

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

**Кафедра физики ускорителей**



**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ЭФУ**

Рабочая программа дисциплины

**Физический факультет**

Направление подготовки

**03.03.02 Физика (уровень бакалавриата)**

**Курс 4, семестр 7**

Профиль:

**Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)	
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем (консультации, экзамен)
		Лекции	Семинары	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8
7	36	17			10	5	4
Всего 36 часов / 1 зачетная единица из них: - контактная работа 21 час - в интерактивных формах 17 часов							

Рабочая программа дисциплины «Электрофизическая прочность ЭФУ», предназначенная для студентов четвёртого курса физического факультета НГУ, разработана в 2011 году в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 011200 Физика (квалификация «бакалавр») от 08.12.2009, приведена в соответствии с требованиями Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования от 19.12.2013, переработана в 2014 г. в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика (уровень бакалавриата) от 07.08.2014.

Место дисциплины в структуре учебного плана Б1, вариативная

Составили:

асс. А. А.Краснов

Рабочая программа

© Новосибирский государственный университет, 2014

© Краснов А. А., 2014

## Содержание

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

## Аннотация

Программа курса «**Электрофизическая прочность ЭФУ**» (ЭФУ - электрофизические установки) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО к уровню бакалавриата по направлению подготовки «**03.03.02 Физика**» (академический бакалавриат), 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 государственный университет (НГУ) кафедрой физики ускорителей. Дисциплина изучается студентами четвертого курса физического факультета в осеннем семестре.

Цели курса – дать студентам базовые знания, умения и навыки по основам линейных ускорителей.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общепрофессиональных компетенций ОПК-3 и ОПК-6, а также профессиональных компетенций ПК-1 и ПК-3.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, домашние задания, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: домашние задания, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетная единица:

- занятия лекционного типа – 17 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 10 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к экзамену и экзамен) – 9 часов.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 21 час.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 17 часов.

## 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина (курс) «Электрофизическая прочность ЭФУ» имеет своей целью ознакомление с основами физических процессов, протекающих в различных изоляционных средах при приложении высокого напряжения, определение критериев электрического пробоя в вакууме, газе, твердом и жидком диэлектриках, изучение возможностей повышения рабочего напряжения в электрофизических установках.

В современных электрофизических установках, применяющихся для фундаментальных исследований и прикладных целей, одновременно с качественной и безопасной эксплуатацией, как правило, требуется получать предельные режимы работы оборудования, к которому, в том числе, относятся различные высоковольтные устройства и системы. Повышение надежности работы высоковольтных устройств наравне с улучшением их рабочих характеристик напрямую зависит от понимания физических процессов развития электрического пробоя в соответствующих системах.

Дисциплина «Электрофизическая прочность ЭФУ» предназначена для обучения студентов-физиков основам расчета электрической прочности высоковольтных систем.

Для достижения поставленной цели выделяются задачи курса:

1. Изучение основных понятий, используемых при анализе процессов развития электрического пробоя в различных средах: вакууме, газе, жидком и твердом диэлектриках (коэффициент усиления поля, коэффициент ионизации, время развития разряда и т.д.).
2. Сравнение различных критериев возникновения электрического пробоя в вакууме (катодные, анодные и прочие механизмы пробоя) при воздействии постоянного, импульсного и высокочастотного напряжения.
3. Изучение различных механизмов развития электрического разряда в газе (ударная ионизация, стримерный разряд и т.д.), закона Пашена.
4. Рассмотрение условий безопасной и надежной эксплуатации вакуумной, газовой, жидкой и твердой изоляции.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Электрофизическая прочность ЭФУ» специальной дисциплиной вариативной части подготовки бакалавра по направлению «03.03.02 Физика», реализуемой кафедрой физики ускорителей.

Дисциплина «Электрофизическая прочность ЭФУ» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Математический анализ;
- Дифференциальные уравнения;
- Высшая алгебра;
- Электродинамика;

Результаты освоения дисциплины используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Практика и научно-исследовательская работа в НИИ.

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

Общепрофессиональные компетенции ОПК-3, профессиональные компетенции ПК-1 и ПК-3.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- Иметь представление об основных физических процессах, протекающих в различных изоляционных средах при приложении высокого напряжения
- Знать критерии развития разряда в вакууме (катодный, анодный, микро-частичный и десорбционный механизмы и их критерии), газе (разряд по Таунсенду, стримерная форма разряда)
- Уметь оценивать пробойную электрическую прочность различных видов изоляции, находить способы повышения рабочего напряжения изоляционных систем.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Электрофизическая прочность ЭФУ» представляет собой двухмесячный (полусеместровый) курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 7-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 академических часов.

