 часов; 17.07.99 с 14 до 21 часа местного времени. Следует отметить, что аналогичный эффект для вариаций магнитного поля в КНЧ был обнаружен в [1].

Работа выполнена по ФЦП "Интеграция", проект № 144.

1. Гохберг М.Б. Новый тип электромагнитной эмиссии в диапазоне короткопериодных геомагнитных колебаний // ДАН.1998.Т. 359 №4. С.1-2.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. В.С. Плешивцев

#### ПРЕЦИЗИОННЫЙ ЯМР МАГНИТОМЕТР В СТАНДАРТЕ КАМАК

К.А. Кузьмичёв

Новосибирский государственный университет

Магнитометр, работающий на основе явления ядерного магнитного резонанса, выполнен в стандарте КАМАК и может применяться в различных электрофизических установках.

Основными задачами было измерение малых полей (300-500 Гс) и измерение с твердотельными датчиками (Al), имеющими малые времена релаксации. Для этого в приборе предусмотрено применение, как метода спинового эха, так и спада свободной индукции.

Диапазон частот синтезатора 0-130 МГц позволяет проводить измерения во всём диапазоне полей основных электромагнитов ускорителей, используя только протоны. Миниатюрные твердотельные датчики с объёмом рабочего вещества в несколько кубических миллиметров дают возможность измерять в широком (4К  $\div$  200°C) диапазоне температур поля с неоднородностью до 1%/см.



Диапазон измеряемых полей  $0.03 \div 12$  Т, точность измерений полей при градиенте поля менее  $10\text{-}4/\text{см} - (0.5\text{-}3) \times 10^{-6}$ .

Использование таких новых технических решений, как возможность накопления сигнала за одно измерение, а также применение современных комплектующих, в частности мощных полевых транзисторов, 12 разрядных АЦП, позволило создать достаточно компактный прибор, состоящий из 3 блоков КАМАК и внешних предусилителей, обладающий по сравнению с предыдущей моделями более высокой точностью и быстродействием.

Научные руководители – науч. сотр. ИЯФ СО РАН Г.В. Карпов, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИЯФ СО РАН Н.И. Зиневич

### ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ ПРЯМОГО СИНТЕЗА

М.С. Чайка

Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день на установках ИЯФ применяются синтезаторы, построенные на основе цифровых петель ФАПЧ. С развитием микросхем, реализующих прямой цифровой синтез частот (DDS) стало возможным разработать широкополосный синтезатор частоты с хорошими характеристиками, быстрым временем перестройки частоты, стабильным сдвигом фаз между каналами, дополнительными возможностями и малыми габаритами. Доклад посвящен разработке синтезатора частот прямого синтеза в стандарте КАМАК.

Синтезатор имеет два независимых канала с диапазоном частот  $0 - 120$  МГц и шагом перестройки  $0.04$  Гц. Для каждого канала выставляется амплитуда сигнала, частота и начальный сдвиг фазы. Ожидаемое время установления параметров сигнала менее  $100$  мкс. Амплитуда выходного сигнала составляет  $0.5$  В.

Синтезатор имеет универсальное назначение и может быть использован в составе диагностической аппаратуры на электрофизических установках ИЯФ, ЯМР томографии и т.д.

Научный руководитель – Е.И. Шубин

### ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ КРУГЛЫХ ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ

М.В. Васюта

Томский государственный университет

Совершенствование технологий производства предъявляет новые требования к методам диагностики и контроля качества материалов. Для этих целей часто используются методы, связанные с восстановлением параметров материалов по их электрофизическим свойствам.

В настоящей работе исследуется возможность применения отрезка круглого волновода с многослойным диэлектрическим заполнением в качестве устройства для измерения электрофизических свойств материалов.

В общем случае рассматривается многослойный регулярный круглый металлодиэлектрический волновод с произвольным количеством соосных слоев. Рассматриваемая модель допускает строгое решение внутренней электродинамической задачи при анализе эффектов взаимодействия электромагнитного поля с различными веществами.

При гармонических зависимостях электрического и магнитного полей в волноводе от продольной и азимутальной координат дифференциальные уравнения Максвелла в частных производных переходят в обыкновенные дифференциальные уравнения относительно продольных составляющих электрического и магнитного полей. Численно интегрируя эти уравнения, требуя непрерывности касательных составляющих полей на границах слоев и равенства нулю тангенциальных составляющих электрического поля на внешнем экране, получаем значение постоянной распространения при заданных материальных и геометрических параметрах волноводящей системы.

