

«

»

“

”

. - . . .

31.08.2022

: . . . . .  
:

:

<https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education>

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ Электродинамика заряженных частиц

: 03.03.02 , :

: 3, : 5 6

-

,

		5	6
1	( )	3	3
2		108	108
3	, .	87	60
4	, .	36	36
5	, .	18	0
6	, .	0	0
7	, .	16	0
8	, .	10	0
9	, .	2	2
10	, .	31	22
11	, .	21	48
12	( , ( )/ , )		
13			

( ): 03.03.02

891 07.08.2020 ., : 24.08.2020 .

: 1,

,

( ): 03.03.02

, 31.08.2022

-

,

6 31.08.2022

:

. . . , . - . . . . .

:

. . .



2.	-	2	0	0	-1.1	
3.		2	0	0	-1.1	
4.	;	2	0	0	-1.1	
5.		4	0	0	-1.1	
:						
6.	-	2	0	0	-1.1	
7.		4	0	0	-1.1	
8.		2	0	0	-1.1	
: -						
9.	-	2	0	0	-1.1	
10.		2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
11.		2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
12.		2	0	0	-1.1	
13.	- ( ).	2	0	0	-1.1	
:						
14.		4	0	0	-1.1	
15.		2	0	0	$-\frac{1}{2}$ , -1.1	
: 6						
:						
16.		4	0	0	-1.1	

17.	4	0	0	-1.1	
18.	4	0	0	-1.1	
19.	3	0	0	-1.1	
:					
20.	3	0	0	-1.1	
21.	3	0	0	-1.1	
22.	3	0	0	-1.1	
(" ").					
23.	3	0	0	-1.1	
:					
24.	3	0	0	-1.1	
25.	2	0	0	-1.1	
:					
26.	2	0	0	-1.1	
:					
27.	2	0	0	-1.1	

		„ .	, .		
: 5					
:					
4.	3	4	3	-1. / 2, -1.1	
6.	2	4	2	-1. / 2, -1.1	
: -					

1.	3	0	3	-1. / 2 .	
2.	3	0	3	-1. / 2 .	
5.	3	0	3	-1. / 2, -1.1 .	
:					
3.	4	2	2	-1. / 2 .	

### 3.1

### 3.2

			( )
1			:
2			:
3			:

### 3.2

### 3.3

: 5				
1		-1. / 2, -1.1	2	0
: . : / — ISBN 978-5-8114-3472-5. — : // : , 2022. — 408 . URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/206204">https://e.lanbook.com/book/206204</a> ( : 01.03.2023). — / . : — : , 2017. — 68 . — : // : 10.03.2023). — : .				
2		-1.1	4	14
: [ .]. — : , 2019. — 33 . — : // : — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/144624">https://e.lanbook.com/book/144624</a> ( : 10.03.2023). — : / . : , 2022. — 408 . — ISBN 978-5-8114-3472-5. — : // : — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/206204">https://e.lanbook.com/book/206204</a> ( : 01.03.2023). — [ .]. — : , 2018. — 53 . — : // : — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/144965">https://e.lanbook.com/book/144965</a> ( : 10.03.2023). — :				

3		-1. / .2, -1.1	15	17
<p> : [ .]. — : - / . :  // : - . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/144624">https://e.lanbook.com/book/144624</a>  ( : 10.03.2023). — : .  . / . : . :  , 2022. — 408 . — ISBN  978-5-8114-3472-5. — : // : . — URL:  <a href="https://e.lanbook.com/book/206204">https://e.lanbook.com/book/206204</a> ( : 01.03.2023). — : .  / . : . : , 2017. — 68 . — : // :  . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/152687">https://e.lanbook.com/book/152687</a> ( :  10.03.2023). — : . </p>				
: 6				
1		-1. / .2, -1.1	2	4
<p> : [ .]. — : - / . :  // : - . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/144624">https://e.lanbook.com/book/144624</a>  ( : 10.03.2023). — : .  . / . : . :  , 2022. — 408 . — ISBN  978-5-8114-3472-5. — : // : . — URL:  <a href="https://e.lanbook.com/book/206204">https://e.lanbook.com/book/206204</a> ( : 01.03.2023). — : .  / . : . : , 2017. — 68 . — : // :  . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/152687">https://e.lanbook.com/book/152687</a> ( :  10.03.2023). — : . </p>				
2		-1.1	26	16
<p> : . : /  . : , 2022. — 408 .  — ISBN 978-5-8114-3472-5. — : // : . —  URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/206204">https://e.lanbook.com/book/206204</a> ( : 01.03.2023). — : .  / . : . : , 2017. — 68 . — : // :  . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/152687">https://e.lanbook.com/book/152687</a> ( :  10.03.2023). — : . </p>				
3		-1.1	10	0
<p> : . : /  . : , 2022. — 408 .  — ISBN 978-5-8114-3472-5. — : // : . —  URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/206204">https://e.lanbook.com/book/206204</a> ( : 01.03.2023). — : .  / . : . : , 2017. — 68 . — : // :  . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/152687">https://e.lanbook.com/book/152687</a> ( :  10.03.2023). — : . </p>				
4		-1. / .2	10	2

