МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента науки и инноваций
_____ Р. В. Мещеряков
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика пучков заряженных частиц

Уровень образования: **высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации**
Направление подготовки / специальность: **11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи**
Направленность (профиль) / специализация: **Вакуумная и плазменная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **физики, Кафедра физики**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Всего аудиторных занятий	36	36	часов
4	Самостоятельная работа	36	36	часов
5	Всего (без экзамена)	72	72	часов
6	Общая трудоемкость	72	72	часов
		2.0	2.0	З.Е.

Дифференцированный зачет: 4 семестр

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 31.05.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Томск 2018

Согласована на портале № 31387

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 124 от « 8 » 6 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного 30.07.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

Доцент каф. физики	_____	Ю. Г. Юшков
Заведующий обеспечивающей каф. физики	_____	Е. М. Окс

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. физики	_____	Е. М. Окс

Эксперты:

Заведующий аспирантурой	_____	Т. Ю. Коротина
Доцент тусура	_____	А. В. Медовник
Заведующий кафедрой физики (физики)	_____	Е. М. Окс

Согласована на портале № 31387

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Приобретение широких, целостных и глубоких знаний о физических явлениях, определяющих процессы формирования и транспортировки пучков заряженных частиц, способах их получения, а также их применениях в электронике и импульсной энергетике.

Формирование умения вычленять физические факторы, существенные в электрофизических системах с пучками заряженных частиц, выполнять качественные оценки и расчеты параметры физических процессов в таких системах.

1.2. Задачи дисциплины

– Изучение основ динамики заряженных частиц в электрическом и магнитном полях, физических процессов, происходящих при генерации и транспортировке импульсных и непрерывных электронных пучков, вопросы магнитной изоляции высоковольтных вакуумных промежутков и передающих линий, изучение вопросов практического применения электронных пучков.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика пучков заряженных частиц» (Б1.В.ДВ.2.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Физические основы электронно-ионно-лучевых и плазменных технологий, Экспериментальные методы в сильноточной электронике, Эмиссионные и электроразрядные явления в вакууме.

Последующими дисциплинами являются: Вакуумная и плазменная электроника.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-5 умение выполнять качественные оценки и количественные расчеты, необходимые для разработки и создания электронно-вакуумных и газоразрядных приборов и устройств, новых технологий на их основе;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** Принципы и основы электронно-вакуумных и газоразрядных приборов и устройств.

– **уметь** Выполнять качественные оценки и количественные расчеты электронно-вакуумных и газоразрядных приборов и устройств.

– **владеть** Навыками разработки и создания электронно-вакуумных и газоразрядных приборов и устройств, новых технологий на их основе.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		4 семестр
Аудиторные занятия (всего)	36	36
Лекции	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего)	36	36
Проработка лекционного материала	11	11
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	25	25
Всего (без экзамена)	72	72
Общая трудоемкость, ч	72	72
Зачетные Единицы	2.0	2.0

Согласована на портале № 31387

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр					
1 Введение в дисциплину	3	0	5	8	ПК-5
2 Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.	4	5	8	17	ПК-5
3 Генерация импульсных и непрерывных пучков заряженных частиц.	4	7	10	21	ПК-5
4 Транспортировка пучков заряженных частиц.	4	6	10	20	ПК-5
5 Применение пучков заряженных частиц.	3	0	3	6	ПК-5
Итого за семестр	18	18	36	72	
Итого	18	18	36	72	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины по лекциям	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
1 Введение в дисциплину	1. История возникновения и развития ускорительной техники.2. Общие вопросы генерации электронных пучков. Характеристики пучков заряженных частиц. 3. Импульсные и непрерывные пучки заряженных частиц.4. Генерирование мощных СВЧ-импульсов.5. Мощные импульсные газовые лазеры, накачиваемые сильноточными электронными пучками6. Электронно-ионно-плазменные технологии	3	ПК-5
	Итого	3	
2 Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.	1. Уравнения движения заряженной частицы2. Уравнение движения релятивистской заряженной частицы в вакууме. Сила Лоренца. Уравнения движения в нерелятивистском случае. Полная и кинетическая энергия частицы, релятивистский импульс.3. Осевая симметрия в сильноточных устройств и пучках заряженных частиц. Скорость частицы в цилиндрической системе координат. Из-	4	ПК-5

