|  |
| --- |
| МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ |
| Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования |
| **«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»** |
| **Саровский физико-технический институт-филиал НИЯУ МИФИ** |

**Физико-технический факультет**

**Кафедра квантовой электроники**

**Г.С. Рогожников**

**Практикум на ЭВМ. Автоматизация научных исследований.**

для студентов,

обучающихся по направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика»

УТВЕРЖДЕНО:

Заседанием кафедры КЭ,

зав кафедрой КЭ, д.ф-м.н.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.Ф.Стариков

Научно-методическим советом СарФТИ, профессор, д.ф.н.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.П.Скрыпник

Саров

2021 г.

**Рогожников Г.С.**

Практикум на ЭВМ. Автоматизация научных исследований: Пособие для высших учебных заведений. – Саров, 2021. – 16 стр.

Пособие содержит материалы, необходимые для успешного выполнения лабораторных работ в рамках изучения курса «Практикум на ЭВМ». Информация приведена в контексте решения задач в области физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений и ядерной физики, что может быть полезным для студентов кафедр «Квантовая электроника», «Экспериментальная физика», а также «Ядерная и радиационная физика» в процессе изучения спецкурсов и НИРС.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……………………………………………………………..4

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ……………………………………..……8

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ…..………………………………..14

ЛИТЕРАТУРА …………………………………………………………16

**ВВЕДЕНИЕ**

Курс лабораторных работ «Пракикум на ЭВМ» рассчитан на студентов, обучающихся по направлению «Прикладные математика и физика», в частности кафедр «Квантовая электроника», «Экспериментальная физика», «Ядерная и радиационная физика». Данный практикум является логическим продолжением дисциплины «Прикладные физико-технические и компьютерные методы исследований» и раскрывает, после изучения процесса разработки электронных устройств на базе программируемых микроконтроллеров, следующий аспект автоматизации физического эксперимента – создание алгоритмов и программ управления физическими установками и моделирования физических процессов. Для того, чтобы полученные знания и навыки были максимально полезны для дальнейшей работы по специальности, решаемые в ходе курса задачи связаны непосредственно с физикой высоких плотностей энергий и направленных потоков излучений, а также ядерной физикой. Лабораторный практикум требует навыков программирования, использования численных методов и теории вероятностей, полученных за время обучения на 1-3 курсах бакалавриата.

Исследование или эксперимент - это процедура, выполняемая для поддержки, опровержения или подтверждения гипотезы или теории. Физический эксперимент — способ познания природы, заключающийся в изучении природных явлений в специально созданных условиях. В отличие от теоретической физики, которая исследует математические модели природы, физический эксперимент призван исследовать саму природу. Для проведения большинства физических экспериментов необходимо оборудование, которое служит передаточным звеном между человеком (экспериментатором) и объектом исследования. Стремительное развитие науки и накопление научно-технической информации о строении нашего мира и взаимосвязях его составляющих каждый раз требует существенного усложнения задач и условий эксперимента. В таком случае не приходится говорить об одном или нескольких приборах, необходимых для процесса исследования, речь идет о комплексах различного оборудования. Такие комплексы, позволяющие получать информацию о свойствах и поведении исследуемого объекта, влиять на сам объект, а также анализировать и принимать решения называются исследовательскими или экспериментальными установками.

В ядерной и радиационной физике используются исследовательские ядерные установки (ИЯУ). К таковым, например, можно отнести исследовательский ядерный реактор. Под исследовательским реактором подразумевается ядерный реактор, предназначенный главным образом для получения и использования нейтронов и ионизирующего излучения в исследовательских и других целях, для чего на нем могут применяться экспериментальные устройства. Также различают критические и подкритические стенды. Критический стенд- это сборка ядерного реактора, геометрические и физические свойства которой позволяют осуществлять управляемую цепную реакцию деления ядер в заданных условиях. Критическая сборка отличается незначительной мощностью (обычно максимум несколько киловатт), не требующей специально организованного теплоотвода. Критическая сборка не должна содержать продуктов деления в количествах, опасных для персонала и населения. Подкритический стенд - это устройство для проведения экспериментальных исследований, содержащее размножающую нейтроны среду, состав и геометрия которой обеспечивает затухание цепной реакции в отсутствии посторонних источников нейтронов. В подкритической сборке не должна осуществляться самоподдерживающаяся цепная реакция деления и, соответственно, при любых событиях не должны накапливаться продукты деления в количествах, опасных для персонала и населения.