: . . . . . : /  
 — ISBN 978-5-8114-3472-5. — : , 2022. — 408 .  
 URL: <https://e.lanbook.com/book/206204> ( : 01.03.2023). —  
 [ .]. — : , 2018. — 53 . — :  
 // : — URL: <https://e.lanbook.com/book/144965>  
 ( : 10.03.2023). — :  
 : , 2017. — 68 . — :  
 URL: <https://e.lanbook.com/book/152687> ( : 10.03.2023). — :

### 3.3

,  
 - ( . 3.4).

3.4

	-
	e-mail;
	e-mail; ;
	;
	;

### 4.

( ),  
 - 15- ECTS.  
 . 4.1.

4.1

	.	
<b>: 5</b>		
<i>Контрольные работы:</i>	40	80
<i>Зачет:</i>	10	20
<b>: 6</b>		
<i>Контрольные работы:</i>	30	60
<i>Курсовая работа:</i>	0	100
<i>Экзамен:</i>	20	40

		.	/		
<b>-1.</b> /	-1. / 2.	+	+	+	+
<b>-1</b>	-1 1. , .	+	+	+	+

1

## 5.

1. Иванов, А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов. — Новосибирск : НГТУ, 2020. — 248 с. — ISBN 978-5-7782-4139-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152154> (дата обращения: 27.12.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Физика. Электричество и магнетизм. Курс лекций с примерами решения задач : учебное пособие / Д. Ч. Ким, Н. П. Коновалов, Д. И. Левит, П. Н. Коновалов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-3472-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206204> (дата обращения: 10.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

1. Ефремова, Н. А. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях : учебное пособие / Н. А. Ефремова. — Томск : ТПУ, 2020. — 83 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/246122> (дата обращения: 27.12.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Физика. Электричество и магнетизм. Курс лекций с примерами решения задач : учебное пособие / Д. Ч. Ким, Н. П. Коновалов, Д. И. Левит, П. Н. Коновалов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-3472-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206204> (дата обращения: 01.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

1. Физика элементарных частиц и атомного ядра : обзорный журнал // Объединенный институт ядерных исследований : [сайт]. — URL: [http://www1.jinr.ru/Pepan/Pepan\\_rus\\_arh.html](http://www1.jinr.ru/Pepan/Pepan_rus_arh.html) (дата обращения: 21.03.2023). — Текст : электронный.

## 6.

## 6.1

1. Митрофанова, Т. Г. Введение в квантовую теорию излучения : учебно-методическое пособие / Т. Г. Митрофанова. — Томск : ТГПУ, 2017. — 68 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152687> (дата обращения: 10.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Задачи по электродинамике : учебно-методическое пособие / составители В. Б. Гильденбург [и др.]. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2018. — 53 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/144965> (дата обращения: 10.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Электродинамика. Задачи к курсу лекций : учебно-методическое пособие / составители А. В. Грезина [и др.]. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019. — 33 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/144624> (дата обращения: 10.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## 6.2

- 1 Программа автоматизации научно-технических вычислений MathWorks MATLAB
- 2 Создание отчётов для лабораторных работ. Microsoft Microsoft Office

## 6.3

, - .

## 7. -

1	( - , , )	

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН ФТФ  
к.ф.-м.н., доцент И.И. Корель  
“31 ”августа 2022 г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### ДИСЦИПЛИНЫ

#### Электродинамика заряженных частиц

Образовательная программа: 03.03.02 Физика, профиль: Ядерная физика и ядерные технологии

## 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Электродинамика заряженных частиц представлена в Таблице. Совокупность результатов обучения по дисциплине соотнесена с уровнями сформированности компетенций и соотнесенными с ними индикаторами. Индикаторы достижения компетенций измеряемы с помощью средств текущей и промежуточной аттестации по дисциплине Электродинамика заряженных частиц.