Согласована на портале № 31387

	менение единичных векторов при движении частицы. Проецирование уравнений движения на оси цилиндрической системы координат. Вид уравнений в общем и в нерелятивистском случае.3. Движение заряженной частицы в постоянных однородных полях. 4. Движение в однородном электрическом поле.5. Движение в однородном магнитном поле. Циклотронная частота. Прямое решение уравнений движения для циклотронного вращения.5. Движение в скрещенных полях, разделение на компоненты по направлениям. Движение по циклоиде. Скорость дрейфа. Величина электрического поля в дрейфующей системе отсчета. Характер движения при различных соотношениях между напряженностями магнитного и поперечного электрического полей.6. Симметрии электромагнитного поля и законы сохранения7. Лагранжев метод описания механических систем. Обобщенные координаты и обобщенные скорости. Уравнения Эйлера-Лагранжа. Симметрия функции Лагранжа и определение интеграла движения. Функция Лагранжа для заряженной частицы в электромагнитном поле. 8. Осевая симметрия поля и сохранение аксиальной компоненты момента обобщенного импульса. Теорема Буша, формулировка через магнитный поток.9. Постоянное поле и сохранение полной энергии частицы.10. Движение заряженной частицы в слабо неоднородном магнитостатическом поле11. Определение слабо неоднородного магнитостатического поля. Понятие адиабатического инварианта при движении системы с медленно изменяющимся параметром.12. Адиабатический инвариант для движения в слабо неоднородного магнитного поля.13. Магнитная пробка. Магнитные ловушки, их применение.		
	Итого	4	
3 Генерация импульсных и непрерывных пучков заряженных частиц.	1. Общие принципы и подходы к созданию источников электронов.2. Разрядные системы для плазменных источников электронов.3. Тлеющий разряд с полым катодом.4. Дуговой разряд. 5. Влияние процессов в ускоряющем промежутке на зажигание разряда.6. Особенности зажигания разряда с полым катодом.7. Особенности зажигания дугового разряда. 8. Параметры и характеристики разрядных систем для плазменных источников электронов.9. Разряд с полым катодом. 10. Импульсный режим функционирования разряда с полым катодом.	4	ПК-5
	Итого	4	
4 Транспортировка пучков заряженных частиц.	1. Характеристики плазменных источников электронов.2. Источники электронов на основе тлеющего разряда с полым катодом.3. Источник широ-	4	ПК-5

Согласована на портале № 31387

	коапертурного имульсного пучка электронов на основе дугового разряда.4. Влияние эмиссии электронов на параметры плазмы и разряда. 5. Плазменно-эмиссионные системы на основе тлеющего разряда с цилиндрическим полым катодом для генерации сфокусированных электронных пучков. 6. Плазменно-эмиссионные системы на основе тлеющего разряда с протяженным полым катодом для генерации ленточных электронных пучков. 7. Плазменно-эмиссионные системы на основе импульсного тлеющего разряда с цилиндрическим полым катодом для генерации пучков большого сечения.8. Электрическая прочность ускоряющего промежутка форвакуумных плазменных источников электронов9. Общие вопросы фокусировки пучков звряженных частиц.		
	Итого	4	
5 Применение пучков заряженных частиц.	1. Применение электронных пучков.2. Применение импульсных электронных пучков для обработки материалов.3. Применение ускосфокусированных электронных пучков.4. Развитие и применение форвакуумных плазменных источников электронов.5.Развитие и применение ионных пучков.	3	ПК-5
	Итого	3	
Итого за семестр		18	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин				
	1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины					
1 Физические основы электронно-ионно-лучевых и плазменных технологий	+	+	+	+	+
2 Экспериментальные методы в сильноточной электронике	+	+	+	+	+
3 Эмиссионные и электроразрядные явления в вакууме	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины					
1 Вакуумная и плазменная электроника	+	+	+	+	+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Согласована на портале № 31387