В экспериментальной электрофизике используются исследовательские электрофизические установки (ИЭУ). Электрофизическими установками могут называться экспериментальные генераторы магнитных полей, электрических полей и импульсов тока, электромагнитного излучения и т.п. Взрывомагнитные генераторы переводят энергию взрывчатого вещества в энергию магнитного поля путем быстрого уменьшения индуктивности контура с током за счет сближения с помощью взрыва прямого и обратного проводников. Электростатический генератор - устройство, в котором высокое постоянное напряжение (до нескольких MB) создаётся при помощи переноса электростатических зарядов и их накопления на электродах. Генераторы электромагнитного излучения разнообразны в силу освоения большой части диапазона длин волн – от гамма и рентгеновского излучения до СВЧ и радиоволн.

В физике лазеров и квантовой электронике используются исследовательские лазерные установки (ИЛУ). К таковым относятся, например, моделирующие установки, позволяющие исследовать процессы термоядерного синтеза (слияния) легких ядер. Установки изучения процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом позволяют получать данные для уравнений состояния вещества (УРС), наблюдать за его поведением в экстремальных состояниях. Распространены установки-генераторы когерентного электромагнитного излучения с уникальными характеристиками, например со сверх узким или сверх широким спектром генерации, ультракороткой длительностью импульсов, специфическими пространственными и временными характеристиками. Существуют установки передачи когерентного электромагнитного излучения в свободном пространстве.

Все перечисленные виды установок занимают много места – от комнат до зданий и комплексов зданий. Их обслуживание, а также проведение работ, требует большое количество персонала. Сложность обслуживания и необходимость контроля одновременно большого количества параметров обуславливает необходимость автоматизации. Автоматизированные системы управления состоят из аппаратных средств – датчиков, управляющих устройств, линий связи, интерфейсов, преобразователей, устройств обработки информации, - программных средств, а также персонала. От того, насколько в программном обеспечении АСУ учтены все нюансы функционирования установки, возможности выхода из строя и возникновения угрозы человеку или окружающей среде, зависит результативность и работоспособность установки.

В ходе курса «Практикум на ЭВМ» необходимо будет смоделировать работу исследовательских установок, имеющих реальные прототипы, составить алгоритмы управления данными установками и написать ПО, которое способно автоматизировать исследовательский процесс и контролировать его параметры.

При разборе условий заданий могут возникнуть вопросы, связанные с недостаточностью предоставленных исходных данных. Это сделано намеренно для привлечения в процесс решения задачи практического опыта, опыта поиска научно-технической информации в открытых источниках и логического и критического подхода к осмыслению информации.

**ЧАСТЬ 1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

**Задача №1. Исследовательский ядерный реактор.**

В состав установки исследовательского ядерного реактора входят активная зона с ядерным топливом, отражатель нейтронов, окружающий активную зону, теплоноситель, система регулирования цепной реакции, в том числе аварийная защита, радиационная защита, система дистанционного управления.

Исследовательский процесс начинается с заправки реактора. Перегрузочная машина извлекает тепловыделяющие сборки (ТВС) из колодца перегрузки и отправляет в активную зону. На установку одной ТВС уходит 30 минут. Активная зона разделена на 5 ячеек. Максимальная выходная мощность реактора составляет 120 кВт. Затем реактор выводится на минимально контролируемый уровень мощности — менее 1 % номинальной. Запускается самоподдерживающаяся цепная реакция деления урана.

Для управления ядерной реакцией используют регулирующие стержни (3 шт). В стержнях содержится карбид бора — вещество, хорошо поглощающее нейтроны, при глубоком введении стержней цепная реакция становится невозможной. Введение стержней в ТВС приводит к затуханию реакции, а уменьшение — к увеличению мощности реактора. Вероятность заклинивания механизма плавного ввода и вывода одного стержня – 0.05%.

На случай непредвиденного катастрофического развития цепной реакции, а также возникновения других аварийных режимов, связанных с энерговыделением в активной зоне, в реакторе предусмотрено экстренное прекращение цепной реакции, осуществляемое сбрасыванием в активную зону специального аварийного стержня. Аварийный стержень изготовлен из поглощающего нейтроны материала. Он сбрасываются под действием силы тяжести в центральную часть активной зоны, где поток наибольший, а значит, и наиболее велика отрицательная реактивность, вносимая в реактор стержнем.

