

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт	Физико-технический институт
Специальность	Радиационная безопасность человека и окружающей среды
Кафедра	Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Моделирование интерферометра синхротронного излучения в пакете SRW»

УДК 621.384.66:681.787.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер каф. ПФ	Новокшенов Артём Игоревич			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.-м.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Асс. каф. ПФ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вагнер Александр Рудольфович	к.ф.-м.н.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт
Направление подготовки (специальность)
Кафедра

Физико-технический институт
Радиационная безопасность человека и
окружающей среды
Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ Вагнер А.Р.
(Дата)

**ЗАДАНИЕ
бакалаврской работы**

В форме:

Бакалаврская работа

Студенту:

Группа	ФИО
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович

Тема работы:

«Моделирование интерферометра синхротронного излучения в пакете SRW»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14.06.16

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Объектом исследования является интерферометр синхротронного излучения, позволяющий измерить поперечные размеры пучка электронов, а так же пакет для моделирования синхротронного излучения - Synchrotron Radiation Workshop (SRW).</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<i>Обзор литературы по таким тематикам как: измерение поперечного профиля пучка заряженных частиц, синхротронное излучение, интерферометр синхротронного излучения. Основной задачей было моделирование интерферометра синхротронного излучения в пакете SRW, предназначенного для измерения поперечного профиля пучка электронов</i>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Наталья Владимировна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер каф. ПФ	Новокшенов Артём Игоревич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность окружающей среды

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
--	-------------------------------

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График проведения и бюджет НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	– вредных проявлений факторов производственной среды: состояние микроклимата, освещение, ионизирующие излучения, шум, вибрация; – опасных проявлений факторов производственной среды: термического характера, электрической и пожарной природы.
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</i>	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требования охраны труда при работе с ПЭВМ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты

	(коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2A	Вавилов Андрей Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: страниц - 67, рисунков - 29, таблиц - 11, источников - 31.

Ключевые слова: интерферометр, ускоритель, синхротронное излучение, поперечный профиль пучка электронов.

Актуальность работы продиктована современными требованиями к качеству ускорителей, которые планируется использовать как источники синхротронного излучения нового поколения.

В ходе выполнения работы был изучен метод измерения поперечного профиля пучка заряженных частиц путем измерения и анализа интерферограммы его синхротронного излучения. Так же был промоделирован интерферометр синхротронного излучения - прибор, позволяющий измерять таким образом поперечные размеры пучка. Моделирование производилось в пакете Synchrotron Radiation Workshop (SRW). Результаты моделирования двух-щелевого и четырёх-щелевого интерферометров приведены в данном отчете.

Моделирование производилось для параметров синхротронного излучения накопительного кольца PETRA III, расположенного в научно-исследовательском центре DESY, г. Гамбург, где в дальнейшем планируется установка такого интерферометра.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1. Синхротрон.....	11
1.2. Синхротронное излучение.....	15
1.2.1. Синхротронное излучение в поворотном магните.....	15
1.2.2. Синхротронное излучения в ондуляторах и вигглерах.	18
1.3. Интерферометр синхротронного излучения.....	20
1.4. Пакет моделирования Synchrotron Radiation Workshop (SRW)	24
2. ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	28
2.1. Накопительное кольцо Petra III.....	28
2.2. Теоретические оценки	30
3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА	31
3.1. Двух-щелевой интерферометр.	31
3.2. Четырёх-щелевой интерферометр	34
3.3. Сравнение результатов	36
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	37
4.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	38
4.2. Требования к организации рабочего места при работе на ПЭВМ.....	39
4.3. Безопасные условия работы	41
4.3.1. Состояние воздушной среды.....	42
4.3.2. Освещенность	43
4.3.3. Шум и вибрация	45
4.3.4. Электробезопасность	46
4.3.5. Пожарная и взрывная безопасность	49
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	52
5.1. Структура работ в рамках научного исследования	53
5.2. Определение трудоёмкости выполнения работ.....	55
5.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	56
5.4. Основная заработная плата исполнителей темы	58
5.5. Дополнительная заработная плата.....	60
5.6. Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	60
5.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
ВЫВОДЫ.....	62
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН-ГРАФИК НИОКР	1

ВВЕДЕНИЕ

Все ускорители заряженных частиц можно разделить на два типа – линейные и циклические. В линейных ускорителях пучок заряженных частиц однократно пролетает ускоряющую структуру и выводится из ускорителя. В циклических – частицы движутся по замкнутой траектории какое-то время, и при достижении определённых значений параметров (энергии, скорости и т.п.), выводятся из ускорителя.

Широкое применение ускорителей электронов с разной энергией в различных областях определяет необходимость диагностики параметров пучка. Воздействия различных фоновых возмущений, а также неидеальность самих ускорителей приводит к тому, что движение пучка частиц в реальном ускорителе может отличаться от расчётного, поэтому возникает необходимость постоянного контроля параметров пучка. Одним из таких важных параметров является поперечный профиль пучка.

Важным моментом для циклических ускорителей является образующееся синхротронное излучение. Природа синхротронного излучения (СИ) связана с испусканием электромагнитных волн ускоренно движущимся зарядом. Как известно, в циклическом электронном ускорителе заряд движется по окружности. Траектория движения заряда определяется магнитным полем. В этих условиях релятивистский электрон, обладая большим центростремительным ускорением, становится источником мощного электромагнитного излучения.

В данной работе рассмотрен один из способов применения СИ для диагностики поперечного профиля пучка электронов с помощью интерферометра СИ.

Процесс моделирования играет важную роль в создании различных установок, конструкций, сооружений и прочих систем. Каждая система представляет собой взаимосвязь элементов. Её сложность заключается не

столько в количестве этих элементов, сколько в их способности взаимодействовать (влиять друг на друга) с течением времени. Построение концептуальной модели помогает выявить взаимосвязи между элементами, а симуляция числовых показателей в количественной модели системной динамики поможет увидеть проблему в её развитии. Моделирование позволяет избежать ошибок и лишних затрат на их устранение, выбрать и заранее просчитать нужные варианты и оценить в конечном счёте с полученным результатом. [1]

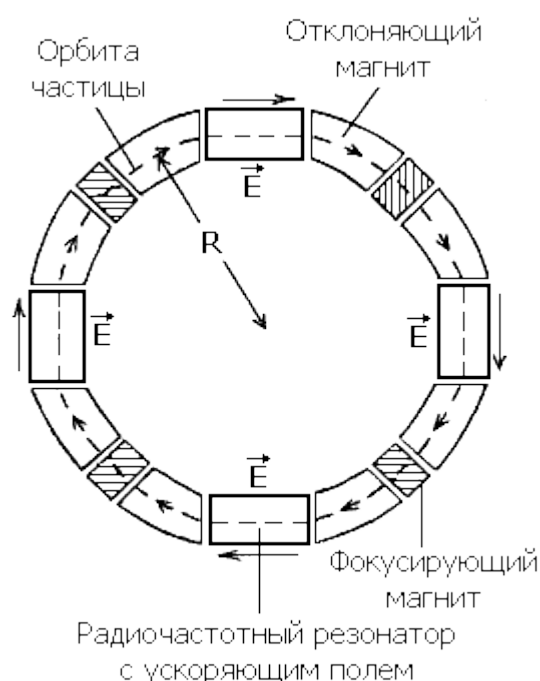
Целью данной работы было изучение метода измерения поперечного профиля пучка электронов по синхротронному излучению. Для чего было проведено ознакомление с пакетом моделирования SRW и в дальнейшем моделирование в нём интерферометра СИ, предназначенного для этой цели.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Синхротрон

Синхротрон – кольцевой циклический ускоритель заряженных частиц, в котором частицы двигаются по орбите неизменного радиуса за счёт того, что темп нарастания их энергии в ускоряющих промежутках синхронизован со скоростью нарастания магнитного поля на орбите (отсюда и название излучения – синхротронное). Он позволяет ускорять как лёгкие заряженные частицы (электроны, позитроны), так и тяжёлые (протоны, антипротоны, ионы) до самых больших энергий.

В синхротронах (рис. 1) магнитное поле переменное и частицы двигаются по одной и той же замкнутой траектории, многократно проходя прямолинейные промежутки с ускоряющим электрическим полем радиочастотного диапазона. Частицы, увеличивающие свою энергию, удерживаются на фиксированной орбите с помощью нарастающего поля мощных



отклоняющих (в том числе и сверхпроводящих) кольцевых магнитов.

Рисунок 1 - Схема синхротрона

Для удержания частиц на орбите постоянного радиуса темп нарастания поля синхронизован с темпом нарастания энергии частиц (отсюда происходит название этого типа ускорителя). По достижении максимального магнитного поля ускоренные частицы либо направляются на неподвижную мишень, либо (в коллайдерах) сталкиваются со встречным пучком, после чего цикл ускорения повторяется. В синхротронах есть два типа чередующихся кольцевых магнитов: отклоняющие двухполюсные (дипольные), удерживающие частицы на орбите, и фокусирующие четырёхполюсные

(квадрупольные). Последние фокусируют частицы (как линзы свет), собирая их в узкий пучок, циркулирующий в вакуумной камере.

Когда скорость частицы близка к скорости света, соотношение между кинетической энергией частицы E и радиусом траектории R имеет в системе СИ вид:

$$E = cqHR \quad (1.1)$$

где H – величина напряженности магнитного поля, а q – заряд частицы. Поэтому максимально достижимая энергия частицы пропорциональна радиусу траектории и величине магнитного поля. Сократить размеры установки можно, увеличивая величину поля, а она ограничена эффектом насыщения металла (обычно, железа), используемого в качестве материала сердечника электромагнита. В самых современных ускорителях, в этой связи, используются электромагниты с катушкой из сверхпроводящего материала, работающие при температуре жидкого гелия.

На рисунке 2 приведены основные конструктивные элементы синхротрона.

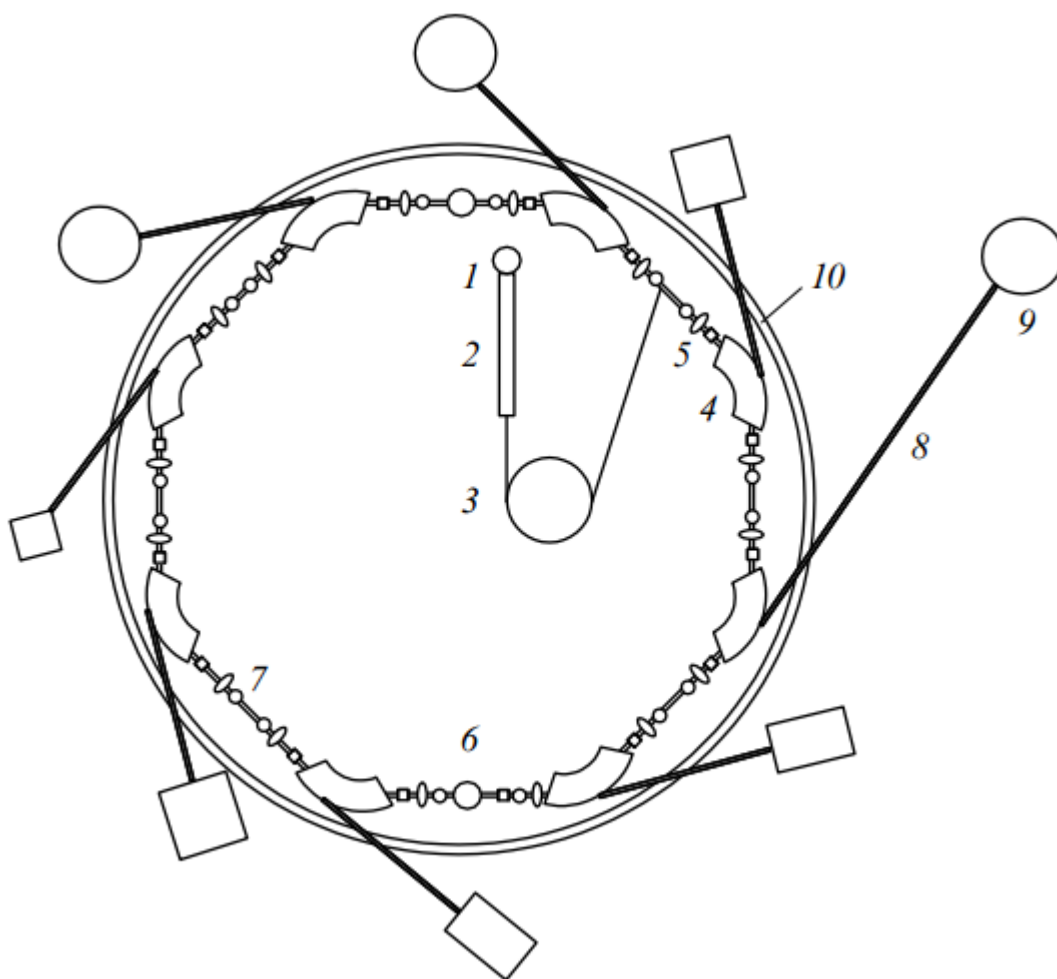


Рисунок 2 – Устройство синхротрона

(1 – электронная пушка, 2 – линак, 3 – бустер, 4 – поворотный магнит, 5 – система магнитных линз, 6 – радиочастотный резонатор, 7 – линейный участок камеры для размещения вставных магнитных устройств, 8 – канал СИ, 9 - экспериментальная станция, 10 – бетонная защита)

Термоэмиссионный источник (катод, нагретый до порядка 1000 °С) испускает электроны в линейный предускоритель.