В начале курса даются общие сведения о высоковольтных системах и электрических полях. Далее рассматриваются вопросы электроизоляции в вакууме, газе, жидком и твердом диэлектриках. Основное внимание при изложении материала обращено на изучение физических процессов, приводящих к электрическому пробоя в соответствующей изоляционной среде. Изучаются также свойства вакуумной изоляции при высокочастотном напряжении.

Основной отличительной чертой курса является объединение в одном кратком рассмотрении теорий развития электрического пробоя в различных изоляционных средах, сочетаемое с возможностью применения теоретических представлений на практике многочисленных электрофизических установок ИЯФ СО РАН.

№ 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	Характеристика электрических полей в ускоряющих структурах и вспомогательных высоковольтных устройствах ускорительных комплексов. Особая роль вакуумной изоляции	1-2	4	2		2	
2	Электрическая прочность вакуумной изоляции. Катодный, анодный, микрочастичный и десорбционный механизмы пробоя вакуумных промежутков. Микроразряды. Электрическая прочность вакуумной поверхности твердой изоляции. Вакуумная изоляция при высокочастотном напряжении. Вторично-электронный резонансный разряд. Обзор экспериментальных данных	3-6	6	4		2	

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Электрическая прочность газовой изоляции. Основные процессы в газовом промежутке при приложении электрического поля. Таундсеновская и стримерная формы разряда. Закон Пашена. Коронный разряд. Обзор экспериментальных данных	7-10	6	4		2	
4	Электрическая прочность твердой изоляции. Тепловой, электрический и электрохимический механизмы пробоя твердой изоляции. Роль частичных разрядов. Обзор экспериментальных данных	11-14	6	4		2	
5	Электрическая прочность жидкой изоляции. Роль примесей и газовых включений. Старение жидкой изоляции. Обзор экспериментальных данных	15-17	5	3		2	
6	Групповая консультация		2				2
7	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		5				5
8	Экзамен		2				2
Всего			36	17		10	9

## 5. Образовательные технологии

Учебный курс «Электрофизическая прочность ЭФУ» имеет преимущественно лекционный характер. При подаче материала лекционного курса используется мультимедийная техника. На экран выводятся формулировки, определения, основные понятия, а также графические иллюстрации, помогающие наглядно подать материал. В процессе изложения материала используются примеры реально действующих высоковольтных электрофизических систем и установок. Тем не менее, все занятия проводятся в интерактивной форме. В лекциях обсуждаются идеи и способы решения поставленных задач, оптимальность предложенных решений. Поощряется элемент соревновательности. Автор наиболее удачного решения рассказывает его у доски. Существенным элементом образовательных технологий является не только умение студента найти решение задачи, но и способность доходчиво донести его до всей аудитории. 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 направлена на формирование коммуникативных навыков, умения объяснять, логически излагать решение, быстро отвечать на вопросы преподавателя. Студент рассказывает свое решение преподавателю, отвечает на дополнительные вопросы.

Оценка на экзамене складывается из суммы баллов, заработанных студентами во время курса  $\Sigma$ . В зависимости от набранных баллов проставляется оценка:

$\Sigma$	Оценка
[0;200)	неудовлетворительно
[200;400)	удовлетворительно
[400;600)	хорошо
[600;900]	отлично

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Персов Б.З. Расчет и проектирование экспериментальных установок. Москва: Институт компьютерных исследований, 2004.

Система контроля включает краткий текущий (по ходу курса) контроль освоения лекционного материала, на котором и основывается окончательная оценка работы студента в течение курса.

## 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 компетенции ОПК-3 и ОПК-6, а также ПК-1 и ПК-3 сформирована в части, относящейся к формированию способности использовать в профессиональной деятельности материал данного курса.

### Образец задания для самостоятельной работы:

Катодный, анодный, микрочастичный и десорбционный механизмы пробоя вакуумных промежутков. Сравнение критериев пробоя.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Обязательная литература:

1. Персов Б.З. Расчет и проектирование экспериментальных установок. Москва: Институт компьютерных исследований, 2004.