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий			Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ПК-5	+	+	+	Контрольная работа, Конспект самоподготовки, Тест, Дифференцированный зачет

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
2 Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.	1. Уравнения движения заряженной частицы. Получение уравнений движения заряженной частицы в цилиндрической системе координат. 2. Движение заряженной частицы в постоянных однородных полях. Прямое решение уравнений движения для циклотронного вращения в комплексном виде. 3. Симметрии электромагнитного поля и законы сохранения. Получение интегралов движения для полей, обладающих различной симметрией. 4. Движение заряженной частицы в слабо неоднородном магнитостатическом поле. Оценивание параметров магнитной ловушки.	5	ПК-5
	Итого	5	
3 Генерация импульсных и непрерывных пучков заряженных частиц.	1. Оценивание величины тока, извлекаемого из плазмы с заданными параметрами.2. Оценивание плотности предпробойного тока термоавтоэмиссии с катодного микроострия с учетом влияния объемного заряда.3. Формирование электронных пучков, виды вакуумных диодов.4. Плоский вакуумный диод. Численное построение точного решения для тока в плоском вакуумном диоде, сравнение с нерелятивистской и ультрарелятивистской асимптотиками.5. Ток в сильноточных диодах с дискретной поверхностью эмиссии. Оценивание и сравнение тока в планарном диоде со сплошной и с дискретной поверхностью эмиссии.6. Условия постоянства импеданса вакуумного диода во времени.	7	ПК-5

Согласована на портале № 31387

	Оценивание параметров лезвийной катодной поверхности, необходимой для обеспечения постоянства импеданса диода в течение заданного интервала времени.7. Соотношение электрических и магнитных. Оценивание соотношения электрических и магнитных сил в вакуумных системах различной конфигурации при различных напряжениях.8. Электронные пучки с виртуальным катодом.9. Токопрохождение в плоском эквипотенциальном промежутке. Оценивание первого и второго критического токов для заданных параметров задачи.		
	Итого	7	
4 Транспортировка пучков заряженных частиц.	1. Транспортировка пучка заряженных частиц магнитным полем. Оценивание параметров магнитного поля, необходимых для периодической транспортировки пучка. Оценивание инкрементов параметрической неустойчивости при периодической транспортировке.2. Магнитная изоляция и магнитная самоизоляция. Оценивание параметров нагрузки, необходимых для самоизоляции коаксиальной линии.3. Предельный ток транспортировки трубчатого электронного пучка в однородном круглом канале. Вычисление предельного тока транспортировки при конкретных параметрах задачи, оценивание влияния толщины стенки пучка на величину тока.	6	ПК-5
	Итого	6	
Итого за семестр		18	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
4 семестр				
1 Введение в дисциплину	Проработка лекционного материала	5	ПК-5	Дифференцированный зачет, Конспект самоподготовки, Тест
	Итого	5		
2 Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	7	ПК-5	Дифференцированный зачет, Конспект самоподготовки, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	8		

Согласована на портале № 31387

3 Генерация импульсных и непрерывных пучков заряженных частиц.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	9	ПК-5	Дифференцированный зачет, Конспект самоподготовки, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	10		
4 Транспортировка пучков заряженных частиц.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	9	ПК-5	Дифференцированный зачет, Конспект самоподготовки, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	10		
5 Применение пучков заряженных частиц.	Проработка лекционного материала	3	ПК-5	Дифференцированный зачет, Конспект самоподготовки, Тест
	Итого	3		
Итого за семестр		36		
Итого		36		