Таблица

Формируемые компетенции	Индикаторы компетенций	Темы	Этапы оценки результатов обучения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (контрольная работа, курсовой проект, РГЗ(Р), реферат и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК-1.В/НА Способность организовывать деятельность обучающихся, направленную на освоение дополнительной общеобразовательной программы	2. Умеет готовить информационные материалы о возможностях и содержании дополнительной общеобразовательной программы в части специальных областей знаний по ядерной физике	Движение в однородных полях. Магнитные линзы. Электростатические линзы и зеркала.	Контрольная работа 5 сем, разделы 2,3 Курсовая работа, разделы 2,3	Зачет вопросы 1,5,6,9,10,11, Экзамен, вопросы.1,3,8,11,14,15,17,28
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	1. Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации.	Понятие об адиабатическом инварианте. Ловушка Будкера. Движение в однородных полях. Движение в слабонеоднородном магнитном поле. Понятие об адиабатическом инварианте. Ловушка Будкера. Моделирование полей; метод сеток, конечных элементов; граничных элементов. Некоторые теоремы теории поля. Дельта-функция Дирака и фундаментальные гармонические функции. Обзор основных типов ускорителей заряженных частиц. Метод встречных пучков. Основные уравнения электромагнитного поля. Скалярный и векторный потенциалы, уравнение Пуассона. Принцип	Контрольная работа 6 сем, разделы 2,3 Курсовая работа, разделы 3,4,5	Зачет вопросы 2,3,4,7,8,12-15, Экзамен, вопросы 2,4-7,9,10,12,13,16,18-27

		наименьшего действия и основные уравнения движения. Случай аксиально-симметричного поля. Электронно-оптическая аналогия.		
--	--	--	--	--

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций по дисциплине

Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций проверяются при проведении мероприятий текущей аттестации (контроля) в процессе изучения дисциплины, указанных в таблице раздела 1.

В 6 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа, курсовая работа. Требования к выполнению контрольной работы, курсовой работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы, курсовой работы.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации является контрольная работа. Требования к выполнению контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 5 семестре - в форме зачета, в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ПК-1.В/НА, УК-1 и соотнесенных с ними индикаторов. (см. таблицу раздела 1).

Зачет проводится в письменной форме, по билетам из вопросов, приведенных в паспорте зачета, позволяющих оценить результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций

Экзамен проводится в устной форме по билетам, содержащим два вопроса, каждый из которых требует развернутого ответа с пояснениями и обоснованием излагаемого материала. Билет формируется из приведенного в Паспорте экзамена списка вопросов, позволяющих оценить результаты обучения по дисциплине оставить нужное, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

Общие правила выставления оценок текущей и промежуточной аттестации по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании критериев, приведенных в п. 3, осуществляется оценка уровней достигнутых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ПК-1.В/НА, УК-1, закрепленных за дисциплиной.

## 3. Общая характеристика уровней результатов обучения, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

**Продвинутый.** Теоретическое содержание курса освоено полностью. Студент демонстрирует систематическое и глубокое понимание учебного материала и способность к самостоятельному пополнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Сформированы необходимые навыки практической работы. Все учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнены качественно, без замечаний. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящим в диапазон продвинутого уровня.

**Базовый.** Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Навыки практической работы сформированы на базовом уровне. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены с небольшими погрешностями. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах базового уровня.

**Пороговый.** Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Некоторые практические навыки работы сформированы с пробелами. Учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнялись с ошибками, исправленными под руководством преподавателя. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах порогового уровня.

**Ниже порогового.** Теоретическое содержание курса освоено фрагментарно. Необходимые навыки практической работы сформированы минимально. Большинство учебных заданий, предусмотренных программой обучения, не выполнены. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящих в диапазон ниже порогового уровня.

## Паспорт зачета

по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц», 5 семестр

### 1. Методика оценки

Зачет проводится в письменной форме, по билетам. Билет состоит из 2 вопросов и формируется по следующему правилу:

- первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-7;
- второй вопрос из диапазона вопросов 8-15.

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

На зачете преподаватель вправе задавать студенту уточняющие и дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет ФТФ

Билет № \_\_\_\_\_

к зачету по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц»

---

1. Вывод и анализ уравнений движения заряженной частицы во внешнем поле (в векторном виде и в различных системах координат)
2. Поворотные магниты.

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись) (дата)

### 2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Ответ на билет зачета засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент проводит сравнительный комплексный анализ материала, выявляет проблемы, предлагает механизмы их решения, представляет количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном объеме. Оценка

составляет *от 18 до 20 баллов*.

Ответ на билет для зачета засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, способен представить количественные и качественные характеристики процессов. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 14 до 17 баллов*.

Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 10 до 13 баллов*.

Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным** (ниже порогового уровня), если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее 10 баллов*.

### 3. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 10 до 20 баллов включительно. Сумма менее 10 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

### 4. Вопросы к зачету по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц»

1. Вывод и анализ уравнений движения заряженной частицы во внешнем поле (в векторном виде и в различных системах координат).
2. Лагранжиан заряженной частицы в электромагнитном поле.
3. Движение электрона в однородных электрическом и магнитном полях.
4. Электронно-оптическая аналогия.
5. Основные свойства аксиально-симметричного электростатического поля.
6. Основные свойства аксиально-симметричного магнитного поля.
7. Теорема Буша и ее применение.
8. Параксиальные уравнения движения
9. Основные свойства аксиально-симметричных электростатических линз.
10. Основные свойства аксиально-симметричных магнитных линз.
11. Основные свойства квадрупольных линз.
12. Квадрупольный дуплет и его характеристики.
13. Движение электрона в слабо неоднородном магнитном поле. Адиабатический инвариант.
14. Магнитные линзы с азимутальным полем.
15. Поворотные магниты.

## Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц», 5 семестр

### 1. Методика оценки

Выполнение контрольной работы является формой текущей аттестации (контроля) по дисциплине, предусмотренной учебным планом.

Контрольная работа направлена на закрепление и проверку уровня владения учебным материалом по теоретическим темам и темам практических занятий, а также формирование навыков самостоятельного анализа процессов и явлений, изучаемых в рамках дисциплины. Контрольная работа проводится по темам:

- Основные уравнения электромагнитного поля.
- Электростатические линзы и зеркала.

Номер индивидуального задания определяется случайным образом. Изменение варианта задания возможно только по согласованию с преподавателем.

Количество заданий достаточно для обеспечения, каждого обучающегося заданием контрольной работы.

*Структура контрольной работы:*

1. Титульный лист (см. приложение)
2. Основная часть (задание контрольной работы).
3. Заключение (выводы и рекомендации).

Основная часть – это ответы на задания контрольной работы. Они должны быть самостоятельным, развернутым и аргументированным. При необходимости основная часть может быть разбита на более мелкие вопросы. Она может содержать обязательные ссылки на изученную литературу.

Заключение: изложение общего вывода по изученной проблеме и предлагаемых рекомендаций.

Рекомендуется излагать мысли по существу, кратко и логично.

*Требования к оформлению:*

Объем контрольной работы до 4 страниц машинописного текста формата А4. Шрифт Times New Roman, 12. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа по центру арабскими цифрами. Контрольная работа должна быть отредактирована, не содержать орфографических, синтаксических и стилевых ошибок.

Контрольная работа предоставляется для проверки в электронном виде в срок, установленный преподавателем. При положительном результате оценивания контрольной работы студент её распечатывает, передает на кафедру и защищает до сессии в назначенное преподавателем время. По результатам защиты студенту выставляется оценка в соответствии с критериями, приведенными в п. 2 настоящего Паспорта.

Контрольная работа включает 5 заданий. Выполняется письменно.

### 1. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Общие правила выставления оценок текущей аттестации определяются балльно-

рейтинговой системой, установленной локальным актом НГТУ.

Контрольная работа выполнена **на продвинутом** уровне, если структура, содержание и оформление работы соответствует требованиям. Все части контрольной работы согласованы, текст логично выстроен и является авторским. Присутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Закрепленные за контрольной работой компетенции сформированы на продвинутом уровне. Оценка составляет *от 68 до 80 баллов*.

Контрольная работа выполнена **на базовом** уровне, если структура, содержание и оформление работы соответствует требованиям, но работа содержит единичные не принципиальные ошибки, исправленные после замечаний преподавателя. Все части контрольной работы согласованы, текст логично выстроен и является авторским. Присутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Закрепленные за контрольной работой компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 53 до 67 баллов*.

Контрольная работа выполнена **на пороговом** уровне, если структура, содержание и оформление работы соответствует требованиям, но работа содержит ошибки, неоднократно исправляемые после замечаний преподавателя. Части контрольной работы в целом согласованы. Присутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Закрепленные за контрольной работой компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 40 до 52 баллов*.

Контрольная работа считается **не выполненной**, если структура, содержание и оформление работы не соответствует требованиям, работа содержит существенные ошибки, не исправленные после замечаний преподавателя. Части контрольной работы не согласованы. Отсутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа не представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит множество существенных пробелов. Закрепленные за контрольной работой компетенции не сформированы. Оценка составляет *от 0 до 39 баллов*.

## 2. Шкала оценки

Контрольная работа как форма текущей аттестации (контроля) по дисциплине считается успешно выполненной, если сумма полученных баллов по всем ее заданиям составляет от 40 до 80 баллов включительно.

В общей оценке по дисциплине баллы за выполнение контрольной работы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы и таблицей соответствия баллов, традиционной оценки и буквенной оценки ECTS, установленными в НГТУ.

## 3. Пример варианта контрольной работы

1. Пусть в плоскости  $z = 0$  лежит диск радиуса  $R$ , потенциал которого

$U = U_0 = const$ , потенциал остальной части этой плоскости  $U = 0$ . Найти потенциал вдоль оси диска.

2. Определить максимальное время жизни пучка электронов в тороидальном соленоиде радиусом  $R = 1$  м, создающем поле на оси  $B_0 = 10$  кГс. Радиус вакуумной трубы  $r_0 = 1$  см. Энергия электронов  $W = 100$  кэВ. Сколько оборотов успеют сделать частицы?
3. Найти матрицу преобразования тонкой иммерсионной линзы, если известны фокусные расстояния  $f_1$  и  $f_2$ .
4. Через катушку с числом витков  $N = 10$  пропускается ток  $I = 50$  А. Приближённо катушка представляет собой тонкий виток с радиусом  $r_0 = 10$  см. Найти фокусное расстояние для пролетающих сквозь неё электронов с кинетической энергией  $W = 50$  кэВ.
5. Рассчитать градиент поля идеальной магнитной квадрупольной линзы, если известно, что расстояние между двумя противоположными полюсами равно  $2d$ . Ток в обмотках  $I$ , число обмоток  $N$ .

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц», 6 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет состоит из 2 вопросов и формируется по следующему правилу:

- первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-13;
- второй вопрос из диапазона вопросов 14-28;

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

На экзамене преподаватель вправе задавать студенту уточняющие и дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет ФТФ

Билет № \_\_\_\_\_

к экзамену по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц»

---

1. Вывод и анализ уравнений движения заряженной частицы во внешнем поле (в векторном виде и в различных системах координат).
2. Основные свойства квадрупольных линз.

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись) (дата)

### 2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент проводит сравнительный комплексный анализ материала, выявляет проблемы, предлагает механизмы их решения, представляет количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном

объеме. Оценка составляет *от 34 до 40 баллов*.

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, способен представить количественные и качественные характеристики процессов. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 27 до 33 баллов*.

Ответ на экзаменационный билет) засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 20 до 26 баллов*.

Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным** (ниже порогового уровня), если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее 20 баллов*.

### 3. Шкала оценки

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 20 до 40 баллов включительно. Сумма менее 20 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц»

1. Вывод и анализ уравнений движения заряженной частицы во внешнем поле (в векторном виде и в различных системах координат).
2. Поток частиц низкой интенсивности в периодическом канале.
3. Основные свойства аксиально-симметричных электростатических линз.
4. Поперечный фазовый объем пучка и проблема согласования пучка частиц с каналом.
5. Движение электрона в однородных электрическом и магнитном полях.
6. Предельный ток длинного цилиндрического пучка.
7. Электронно-оптическая аналогия.
8. Распределение потенциала и предельный ток в бесконечно широком пучке.
9. Основные свойства аксиально-симметричного магнитного поля.
10. Расплывание круглого интенсивного пучка под действием сил объемного заряда.
11. Основные свойства аксиально-симметричного электростатического поля.
12. Уравнение Хилла, теорема Флоке, функции Флоке.
13. Теорема Буша и ее применение.
14. Основные эффекты объемного заряда.
15. Основные свойства аксиально-симметричных магнитных линз.
16. Пушки Пирса с плоским катодом.
17. Основные свойства квадрупольных линз.
18. Поток Бриллюэна, его основные свойства.
19. Квадрупольный дуплет и его характеристики.

20. Плоский диод. Закон “трех вторых”.
21. Матричное описание параксиального движения в квадрупольном канале.
22. Теорема Лиувилля и ее применение в электронной оптике.
23. Движение одиночной частицы в периодическом канале.
24. Пушки Пирса со сферическим катодом.
25. Движение электрона в слабо неоднородном магнитном поле. Адиабатический инвариант.
26. Эффективный эмиттанс. Параметризация Твисса.
27. Магнитные линзы с азимутальным полем.
28. Основные свойства аксиально-симметричного потока в устройствах с частично экранированным от магнитного поля катодом.

Список дополнительных вопросов:

1. Сформулируйте теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса. Какое влияние они оказывают на формирование пучков заряженных частиц?
2. Что такое потенциал электростатического поля? Почему он может быть определен, какому уравнению он подчиняется в присутствии зарядов?
3. Сформулируйте принцип наименьшего действия. Какие уравнения следуют из этого принципа?
4. Запишите уравнение движения и Лагранжиан частицы в электромагнитном поле.
5. Из каких видов движений составляется движение заряженной частицы в постоянных и однородных электрическом и магнитном полях?
6. Что такое дрейфовое движение? Какие виды дрейфов существуют?
7. Что такое критерий адиабатичности? Каково выражение для адиабатического инварианта при движении в магнитном поле?
8. Как устроена и как работает ловушка Будкера? Почему в ней частицы отражаются назад? Какой критерий выхода частицы из ловушки?
9. Что такое параксиальное разложение потенциалов и полей?
10. В каких системах применима теорема Буша? Какие величины она связывает?
11. Как получаются параксиальные уравнения движения?
12. Почему электростатические линзы всегда фокусируют?
13. Каков механизм фокусировки в аксиально-симметричной магнитной линзе?
14. Покажите, что и магнитный, и электростатический квадруполь фокусируют по одному направлению и дефокусируют по-другому.
15. Почему квадрупольный дуплет фокусирует? Когда это не так?
16. Что такое матричное описание движения? Когда оно применимо? В чем его преимущество?
17. О чем гласит теорема Лиувилля?
18. Что такое эмиттанс? Чем он отличается от аксептанса? Откуда у пучка берется эмиттанс? Причины его роста? Может ли он уменьшаться?
19. Поясните различия между эмиттансом и нормализованным, среднеквадратичным и эффективным эмиттансами.
20. Что такое уравнение Хилла? О чем гласит теорема Флоке? Каков критерий устойчивости движения в периодическом канале?
21. Что такое  $\beta$ -функция?
22. Чем отличается плоский диод от плоского конденсатора? Сравните распределение полей и потенциалов в них, объясните отличия.

23. Сформулируйте закон трех вторых. Как он связан с понятием первеанса?
24. Что такое виртуальный катод? Каковы его основные свойства?
25. Зачем для транспортировки интенсивного пучка нужно сопровождающее магнитное поле? При каком условии реализуется режим Бриллюэна?
26. Что такое пушка Пирса? Чем она отличается от диода? Что такое угол Пирса?
27. Зачем нужна сферическая пушка Пирса?
28. В чём отличие реальных электронных пушек от пушек Пирса? Что мешает увеличивать первеанс?

## Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц», 6 семестр

### 1. Методика оценки

Выполнение контрольной работы является формой текущей аттестации (контроля) по дисциплине, предусмотренной учебным планом.

Контрольная работа направлена на закрепление и проверку уровня владения учебным материалом по теоретическим темам и темам практических занятий, а также формирование навыков самостоятельного анализа процессов и явлений, описываемых в курсе «Электродинамика заряженных частиц».

Контрольная работа проводится по теме «Распределение потенциала в потоке и предельный ток ("виртуальный" катод)».

Номер индивидуального задания определяется по порядковому номеру фамилии студента в списке группы. Изменение варианта задания возможно только по согласованию с преподавателем.

Количество заданий достаточно для обеспечения, каждого обучающегося заданием контрольной работы.

*Структура контрольной работы:*

1. Титульный лист (см. приложение)
2. Основная часть (задание контрольной работы).
3. Заключение (выводы и рекомендации).

Основная часть – это ответ на задания контрольной работы. Он должен быть самостоятельным, развернутым и аргументированным. При необходимости основная часть может быть разбита на более мелкие вопросы.

Заключение: изложение общего вывода по изученной проблеме и предлагаемых рекомендаций.

Рекомендуется излагать мысли по существу, кратко и логично.

*Требования к оформлению:*

Объем контрольной работы до 5 страниц машинописного текста формата А4. Шрифт Times New Roman, 12. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа по центру арабскими цифрами. Контрольная работа должна быть отредактирована, не содержать орфографических, синтаксических и стилистических ошибок.

Контрольная работа предоставляется для проверки в электронном виде в срок, установленный преподавателем. При положительном результате оценивания контрольной работы студент её распечатывает, передает на кафедру и защищает до сессии в назначенное преподавателем время. По результатам защиты студенту выставляется оценка в соответствии с критериями, приведенными в п. 2 настоящего Паспорта.

Контрольная работа включает 5 заданий. Выполняется письменно.

### 1. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Общие правила выставления оценок текущей аттестации определяются балльно-рейтинговой системой, установленной локальным актом НГТУ.

Контрольная работа выполнена **на продвинутом** уровне, если структура, содержание и оформление работы соответствует требованиям. Все части контрольной работы согласованы, текст логично выстроен и является авторским. Присутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Закрепленные за контрольной работой компетенции сформированы на продвинутом уровне. Оценка составляет *от 51 до 60 баллов*.

Контрольная работа выполнена **на базовом** уровне, если структура, содержание и оформление работы соответствует требованиям, но работа содержит единичные не принципиальные ошибки, исправленные после замечаний преподавателя. Все части контрольной работы согласованы, текст логично выстроен и является авторским. Присутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Закрепленные за контрольной работой компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 41 до 50 баллов*.

Контрольная работа выполнена **на пороговом** уровне, если структура, содержание и оформление работы соответствует требованиям, но работа содержит ошибки, неоднократно исправляемые после замечаний преподавателя. Части контрольной работы в целом согласованы. Присутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Закрепленные за контрольной работой компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 30 до 40 баллов*.

Контрольная работа считается **не выполненной**, если структура, содержание и оформление работы не соответствует требованиям, работа содержит существенные ошибки, не исправленные после замечаний преподавателя. Части контрольной работы не согласованы. Отсутствуют ссылки на нормативные документы и актуальную литературу. Работа не представлена для проверки в установленные сроки. Анализ каждого из разделов контрольной работы свидетельствует о том, что совокупность результатов ее выполнения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит множество существенных пробелов. Закрепленные за контрольной работой компетенции не сформированы. Оценка составляет *от 0 до 29 баллов*.