Линак (“linac”) – линейный предускоритель разгоняет электроны до энергии в несколько сотен МэВ. На выходе ультрарелятивистские электроны попадают в бустер.

Кольцевой предускоритель (“booster”) разгоняет электроны с энергиями сотни МэВ до рабочей энергии (несколько ГэВ). После завершения цикла ускорения направляет в основное кольцо.

Накопительное кольцо является ускорителем лёгких заряженных частиц (электронов и позитронов). Ультрарелятивистские частицы перемещаются по замкнутой траектории с скоростью, близкой к скорости

света, испуская при этом интенсивные потоки гамма-излучения. Потери энергии на синхротронное излучение возмещаются специальной электромагнитной системой – радиочастотным резонатором. Накопительное кольцо предназначено для поддержания стационарного режима движения частиц. Длина орбиты может составлять от нескольких сотен метров до нескольких километров. [6]

Система поворотных магнитов задаёт замкнутую круговую орбиту движения частиц. Они же являются основным источником синхротронного излучения. Более подробно об этом рассмотрено в пункте 1.2.1. На участках между поворотными магнитами пучок движется прямолинейно.

Система магнитных линз служит для фокусировки пучка.

Радиочастотный резонатор – электромагнитная система возмещающая потери энергии частиц из-за испускания СИ.

Вставные магнитные устройства такие как вигглер и ондулятор, размещаются в прямолинейных участках камеры между поворотными магнитами (рис. 3), которые не являются обязательными, но также служат для получения синхротронного излучения. О том, как образуется СИ в этих устройствах, рассмотрено в пункте 1.2.2.

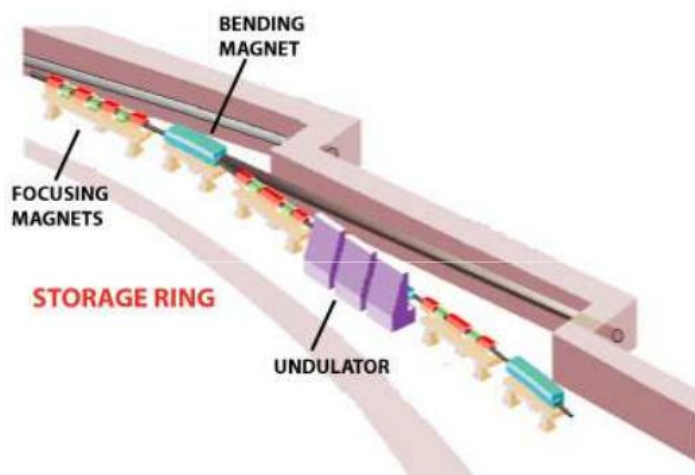


Рисунок 3 – Наглядная схема размещения вставных устройств

Каналы СИ (рис. 4) выводят синхротронное излучение к пользовательским экспериментальным станциям, которых на синхротроне может располагаться по несколько десятков. [4]

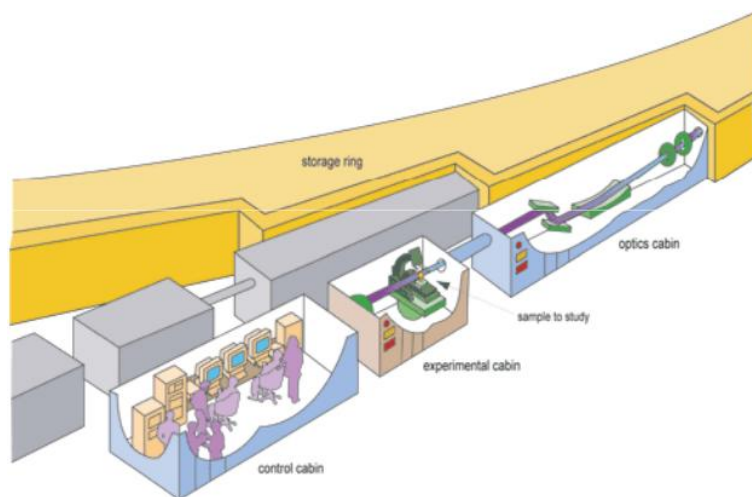


Рисунок 4 - Каналы синхротронного излучения

1.2. Синхротронное излучение

Синхротронное (или магнитормозное) излучение (СИ) – это электромагнитное излучение, испускаемое заряженными частицами, движущимися с релятивистскими скоростями по траекториям, искривлённым магнитным полем. [2]

1.2.1. Синхротронное излучение в поворотном магните.

Поворотный магнит в синхротроне служит для изменения направления движения потока электронов. СИ возникает вследствие ускорения заряженной частицы, испытываемой ею при движении в магнитном поле (рис. 5).

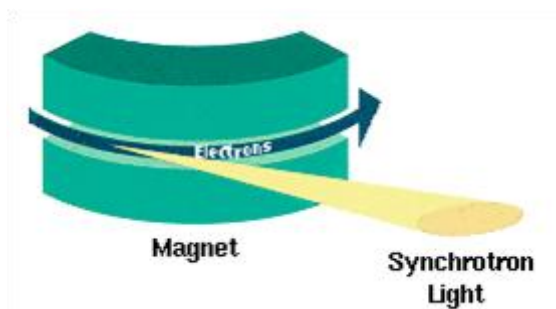
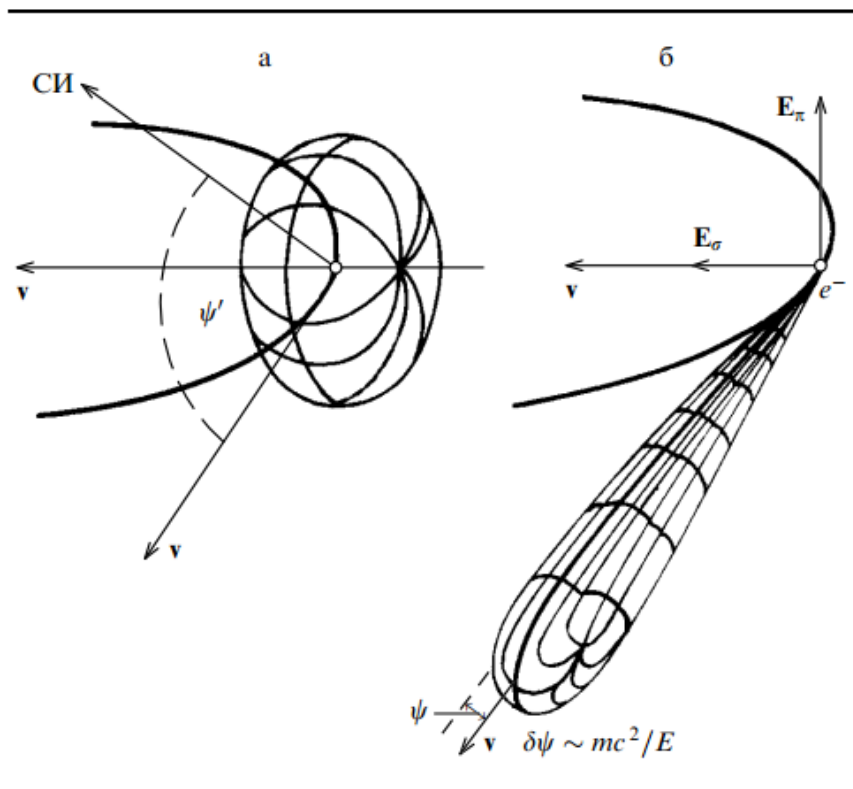


Рисунок 5 - Механизм СИ в поворотном магните

Пространственное распределение мощности излучения нерелятивистского электрона можно описать тороидом (рис. 6), причём максимум излучения достигается в направлении внешнего магнитного поля,

когда угол ψ' приближается к значению $\pi/2$. Если электрон релятивистский, то вследствие эффекта Доплера тороид вытягивается в конус в направлении со скоростью электрона. После преобразования углов [3] становится окончательно понятно, что СИ обладает ярко выраженным «прожекторным эффектом», т.е. направлено вперёд по движению электрона и сосредоточено в узком конусе с угловым раствором $\delta\psi \sim 1/\gamma$.



0

Рисунок 6 - Схема углового распределения мощности синхротронного излучения: а – нерелятивистский случай, б – релятивистский случай

Спектральный состав СИ как правило характеризуют критической длиной волны λ_c или критической энергией:

$$E_c = \frac{hc}{\lambda_c} \quad (1.2)$$

где h – постоянная Планка, λ_c выбирается таким образом, чтобы суммарная энергия СИ, излучаемая источником на всех длинах волн больше критической, была равна суммарной энергии излучения на всех длинах волн меньше критической. [6]

Размерные параметры источника СИ определяются эмиттансом (ε) – это величина, равная произведению размера сечения излучающей области электронного пучка на угол расходимости гамма-излучения.

В работе [6] излагается, что интенсивность синхротронного излучения характеризуется яркостью (интенсивностью), определяемая как число фотонов, испускаемых за 1 с в диапазоне энергий ΔE с единичной площади поверхности излучающей области в единицу телесного угла расходимости фотонного пучка. Обычно ΔE выбирается равным 0.1% от энергии фотонного излучения. Таким образом яркость СИ имеет размерность фотон $\text{с}^{-1} \cdot \text{мм}^{-2} \cdot \text{рад}^{-2}$ на 0.1% ΔE . На рисунке 7 показаны зависимость яркости (интенсивности) излучений от энергии для разных устройств.

Яркость, фотон $\cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{мм}^{-2} \cdot \text{рад}^{-2}$ на 0.1% ΔE

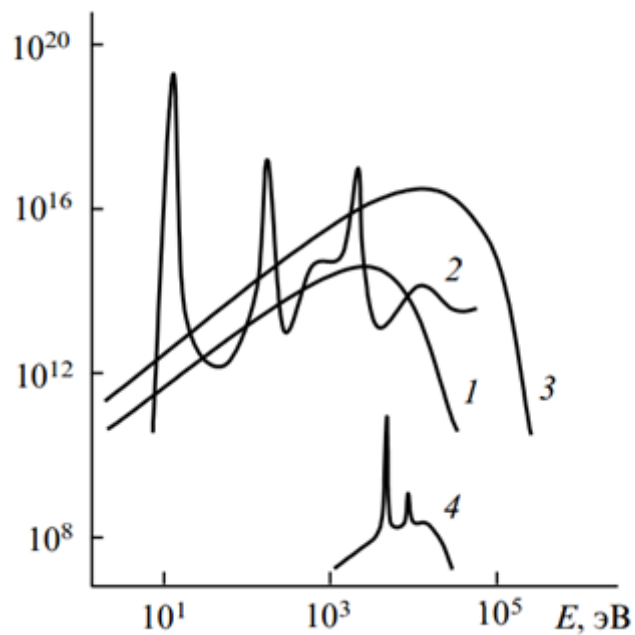


Рисунок 7 - Спектры излучений
(1 – поворотный магнит, 2 – ондулятор, 3 – вигглер, 4 – рентгеновская трубка)

Полная мощность W , излучаемая электронным пучком за оборот по орбите, и критическая длина волны зависят от энергии электронов в пучке, тока пучка и радиуса орбиты:

$$W \sim \frac{I\gamma^4}{R} \quad (1.3)$$

где $\gamma = E/m_0c^2$ – лоренц-фактор электрона (m_0 – масса покоя электрона).