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Владимиров Г. Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 368 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/38838. — Загл. с экрана. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/38838 (дата обращения: 14.06.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Форвакуумные плазменные источники электронов [Электронный ресурс] : монография / В. А. Бурдовицин [и др.] ; рец.: Н. В. Гаврилов, Н. Н. Коваль ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск : Издательство Томского университета, 2014. - 287 с. — Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/115738/Forvakuumnye_plazmennye_istochniki_ehlektronov.pdf. — Загл. с экрана. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/115738/Forvakuumnye_plazmennye_istochniki_ehlektronov.pdf (дата обращения: 14.06.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Применение форвакуумных плазменных источников электронов для обработки диэлектриков [Электронный ресурс]: монография / А.С. Климов [и др.]. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2017. – 186, [2] с. — Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/115739/Primenenie_forvakuumnyh_plazmennyh_istochnikov_ehlektronov.pdf. — Загл. с экрана. (Используется для практических занятий) https://storage.tusur.ru/files/115739/Primenenie_forvakuumnyh_plazmennyh_istochnikov_ehlektronov.pdf [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/115739/Primenenie_forvakuumnyh_plazmennyh_istochnikov_ehlektronov.pdf (дата обращения: 14.06.2018).

Согласована на портале № 31387

2. Информационные и электронные ресурсы в организации научных исследований: Учебно-методическое пособие по практической и самостоятельной работе / Покровская Е. М. - 2018. 13 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7289 (дата обращения: 14.06.2018).

12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. https://elibrary.ru/defaultx.asp
2. https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 224 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

Согласована на портале № 31387

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. Какая величина называется интегралом движения?

(1) Результат интегрирования уравнений Эйлера-Лагранжа.

(2) Сохраняющаяся величина, соответствующая движению частицы в полях с определенной симметрией.

Согласована на портале № 31387

(3) Результат интегрирования уравнений движения, выраженный через обобщенные координаты и обобщенные скорости.

(4) Результат интегрирования уравнений движения, выраженный через обобщенные координаты и обобщенные массы.

2. Какая величина сохраняется при движении заряженной частицы в электромагнитном поле, обладающем симметрией сдвига?

(1) Z-компонента момента обобщенного импульса частицы.

(2) Величина проекции обобщенного импульса частицы на направление, соответствующее симметрии.

(3) Величина проекции механического импульса частицы на направление, соответствующее симметрии.

(4) При движении в таком поле определить интеграл движения невозможно.

3. Что является интегралом движения при движении заряженной частицы в осесимметричном электромагнитном поле?

(1) Аксиальная компонента момента обобщенного импульса частицы.

(2) Поток магнитного поля через круговое сечение, ограниченное радиус-вектором частицы.

(3) Поток электрического поля через круговое сечение, ограниченное радиус-вектором частицы.

(4) При движении в таком поле определить интеграл движения невозможно.

4. При движении заряженной частицы в постоянном электромагнитном поле сохраняется

(1) Обобщенная энергия частицы.

(2) Сумма кинетической энергии и потенциальной энергии частицы.

(3) Потенциальная энергия частицы.

(4) Работа, совершаемая над частицей электрическим полем.

5. Нерелятивистское движение заряженной частицы в скрещенных полях при условии представляет собой

(1) Равноускоренное движение в направлении магнитного поля и циклотронное вращение в плоскости, нормальной к магнитному полю.

(2) Равноускоренное движение в направлении магнитного поля и движение по циклоиде в плоскости, нормальной к магнитному полю.

(3) Равноускоренное движение в направлении электрического поля и циклотронное вращение в плоскости, нормальной к электрическому полю.

(4) Среди вариантов нет правильного ответа.

6. Адиабатический инвариант при движении заряженной частицы в магнитостатическом поле определяется, если

(1) Радиус циклотронного вращения частицы мал по сравнению с шагом циклотронной спирали.