Разогрев за счет реакции деления на 1 % номинальной мощности настолько невелик, что реактор охлаждается за счет естественного рассеяния. При этом он находится в критическом состоянии: можно проводить физические испытания и эксперименты. Температура теплоносителя выключенного реактора – 25-35 оС. При работе на уровне 1% номинальной мощности 45-40 оС.

Для остановки реактора на пункте управления сбрасывают все поглощающие стержни. Реакция должна остановиться за четыре секунды. Вероятность отказа механизма сброса одного стержня – 0.01%.

тепловыделяющая сборка

бериллиевый блок

экспериментальное устройство

регулирующий стержень

аварийный стержень

Рисунок 1. Схема активной зоны исследовательского ядерного реактора.

**Ваша задача** – разработать алгоритм работы системы дистанционного управления реактором – от процесса загрузки стержней по команде с возможностью экстренной остановки, до выведения в рабочий режим с мощностью менее 1% номинальной, работы и остановки реактора. Реализуйте алгоритм на одном из изученных вами языков программирования. Для ускорения процесса демонстрации программы примите, что 1 реальная минута = 1 секунда работы программы.

**Задача №2. СВЧ-плазматрон**

СВЧ-плазматрон служит для генерации низкотемпературной неравновесной плазмы при воздействии сверхвысокочастотного излучения на различные газы. Установка состоит из генератора СВЧ на основе магнетрона, коаксиального четвертьволнового резонатора, системы напуска газов, системы откачки газов, плазменной камеры, системы регистрации параметров плазмы и дистанционной системы управления.

К системе откачки газов

Система напуска газов

Плазменная камера

Коаксиальный резонатор

Область образования плазмы

Датчики системы регистрации

Рисунок 2. Схема исследовательской установки СВЧ-плазматрона

В системе напуска газов находятся баллоны с газами. Количество баллонов – 3, в одном – азот, в другом – кислород, в последнем – ксенон. Каждый баллон снабжен натекателем (прецизионным вентилем) 0-0.1 л/c с возможностью электронного управления со скоростью 10% диапазона в секунду. Система откачки газов также управляется электроникой и обеспечивает вакуум в регулируемом диапазоне 0.5 – 10 Торр. Генератор СВЧ работает на частоте 2.45 ГГц, 2А и имеет возможность дистанционного переключения выходной мощности в режимах 500 Вт, 850 Вт, 1000 Вт, 1200 Вт. Излучение от генератора поступает по кабелю в коаксиальный четвертьволновой резонатор, представляющий собой полый латунный цилиндр с размерами, позволяющими создать между передней и задней стенкой стоячую волну. СВЧ колебания поступают на штыревую антенну, расположенную внутри резонатора в месте пучности стоячей волны. Через ось резонатора проходит плазменная камера – кварцевая трубка внутренним диаметром 10 мм. С одной стороны камера соединена с системой напуска газов, с другой – с системой откачки газов. Электромагнитное излучение ионизирует газ, поступающий из баллонов, и на выходе резонатора наблюдается свечение газовой плазмы. Эффективная передача энергии от СВЧ генератора молекулам газа происходит в соответствии с законом Пашена. В области свечения плазмы расположены датчики системы регистрации параметров плазмы, измеряющие температуру плазмы на выходе из резонатора, а также спектр свечения плазмы. Температура газа на выходе из резонатора может быть вычислена по эмпирическим формулам в зависимости от мощности СВЧ-излучения: T≈0.75\*W для азота, T≈0.62\*W для кислорода и T≈0.44\*W для ксенона.

**Ваша задача** – разработать алгоритм дистанционного управления установкой – от запуска с установкой начальных параметров- вида газа, откачки и напуска, до измерения параметров плазмы. В каждый момент времени (=1 c) необходимо знать энерговклад (E [Дж/ммоль]) в плазму и расчетную температуру. Предусмотрите возможность того, что баллоны в системе могут быть перепутаны местами (вероятность 20%) и необходимо автоматически перестроить систему на работу с настоящим газом.

Реализуйте алгоритм на одном из изученных вами языков программирования.

**Задача №3. Устройство автоматической юстировки**

Устройство автоматической юстировки служит для выравнивания положения лазерного пучка в пространстве при помощи определенного алгоритма для попадания в заданную точку.

