

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

72  
Д 548

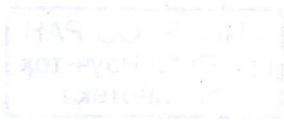


00975954

# ДНИ НАУКИ НГТУ-2011

МАТЕРИАЛЫ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Итоги научной работы студентов  
за 2010–2011 гг.)



НОВОСИБИРСК  
2011

## ИНЖЕКТОР ПЛАЗМЫ ДЛЯ БАЛАНСА ЧАСТИЦ НА УСТАНОВКЕ ГДЛ

На установке «Газодинамическая ловушка» (ГДЛ), находящейся в Институте ядерной физики, проводятся исследования, направленные на экспериментальное обоснование проекта мощного источника нейтронов дейтериево-тритиевой реакции. Такой источник предназначен для материаловедческих исследований по программе управляемого термоядерного синтеза, управления подкритическими ядерными реакторами и других приложений.

Одной из ключевых проблем создания нейтронного источника является разработка поддержания баланса частиц в горячей плазме. Традиционно для этой цели используются пеллет-инжекторы, которые представляют собой сложные и дорогостоящие устройства. Альтернативой могут послужить устройства, способные создавать плотные сгустки плазмы или атомов. Также сгустки должны инжектироваться поперек магнитного поля и энергия атомов (ионов) должна согласно расчетам лежать в диапазоне сотен электронвольт.

Подобное устройство разработано несколько лет назад и успешно используется на сферическом токамаке «Globus-м» (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург). Целью данной работы является адаптация данного устройства к задачам эксперимента на ГДЛ. Устройство представляет собой коаксиальную плазменную «пушку», способную инжектировать сгусток плазмы с плотностью  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и скоростью частиц 125 км/сек.

В рамках работы сконструирован и изготовлен импульсный генератор плазмы, разработана, смонтирована и запущена в эксплуатацию система импульсного питания с параметрами: 1)  $U_1 = 5 \text{ кВ}$  и  $I_1 = 15 \text{ кА}$  для генерации газа; 2)  $U_2 = 10 \text{ кВ}$  и  $I_2 = 70 \text{ кА}$  для ионизации газа; 3) длительность импульса  $\tau = 60 \text{ мкс}$ .

Адаптирован вакуумный стенд для испытания источников плазмы и измерения его параметров. Проведены первые измерения с помощью ленгмюровского зонда, целью которого являлась оценка плотности плазмы в сгустке и его динамических характеристик.

## ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННОГО СГУСТКА ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПЛАЗМЫ

Газодинамическая ловушка (ГДЛ) представляет собой аксиально-симметричный пробкотрон с большим пробочным отношением для удержания плазмы с термоядерными параметрами. Программа исследований на установке ГДЛ в основном ориентирована на физическое обоснование проекта мощного источника нейтронов для различных приложений: материаловедческих исследований, дожигания радиоактивных отходов, управления подкритическими реакторами деления и других целей. Для поддержания стационарной плотности плазмы в нейтронном источнике на основе ГДЛ необходимо компенсировать естественные потери частиц, связанные с течением плазмы через пробки.

Одним из простых методов поддержания вещества, осуществляемых на установке ГДЛ, является напуск холодного газа в области между пробками и областями останковки горячих ионов. Недостатком такого метода являются дополнительные потери энергии из плазмы, связанные с ионизацией частиц газа. Альтернативой может послужить устройство, способное создавать плотный сгусток плазмы или атомов и инжектировать сгусток поперек магнитного поля. Так как инжекция предполагается поперек магнитного поля, то согласно расчетам сгусток должен иметь достаточно большую плотность и энергию в диапазоне сотен электронвольт. В качестве такого устройства выбран источник плазмы, представляющий собой коаксиальную плазменную «пушку», способную инжектировать сгусток плазмы с плотностью  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и скоростью частиц 125 км/с.

Целью данной работы является адаптация подобного устройства к задачам эксперимента на ГДЛ, т. е. измерения параметров сгустка (плотность, энергия и т. д.).