(2) Циклотронный радиус и шаг циклотронной спирали малы.

(3) Магнитное поле на траектории частицы при ее смещении за один период циклотронного вращения период изменяется слабо.

(4) Циклотронный радиус и шаг циклотронной спирали различаются в 2 раза.

7. При каких условиях при транспортировке электронного пучка пространственно-периодическим магнитным полем в пучке возможна параметрическая резонансная раскачка поперечных колебаний?

(1) При кратности баунс-частоты эффективной величине циклотронной частоты.

(2) При кратности эффективной величины циклотронной частоты электронной плазмен-ной

Согласована на портале № 31387

частоте.

(3) При кратности эффективной величины циклотронной частоты баунс-частоте.

(4) При кратности баунс-частоты электронной плазменной частоте.

8. Указать наиболее верное определение взрывной электронной эмиссии:

(1) Автоэлектронная эмиссия, интенсивность которой многократно возрастает вследствие усиления электрического поля на микронеоднородностях катода.

(2) Мощная термоавтоэлектронная эмиссия, возникающая при разогреве материала микроострий на катоде протекающим током.

(3) Способ получения электронных пучков с экстремально высокими токами, основанный на применении специальных взрывчатых веществ с большой плотностью электронов.

(4) Комплекс явлений на катоде вакуумного промежутка, происходящих при быстром приложении высокого напряжения и приводящий к взрывному образованию плотной плазмы и извлечению из нее электронного тока с величиной, ограниченной собственным объемным зарядом.

9. Какие поля играют важнейшую роль в формировании электронного пучка в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией (КДМИ)?

(1) Внешнее продольное магнитное поле, электрическое поле импульса напряжения.

(2) Внешнее продольное магнитное поле, электрическое поле объемного заряда и импульса напряжения, магнитное поле Земли.

(3) Внешнее продольное магнитное поле, электрическое поле объемного заряда и импульса напряжения.

(4) Магнитное поле электронного тока, электрическое поле объемного заряда.

10. Какие поля играют важнейшую роль в формировании электронного пучка в род-пинч диоде?

(1) Внешнее продольное магнитное поле, электрическое поле объемного заряда.

(2) Внешнее продольное магнитное поле, электрическое поле объемного заряда и импульса напряжения.

(3) Магнитное поле электронного тока, электрическое поле высоковольтного электромагнитного импульса и объемного заряда.

(4) Внешнее продольное магнитное поле.

14.1.2. Темы контрольных работ

1. Получить выражения, описывающие траекторию релятивистского движения заряженной частицы в однородном электростатическом поле.

2. Получить выражение для частоты циклотронного вращения электрона в релятивистском случае.

3. Применив преобразование Лоренца для электромагнитного поля, показать, что при движении заряженной частицы в скрещенных полях в системе отсчета, связанной с центром циклотронного вращения частицы, поперечное (по отношению к магнитному полю) электрическое поле отсутствует.

5. В плоский промежуток с приложенным напряжением U помещен заряд, в результате чего напряженность электрического поля на левом электроде обратилась в нуль. Решив одномерную задачу, найти величину этого заряда (на единицу площади электродов) если (а) заряд сосредоточен вблизи левого электрода, (б) заряд распределен по промежутку равномерно.

6. Показать, что в нерелятивистском плоском диоде с током, соответствующим закону «трех вторых», величина заряда в зазоре на 1/3 больше, чем на поверхности катода в промежутке без тока при том же приложенном напряжении.

7. Получить выражение для величины пролетного времени электрона в сильноточном плоском диоде. В нерелятивистском и ультрарелятивистском случаях сравнить это время с временем пролета одиночного электрона через свободный от заряда промежуток с тем же приложенным напряжением.

8. Выразить время пролета электронов через нерелятивистский плоский диод с током Чайл-

Согласована на портале № 31387

да—Лэнгмюра через плазменную частоту для электронов на аноде.