Критическая длина волны:

$$\lambda_c = \frac{4\pi eR}{3\gamma^3} \quad (1.4)$$

Следует отметить важное свойство СИ – поляризация, т.е. наличие выделенных направлений вектора напряжённости его электрического поля. В отличие от характеристического рентгеновского излучения (ХРИ) СИ полностью поляризовано. В поворотном магните СИ поляризовано линейно в плоскости искривления траектории электрона (рис. 8). В ондуляторах и вигглерах СИ тоже обладает линейной и круговой поляризацией в зависимости от магнитной конфигурации (например спиральный ондулятор с круговой поляризацией).

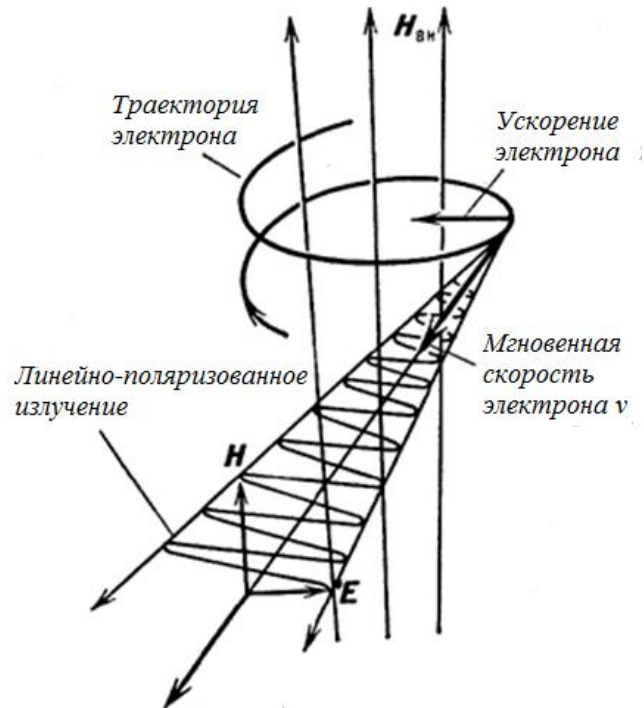


Рисунок 8 - Излучение релятивистского электрона

Ещё одной важной характеристикой СИ является когерентность, т.е. согласованность колебаний электромагнитного поля в разных точках пространства в разные моменты времени. Когерентность излучения определяет его способность к интерференции. Выделяют два типа когерентности – временную (продольную), зависящая от степени монохроматичности, и пространственную (поперечную), которая определяемая эмиттансом. [6]

1.2.2. Синхротронное излучения в ондуляторах и вигглерах.

В отличие от СИ в поворотном магните, в ондуляторах и вигглерах пучок не отклоняется в сторону. Синхротронное излучение образуется от пучка заряженных частиц, движущихся в знакопеременном поле (рис. 9)

Магнитная конфигурация таких устройств образует линейный набор элементов, состоящих из пар противоположных по знаку магнитных диполей; длина элемента - λ_0 , всего в системе N_0 элементов периодичности, $L_0 = \lambda_0 N_0$ - длина ондулятора. Электроны при движении вдоль ондулятора испытывают поперечное переменное (с периодом λ_0) ускорение, стимулирующее излучение.

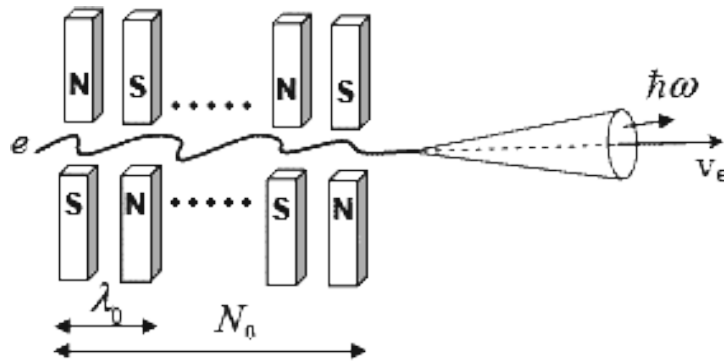


Рисунок 9 - Механизм СИ при движении релятивистского электрона в знакопеременном поле

Для релятивистского электрона практически все излучение направлено вдоль его скорости и сосредоточено в конусе с полным раствором $\Delta\theta \sim 2/\gamma$. Колебания траектории в поперечном направлении могут несколько увеличить конус излучения. На практике различают два режима работы: собственно ондуляторы с относительно небольшими величиной магнитной индукции B , когда угловые колебания траектории меньше $1/\gamma$, и вигглеры с большей величиной B (используемой для перестройки частоты излучения), когда угловые колебания траектории больше $1/\gamma$, что расширяет конус излучения.[4]

Отличие ондулятора от вигглера в том, что в первом увеличено число сравнительно слабых ($\sim 0,1$ Тл), расположенных близко друг к другу (период в несколько сантиметров). Рисунок 10 визуально отображает различия этих устройств.

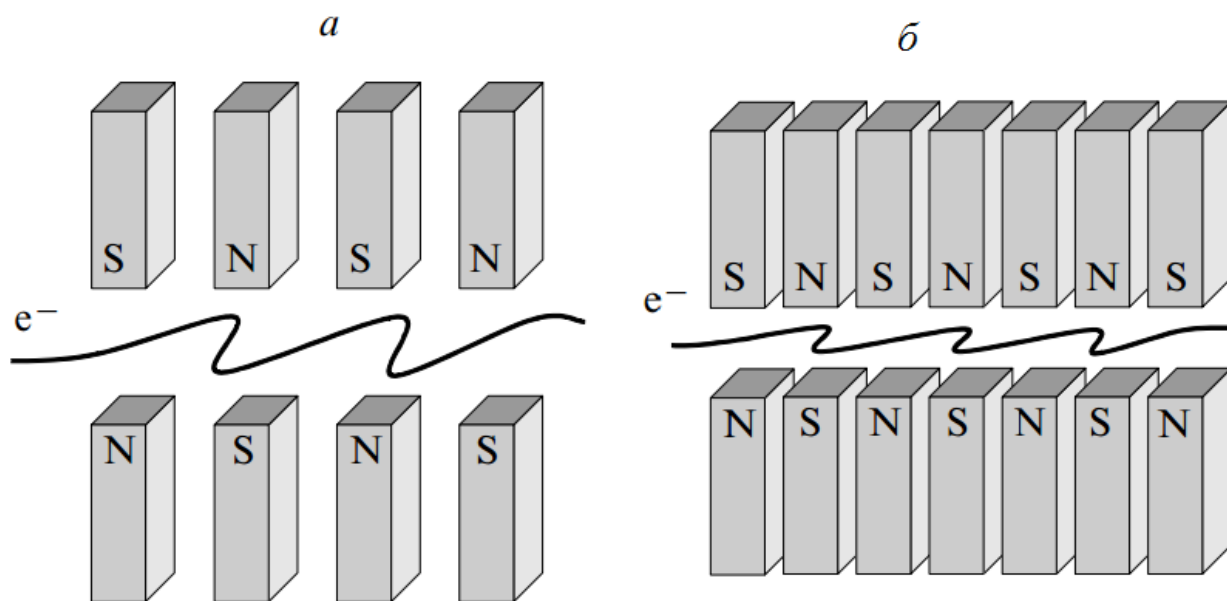


Рисунок 10 - Вставные устройства: а - вигглер, б - ондулятор.

Вследствие интерференции в спектре СИ на определённых длинах волн появляются максимумы интенсивности – гармоники ондулятора. Интенсивность гармоник пропорциональна N^2 и намного выше интенсивности излучения как вигглера, так и поворотного магнита. Кроме того, излучение ондулятора более направлено, а значит его эмиттанс меньше. В физике высоких энергий различают «синхротронное» и «ондуляторное» излучение.

Ондуляторное излучение по своей природе близко к синхротронному излучению. Различие между этими двумя типами излучения определяется только эффективной длиной траектории, на которой они формируются.[5]

1.3. Интерферометр синхротронного излучения

Интерферометр – это измерительный прибор, действие которого основано на явлении интерференции. Принцип действия интерферометра заключается в следующем: пучок электромагнитного излучения интерферирует, проходя сквозь щели. На экране получается интерферограмма [8].

На рисунке 11 приведёна наглядная схема интерферометра СИ, по которой проводилось моделирование в данной работе. В более сложных

интерферометрах в конструкции могут применяться различные фильтры, поляризаторы, несколько линз и зеркала. Исследования на таких интерферометрах можно увидеть в работах [9,10].

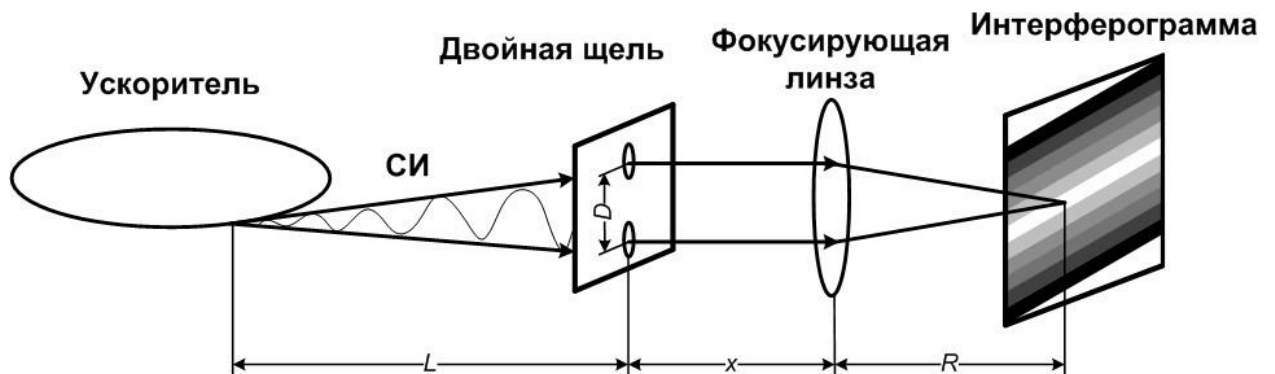


Рисунок 11 - Схема простого интерферометра

Пучок электронов, двигаясь в поворотном магните по искривлённой траектории, испускает синхротронное излучение, проходящее через оптическую систему из щелей и фокусирующей линзы. При правильном расположении всех составляющих деталей интерферометра, на экране получается интерферограмма.

Расстояние от интерференционной картины до линзы и от линзы до источника СИ согласуются с формулой тонкой линзы:

$$\frac{1}{L+x} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (1.5)$$

В качестве примера на рисунке 12 приведена интерферограмма, полученная в работе [9] для двух-щелевого интерферометра, а также её вертикальное и горизонтальное распределение интенсивности в зависимости от координат. Также для примера на рисунке 13 приведена интерферограмма, полученная в работе [10] для четырёх-щелевого интерферометра.

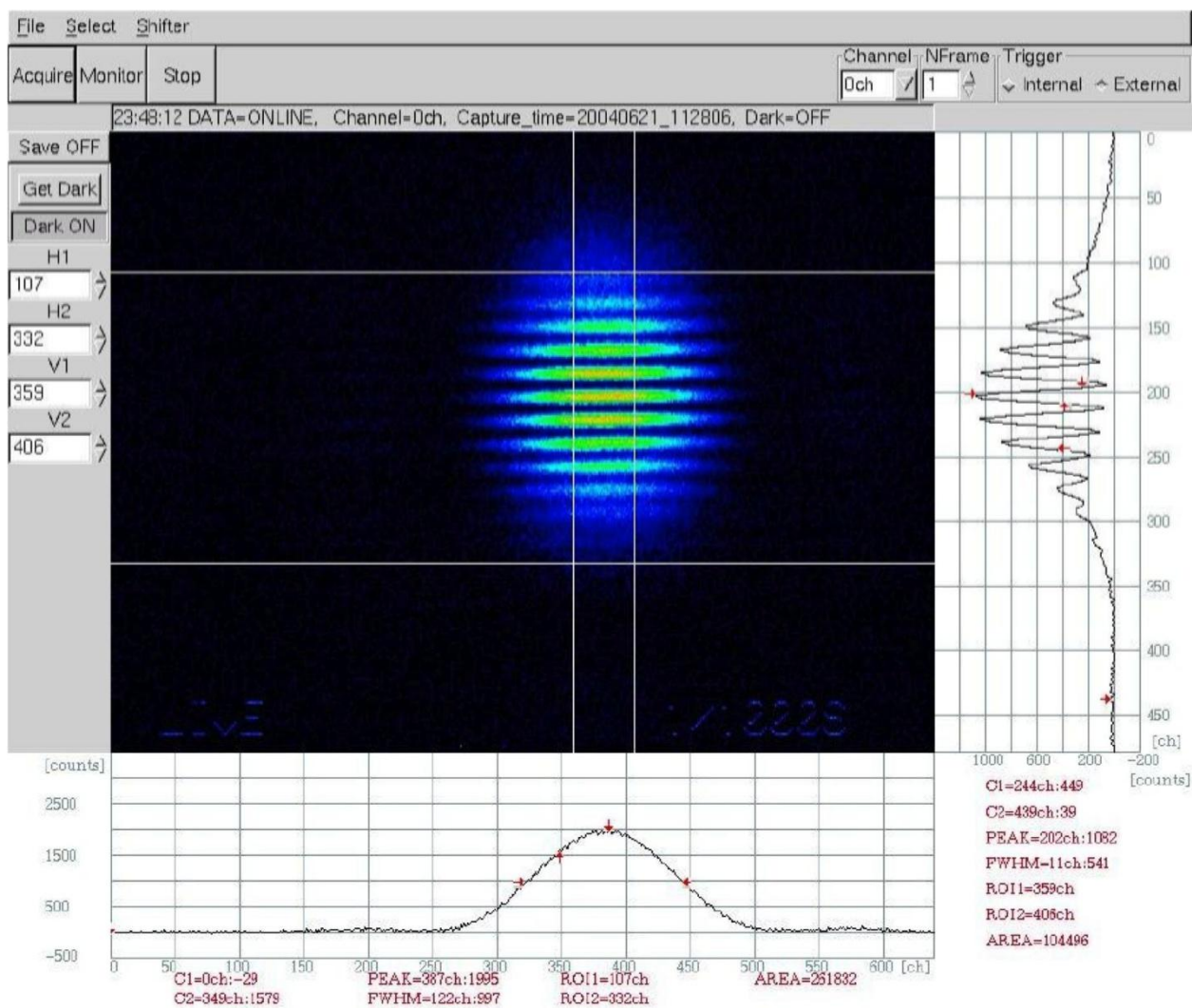


Рисунок 12 - Пример интерферограммы для двух-щелевого интерферометра

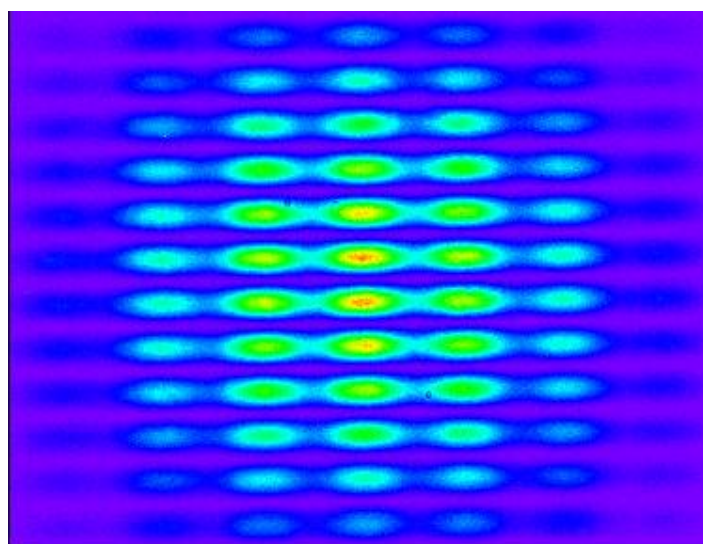


Рисунок 13 - Пример интерферограммы для четырёх-щелевого интерферометра

Профиль объекта источника света задаётся преобразованием Фурье комплексной степени пространственной когерентности из теоремы Ван Циттерта-Цернике [11]. Когда предполагается нормированное распространение пучка, $f(y)$, пространственная когерентность γ задаётся преобразованием Фурье функции профиля (f), как функция позиции y , как следует:

$$\gamma(v) = \int f(y) \exp(-i2\pi v y) dy \quad (1.6)$$

Пространственная частота v :

$$v = \frac{D}{\lambda L} \quad (1.7)$$

где λ обозначает волновую длину, L означает расстояние от источника света до двойной щели, D означает щелевое разделение. Интенсивность картины интерферограммы I показана как функция позиции y_0 ,

$$I(y_0) = I_o \left[\text{sinc} \left(\frac{2\pi a}{\lambda R} y_0 \right) \right]^2 * [1 + |\gamma| \cos \left(\frac{2\pi D}{\lambda R} y_0 \right)] \quad (1.8)$$

где a означает половину высоты щели, R означает расстояние между интерферограммой и центром линзы, γ означает степень пространственной когерентности, которая определяется преобразованием Фурье профиля. Когда предполагается, что источник объекта имеет гауссов профиль пучка, γ также имеет гауссово распределение.

Таким образом, размер пучка оценивается из аппроксимации интерферограммы в горизонтальном или вертикальном направлении функцией (1.8), которая указывает степень когерентности. Более подробно об этом можно узнать в работах [9,10].

Среднеквадратичное значение γ обозначается через σ_D , когда размеры объекта источника света σ_y :

$$\sigma_y = \frac{\lambda L}{2\pi \sigma_D} \quad (1.9)$$

Значение D – фиксированное расстояние щели, γ выражается как:

$$\gamma = \exp \left(-\frac{D^2}{2\sigma_D^2} \right) \quad (1.10)$$

Подставляя выражение (1.10) в (1.9), получаем размер источника излучения (σ_y):

$$\sigma_y = \frac{\lambda L}{\pi D} \sqrt{\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1}{\gamma} \right)} \quad (1.11)$$

Данный метод применяется в силу хорошего разрешения. Существует другой способ определения размеров гауссова пучка.

1.4. Пакет моделирования Synchrotron Radiation Workshop (SRW)

Пакет SRW представляет набор макропроцессов, поставленных под программу IgorPro и позволяющий моделировать СИ, проходящее через различные оптические элементы: линзы, зеркала, щели, зонные пластины и т.п. IgorPro осуществляет визуализацию полученных результатов.

WaveMetrics IGOR Pro - мощный научно-аналитический, графический пакет, предназначенный для работы с базами данных, анализом данных, для работы с графическими и программными средствами разработанными для инженерных расчётов и научных исследований. Программа построена и состоит из ядра, представляющего собой мини-операционную систему, позволяющую писать свои собственные расчетные и графические программы из набора уже написанных модулей, встроенных в эту операционную систему. Сочетает в себе мощность и простоту использования, предоставляя средства для современного пользователя, подходит как для начинающих, так и для экспертов в данной области.

В пакете SRW забивать данные можно как с помощью диалогового окна, так и вручную, путём написания кода процедуры. В качестве примера на рисунке 14 представлен вид диалогового окна для создания электронного

пучка. В итоге получается электронный пучок с названием “E”, энергией 6 ГэВ, током 0,2 А, а также задаётся его пространственное распределение.

Рисунок 14 - Пример диалогового окна

При ручном вводе данных создаётся список последовательно выполняемых команд. Для создания того же электронного пучка достаточно ввести следующую процедуру:

- *SrwElecFilament(name,en,cur,s0,x,yp,z,zp)*

В этом случае, аналогично предыдущему, создаётся пучок с названием “E”, энергией и током *en* и *cur*, поперечные координаты и углы пучка в продольном положении – *s0*: горизонтальное и вертикальное положения в мм – *x,z*; горизонтальный и вертикальный углы в мр – *xp,zp* соответственно. Причём нужные числовые значения можно как сразу подставлять в процедуру, либо через любые другие переменные (“Variables”):

- *Variable energy=6, current=0,2*
- *SrwElecFilament("el",energy,current,0,0,0,0,0)*

Визуализацию данных можно осуществлять с помощью команды:

- *SrwWfr2Int(name,...)*

В этом случае визуализация будет происходить по ходу выполнения процедуры. Другим способом можно через главную панель управления:

- *SRWE>visualize..*

В этом случае откроется диалоговое окно (рис. 15). В верхней части выбирается нужная структура, и ниже – её компоненты.

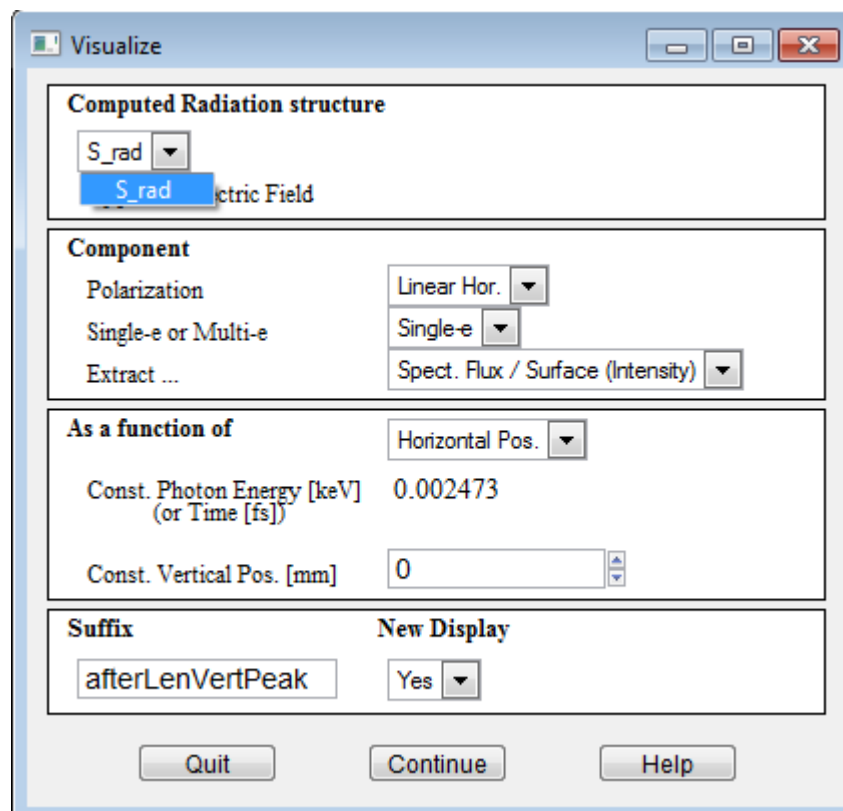


Рисунок 15 - Пример визуализации через диалоговое окно

На рисунке 16 приведен алгоритм, по которому шаг за шагом происходит моделирование. В зависимости от конкретной цели, некоторые из шагов не могут быть необходимым.



Рисунок 16 - Основные этапы моделирования в пакете SRW

Более подробно по использованию пакета SRW можно узнать в работе [12]. Кроме того программа находится в свободном доступе [14].

2. ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

2.1. Накопительное кольцо Petra III

Моделирование в данной работе проводилось на основе параметров накопительного кольца Petra III [7], который расположен в исследовательском центре DESY в Гамбурге. В настоящее время функционирует в качестве самого яркого накопительного кольца на основе источника рентгеновского излучения во все мире. На рисунке 17 показан вид с воздуха почти 300 м в длину экспериментальный зал, а также схема размещения измерительных и вычислительных установок в экспериментальном зале. В таблице 1 приведены параметры накопительного кольца [8].



Рисунок 17 - Снимок с воздуха помещения, в котором расположен Petra III

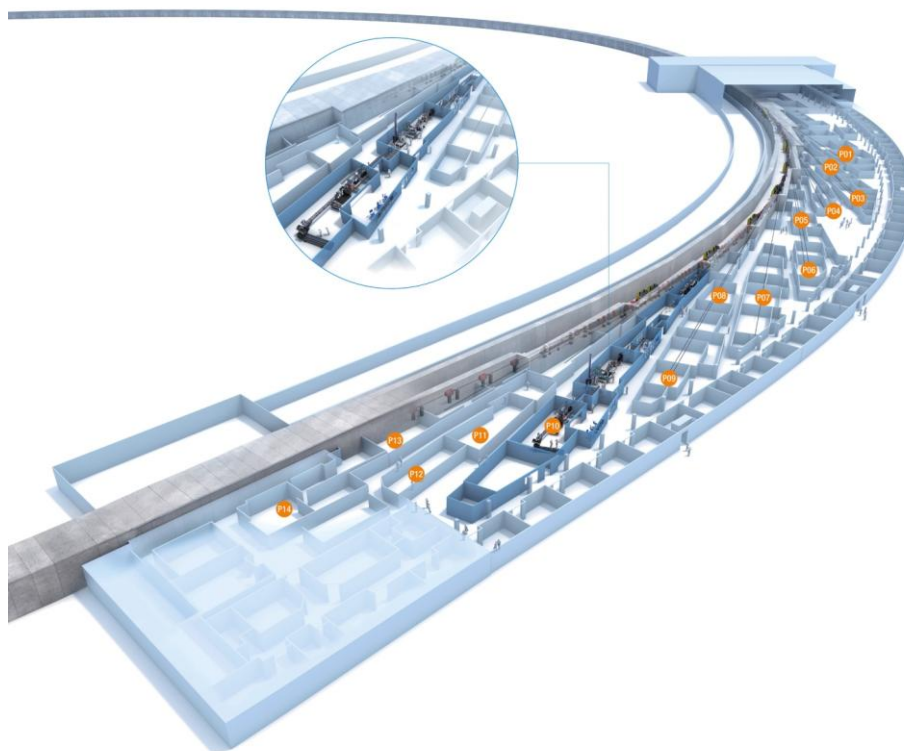


Рисунок 18 – Схема установок на экспериментальном этаже ПЕТРА III

Таблица 1. Параметры накопительного кольца Petra III.

Параметр	Значение	Размерность
Энергия электронов	6	ГэВ
Радиус поворотного магнита	22,92	м
Ток пучка	0,1	А
Напряжённость магнитного поля	0,10439	Тл
Длина магнитного поля	5,378	м
Энергия СИ	2,473	эВ
Длина волны СИ	500	нм
Эмитанс:		
Горизонтальный	1	нм
Вертикальный	0,01	
Дисперсия	0,005796	м
Значения β -функции:		
В горизонт. напр.	28,776	м
В вертик. напр.	9,508	

2.2. Теоретические оценки

Бета-функция в области физики ускорителей является функцией, связанной с поперечным размером пучка частиц в месте расположения вдоль номинальной траектории пучка. [13] Причём полагается, что пучок имеет гауссову форму в поперечном направлении. Тогда выражение для гауссовой ширины пучка, $\sigma(s)$, будет иметь вид:

$$\sigma(s) = \sqrt{\varepsilon * \beta(s)} \quad (2.1)$$

где ε – эмиттанс пучка, s – расположение вдоль номинальной траектории, $\beta(s)$ – бета-функция.

С учётом дисперсии D :

$$\sigma(s) = \sqrt{\varepsilon * \beta(s) + D^2} \quad (2.2)$$

На рисунке 19 приведена схема интерферометра, смоделированного в данной работе.

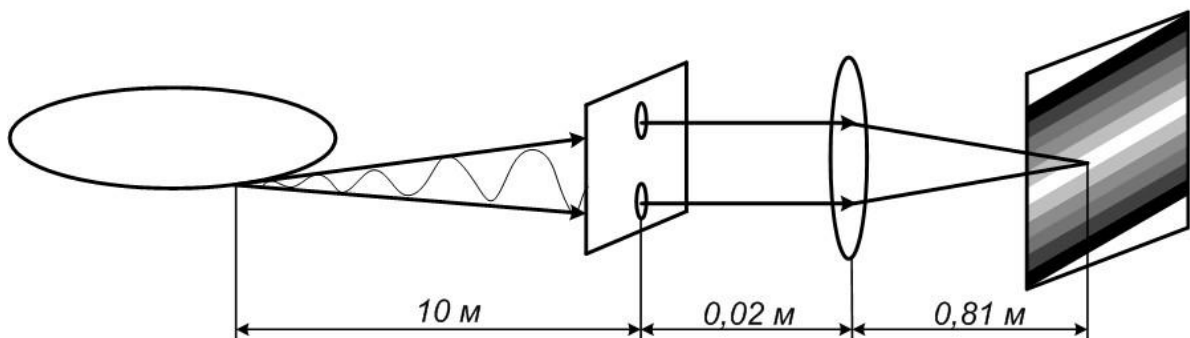


Рисунок 19 - Схема интерферометра с указанием расстояний между оптическими структурами

Щели размещались на расстоянии 10 м, через 2 см следом устанавливалась линза. Положение экрана, на котором отображалась интерферограмма определялось по формуле тонкой линзы (1.5):

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{10,02*0,75}{10,2-0,75} = 0,81(\text{см}) \quad (2.3)$$

где F – фокусное расстояние линзы (0,75 м).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

Полученные в ходе моделирования в пакете SRW интерферограммы обрабатывались в Wolfram Mathematica.

Значение γ определялось из аппроксимации интерферограмм функцией (1.8). Далее в пакете Wolfram Mathematica делали NonlinearModelFit. С помощью этой команды можно эффективно представлять приближённые числовые функции непосредственно в символической форме.

Полученное значение γ подставлялось в выражение (1.11) и тем самым определялся размер источника излучения (σ_y).

3.1. Двух-щелевой интерферометр.

Было произведено моделирование двух случаев положения щелей: вертикального и горизонтального. При исследовании горизонтально поляризованного излучения использовались щели с шириной и длиной равным 1 мм и 5 мм соответственно. Щелевое разделение составляет 6 мм (рис. 20а) Для вертикально поляризованного излучения использовались щели с шириной 2 мм и длиной 8 мм (рис. 20б). Щелевое разделение составляло 11 мм.

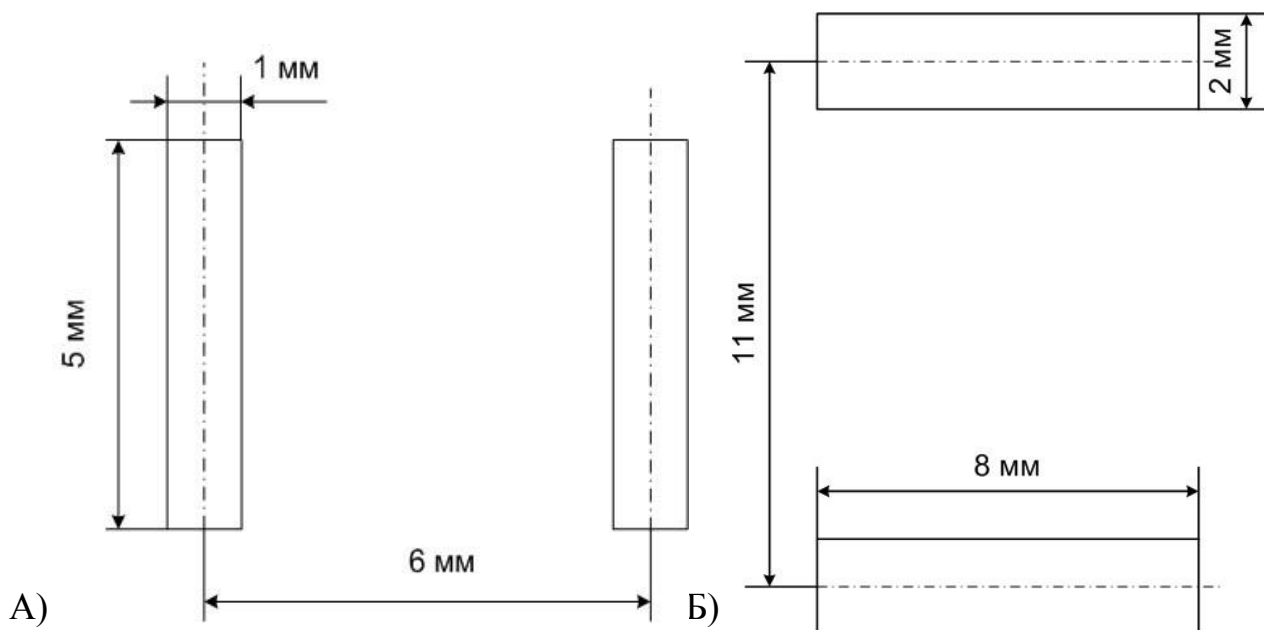


Рисунок 20 - Схема двух щелей с указанием размеров (а – вертикальное положение щелей, б – горизонтальное положение щелей)

1. Вертикальное положение щелей (горизонтальное распределение)

На рисунке 21 показана визуализация интерферограммы в программе IgorPro. На рисунке 22 красной сплошной линией изображено горизонтальное распределение смоделированной интерферограммы, а синий прерывистой – результат аппроксимации интерферограммы функцией (1.8). Ниже представлены полученные значения когерентности γ и гауссова ширина пучка.

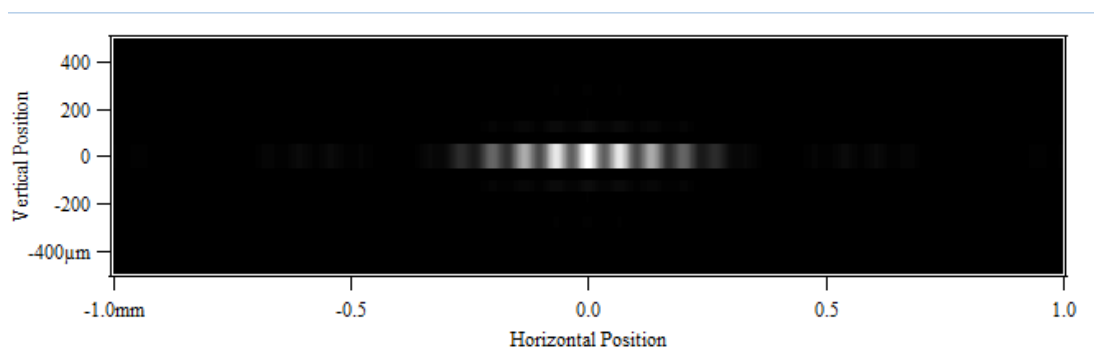


Рисунок 21 - Визуализация интерферограммы при вертикальном положении двух щелей

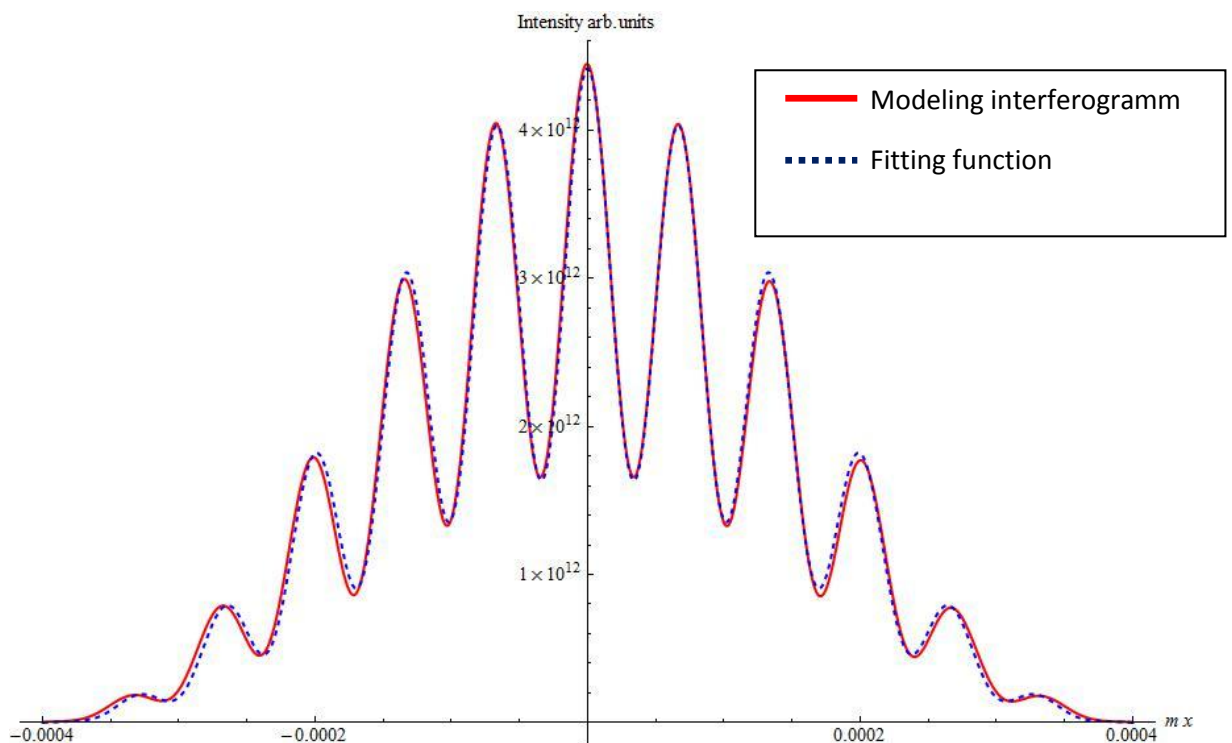


Рисунок 22 - Горизонтальное распределение, полученное на двух-щелевом интерферометре

$$\sigma_x = 167,3 \text{ мкм } (\gamma = 0,451;)$$

2. Горизонтальное положение щелей (вертикальное распределение)

Аналогично, на рисунке 23 показана визуализация интерферограммы в программе IgorPro. На рисунке 24 представлены результаты для горизонтального положения щелей.

