

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра физики ускорителей**



**Рабочая программа дисциплины**

**СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
профиль (направленность) (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	36	16			18				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 18 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.,

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

## Содержание

<b>Содержание</b> .....	2
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	5
5. Перечень учебной литературы. ....	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	8

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Синхротронное излучение» имеет своей целью ознакомление со свойствами синхротронного излучения (СИ), классической и квантовой теорией описания его свойств, эффектами влияния синхротронного излучения на параметры электронных пучков в ускорителях и способов применения синхротронного излучения в фундаментальных и прикладных исследованиях.

Уникальные свойства СИ привели к созданию большого количества исследовательских методик, которые активно используются во многих научных направлениях. Спрос на такие исследования в настоящее время настолько высок, что непрерывно создаются специализированные научные центры, специализирующиеся на создании удобных условий реализации и использования таких методик. Создание специализированных ускорительных комплексов для обеспечения этих центров мощными пучками СИ является одним из наиболее востребованных направлений ускорительной науки. Поэтому специалистам в области современных ускорительных систем совершенно необходимо иметь представление о целях и путях создания таких систем.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области физики источников электромагнитного излучения на основе релятивистских электронных пучков. При изучении курса используются материалы, изложенные в профессиональных изданиях: научных статьях, сборниках трудов конференций, монографиях ведущих специалистов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> основные принципы теории синхротронного излучения, основные его характеристики; способы использования источников синхротронного излучения и основные методики для прикладных исследований с использованием синхротронного и ондуляторного излучения.</p> <p><b>Уметь</b> самостоятельно формулировать требования и проектировать магнитные структуры современных источников синхротронного излучения; применять полученную теоретическую базу для оценки необходимых спектральных потоков фотонов для реализации основных методик с использованием синхротронного и ондуляторного излучения.</p> <p><b>Владеть</b> аналитическими и численными методами расчёта параметров синхротронного и ондуляторного излучения; основными методами научных</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		исследований, навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области создания и использования источников синхротронного излучения.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Синхротронное излучение» реализуется в осеннем семестре 2-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой ускорителей. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, электронная оптика и физика пучков, а также по математике (основы математического анализа, линейная алгебра и геометрия). Дисциплина должна предшествовать выполнению выпускной квалификационной работы т.к. дает магистранту необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в области физики ускорителей в рамках ее подготовки.

## 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	36	16			18				2	
Всего 36 часов / 1 зачётных единицы, из них: - контактная работа 18 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных

элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью опросов, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос по материалам лекций;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 з. е.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачет) – 2 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, дифференцированный зачет) составляет 18 часов.

#### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Синхротронное излучение» представляет собой полугодовой курс, читаемый в осеннем семестре магистрантам 2-го курса физического факультета НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Программа курса. Введение.	1-2	4	2		2	
2	Потенциалы и поля движущейся заряженной частицы	3-4	4	2		2	
3	Спектральные характеристики поля излучения	5-6	4	2		2	
4	Приделы применимости классической теории	7-8	4	2		2	
5.	Влияние параметров пучка электронов на характеристики СИ	9-10	4	2		2	
6.	Излучение релятивистских электронов в магнитных периодических структурах	11-12	4	2		2	
7.	Рассеяние рентгеновских лучей	13-14	5	2		3	
8.	Способы монохроматизации излучения	15-16	5	2		3	
10.	Дифференцированный зачет	17	2				2
<b>Всего</b>			<b>36</b>	<b>16</b>		<b>18</b>	<b>2</b>

## Программа и основное содержание лекций (16 часов)

### Раздел 1. Введение (2 часа)

История синхротронного излучения (СИ). Излучение зарядов при движении с ускорением. Качественное рассмотрение СИ (угловое и спектральное распределения, поляризация).

### Раздел 2. Потенциалы и поля движущейся заряженной частицы (2 часа)

«Сжатие» времени, запаздывающие потенциалы, потенциалы Лиенара-Вихерта. Поле излучения частицы, движущейся с ускорением, мощность, излученная частицей. Излучение заряда, движущегося по окружности, временные характеристики поля излучения.

### Раздел 3. Спектральные характеристики поля излучения в приближении (2 часа)

Фурье- преобразование поля излучения, спектральные характеристики поля излучения в приближении. Описание поля СИ: поляризация, спектрально- угловое распределение интенсивности излучения. Асимптотическое поведение спектра СИ при низких и высоких частотах, практические формулы для расчета СИ.

### Раздел 4. Приделы применимости классической теории (2 часа)

Поправки к спектру СИ за счет квантовых поправок и поляризации электронов. Затухание и возбуждение бетатронных и энергетических колебаний за счёт СИ, равновесный фазовый объём пучка электронов. Поляризация электронов при излучении СИ.

### Раздел 5. Влияние параметров пучка электронов на характеристики СИ (2 часа)

Фазовый объём пучка СИ. Яркость источника СИ, магнитные структуры современных накопителей для получения максимальной яркости источника. Специальные устройства (insertion device) для генерации СИ: «шифтеры» и многополюсные вигглеры. Свойства СИ из этих устройств. Влияние магнитных полей сильнополевых вигглеров на движение пучка в накопителе.