Дополнительная литература:

1. Губкин А.Н. Физика диэлектриков. М. Издательство Высшая школа, 1971.
2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М. Наука, 2009.

Интернет ресурсы:

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



## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Доступ к информационным ресурсам, выложенным на сайте кафедры <http://accel.inp.nsk.su/>

Дисциплина обеспечена лекционными аудиториями Института ядерной физики СО РАН.

Оснащение основных лекционных аудиторий ИЯФ СО РАН:

*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 29 августа 2014 года.**

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

У Т В Е Р Ж Д А Ю

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рабочая программа дисциплины  
**Электрическая прочность электрофизических установок**  
Направление подготовки **011200-Физика**

Квалификация (степень) выпускника  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**Очная**

**Новосибирск**  
**2014**

## **Программа учебного курса «Электрофизическая прочность электрофизических установок»**

Программа курса (дисциплины) «**Электрофизическая прочность электрофизических установок**» составлена в соответствии с требованиями к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки дипломированного специалиста (бакалавра) по циклу «блока БЗ ООП дисциплин» по специальности «011200 физика» и направлению специализации «Физика», а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ.

Автор (авторы) \_\_\_\_\_  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

Факультет Физический  
Кафедра \_ \_ \_

### **1. Цели освоения дисциплины (курса)**

Дисциплина (курс) «Электрофизическая прочность электрофизических установок» имеет своей целью:

ознакомление с основами физических процессов, протекающих в различных изоляционных средах при приложении высокого напряжения, определение критериев электрического пробоя в вакууме, газе, твердом и жидком диэлектриках, изучение возможностей повышения рабочего напряжения в электрофизических установках.

В современных электрофизических установках, применяющихся для фундаментальных исследований и прикладных целей, одновременно с качественной и безопасной эксплуатацией, как правило, требуется получать предельные режимы работы оборудования, к которому, в том числе, относятся различные высоковольтные устройства и системы. Повышение надежности работы высоковольтных устройств наравне с улучшением их рабочих характеристик напрямую зависит от понимания физических процессов развития электрического пробоя в соответствующих системах.

Дисциплина «Электрофизическая прочность электрофизических установок» предназначена для обучения студентов-физиков основам расчета электрической прочности высоковольтных систем.

Для достижения поставленной цели выделяются задачи курса:

1. Изучение основных понятий, используемых при анализе процессов развития электрического пробоя в различных средах: вакууме, газе, жидком и твердом диэлектриках (коэффициент усиления поля, коэффициент ионизации, время развития разряда и т.д.).
2. Сравнение различных критериев возникновения электрического пробоя в вакууме (катодные, анодные и прочие механизмы пробоя) при воздействии постоянного, импульсного и высокочастотного напряжения.
3. Изучение различных механизмов развития электрического разряда в газе (ударная ионизация, стримерный разряд и т.д.), закона Пашена.
4. Рассмотрение условий безопасной и надежной эксплуатации вакуумной, газовой, жидкой и твердой изоляции.

**2. Место дисциплины в структуре образовательной программы** Дисциплина «Электрофизическая прочность электрофизических установок» является частью профессионального цикла обучения (базовая общепрофессиональная часть БЗ) естественнонаучного цикла ООП по направлению подготовки «011200 физика» со специализацией «Физика».

Дисциплина «Электрофизическая прочность электрофизических установок» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Математический анализ;
- Дифференциальные уравнения;

- Высшая алгебра;
- Физика диэлектриков;
- Физика газового разряда;
- Физика разряда в вакууме.

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-3, ОК-5, ОК-8, ОК-10;
- профессиональные компетенции: ПК-1 ÷ ПК4, ПК-7, ПК-11;

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Иметь представление** об основных физических процессах, протекающих в различных изоляционных средах при приложении высокого напряжения
- **Знать** критерии развития разряда в вакууме (катодный, анодный, микро-частичный и десорбционный механизмы и их критерии), газе (разряд по Таунсенду, стримерная форма разряда)
- **Уметь** оценивать пробойную электрическую прочность различных видов изоляции, находить способы повышения рабочего напряжения изоляционных систем.

### 4. Структура и содержание дисциплины Электрофизическая прочность электрофизических установок

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Данный курс является базовой дисциплиной для студентов **радиотехнической** специализации.

