

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

**Кафедра физики ускорителей**



УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ  
А. Е. Бондарь  
« 10 » июня 2014 г.

**ЛАЗЕРЫ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ**

Рабочая программа дисциплины

**Физический факультет**

Направление подготовки

**011200 Физика (квалификация (степень) «магистр»)**

Профиль:

**Физика ускорителей**

Форма обучения

**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)	
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем (консультации, экзамен)
		Лекции	Семинары в т.ч. зачет	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8
3	36	16	2		18		

Всего 36 часов / 1 зачетная единица  
из них:  
- контактная работа 18 часов  
- в интерактивных формах 18 часов

**Новосибирск 2014**

Рабочая программа дисциплины «Лазеры на свободных электронах», предназначенная для магистрантов физического факультета НГУ, разработана в 2011 году в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 011200 Физика (квалификация «магистр») от 18.11.2009, приведена в соответствие с требованиями Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования от 19.12.2013.

Место дисциплины в структуре учебного плана  
М.2 «Профессиональный цикл. Вариативная часть».

Составили:

Чл.-корр. РАН, доктор физ.-мат. наук, проф. Н. А. Винокуров

Рабочая программа

© Новосибирский государственный университет, 2014

© Винокуров Н. А., 2014



## Содержание

Аннотация.....	5
1. Цели освоения дисциплины.....	6
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	6
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины .....	6
4. Структура и содержание дисциплины .....	7
5. Образовательные технологии .....	8
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов .....	9
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания .....	9
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	9
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	10

## **I. Рабочая программа дисциплины «Лазеры на свободных электронах»**

### **Аннотация**

Программа курса «Лазеры на свободных электронах» составлена в соответствии с требованиями к обязательному минимуму обязательному минимуму содержания и уровню подготовки магистра по направлению 011200 Физика, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на Физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой физики ускорителей. Дисциплина изучается магистрантами физического факультета.

Дисциплина «Лазеры на свободных электронах» имеет своей целью дать профессионально подготовленным физикам на доступном им высоком уровне информацию о принципах действия и устройстве лазеров на свободных электронах, а также современных технологиях, применяемых при их создании.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общекультурных компетенций ОК-1, ОК-10, а также профессиональных компетенций ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-7, ПК-9 и ПК-10.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: интерактивные лекции (лекции-дискуссии, лекции с разбором конкретных ситуаций), самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, зачёт с оценкой.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: зачёт с оценкой.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетная единица:

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

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, семинарского типа, групповые консультации, зачёт с оценкой) составляет 18 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 18 часов.

## 1. Цели освоения дисциплины

Данный курс предназначен для обучения специалистов, которые будут в своей последующей работе использовать знание об устройстве и принципе работы новых технологически сложных компонентов современных источников электромагнитного излучения на основе релятивистских электронных пучков.

Дисциплина «Лазеры на свободных электронах» имеет своей целью дать профессионально подготовленным физикам на доступном им высоком уровне информацию о принципах действия и устройстве лазеров на свободных электронах, а также технологиях, применяемых при их создании.

Для достижения поставленной цели используются материалы, изложенные в профессиональных изданиях: научных статьях, сборниках трудов конференций, монографиях ведущих специалистов. Также используется возможность контакта с разработчиками лазеров на свободных электронах, работающими в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, имеющими многолетний опыт создания устройств для этих уникальных исследовательских установок. Организуются экскурсии студентов на лазер на свободных электронах Сибирского центра фотохимических исследований, а также прохождение практики студентами на этой установке в лаборатории 8-1 Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Лазеры на свободных электронах» относится к циклу М2 «Профессиональный цикл. Вариативная часть».

Студенты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны иметь общую базовую подготовку в рамках программы первых четырех лет обучения в ВУЗе, в том числе:

- Математический анализ;
- Высшая алгебра;
- Электродинамика;
- Электронная оптика и физика пучков.

Результаты освоения дисциплины используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Практика и научно-исследовательская работа в НИИ.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Общекультурные компетенции ОК-1, ОК-10, а также профессиональные компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-7, ПК-9 и ПК-10.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **иметь представление** об устройстве и принципе работы лазеров на свободных электронах;
- **знать** о технологиях создания, физических характеристиках и принципах работы компонентов лазеров на свободных электронах;
- **уметь** использовать полученные знания при создании лазеров на свободных электронах и работе с такими установками. Уметь ориентироваться в информации получаемой из печатных изданий и сети «Интернет».

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Лазеры на свободных электронах» представляет собой курс, читаемый магистрантам физического факультета НГУ в 3-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 академических часов.

По использованию современных научных данных, своему содержанию, уровню предварительной подготовки студентов курс не имеет аналогов в России. По сравнению с подобными зарубежными курсами наши студенты имеют более серьезный уровень подготовки, как по математическим, так и по физическим дисциплинам, что позволяет использовать изложение на высоком профессиональном уровне. Курс актуален для дисциплин специальной подготовки, т.к. позволяет подготовить специалиста с широким кругозором и одновременно с глубоким пониманием основ.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя курса	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Семинары (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Излучение релятивистских частиц	1-3	6	4		2	
2	Процессы спонтанного и вынужденного излучения	4-6	4	2		2	
3	Продольная группировка электронов полем синхронной волны	7-9	6	4		2	
4	ЛСЭ-генератор	10-12	4	2		2	
5	Ограничения на параметры электронного пучка	13	4	2		2	
6	Ускорители для ЛСЭ	14-15	4	2		2	
7	Самостоятельная подготовка обучающегося к зачету		6			6	
8	Зачёт с оценкой	16	2		2		
Всего			36	16	2	18	

#### Содержание разделов и тем курса

1. **Излучение релятивистских частиц.** Движение заряженных частиц в электромагнитном поле. Синхротронное излучение. Рассеяние волн. Ондюляторное излучение. Параметр ондуляторности  $K$ . Ондюляторы: движение электронов, излучение и конструкции магнитных систем. (Движение электрона в периодическом поперечном

- магнитном поле. Конструкции ондуляторов: электромагниты и постоянные магниты. Расчёт магнитного поля. Фокусировка электронов в ондуляторе. Ондуляторы на бегущей волне.
2. **Процессы спонтанного и вынужденного излучения.** Общая постановка задачи. Ансамбли излучателей. Когерентное и некогерентное излучение. Вынужденное излучение как результат синхронизации излучателя с внешней волной.
  3. **Продольная группировка электронов полем синхронной волны.** Движение электрона в ондуляторе в присутствии попутной волны. Условие синхронизма. Итеративное решение уравнений продольного движения. Усреднение по начальным условиям и теорема Мэйди. Оптический клистрон. Условие синхронизма в лампах бегущей волны. Вынужденное ондуляторное излучение. Нахождение величины усиления слабого сигнала. Гауссовы световые пучки. Усиление для случая гауссова пучка. Оптимальная длина Рэлея.
  4. **ЛСЭ-генератор.** Создание обратной связи при помощи зеркал. Открытые оптические резонаторы. Лучевая матрица и условие устойчивости оптического резонатора. Условие генерации. Периодические электронные сгустки и режим синхронизации продольных мод оптического резонатора. ЛСЭ с большим усилением. Радиационная неустойчивость электронного пучка в ондуляторе. Оценка длины нарастания.
  5. **Ограничения на параметры электронного пучка.** Влияние конечных поперечных эмиттансов и энергетического разброса на усиление электромагнитной волны. Оптимизация параметров электронного пучка. Максимальная мощность излучения ЛСЭ. Предельная группировка. Нарушение условия синхронизма и максимальный электронный к. п. д. Оптимальная прозрачность выходного зеркала ЛСЭ-генератора.
  6. **Ускорители для ЛСЭ.** Линейные ускорители и микротрон. Электронные накопители: ограничение мощности. Ускорители-рекуператоры. Некоторые примеры ЛСЭ и их использования. Новосибирский ЛСЭ терагерцового диапазона. Рентгеновский ЛСЭ LCLS.

## 5. Образовательные технологии

Учебный курс «Лазеры на свободных электронах» носит преимущественно лекционный характер. Изучение и закрепление нового материала происходит на интерактивных лекциях: лекциях-дискуссиях и лекциях с разбором конкретных ситуаций и конкретных примеров построения конкретных систем и решений. При подаче материала лекционного курса используется мультимедийная техника. На экран выводятся формулировки, определения, основные понятия, а также графические иллюстрации, помогающие наглядно подать материал. Существенным элементом образовательных технологий является не только умение студента найти решение задачи, но и способность доходчиво донести его до всей аудитории, при этом поощряется элемент соревновательности. Умение ответить на вопросы сокурсников и преподавателя развивает навыки, которые будут необходимы в дальнейшей профессиональной деятельности студента. Важнейшим элементом технологии является самостоятельное решение заданий студентами. Это единственная полностью индивидуальная форма обучения. Сдача заданий в устной форме преподавателю во время зачётных занятий направлена на формирование коммуникативных навыков, умения объяснять, логически излагать решение, быстро отвечать на вопросы преподавателя. Студент рассказывает свое решение преподавателю, отвечает на дополнительные вопросы.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Н. А. Винокуров. Лазеры на свободных электронах. Электронное пособие, [http://accel.inp.nsk.su/library/FEL\\_lections.pdf](http://accel.inp.nsk.su/library/FEL_lections.pdf).

## 7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале «сформирована / не сформирована». Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные общекультурные компетенции ОК-1, ОК-10, а также профессиональные компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-7, ПК-9 и ПК-10 сформированы.

### Образец задания для самостоятельной работы:

1. Излучение релятивистских частиц. (Движение заряженных частиц в электромагнитном поле. Синхротронное излучение. Рассеяние волн. Ондюляторное излучение. Параметр ондюляторности  $K$ .)
2. Ограничения на параметры электронного пучка. (Влияние конечных поперечных эмиттансов и энергетического разброса на усиление электромагнитной волны. Оптимизация параметров электронного пучка.)

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Обязательная литература:

1. Н. А. Винокуров. Лазеры на свободных электронах. Электронное пособие, [http://accel.inp.nsk.su/library/FEL\\_lections.pdf](http://accel.inp.nsk.su/library/FEL_lections.pdf).

Дополнительная литература:

1. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Механика. М.: Наука, 1988.
2. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Теория поля. М.: Наука, 1988.
3. 4. Винокуров Н.А., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Лазеры на свободных электронах – достижения и перспективы // Вестник Российской академии наук. – 2011. – Т. 81, № 6. – С. 520-524.

Интернет ресурсы:

1. Методические материалы на сайте кафедры физики ускорителей ФФ НГУ <http://accel.inp.nsk.su/>

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Дисциплина обеспечена лекционными аудиториями Института ядерной физики СО РАН.  
Оснащение основных лекционных аудиторий ИЯФ:

*Аудитория ВЭПП-4.* – Лекционная аудитория на 30 мест:

- а) основное оборудование:  
ручной подвесной проекционный экран 127см\*127см  
Вспомогательный переносной проектор EPSON EMP-1715

*Пристройка 2 эт.* – Лекционная аудитория на 48 мест:

- а) основное оборудование:  
Стационарный (подвесной) проектор EPSON EB-X72 с пультом;  
Ноутбук DELL PP22L;
- б) дополнительное оборудование:  
ручной подвесной проекционный экран 127см\*127см  
Вспомогательный переносной проектор EPSON EMP-1715

*Зал для конференций* – на 305 мест

- а) основное оборудование:  
Переносной проектор NEC VT660 с пультом;  
Ноутбук ASPIRE 5720;
- б) дополнительное оборудование:  
электрический подвесной проекционный экран 200м\*200м  
проектор для больших презентаций SANYO PLC-XP57L  
беспроводные инфракрасные микрофоны и аппаратура воспроизведения звука.

Возможность использования интернет библиотек.

**Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры физики ускорителей физического факультета НГУ.**