Для постановки эксперимента создан вакуумный стенд для испытания источников плазмы и измерения его параметров. Первые измерения плотности плазменного сгустка проведены с помощью ленгмю-

ровского зонда, целью которого являлась оценка плотности плазмы в сгустке и его динамических характеристик. Полученный сгусток имеет плотность  $4,78 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Для проверки полученного результата и измерения энергии сгустка применяется трехзеркальный интерферометр, преимущество такого интерферометра – простота и высокая чувствительность.

## ДВУХКООРДИНАТНЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «КОСМОС»

В 2009 году метрологическая станция «Космос», работающая на накопителе ВЭПП-4, была оснащена двухкоординатным детектором, разработанным в ФИАН им. Лебедева на основе ПЗС «back-illuminated» матрицы. Детектор чувствителен в рабочем диапазоне станции (10-2000 эВ). В рамках метрологических методик, разрабатываемых на станции, двухкоординатный детектор является универсальным инструментом. На данный момент детектор используется для мониторинга пучка в ходе сканирования по спектру: позволяет контролировать его пространственные перемещения, морфологию, интенсивность, выход за пределы рабочей апертуры станции пучка СИ. Кроме мониторинга рабочего пучка СИ используется для проверки однородности зеркал и фильтров, а также для поиска и устранения бликов, появляющихся в результате несовершенства оптических элементов станции.

Для удобства выполнения данных задач и обработки информации, полученной с двухкоординатного детектора, было создано программное обеспечение, которое на данном этапе имеет ряд готовых инструментов для обработки информации: визуализация полученных данных, построение сечений рабочей области по пространственной координате и интенсивности сигнала, интегрирование интенсивности сигнала по заданной области, вычитание фоновых условий, построение трехмерной (две координаты и интенсивность) поверхности рабочей области.

Продемонстрированы результаты применения детектора в экспериментах по исследованию качества поверхности многослойных зеркал и кристаллов, измерению кривой качания кристаллов, калибровке различных детекторов.

## ОТРАБОТКА МЕТОДА САМОКАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОДИОДОВ

Рассматривается эксперимент по калибровке кремниевых фотодиодов AXUV-100 Al (пр-во IRD Inc., США) и ФДУК-100-УВ (пр-во ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия) в мягком рентгеновском диапазоне (80...1800 эВ) с использованием синхротронного излучения (СИ). Работа проводилась на метрологической станции Космос, использующей излучение из поворотного магнита накопителя ВЭПП-4 (ИЯФ СО РАН). Калибровка проводилась методом эталонного детектора, комбинированного с методом самокалибровки. Использование комбинированной методики позволяет улучшить точность калибровки вблизи краев поглощения некоторых элементов (алюминий, бор, кислород, кремний, углерод), входящих в состав пассивирующих и защитных слоев на поверхности калибруемых детекторов и оптических элементов системы монохроматизации. В качестве эталонного детектора использован кремниевый фотодиод ФДУК-100-УВ, предварительно прокалиброванный в национальном метрологическом центре Германии РТВ (Physikalisch-Technische Bundesanstalt). В ходе калибровки из «белого» пучка СИ с помощью многослойных зеркал выделялось монохроматическое излучение. Мягкая компонента СИ, отраженная от поверхности многослойных зеркал в результате полного внешнего отражения, подавлялась фильтрами. Как ожидается, методика позволит провести непрерывную спектральную калибровку в заявленном диапазоне энергий фотонов с точностью не более 3 %. В докладе приведены предварительные результаты, полученные в ходе отработки методики на детекторе AXUV-100 Al вблизи К-краев поглощения кислорода и алюминия.

## КРЕМНИЕВЫЕ ФОТОУМНОЖИТЕЛИ ДЛЯ ПРОТОТИПА ДЕТЕКТОРА FARICH

Для идентификации частиц в будущих экспериментах на международной супер *B* фабрике в Италии и тау-чарм фабрике в Новосибирске разрабатываются детекторы черенковских колец на основе фокусирующего аэрогеля.

В настоящее время в ИЯФ создается прототип детектора черенковских колец на основе фокусирующего аэрогеля, который планируется испытать на пучке электронов, выведенном из ускорителя ВЭПП-4.

Для первой очереди прототипа FARICH в качестве фотодетекторов были выбраны многопиксельные лавинные фотодиоды на основе структуры металл-резистор-полупроводник СРТА-АРД 149-35 (кремниевые ФЭУ или КФЭУ).

Была разработана методика и создан стенд для измерения основных параметров многопиксельных лавинных фотодиодов.

Проведена проверка работоспособности и измерение основных параметров разных экземпляров КФЭУ. При напряжении обратного смещения 40V усиление составило  $1,3 \cdot 10^5 \dots 3,3 \cdot 10^5$ , частота собственных шумов 3...12 МГц, относительная эффективность регистрации света – 90 % от максимальной. Были протестированы все фотоприемники, приобретенные для прототипа FARICH.

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДИПОЛЬНЫХ И КВАДРУПОЛЬНЫХ ОШИБОК В НАКОПИТЕЛЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Существует проблема определения точной линейной оптической модели накопителя заряженных частиц, которая включает в себя задачу определения магнитных полей вдоль замкнутой орбиты пучка. Неизвестными параметрами являются малые поправки к силам отклоняющих и фокусирующих элементов накопителя, т. е. дипольные и квадрупольные ошибки магнитного поля. В данной работе разработана методика локализации этих ошибок на основе пучковых измерений.

Для локализации дипольных ошибок используются измерения замкнутой орбиты пучка. Далее нескорректированная замкнутая орбита рассматривается как свободное бетатронное колебание с соответствующими действием и фазой, которые могут быть определены, зная положение пучка на двух соседних датчиках. Действие и фаза, рассчитанные таким образом, должны испытывать скачок в том месте, где локализована дипольная ошибка.

В случае квадрупольных ошибок аналогом измерения орбиты является измерение бетатронной функции в квадрупольной линзе (по смещению частоты бетатронных колебаний при малом изменении силы квадруполья). При этом аналогом действия и фазы будут параметры Твисса в начале структуры: их можно определить, измерив бетатронные функции в двух соседних квадрупольях.

Метод наименьших квадратов позволяет использовать измерения более чем от пары соседних датчиков положения пучка или квадрупольей. Это дает возможность бороться с шумами измерений, жертвуя точностью локализации ошибок.

## ЭТАЛОННЫЙ КРИОГЕННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «КОСМОС»

Проводились работы по изучению свойств и принципов работы абсолютного измерителя мощности синхротронного излучения (АИМСИ) в мягком рентгеновском диапазоне 80 эВ...3 кэВ, а также ремонт с последующим запуском. В настоящее время мировое радиометрическое сообщество для подобного рода измерений обычно использует абсолютные радиометры с приемником полостного типа, охлаждаемым жидким гелием. Такие радиометры имеют существенный недостаток – большую инерционность (десятки секунд). Разработанный макет АИМСИ имеет улучшенные временные характеристики – тепловая постоянная времени 0,27 секунды, которая может быть уменьшена в несколько раз за счет использования активной отрицательной электротепловой обратной связи. Охлаждение жидким азотом упрощает и удешевляет его конструкцию и эксплуатацию. Измеритель выполнен на основе высокотемпературного сверхпроводникового болометра с электрическим замещением мощности. Для повышения чувствительности АИМСИ предусмотрена возможность работы прибора в режиме синхронного детектирования, при котором на пучок СИ устанавливается механический модулятор с частотой 10 Гц. Испытания АИМСИ проводились на станции синхротронного излучения «Космос» на накопителе ВЭПП-4М Института ядерной физики СО РАН. Минимальная измеренная мощность составила 3,2 мкВт. Анализ основных факторов, влияющих на точность измерений, показывают реальную возможность достижения точности 1 % при измерении мощности потока СИ около 1 мкВт в указанном спектральном диапазоне.

---

Научный руководитель *А.Д. Николенко*, научн. сотр.