В начале курса даются общие сведения о высоковольтных системах и электрических полях. Далее рассматриваются вопросы электроизоляции в вакууме, газе, жидком и твердом диэлектриках. Основное внимание при изложении материала обращено на изучение физических процессов, приводящих к электрическому пробоя в соответствующей изоляционной среде. Изучаются также свойства вакуумной изоляции при высокочастотном напряжении.

**?????Аналогичные дисциплины, существуют в НГТУ города Новосибирска, на физическом факультете МГУ и других вузах в нашей стране и за рубежом.**

Основной отличительной чертой курса является объединение в одном кратком рассмотрении теорий развития электрического пробоя в различных изоляционных средах, сочетаемое с возможностью применения теоретических представлений на практике многочисленных электрофизических установок ИЯФ.

#### Программа курса лекций

##### Электрофизическая прочность электрофизических установок.

1. Характеристика электрических полей в ускоряющих структурах и вспомогательных высоковольтных устройствах ускорительных комплексов. Особая роль вакуумной изоляции. **0.5 лекции**
2. Электрическая прочность вакуумной изоляции. Катодный, анодный, микрочастичный и десорбционный механизмы пробоя вакуумных промежутков. Микроразряды. Электрическая прочность вакуумной поверхности твердой изоляции. Вакуумная изоляция при высокочастотном напряжении. Вторично-электронный резонансный разряд. Обзор экспериментальных данных. **3.5 лекции**
3. Электрическая прочность газовой изоляции. Основные процессы в газовом промежутке при приложении электрического поля. Таунсендовская и стримерная формы разряда. Закон Пашена. Коронный разряд. Обзор экспериментальных данных. **2 лекции**

4. Электрическая прочность твердой изоляции. Тепловой, электрический и электрохимический механизмы пробоя твердой изоляции. Роль частичных разрядов. Обзор экспериментальных данных. 1 лекция
5. Электрическая прочность жидкой изоляции. Роль примесей и газовых включений. Старение жидкой изоляции. Обзор экспериментальных данных. 1 лекция

## 5. Образовательные технологии

Использование в курсе примеров построения конкретных высоковольтных систем на электрофизических установках ИЯФ.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Экзамен.

### Вопросы, предлагаемые на экзамен.

1. Характеристика электрических полей в ускоряющих структурах и вспомогательных высоковольтных устройствах ускорительных комплексов. Теория Роговского. Особая роль вакуумной изоляции.
2. Электрическая прочность вакуумной изоляции. Выступы на поверхности. Природа темновых токов.
3. Катодный, анодный, микрочастичный и десорбционный механизмы пробоя вакуумных промежутков. Сравнение критериев пробоя.
4. Вакуумная изоляция при высокочастотном напряжении. Вторично-электронный резонансный разряд. Разряд вдоль твердой поверхности в вакууме.
5. Электрическая прочность газовой изоляции. Основные процессы в газовом промежутке при приложении электрического поля. Таундсендовская форма разряда.
6. Электрическая прочность газовой изоляции. Закон Пашена. Стримерная форма разряда.
7. Электрическая прочность газовой изоляции. Коронный разряд. Зависимость разряда от полярности. Пробой при импульсном напряжении.
8. Электрическая прочность твердой изоляции. Тепловой, электрический и электрохимический механизмы пробоя твердой изоляции. Роль частичных разрядов.
9. Электрическая прочность жидкой изоляции. Роль примесей и газовых включений. Старение жидкой изоляции.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература: \_

1. Сливков И.Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме. М. Атомиздат, 1972.
2. Латам Р. Вакуумная изоляция установок высокого напряжения. М. Энергоатомиздат, 1985.
3. Мик Дж., Крэгс Дж. Электрический пробой в газах. М. Изд. Иностр. литер, 1960.
4. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (Область сильных полей). М. Физматгиз, 1958.
5. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М. Энергоиздат, 1982.
6. Губкин А.Н. Физика диэлектриков. М. Издательство Высшая школа, 1971.

7. Резвых К.А. Расчет электростатических полей. М. Энергия, 1985.
8. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М. Наука, 1987.
9. Бортник.И.М. Физические свойства и электрическая прочность элегаза. М. Энергоатомиздат, 1988.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

**Обеспечена лекционными аудиториями Института ядерной физики СО РАН.**

**Оснащение основных лекционных аудиторий ИЯФ:**

***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.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании \_\_\_\_\_

*(Наименование уполномоченного органа вуза (УМК, НМС, Ученый совет)*

от \_\_\_\_\_ года.