Указанным способом определены зависимости постоянной распространения от рабочей частоты, количества и параметров слоев. Проведенные расчеты показывают, что введение в круглый волновод дополнительных слоев приводит к существенному, по сравнению с однородным волноводом, увеличению зависимости постоянной распространения от диэлектрической проницаемости исследуемого материала в диапазоне частот, меньших частоты отсечки. При изменении параметров слоев и их количества имеются достаточно большие возможности выбора вида этой зависимости и ее полиномиального представления, что позволяет оптимизировать параметры волноводящей системы при исследовании электрофизических свойств конкретных материалов и сред.

Научный руководитель – ст. преп. А.А. Жуков

В настоящее время усилился интерес к рассеянию волн нелинейными элементами, которые при облучении электромагнитной волной обладают способностью генерировать спектральные составляющие, отсутствующие в спектре падающего излучения. В существующих ранее подходах использовались приближенные методы, основанные на расчете характеристик поля вблизи выделенных гармоник на основе использования теории возмущений [1].

В данной работе было сформулировано интегральное уравнение для определения рассеянного поля в произвольной нелинейной среде. В случае линейной среды с локализованной в ней нелинейностью уравнение сводится к виду, совпадающему по форме с уравнениями, используемыми в методе эквивалентных схем в электродинамике излучающих систем. Совместное использование временных и частотных представлений для тока и напряжения, наведенных на нелинейном элементе, при итерационном решении полученного уравнения позволяет проанализировать спектральный состав рассеянного поля. Установлено существенное, но различное для разных видов нелинейностей расширение спектра.

Обратная задача восстановления вольтамперной характеристики нелинейного элемента по измерениям рассеянного поля сводится к простому обращению полученных уравнений. Искомая вольтамперная зависимость находится при этом с точностью до константы, связанной с отсутствием в рассеянном поле составляющих на нулевой частоте. Значение этой константы восстанавливается из условия нормировки, соответствующего требованию пассивности нелинейности.

Результаты работы позволяют подойти к решению проблемы бесконтактной диагностики нелинейных свойств неоднородных сред различной природы, в том числе биологических тканей и искусственных радиоматериалов.

1. Нелинейные электромагнитные волны / Под ред. П.Усленги. -М.: Мир, 1983.-312 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.П. Якубов

Недорогой и достаточно точный (ожидаемая точность плюс-минус микрон) датчик измерения медленного перемещения грунта в вертикальном направлении, динамический диапазон 5 мм. В основе измерений датчика лежит изменение емкости в зависимости от уровня воды между электродами. Нам важно только относительное перемещение датчиков (а с ними и отдельных составляющих усилителя), поэтому датчики соединены между собой трубопроводом и работают по принципу "соединяющихся сосудов". При малейшем изменении положения одного из датчиков уровень воды в нем соответственно меняется, что сразу регистрируется по изменению емкости. В датчике всего три электрода: один в воде, два над водой. Между надводными электродами емкость не меняется и представляет собой опорную (известную и не меняющуюся). Электроды в датчике расположены таким образом, чтобы влияние изменения нашей емкости на опорную емкость свести к минимуму. При расчете датчика были получены значения измеряемой емкости от 1 до 4.5 пФ при изменении зазора между "надводным" электродом и водой от 1 до 9 мм (зазор между электродами = 10 мм). Максимальные габариты датчика 189\*121\*155 мм.

Научный руководитель – Ш.Р. Сингатулин

## РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

С.А. Яковлев

Томский государственный университет

Согласно теориям Дебая - Хюккеля и Дебая - Зака величина комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$  воды благодаря эффектам гидратации изменяется при введении в нее примесей. Существуют две области значительного изменения компонент диэлектрической проницаемости воды: низкочастотная, в которой наиболее успешно работают кондуктометрические методы и область сверхвысоких частот с аномальной дисперсией  $\epsilon^*$ , где находят применение радиофизические методы.

В основу предлагаемого метода положен нерегулярный микрополосковый резонатор, электродинамические характеристики