9. Показать, что частота релаксационных колебаний для потока отраженных электронов в эквипотенциальном промежутке с виртуальным катодом при большом превышении тока инжекции над критическим током пропорциональна корню квадратному из отношения тока инжекции к первому критическому току.

14.1.3. Вопросы на самоподготовку

1. Записать систему уравнений Максвелла в вакууме.
2. Записать уравнение Пуассона для электростатического потенциала.
3. Записать уравнение непрерывности тока.
4. Записать выражение для компонент скорости частицы в цилиндрической системе координат.
5. Как преобразуются величины электрического и магнитного поля при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую?
6. Движение заряженной частицы описывается в цилиндрической системе координат. Как ведут себя единичные вектора при смещении заряженной частицы?
7. Записать уравнения Эйлера—Лагранжа:
8. Что такое интеграл движения?
9. Какая величина сохраняется при движении заряженной частицы в электромагнитном поле, обладающем симметрией сдвига?
10. Что является интегралом движения при движении заряженной частицы в осесимметричном электромагнитном поле?
11. Какая величина сохраняется при движении заряженной частицы в постоянном электромагнитном поле?
12. Как частица движется в однородном постоянном электрическом поле?
13. Записать выражение для частоты циклотронного вращения частицы в релятививтском случае.
14. Чему равна величина дрейфовой скорости при движении в скрещенных полях?
15. Что представляет собой нерелятивистское движение заряженной частицы в скрещенных полях при условии ?
16. Какое магнитное поле мы называем слабо неоднородным (применительно к движению в нем заряженной частицы)?
17. Записать выражения для адиабатического инварианта в общем виде.
18. Записать величину адиабатического инварианта при движении заряженной частицы в слабо неоднородном магнитостатическом поле (с точностью до постоянного коэффициента)
19. Что такое магнитная пробка и магнитная ловушка, на чем основано их действие?
20. Каковы величины собственных электрического и магнитного полей на внешней границе осесимметричного электронного пучка радиуса R с током I и продольной скоростью частиц v?
21. Записать условие транспортировки сплошного однородного пучка электронов с релятивистским фактором g однородным магнитным полем
22. Если амплитуда периодического магнитного поля равна H, то какова его эффективная величина с точки зрения транспортировки пучка заряженных частиц?
23. Что такое параметрический резонанс? При каких условиях при транспортировке электронного пучка пространственно-периодическим магнитным полем в пучке возможна параметрическая резонансная раскачка поперечных колебаний?
24. Записать выражение для баунс-частоты.
25. Что такое ондулятор, для чего он используется?
26. Достоинства и недостатки транспортировки пучков пространственно-периодическим полем.
27. Что такое взрывная эмиссия электронов, каков ее механизм, в чем принципиальное отличие от других видов эмиссии?
28. Чем определяется максимальная плотность электронного тока, которая может быть извлечена из плазмы?
29. Основные виды сильноточных диодов, их особенности, области применения.
30. Какие поля играют важнейшую роль в формировании электронного пучка в коаксиаль-

Согласована на портале № 31387

ном диоде с магнитной изоляцией (КДМИ)?

31. Какие поля играют важнейшую роль в формировании электронного пучка в род-пинч диоде?

32. Сформулировать допущения одномерной стационарной модели плоского вакуумного диода.

33. Какие уравнения, с какими граничными условиями решаются в этой модели?

34. Записать выражение для плотности тока в нерелятивистском плоском диоде.

35. Записать выражение для плотности тока в ультрарелятивистском плоском диоде.

36. Почему в нерелятивистском случае плотность тока плоского диода пропорциональна напряжению в степени 3/2, а в ультрарелятивистком случае — напряжению в первой степени?

37. Какие существуют причины для изменения тока вакуумного диода во времени при постоянном напряжении?

38. Какова характерная скорость расширения взрывоэмиссионной плазмы?

39. В чем сущность перевода системы уравнений для электронного потока в вакуумном диоде в безразмерную форму? Что достигается таким переводом?

40. Записать выражения для токового форм-фактора сильноточного вакуумного диода произвольной конфигурации.

41. Что произойдет с током нерелятивистского вакуумного сильноточного диода если все его размеры увеличить в k раз?

42. Записать выражения для тока планарного диода с зазором D, полусферическим эмиттером радиуса R<<D на катоде и приложенным напряжением U. В каком диапазоне ускоряющих напряжений оно справедливо и почему?

43. Какого типа взрывоэмиссионный катод наиболее целесообразно использовать в вакуумном диоде для получения электронного пучка с постоянным током в наносекундном диапазоне времени? Чем обеспечивается постоянство тока?

44. В каких случаях в нерелятивистском вакуумном диоде необходимо учитывать влияние собственного магнитного поля тока на движение электронов?

45. В каких случаях в релятивистском вакуумном диоде можно пренебречь влиянием собственного магнитного поля тока на движение электронов?

46. Что такое нейтрализация пучка по заряду? По току? Чем они достигаются? Что такое бессиловой дрейф?

47. Что такое критический ток Альфвена, от чего зависит его величина, какова физическая причина существования этого критического тока?

48. Какие уравнения, с какими граничными условиями решаются в одномерной стационарной модели токопрохождения черех плоский эквипотенциальный промежуток?

49. Что такое первый и второй критические токи?

50. Что такое виртуальный катод?

51. В чем заключается явление гистерезиса при токопрохождении в плоском эквипотенциальном промежутке?

14.1.4. Вопросы дифференцированного зачета

1. Записать систему уравнений Максвелла в вакууме. 2. Записать уравнение Пуассона для электростатического потенциала. 3. Записать уравнение непрерывности тока. 4. Записать выражение для компонент скорости частицы в цилиндрической системе координат. 5. Как преобразуются величины электрического и магнитного поля при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую? 6. Движение заряженной частицы описывается в цилиндрической системе координат. Как ведут себя единичные вектора при смещении заряженной частицы? 7. Записать уравнения Эйлера—Лагранжа: 8. Что такое интеграл движения? 9. Какая величина сохраняется при движении заряженной частицы в электромагнитном поле, обладающем симметрией сдвига? 10. Что является интегралом движения при движении заряженной частицы в осесимметричном электромагнитном поле? 11. Какая величина сохраняется при движении заряженной частицы в постоянном электромагнитном поле? 12. Как частица движется в однородном постоянном электрическом поле? 13. Записать выражение для частоты циклотронного вращения частицы в релятививтском случае. 14. Чему равна величина дрейфовой скорости при движении в скрещенных полях? 15. Что представляет собой нерелятивистское движение заряженной частицы в скрещенных полях при условии ?

Согласована на портале № 31387

16. Какое магнитное поле мы называем слабо неоднородным (применительно к движению в нем заряженной частицы)? 17. Записать выражения для адиабатического инварианта в общем виде.18. Записать величину адиабатического инварианта при движении заряженной частицы в слабо неоднородном магнитостатическом поле (с точностью до постоянного коэффициента) 19. Что такое магнитная пробка и магнитная ловушка, на чем основано их действие? 20. Каковы величины собственных электрического и магнитного полей на внешней границе осесимметричного электронного пучка радиуса R с током I и продольной скоростью частиц v? 21. Записать условие транспортировки сплошного однородного пучка электронов с релятивистским фактором g однородным магнитным полем 22. Если амплитуда периодического магнитного поля равна H, то какова его эффективная величина с точки зрения транспортировки пучка заряженных частиц? 23. Что такое параметрический резонанс? При каких условиях при транспортировке электронного пучка пространственно-периодическим магнитным полем в пучке возможна параметрическая резонансная раскачка поперечных колебаний? 24. Что такое ондулятор, для чего он используется?

14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адапти-

Согласована на портале № 31387

рованных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 31387