## 2. Шкала оценки

Контрольная работа как форма текущей аттестации (контроля) по дисциплине считается успешно выполненной, если сумма полученных баллов по всем ее заданиям составляет от 30 до 60 баллов включительно.

В общей оценке по дисциплине баллы за выполнение контрольной работы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы и таблицей соответствия баллов, традиционной оценки и буквенной оценки ECTS, установленными в НГТУ.

## 3. Примерный перечень заданий контрольной работы

1. Пусть пучок имеет на фазовой плоскости гауссово распределение с параметрами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , и  $\varepsilon$ . Доказать, что нормировочный множитель равен  $A = \frac{1}{2\pi\varepsilon}$ . Найти

распределение плотности  $\rho(x)$ . Найти, какая часть пучка проходит через щелевую диафрагму шириной  $2\sqrt{\epsilon\beta}$ .

2. На расстоянии  $z_0$  от кроссовера пучка с эмиттансом  $\epsilon \neq 0$  расположена фокусирующая линза. Найти такое её фокусное расстояние, чтобы огибающая пучка сразу после линзы была параллельна оси  $z$ . В кроссовере пучок имеет размер  $2x_0$ , на фазовой плоскости он образует эллипс.
3. Показать, что след матрицы перехода на один период  $M(z | z + S_0)$  не зависит от  $z$ .
4. Вывести приближённую формулу для предельного тока релятивистского пучка в круглой вакуумной камере. Известны радиусы пучка и камеры, потенциал камеры. Считать, что расплывание пучка полностью подавлено большим продольным магнитным полем. Указание: вывести эту формулу относительно  $\gamma_0$  – релятивистского фактора, соответствующего потенциалу камеры. Считая, что потенциал (и, соответственно, релятивистский фактор) в пучке возрастает по радиусу квадратично, выразите ток пучка через  $\gamma$  на оси и найдите максимум этой функции.
5. Найти время пролёта эмитированного электрона в плоском диоде от катода до анода. Расстояние между катодом и анодом  $d$ , разность потенциалов  $U_0$ . Начальной тепловой скоростью пренебречь. Сравнить со случаем плоского конденсатора.

## **Паспорт курсовой работы**

по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц», 6 семестр

### **1. Методика оценки.**

Выполнение курсовой работы (далее – КР) является обязательным видом самостоятельной работы студента по дисциплине, предусмотренным учебным планом.

Основной целью выполнения КР является формирование компетенций и соотношенных с ними индикаторов по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц» посредством закрепления, углубления и обобщения знаний, полученных студентами за время теоретического обучения и прохождения практик, а также выработка навыков самостоятельного применения знаний и навыков для творческого решения конкретных задач. Выполнение курсовой работы должно способствовать подготовке их к решению более сложной задачи - выполнению выпускной квалификационной работы.

Задачами выполнения курсовой работы является овладение студентами рациональными приёмами сбора, обработки, систематизации информации о процессах и явлениях, изучаемых в рамках дисциплины, применения компьютерных технологий в этой области.

Тематика КР соответствует профилю (направленности) подготовки, формируются преподавателями в начале семестра и утверждается заведующим кафедрой. Количество тем КР достаточно для обеспечения, каждого обучающегося.

Выполнение студентами КР начинается с ознакомления с примерной тематикой. Закрепление тем КР за студентами производится распоряжением заведующего кафедрой.

Курсовая работа выполняется индивидуально.

*Структура курсовой работы:*

1. Титульный лист (см. приложение)
2. Введение (актуальность, цель, задачи).
3. Теоретическая часть.
4. Практическая часть.
5. Заключение (выводы и рекомендации).
6. Список литературы и источников.

Во введении формулируются кратко обосновывается актуальность, цель и задачи, дается краткая характеристика степени изученности вопроса.

В теоретической части описываются и обосновываются основные физические и математические подходы, которые будут использоваться при решении поставленной задачи.

В практической части наиболее полно и всесторонне решается поставленная задача.

Заключение: изложение общего вывода по изученной проблеме и предлагаемых рекомендаций.

Список литературы оформляется в соответствии с библиографическими требованиями в алфавитном порядке и включает от 2 до 10 источников (книг, статей разных авторов, интернет-источников, документов), которые были изучены при выполнении работы.

Рекомендуются следующие этапы выполнения и защиты курсовой работы:

- глубокое ознакомление с заданной темой, изучение дополнительной литературы;
- полное выполнение необходимых теоретических выкладок;
- практическое исследование заданной темы, как правило, при помощи программы MathCAD или программы, написанной самостоятельно в какой-либо среде программирования;
- формирование итогов работы;
- оформление курсовой работы и ее защита.

*Требования к оформлению:*

Объем КР до 20 страниц машинописного текста формата А4. Шрифт Times New Roman, 12. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа по центру арабскими цифрами. КР должна быть отредактирована, не содержать орфографических, синтаксических и стилистических ошибок.