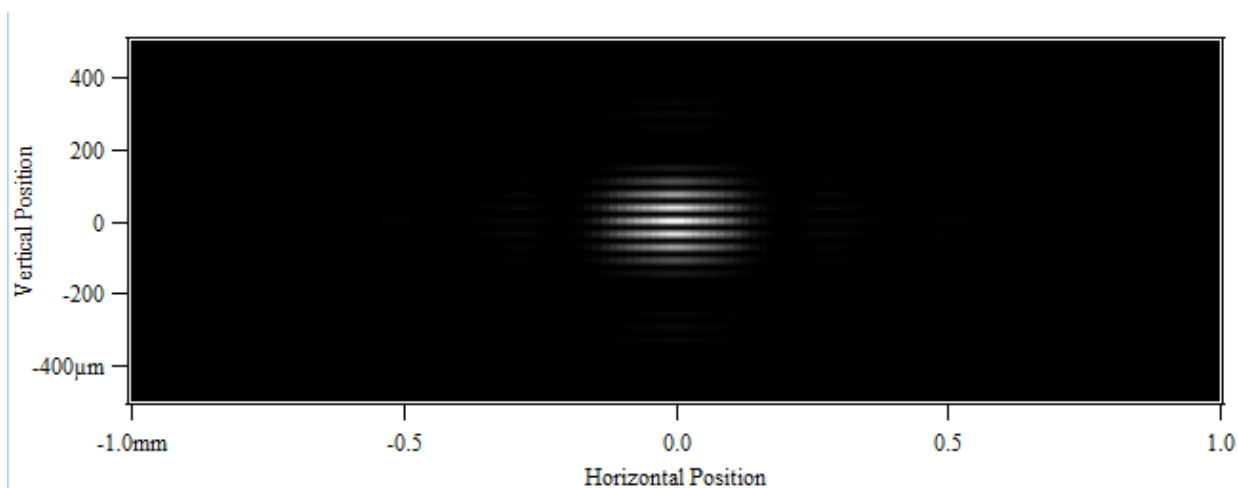


Рисунок 23 - Визуализация интерферограммы при горизонтальном положении двух щелей

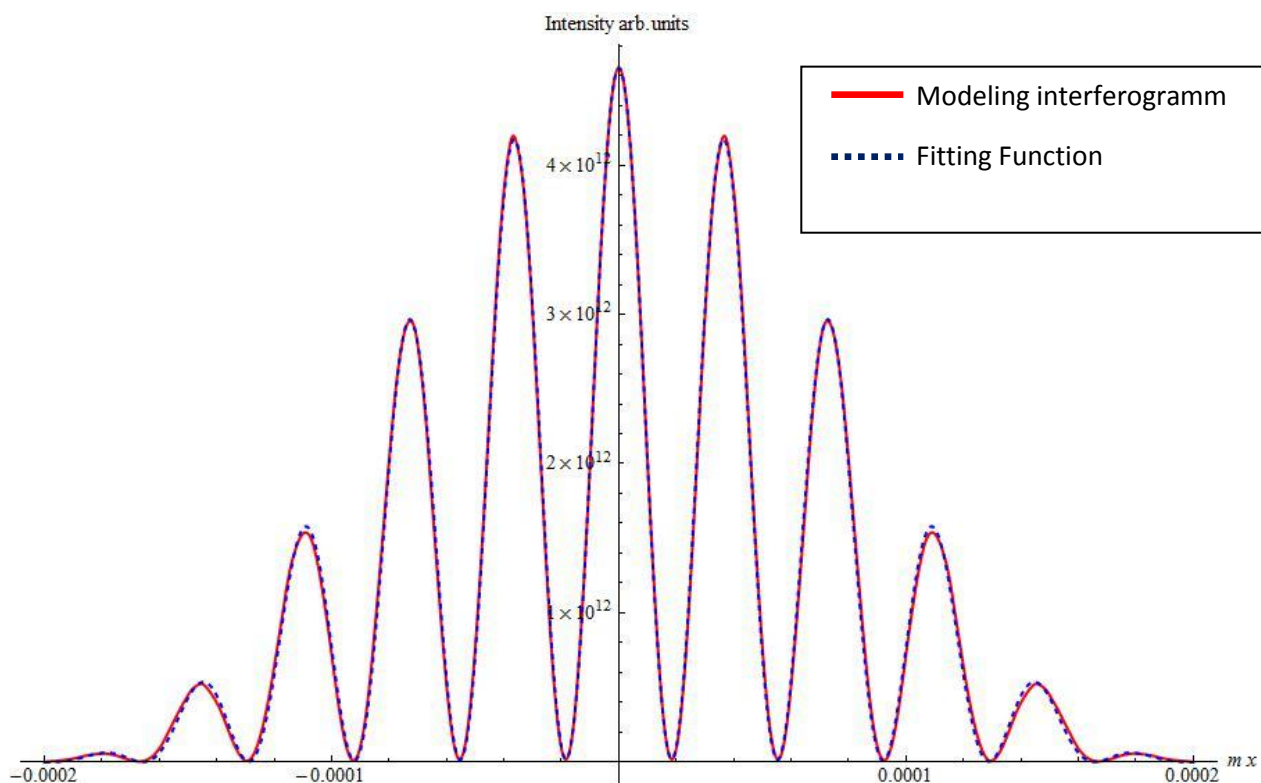
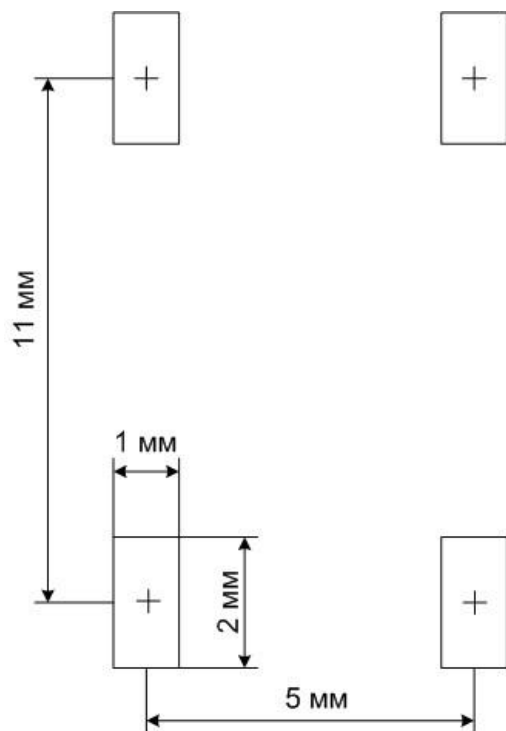


Рисунок 24 - Вертикальное распределение, полученное на двух-щелевом интерферометре

$$\sigma_z = 9,73 \text{ мкм } (\gamma = 0,991)$$

3.2. Четырёх-щелевой интерферометр



Особенностью данного интерферометра является то, что прямоугольные щели располагаются по вершинам прямоугольника, как показано на рисунке 25.

Рисунок 25 - Схема четырёх щелей с указанием размеров

Распределения были получены в двух направлениях: вертикальном и горизонтальном.

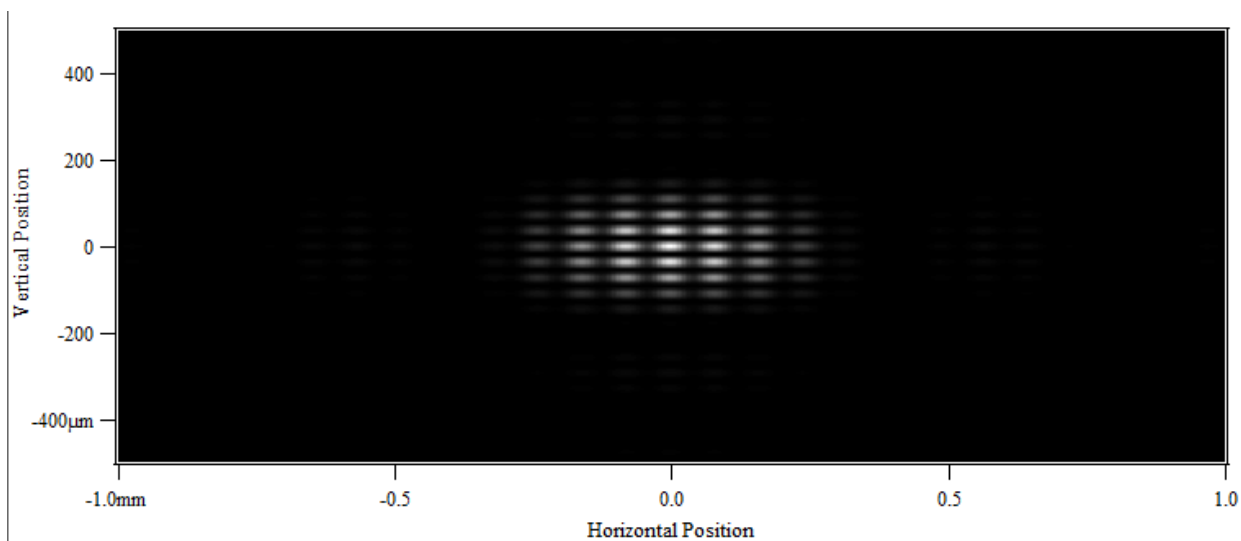


Рисунок 26 - Визуализация интерферограммы с четырьмя щелями

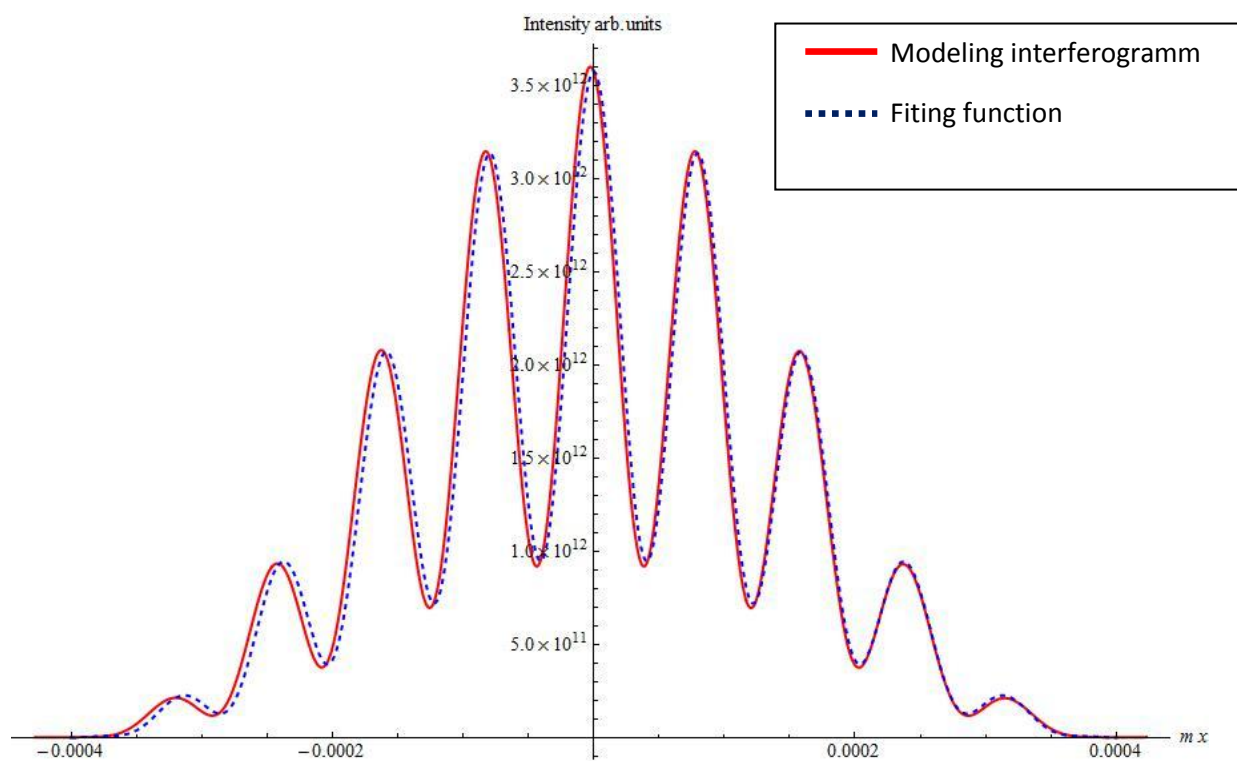


Рисунок 27 - Горизонтальное распределение, полученное на четырёх-щелевом интерферометре