Источник лазерного излучения

Зеркало в моторизированной оправе

Зеркало в моторизированной оправе

Делительная пластина

CCD - камера

Диафрагма

Рисунок 3. Установка для исследования возможностей автоматической юстировки

Установка состоит из источника непрерывного лазерного излучения (диаметр пучка 0.5 мм), двух зеркал в моторизированных управляемых дистанционно оправах, способных заклонять закрепленные в них зеркала в вертикальной и горизонтальной плоскостях, делительной пластины, пропускающей 50% излучения в направлении диафрагмы диаметром 1 мм и толщиной 2 мм, в которую надо попасть, и 50% (под углом 45о) в направлении CCD-камеры с диаметром фотоприемной матрицы 50 мм. Выходная апертура источника лазерного излучения и плоскость диафрагмы расположены параллельно друг другу. В положении оптических элементов как показано на рисунке лазерный луч проходит через середину диафрагмы и попадает в центр фотоприемной матрицы CCD-камеры.

**Ваша задача** – разработать алгоритм работы системы дистанционного управления устройством автоматической юстировки. При старте эксперимента углы заклона зеркал выбираются случайным образом в диапазоне 42-47о как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. Итерационным методом попытайтесь попасть лазерным пучком в диафрагму так, чтобы он полностью прошел ее насквозь. Реализуйте алгоритм на одном из изученных вами языков программирования.

**ЧАСТЬ 2. САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ.**

**Задача №1.** Необходимо провести исследование на размножающей системе, состоящей из двух полушаров диаметром 100 мм, выполненных из металлического плутония. Полушары расположены на стапеле, нижний полушар неподвижен и ориентирован срезом вверх, верхний полушар подвешен на тросе автоматизированной лебедки срезом вниз. Рядом с нижним полушаром находятся датчики измерения температуры и потока нейтронов. Критичный зазор между полушарами - Hкр. Разработайте алгоритм и напишите программу проведения экспериментов по изучению влияния температурного разогрева размножающей системы на изменение величины Hкр. Вероятность заклинивания лебедки – 0.1%, вероятность срыва верхнего полушара – 0.05%, вероятность неупругого столкновения полушаров при срыве верхнего – 15%.

**Задача №2.**  Необходимо провести исследование на установке спирального взрывомагнитного генератора (СВМГ). СВМГ состоит из усеченного конического соленоида длиной 500 мм, D1=50 мм, D2=100 мм, подключенного к нагрузке с R=1 МОм, внутри которого находится металлическая трубка (лайнер) диаметром 50 мм. Лайнер заполнен взрывчатым веществом. Соленоид подключен к источнику тока I=10 А, U=380 В. При подрыве взрывчатого вещества диаметр лайнера начнет увеличиваться по закону d1(t)=2.25\*d0\*t (для конкретного ВВ), замыкая поочередно витки соленоида, тем самым, уменьшая его индуктивность. В соответствии с правилом Ленца, магнитный поток Ф стремится сохраниться неизменным, что при уменьшении индуктивности соленоида возможно только за счет увеличения напряженности магнитного поля. Разработайте алгоритм и напишите программу проведения экспериментов по изучению напряженности магнитного поля. Вероятность подрыва ВВ 95%, вероятность симметричного расширения лайнера 80%.

**Задача №3.** Необходимо провести исследование на лазерной установке по генерации второй гармоники излучения с длиной волны 1.03 нм и длительностью импульса 5 нс в кристалле BBO (бета-борат бария). Угол синхронизма принять 23.4о. Значение энергии в импульсе изменяется случайным образом в пределах 0.5±0.1 Дж, частота следования импульсов 2 Гц, погрешность выставления угла, под которым излучение падает на кристалл – 1%. Разработайте алгоритм и напишите программу проведения экспериментов по изучению зависимости эффективности преобразования излучения во вторую гармонику в зависимости от расстройки угла синхронизма.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Физический пуск АЭС // Страна Росатом, 26.01.2018.
2. Гриневич Б.Е., Дудай П.В., Ивановский А.В. и др. Дисковые взрывомагнитные генераторы энергии малого класса // Прикладная механика и техническая физика, 2015, т.56, №1.
3. Кузнецов В.М. Безопасность ядерных исследовательских установок российской федерации <http://www.seu.ru/programs/atomsafe/books/Kuznecov/Doclad3.htm>
4. Кучер Д.Б., Тараненко С.В. и др. Особенности генерирования мощных электромагнитных помех спиральным взрывомагнитным генератором // Системы обработки информации, 2009, вып. 4 (78).
5. Вайвод А.А., Бесов С.С. и др. Оценка температурного эффекта реактивности в компактных плутониевых системах // Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика ядерных реакторов, 2019, № 4.