Законченная курсовая работа предоставляется для проверки в электронном виде в срок, установленный преподавателем. Преподаватель оценивает качество КР с учетом теоретического и практического содержания, достижения ее целей и задач.

Курсовая работа проверяется руководителем работы, который дает письменное заключение по работе.

Если при выполнении КР были допущены ошибки, то работа возвращается студенту для исправления выявленных недочетов и затем вновь предоставляется руководителю для проверки. При положительном результате оценивания студент распечатывает работу, передает на кафедру и защищает до сессии в назначенное преподавателем время.

Защита КР проходит публично перед группой студентов. В ходе защиты курсовой работы оцениваются полнота исследования предложенной темы, правильность теоретических выкладок и численных расчетов, корректность сделанных заключений.

По результатам защиты студенту выставляется оценка в соответствии с критериями, приведенными в п. 2 настоящего Паспорта.

## **2. Уровни сформированности компетенций и критерии оценки**

В соответствии с балльно-рейтинговой системой НГТУ курсовая работа дисциплине «Электродинамика заряженных частиц» имеет максимальную оценку 100 баллов.

Курсовая работа выполнена **на продвинутом** уровне, если:

- она выполнена в полном соответствии с заданием, отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, текстовая часть оформлена с соблюдением установленных правил;
- руководитель характеризует деятельность студента положительно (в частности, отмечает его инициативу, самостоятельность, систематичность работы на всех этапах выполнения работы);
- в докладе исчерпывающе, последовательно, четко и логически правильно изложена суть работы и ее основные результаты;
- студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании;
- в докладе суть работы и ее основные результаты представлены исчерпывающе, последовательно, четко и логически правильно; на все вопросы студент дал обстоятельные и аргументированные ответы, убедительно защищал свою точку зрения;
- компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, по которым выполняется курсовая работа сформированы в полном объеме.

Оценка за выполнение КР составляет *100-87 баллов*.

Курсовая работа выполнен на **базовом** уровне, если:

- соответствует заданию, отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, текстовая часть оформлена с соблюдением установленных правил;
- руководитель характеризует деятельность студента положительно, но с незначительными замечаниями;
- в докладе правильно изложена суть работы и ее основные результаты;
- студент достаточно твердо усвоил теоретический материал и может самостоятельно его применять;
- в докладе суть работы и ее основные результаты представлены полно; на все вопросы студент дал ответы, но их полнота и аргументированность недостаточны;
- компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, по которым выполняется курсовая работа сформированы с небольшими пробелами и соответствуют базовому уровню.

Оценка за выполнение КР составляет *86-73 балла*.

Курсовая работа выполнен на **пороговом** уровне, если:

- выполнена в основном правильно, но без необходимой проработки некоторых разделов;
- в докладе упущены некоторые принципиальные моменты содержательной части работы;
- в докладе представлены суть работы и ее основные результаты; ответы на вопросы вызвали существенные затруднения;
- компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, по которым выполняется курсовая работа сформированы с пробелами и соответствуют пороговому уровню.

Оценка за выполнение составляет *72-50 баллов*.

Курсовая работа считается **не выполненной**, если студентом не проработаны важные разделы исследования, допущены принципиальные ошибки, не исправленные после замечаний руководителя курсовой КР. Студент не допущен к защите курсовой работы. компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, по которым выполняется курсовая работа не сформированы.

Оценка составляет *менее 49 баллов*.

### **3. Шкала оценки.**

В общей оценке по дисциплине баллы за работы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Курсовая работа по дисциплине считается успешно выполненной, если сумма полученных баллов составляет от 100 до 50 баллов включительно.

Оценка за выполнение КР является частью общей оценки по дисциплине «Электродинамика заряженных частиц» и учитывается с коэффициентом 40 баллов в соответствии с правилами аттестации по дисциплине.

### **4. Примерный перечень тем курсовой работы**

1. Исследование влияния нелинейных эффектов на динамику пучка заряженных частиц в ФО канале.
2. Исследование и оптимизация динамики протонного пучка в периодическом квадрупольном канале.
3. Рассмотрение движения заряженной частицы в неоднородном азимутальном магнитном поле.

4. Уравнение Матъе и функции Флоке.
5. Исследование сферической абберации в магнитных линзах.

**5. Примерный перечень вопросов к защите курсовой работы**

Список вопросов подготовлен для темы номер 1 в предыдущем списке:

1. Обоснуйте выбор метода учета нелинейности оптической системы.
2. Опишите получение бета-функции в идеальном канале.
3. Как должен соотноситься максимально достижимый среднеквадратичный эмиттанс с эффективным эмиттансом?
4. Что будет при усилении нелинейности?
5. В каких установках наблюдаются изученные эффекты?