$$\sigma_x = 168,9 \text{ мкм } (\gamma = 0,569;)$$

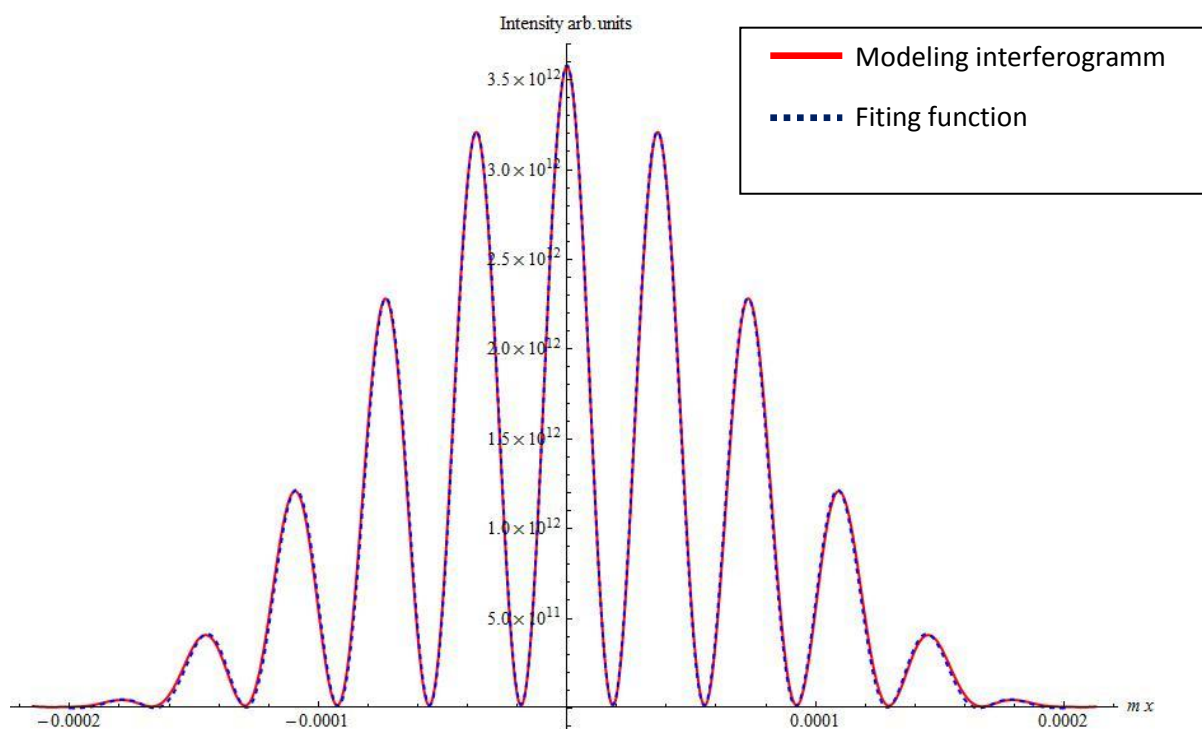


Рисунок 28 - Вертикальное распределение, полученное на четырёх-щелевом интерферометре

$$\sigma_z = 9,74 \text{ мкм } (\gamma = 0,988)$$

3.3. Сравнение результатов

В таблице 2 приведены размеры поперечного профиля пучка электронов, полученные при моделировании, а также рассчитанные согласно выражениям (2.1) и (2.2):

Таблица 2. Сравнение результатов

	Аналитический расчёт	Моделирование	
		Две щели	Четыре щели
σ_x , мкм	169	167,3	168,9
σ_z , мкм	9,75	9,73	9,74

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.

Данный раздел дипломного проекта рассматривает вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в аудитории, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для обслуживающего персонала.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [15].

Реальное производство характеризуется наличием опасных и вредных факторов, которые могут вызвать профессиональные заболевания и привести к несчастному случаю. Безопасность трудовой деятельности включает в себя влияние опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики в производстве.

Основная задача обеспечения производственной безопасности - организация охраны труда. Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [15].

Соблюдение безопасных условий труда работающих являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [15], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в

определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Основной задачей при обеспечении безопасного производства это уменьшение как опасного так и вредного фактора до минимального предельно-допустимого или полное его избежание, если это возможно.

4.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 3 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 3 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с компьютером на кафедре ПФ	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (монотонность труда, умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки).

Обучение персонала технике безопасности и производственной

санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом. Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

4.2. Требования к организации рабочего места при работе на ПЭВМ.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации, соблюдение этого порядка, классификация и правила размещения рабочих принадлежностей, своевременная планируемая уборка на рабочем месте, соблюдение чистоты и избежание загрязнений и захламлений. Те принадлежности, которые постоянно нуждаются при выполнении работ должны располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рис.3.1).

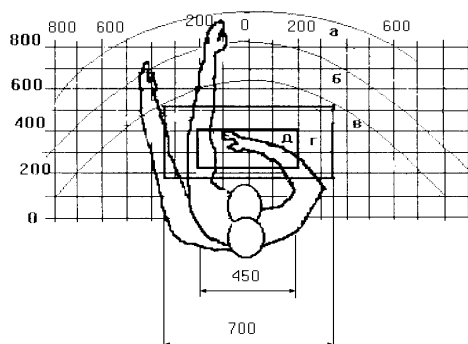


Рисунок 29 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов при работе с ПЭВМ приведено в таблице 4.

Таблица 4. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук при работе с ПЭВМ..

Дисплей	Зона А (в центре)
Клавиатура	Зона Г/Д
Системный блок	Зона Б (слева)
Принтер	Зона А (справа)
Литература и документация, необходимая при работе	Зона В (слева)
Литература и документация, неиспользуемая постоянно	В выдвижных ящиках стола или стоящих рядом шкафчиках

При проектировании письменного стола должны быть учтены нижеприведённые требования.

- Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм.
- Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм.
- Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.
- Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.
- Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к

нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

- Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:
 - по высоте +3 см;
 - по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
 - в левом и правом направлениях.
- Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.3. Безопасные условия работы

Согласно [28] на всех предприятиях, в учреждениях, организациях создаются здоровые и безопасные условия труда. Обеспечение здоровых и безопасных условий труда возлагается на администрацию предприятий, учреждений, организаций. Администрация обязана внедрять современные средства техники безопасности, предупреждающие производственный

травматизм и обеспечивать санитарно-гигиенические условия, предотвращающие возникновение профессиональных заболеваний работников. Трудовые коллективы обсуждают и одобряют комплексные планы улучшения условий, охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий и контролируют выполнение этих планов.

4.3.1. Состояние воздушной среды

С целью создания нормальных условий труда для работающих установлены нормы производственного микроклимата [16]. Эти нормы устанавливают значения составляющих микроклимата в зависимости от тяжести выполняемой работы, температуры наружного воздуха и избытка явной теплоты в помещении. Работа, производимая в лаборатории – помещении с незначительным избытком явной теплоты - относится к I категории тяжести: легкая физическая, производимая сидя, или связанная с ходьбой, но не требующая систематического физического напряжения.

Нормы температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне приведены в таблице.5.

Таблица 5 – Значения оптимальных и допустимых параметров микроклимата

Время года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальное значение	Допустимое значение	Оптимальное значение	Допустимое значение	Оптимальное значение	Допустимое значение
Холодный период	1б (легкая)	20-22	17 – 22	40-60	Не более 75	не более 0,1	Не более 0,3
Теплый период	1б (легкая)	22 -24	Не более 3°С тн.в в 13 часов самого жаркого месяца не	40-60	При 28°С не более 55, при 24°С не более 75	не более 0,2	0,3 – 0,7

			более 28°C				
--	--	--	------------	--	--	--	--

Микроклимат в лаборатории удовлетворяет требованиям санитарных норм по тепловому режиму [27]. Отопление лаборатории водяное с применением радиаторов, количество работающих в холодный период радиаторов соответствует параметрам данного помещения, их эффективность может быть снижена из-за температуры воды в системе отопления.

Пол в лаборатории выполнен из изолирующего материала – кафельной плитки. Оборудование установлено на столах таким образом, чтобы можно было производить влажную уборку. Оптимальный микроклимат в помещении обеспечивает поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой. Поддержание на заданном уровне параметров, определяющих микроклимат (температура, влажности и подвижности воздуха), может осуществляться допусками вентиляции [17].

Вентиляционные устройства должны размещаться таким образом, чтобы шум от них не мешал работе персонала. Вентиляция во всех помещениях лаборатории должна включаться ещё до начала работы.

При естественной вентиляции воздухообмен осуществляется тепловым и ветровым потоками. Данная вентиляция предусматривает периодическое или постоянное проветривание помещения через открывающиеся форточки оконных рам. Равномерное и постоянное прогревание воздуха в лаборатории в холодный период обеспечивает система центрального отопления.

Коэффициентом, характеризующим сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении, является кратность воздухообмена. [18].

4.3.2. Освещенность

В действующих нормах проектирования производственного освещения [19] задается, как количественная (величина минимальной мощности), так и качественные характеристики (показатель освещенности и

дискомфорта, глубина пульсации освещенности) искусственного освещения. Принято раздельное нормирование освещенности в зависимости от принимаемых источников света и системы освещения. Величина минимальной освещенности устанавливается по характеристикам зрительной работы, которую определяют наименьшим размером объекта различения, контрастности объекта с фоном и характеристикой фона. Различают восемь разрядов и четыре подразряда работы в зависимости от степени зрительного напряжения. [19]

При работе за письменным столом, в том числе и с компьютером, следует соблюдать следующие рекомендации, характеризующие размещение настольной лампы:

- Источник света для всех, кто пишет правой рукой, должен быть расположен с левой стороны. Левши располагают лампу справа. При работе за компьютером лампа не должна давать блики в монитор: источник света лучше разместить выше экрана, но так, чтобы прямой свет не попадал на его поверхность.
- Оптимальный вариант - лампы, соответствующие стандартам освещения с мягким и ровным свечением без бликов. Достаточная освещенность – необходимый для комфортной работы параметр. Плафон или абажур лампы должен прикрывать источник света целиком.
- Оптимальной мощностью настольного светильника является показатель в 75-100 ватт. Лучше остановить выбор на лампе, оснащенной регулятором мощности: у такого прибора больше возможностей и шире функционал.

Среди источников света для современных настольных ламп часто используют люминесцентные лампочки, которые дают не очень естественный свет и содержат ртутные соединения, утомляют глаза и создают ненужную нагрузку на сетчатку. Лучше перейти от люминесцентных источников света на обычные лампы накаливания: плюсы

использования таких ламп – доступная стоимость, надежность и долговечность.

Можно купить лампу со светодиодами. Светодиоды позволяют регулировать мощность освещения, они более экономны и функциональны, совершенно безвредны и дают комфортный для глаз свет.

Светильники со светодиодным источником света надежны, экономичны, их использование снижает расход электроэнергии. Также они обладают большим сроком службы и не нагревают плафон.

Оптимально выбирать рабочую лампу для стола, которая бы максимально снижала нагрузку на глаза, давала приятный и регулируемый по мощности свет, способствовала комфортной работе.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.3.3. Шум и вибрация

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности (силы) [20].

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. Особенно это сказывается на тех людей, которые заняты умственной деятельностью. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. Нормативным документом, регламентирующим уровни допустимого шума для рабочих мест [21]. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает необратимые изменения в органах слуха человека, а иногда и к глухоте, нарушается процесс пищеварения. Люди, работающие при постоянных шумовых эффектах, жалуются на головную боль, быструю утомляемость, бессонницу и сонливость, ослабляется внимание, ухудшается память.

Снижение шума, создаваемого на рабочем месте внутренними источниками, а также шума, проникающего извне, осуществляется следующими методами:

- уменьшение шума в источнике;
- рациональной планировкой помещения;
- акустической обработкой помещений;
- уменьшением шума по пути его распространения.

Общие требования безопасности шума предусматриваются [21].

Уровень шумов основных источников звука в аудитории – электрооборудование (компьютеры, лазерная установка) не превышает допустимого уровня 50 дБ.

4.3.4. Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электромагнитного поля и статического электричества.

Наибольшую опасность при эксплуатации электрических устройств и проведении ремонтно-профилактических работ представляет поражение электрическим током. Поэтому необходимо заранее отключать напряжения с токоведущих частей, на которых они проводятся или вблизи которых осуществляется работа, изоляция токоведущих частей, заземление

корпусов установок. Поражение человека электрическим током возможно в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением в случае повреждения изоляции;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках.

Аудитория относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током, так как ее состояние удовлетворяет каждому следующему условию: температура меньше 35 градусов Цельсия; влажность менее 75%; не токопроводящие полы; отсутствует возможность касания двух незаземлённых корпусов приборов и нет токопроводящей пыли.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Согласно [29] степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от силы тока, напряжения, рода тока, частоты электрического тока и пути прохождения через тело человека, продолжительности воздействия и условий внешней среды.

Виды поражения организма человека электрическим током:

Электрический удар представляет собой возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся резкими судорожными сокращениями мышц, в том числе мышцы сердца, что может привести к остановке сердца..

Электрические ожоги наиболее распространенная электротравма, возникает в результате локального воздействия тока на ткани. Электрический ожог – это своеобразная защитная реакция организма, поскольку обуглившиеся ткани в силу большей сопротивляемости, чем обычная кожа, не позволяют электричеству проникнуть вглубь, к жизненно важным системам и органам. Когда организм и источник напряжения соприкасались

неплотно, ожоги образуются на местах входа и выхода тока. Если ток проходит по телу несколько раз разными путями, возникают множественные ожоги.

Электрические знаки и электрические метки. Представляют собой четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшегося действию тока. Обычно электрические знаки имеют круглую или овальную форму с углубленным в центре размером от 1 до 5 мм.

Металлизация кожи — это выпадение мельчайших частичек расплавленного металла на открытые поверхности кожи. Обычно такое явление происходит при коротких замыканиях, производстве электросварочных работ. На пораженном участке возникает боль от ожога и наличия инородных тел.

Механические повреждения — следствие судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через человека, приводящее к разрыву кожи, мышц, сухожилий. Это происходит при напряжении ниже 380 В, когда человек не теряет сознания и пытается самостоятельно освободиться от источника тока.

Фактор поражения электрическим током требует проведения мероприятий по его устранению.

Мероприятия, проводимые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

б) осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений (правилами пользования запрещено использовать аппаратуру со снятыми защитными корпусами; производится двойная изоляция нетоковедущих частей оборудования) и заземления, ремонтно-наладочные работы на действующих электроустановках производится только

с использованием защитных средств (не разрешается замена предохранителей на оборудовании, включенном в сеть);

в) эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к токоведущим частям, находящимся под напряжением (вся проводка проложена по стенам на высоте, превышающий рост человека); корпуса приборов и электроустановок заземляются;

г) питание лаборатории выведено на отдельный рубильник, так же имеется центральный рубильник, отключающий электропитание всего узла связи;

4.3.5. Пожарная и взрывная безопасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно [22] понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность электрических установок, регламентируется [23], а также строительными нормами и правилами, межотраслевыми типовыми правилами пожарной безопасности, инструкциями по обеспечению пожарной безопасности на отдельных объектах.

Согласно [24], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер.

Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [25,26]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение

образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководителю (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Научно-исследовательские работы (НИР) – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достижение цели обеспечивается решением задач: оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований; определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения; планирование научно-исследовательских работ; определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

В данном разделе ВКР выполняется анализ и расчет основных параметров для реализации успешных конкурентоспособных изделий, которые бы приносили доход и являлись не только коммерчески привлекательным продуктом, но и соответствовали требованиям ресурсосбережения и ресурсоэффективности. Объектом исследования данной дипломной работы являются проектные методы и решения создания материалов для медицинских дозиметрических фантомов.

Чтобы решить ряд задач, связанных с финансовой оценкой продукта, его ресурсоэффективностью и ресурсосбережением, в данном разделе ВКР нужно:

- провести анализ и исследования рынка покупателей, для оценки перспективы проведения научных исследований;
- подобрать возможные альтернативы научного исследования;
- провести планирование НИР;
- провести ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную, экономическую эффективность исследования.

5.1. Структура работ в рамках научного исследования.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель

Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Руководитель
	3	Календарное планирование	Руководитель студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Обзор литературы по методам исследования профилей пучка электронов	Студент
	5	Установка и ознакомление с пакетом SRW в программе IGOR PRO	Студент
	6	Обзор литературы, изучение метода исследования поперечного профиля пучка электронов по интерферограмме синхротронного излучения (СИ)	Студент
	7	Моделирование интерферометра с двумя и четырьмя щелями	Студент
	8	Обработка результатов моделирования в пакете Wolfram Mathematica	Студент
Обобщение и оценка	9	Оценка эффективности	Руководитель

результатов		полученных результатов	студент
	10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель студент
Оформление отчёта НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки	Студент
	12	Подготовка к защите	Руководитель студент

5.2. Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел. [30]

В ходе данной работы количество человек, выполняющих каждую из работ на каждом из этапов, равняется одному.

5.3. Разработка графика проведения научного исследования

В ходе данной работы был построен ленточный график проведения НИР в форме диаграмм Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k,$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, (кален. дн.); T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); k - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Расчёт коэффициента календарности производится по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{кз}}{T_{кз} - T_{вд} - T_{нд}}$$

где, $T_{кз}$ - количество календарных дней в году ($T_{кз} = 365 \text{ дн.}$); $T_{вд}$ - количество выходных дней в году ($T_{вд} = 95$); $T_{нд}$ – количество праздничных дней в году, ($T_{нд} = 23$).

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{ки}$ округлены до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} \approx 1.22$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения НИР.

	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	Исполнители	T_p , раб. дн.	T_k , кал. дн
1	0,5	1,5	0.9	руководитель	0.9	1
2	1	2	1.4	руководитель студент	1.4	2
3	3,5	4,5	3.9	руководитель	3.9	5
4	0,5	1,5	0.9	руководитель студент	0.9	1
5	3	3.5	3.2	студент	1.6	2
6	3	3.5	3.2	руководитель студент	1.6	2
7	2.5	3	2.7	руководитель студент	1.35	2
8	1.5	2	1.7	студент	0.85	1
9	2	2.5	2.2	руководитель студент	1.1	1
10	4	5.5	4.6	руководитель студент	4.6	6
11	2.5	3.5	2.9	студент	1.45	2

12	4.5	6.5	5.3	руководитель	5.3	7
Итог:			32,9		24,95	32

На основе табл. 7. строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе приложения 1 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график проведения НИОКР по теме можно увидеть в Приложение 1.

5.4. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.6.);

$З_{дн}$ – *среднедневная* заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 0 руб. и 23300 руб. для доцента, кандидата наук);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot k_p,$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента Z_{TC} составляет 23300 руб.);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 9.

Таблица 9 – Расчёт основной заработной платы.

Исполнители	Разряд	Зтс, руб.	k_p	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель		23300	1,3	30000	1200	25	30000
Студент		-	-	0	0	36	0
Итого З _{осн}							30000

5.5. Дополнительная заработная плата.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{дон} = k_{дон} \times З_{осн} ,$$

где $З_{дон}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{дон}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{дон}=0,1$);

$З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 10 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 10 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб/мес.	30000	0
Дополнительная зарплата, руб	3000	-
Итого по статье $C_{зн}$, руб	33000	

5.6 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

С 01.01.2010 страховые взносы осуществляются в государственные внебюджетные фонды. На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная

ставка – 27,1 [31].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot 33000 = 8943 \text{ руб.}$$

5.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 11

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	30000	Пункт 5.4
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3000	Пункт 5.5
3. Отчисления во внебюджетные фонды	8943	Пункт 5.6
4. Бюджет затрат НТИ	41943	

Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 36 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 41943 рублей.

Эта сумма оправдывается перспективами применения радиоизотопного уровнемера с низковольтной схемой питания, а также продаже и установки его на РН-Комсомольский НПЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоен пакет моделирования SRW, в котором были смоделированы двух-щелевой и четырёх-щелевой интерферометры синхротронного излучения, предназначенные для измерения поперечного профиля пучка электронов. Определены размеры поперечного профиля пучка электрона для энергии 6 ГэВ.

ВЫВОДЫ

1. Величина поперечного профиля пучка электронов получилось одинаковой как в случае с двойной щелью, так и в случае с четырьмя щелями. Это значит, что применение интерферометров с четырьмя щелями гораздо эффективнее, так как диагностику поперечного профиля пучка можно осуществлять сразу в двух направлениях, в то время как на двух-щелевом, для исследования в двух направлениях, приходится заменять щель.
2. Результаты аналитического расчёта имеют небольшое разногласие с полученными в результате моделирования. Тем не менее, реализация интерферометра возможна.
3. Были подобраны параметры установки для дальнейшего её сбора.

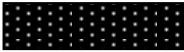
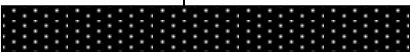
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глинский Б.А. Моделирование как метод научного исследования. М., 1965
2. Тернов И.М., Михайлин В. В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М.: Энергоатомиздат, 1986, 296 с.
3. И.М. Тернов. Успехи физических наук. Том 165, №4 - Обзоры актуальных проблем на тему "Синхротронное излучение", МГУ ФТФ, Москва, 1994 г., 431 - 432 с.
4. Применение синхротронного излучения для решения минералогических и геохимических задач. ИФХЭ РАН Ширяев А.А., Зубавичус Я.В. РНЦ "Курчатовский институт"
5. В. В. Михайлин, И. М. Смирнов. Синхротронное излучение. - Москва: Знание, 1988. - С. 31. - 64 с.
6. Я.В. Зубавичус, Ю.Л. Словохотов. синхротронное излучение в физико-химических исследованиях. Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Немсеянова Российской академии наук. - Москва, 2001 г. - 35 с.
7. Исследовательский центр DESY: <http://petra3.desy.de>
8. Petra III – параметры накопительного кольца: http://photon-science.desy.de/facilities/petra_iii/machine/parameters/index_eng.html
9. T.Naito, T. Mitsuhashi, Very small beam-size measurement by a reflective synchrotron radiation interferometer, KEK: High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan (Received 29 August 2006; published 27 December 2006)
10. M. Masaki, S. Takao "Beam Size Measurement of the Spring-8 Storage Ring by Two-dimensional Interferometer", Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Spring-8, Hyogo 679-5198, Japan
11. Тарлыков В.А. Когерентная оптика. Учебное пособие по курсу "Когерентная оптика". - СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. - 168 с. - 99 с.

12. O. Chubar, P. Elleaume, About SRW:
https://github.com/ochubar/SRW/blob/master/literature/srw_pubs/SRW_Help.pdf
13. Chao A.W., Tigner M. Handbook of Accelerator Physics and Engineering. Singapore: World Scientific, 1999.
14. Ссылка для загрузки IgorPro:
https://www.wavemetrics.com/order/order_igordownloads.htm
15. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
17. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. Ред. С.В. Белова. 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1999 – 228 с.
18. Безопасность жизнедеятельности. Практикум/ Бородин Ю.В., Василевский М.В., Дашковский А.Г., Назаренко О.Б., Свиридов Ю.Ф., Чулков Н.А., Федорчук Ю.М. – Издательство ТПУ, 2009. - 95 с.
19. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003.
20. Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2008г. – 335с.
21. ГОСТ 12.1.003-99. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 10 с.
22. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981.

- 23.ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1). ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1979.
- 24.Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников (НП-038-11), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.03.2011 г № 104.
- 25.ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
- 26.Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность
- 27.ГОСТ 12.1.005-99. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Электрон.дан.-М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. URL: <http://snipov.net/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 1.06.2016 г.
- 28.Кодекс законов о труде Российской Федерации (КЗоТ РФ). Глава X: Охрана труда. Статья 139: Обеспечение здоровых и безопасных условий труда.
- 29.ГОСТ 12.1.019 “ССБТ. Электробезопасность. Общие требования”
- 30.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 31.Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН-ГРАФИК НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ			
			20/03-10/04	11/04-30/04	01/05-21/05	22/05-10/06
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель				
2	Выбор направления исследования	Руководитель				
3	Календарное планирование	Руководитель студент	 			
4	Обзор литературы по методам исследования профилей пучка электронов	Студент				
5	Установка и ознакомление с пакетом SRW в программе IGOR PRO	Студент				
6	Обзор литературы, изучение метода исследования поперечного профиля пучка	Студент				

	электронов по интерферограмме синхротронного излучения (СИ)					
7	Моделирование интерферометра с двумя и четырьмя щелями	Студент				
	Обработка результатов моделирования в пакете Wolfram Mathematica	Студент				
	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель студент				
	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель студент				 
	Составление пояснительной записки	Студент				
	Подготовка к защите	Руководитель студент				 

 - руководитель,  - студент.