### Раздел 6. Излучение релятивистских электронов в магнитных периодических структурах (2 часа)

Качественное рассмотрение ондуляторного излучения (ОИ). Угловые и спектральные характеристики ОИ (случай слабого и сильного поля ондулятора). Спиральные и плоские ондуляторы. Влияние энергетического и углового разброса в пучке электронов на угловые и спектральные свойства ондуляторного излучения. Особенности излучения из ондуляторов конечной длины.

### Раздел 7. Рассеяние рентгеновских лучей (2 часа)

Томсоновское и комптоновское сечения рассеяния. Рассеяние связанными электронами, атомный фактор, показатель преломления рентгеновских лучей. Отражение от идеальных кристаллов, отклонение от закона Вульфа-Брэгга, кристалл с незначительным поглощением, формулы Дарвина, экстинкция.

### Раздел 8. Способы монохроматизации излучения (2 часа)

Их использование при проведении экспериментов на СИ. Использование СИ для проведения прикладных исследований. Конструкция каналов вывода СИ и экспериментальных станций. Обзор экспериментальных методов с использованием СИ.

## Самостоятельная работа студентов (18 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение материала лекций	16
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2

## **5. Перечень учебной литературы.**

1. Джексон Д. Классическая электродинамика, пер. с англ. Г.В. Воскресенского, Л.С. Соловьева; под ред. Э.Л. Бурштейна. Москва : Мир, 1965 (3 экз.)
2. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества. Москва: ФизМатЛит, 2007 (6 экз.)

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Тернов И.М. Михайлин В.В.: теория и эксперимент. Москва, Энергоатомиздат, 1986.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины «Синхротронное излучение» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль успеваемости***

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит во время дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет проводится в конце семестра по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

Таблица 10.1

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> основные принципы теории синхротронного излучения, основные его характеристики; способы использования источников синхротронного излучения и основные методики для прикладных исследований с использованием синхротронного и ондуляторного излучения.	Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.



<p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Уметь</b> самостоятельно формулировать требования и проектировать магнитные структуры современных источников синхротронного излучения; применять полученную теоретическую базу для оценки необходимых спектральных потоков фотонов для реализации основных методик с использованием синхротронного и ондуляторного излучения.</p> <p><b>Владеть</b> аналитическими и численными методами расчёта параметров синхротронного и ондуляторного излучения; основными методами научных исследований, навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области создания и использования источников синхротронного излучения.</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.</p>
---	---	--

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Синхротронное излучение».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет ре-	Продемонстрированы частично основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания

		шать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	ошибками или с недочетами.	в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Вопросы для контроля усвоения материала курса

1. Чем отличается спектр излучения при однократном пролете электрона от спектра излучения электрона в циклической машине?
2. В чем состоит основное отличие излучений из виглера и ондулятора?
3. Почему для генерации СИ используются электроны, а не протоны?
4. При каких условиях излучения отдельных электронов в сгустке когерентны?
5. Чем определяется эффективная длина ондулятора для циклической машины?
6. В каком соотношении полная спектральная мощность СИ делится величиной соответствующей критической энергией фотонов?
7. Чему равны соотношения мощностей вертикально и горизонтально поляризованных компонент?
8. Для какой энергии электронов квантовые эффекты излучения будут носить определяющий характер?

#### Примеры вопросов на дифференцированный зачет

1. Качественное рассмотрение основных свойств синхротронного излучения.
2. Фурье- преобразование поля излучения, спектральные характеристики поля излучения
3. Потенциалы и поля движущейся заряженной частицы, «сжатие» времени, запаздывающие потенциалы.
4. Затухание и возбуждение бетатронных и энергетических колебаний за счёт СИ, равновесный фазовый объём пучка электронов.
5. Излучение заряда, движущегося по окружности, временные характеристики поля излучения.
6. Яркость источника СИ, магнитные структуры современных накопителей для получения максимальной яркости источника.
7. Описание поля СИ: поляризация, спектрально- угловое распределение интенсивности излучения.
8. Излучение из периодических магнитных структур, качественное описание ондуляторного излучения и его отличие от излучения в режиме виглера.
9. Влияние параметров пучка электронов на характеристики СИ, фазовый объём пучка СИ.
10. Рассеяние рентгеновских лучей. Томсоновское, рэлеевское и комптоновское сечения рассеяния.

11. Излучение релятивистских электронов в магнитных периодических структурах. Качественное рассмотрение ондуляторного излучения (ОИ).
12. Основные методики, использующие СИ в рентгеновском диапазоне.
13. Структуры магнитной системы современных накопителей – источников СИ.
14. Качественное рассмотрение основных свойств синхротронного излучения.

#### **Пример билета к дифференцированному зачету**

1. Излучение заряда, движущегося по окружности, временные характеристики поля излучения.
2. Яркость источника СИ, магнитные структуры современных накопителей для получения максимальной яркости источника.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Синхротронное излучение»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного