

## **Рабочая программа дисциплины**

### **1. Самоорганизация в сложных электродинамических системах.**

#### **2. Лекторы.**

**2.1.** д.ф.-м.н., профессор, Поляков Петр Александрович, кафедра общей физики физического факультета МГУ, [pa.polyakov@physics.msu.ru](mailto:pa.polyakov@physics.msu.ru), 8-495-9391489.

#### **3. Аннотация дисциплины.**

Спецкурс посвящен электрической и магнитной самоорганизации в различных системах актуальных для развития технологий в областях твердотельной электроники, электротехники, магнитных носителей информации, медицинской диагностики. В спецкурсе излагаются общие методы решения задач электростатики для заряженных тел сложной формы. Рассмотрены новые аналитические оригинальные решения, как для связанных зарядов, так и для проводящих жестких и жидких тел. Изучается распределение токов в полосковых проводниках различной конфигурации и при наличии в них дефектов. Исследуется тепловыделение и распределений температуры в таких проводниках. Рассчитываются магнитные поля, порождаемые неоднородным распределением токов в полосковых проводниках различной формы. Изучается возможность управления движением магнитными микро- и наночастицами неоднородными магнитными полями. Излагаются методы получения магнитных полей сложной конфигурации с помощью системы сильных постоянных магнитов (сборка Халбаха и другие неоднородные распределения). Разбираются методы получения сверхсильных магнитных полей. Показана возможность повышения чувствительности датчиков Холла с помощью магнитных концентраторов. Рассматривается магнитная доменная самоорганизация в магнитных пленках при наличии локальной неоднородности и механизмы возникновения диффузной доменной границы. Излагаются механизмы динамической самоорганизации вектора намагниченности при воздействии периодического магнитного поля и двух взаимодействующих намагниченных тел.

#### **4. Цели освоения дисциплины.**

Овладеть базовыми знаниями основных явлений и методов анализа в статике и динамике электродинамических сложных систем: заряженных твердотельных и жидких тел, намагниченных сплошных сред и структурируемых материалов, электродинамике микро- и наноэлементов устройств электроники, полосковых токовых структур, самоорганизации и управлении комплексами микро- и наночастиц, обладающих электрическим зарядом или вектором намагниченности.

#### **5. Задачи дисциплины.**

Приобретение знаний и практических навыков в области физики электрических и магнитных явлений, необходимых для решения актуальных задач в области электроники, электротехники, спинтроники, медицинской физике.

#### **6. Компетенции.**

##### **7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.**

М-ПК-1

##### **7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.**

М-ОНК-1, М-ОНК-2, М-ИК-3, М-ПК-1, М-ПК-2, М-ПК-3, М-СПК-6, М-СПК-15, М-СПК-16, М-СПК-17, М-СПК-19.

#### **7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

В результате освоения дисциплины студент должен знать базовые теоретические знания основных методов решения задач магнитной динамики, электростатики и магнитостатики, касающихся систем заряженных и намагниченных тел, актуальных в областях электроники, электротехники, спинтроники, медицинской физике.

#### 8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр	Всего
	2	
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	72	72
<b>Аудиторная работа:</b>	34	34
Лекции, акад. часов	17	17
Семинары, акад. часов	17	17
Лабораторные работы, акад. часов	-	-
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	38	38
<b>Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)</b>	зачет	зачет

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа				Самостоятельная работа
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	Электростатика макроскопических тел сложной формы.	<i>1 час. Решение прямой задачи электростатики для заряженных тел сложной формы. Примеры нетривиальных аналитических решений: однородно заряженные эллипсоид и прямоугольный параллелепипед. Причины возникновения сингулярности в одномерных и двумерных случаях.</i>	<i>1 час. Решение простейших задач электростатики в одномерном и двумерном случаях. Анализ электрического поля однородно заряженного эллипсоида и прямоугольного параллелепипеда.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	ДЗ, Об, Оп
		<i>1 час. Приближенные и численные методы решения задачи электростатики. Разложение по мультиполям. Численные методы. Проблема сингулярности и способы регуляризации. Специализированные пакеты и программы решения прикладных задач электростатики.</i>	<i>1 час. Оценка точности расчета в численных моделях. Исследование сингулярности. Конкретное решение модельной задачи электростатики численными методами.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	
		<i>1 час. Решение задачи электростатики заряженных проводящих тел (оболочек) сложной формы. Примеры имеющихся аналитических решений.</i>	<i>1 час. Анализ электрических полей и распределения поверхностной плотности заряда заряженных проводящих тел сложной формы.</i>		<i>3 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	
		<i>1 час. Зарядовая неустойчивость жидкой проводящей капли. Электростатическое распыление проводящих жидкостей.</i>	<i>1 час. Нахождение критерия Релея распадной неустойчивости жидкой заряженной капли на две одинаковые и разные капли.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	
2	Распределение токов в полосковых проводниках сложной формы.	<i>1 час. Общая постановка задачи о распределении токов в полосковых проводниках. Метод конформного отображения,</i>	<i>1 час. Решение упрощенных задач электростатики проводников методом конформного отображения.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий</i>	ДЗ, Об, Оп

		<i>комплексный потенциал. Распределение токов в бесконечном полосковом проводнике с изменяющейся скачком шириной.</i>			<i>по теме.</i>	
		<i>1 час. Распределение токов в полосковых проводниках, расходящихся под углом. Отображение Шварца-Кристофеля.</i>	<i>1 час. Вычисление интеграла Шварца-Кристофеля для простых отображений.</i>		<i>3 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	
		<i>1 час. Распределение тока в полосковом проводнике с трещиной и прямоугольной перемычкой.</i>	<i>1 час. Анализ особенностей распределения тока в полосковом проводнике с трещиной и прямоугольной перемычкой.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	
		<i>1 час. Тепловыделение и распределение температура в полосковых проводниках сложной формы.</i>	<i>1 час. Решение модельной задачи о распределение температуры при прохождении тока, допускающее аналитическое решение.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	
<b>3</b>	<b>Генерация постоянных магнитных полей полосковыми проводникам и постоянными магнитами сложной формы.</b>	<i>1 час. Расчет магнитного поля от полосковых проводников сложной формы.</i>	<i>1 час. Примеры расчета напряженности магнитного поля создаваемые простейшими распределениями тока.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>	<i>ДЗ, Об, Оп</i>
	<i>1 час. Расчет магнитного поля постоянных магнитов сложной формы: однородно намагниченный эллипсоид, однородно намагниченный прямоугольный параллелепипед. Проблема регуляризации сингулярности.</i>	<i>1 час. Освоение расчета напряженности магнитного поля методом магнитных зарядов и методом векторного потенциала.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>		
	<i>1 час. Постоянные магниты с неоднородным распределением намагниченности. Магнитная сборка Халбаха. Цилиндрические и сферические</i>	<i>1 час. Анализ магнитного поля сборки Халбаха для плоского и цилиндрического случаев. Расчет поля неоднородного цилиндрического магнита.</i>		<i>3 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>		

		<i>магниты с неоднородными распределениями намагниченности. Рекордный магнит Блоча.</i>				
		<i>1 час. Управление магнитными полями движениями магнитных частиц. Магнитные биосенсоры. Эндоскопическая капсула. Магнитные концентраторы.</i>	<i>1 час. Тренировка вычисления пондеромоторных сил, действующих на малую магнитную частицу (магнитный диполь) со стороны неоднородного поля.</i>			<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>
		<i>1 час. Сферический концентратор. Прямоугольный концентратор. Увеличение чувствительности датчиков Холла с помощью концентраторов. Методы получения сверхсильных магнитных полей. Катушка Битнера. Сверхпроводящие катушки. Взрывные технологии. Катушки с концентратором. Квазистатические магнитные поля при взаимодействии сверхмощных фемтосекундных лазерных импульсов с веществом.</i>	<i>1 час. Анализ усиления магнитного поля концентраторами различной формы. Оценки возможности получения сверхсильных различными методами.</i>			<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>
<b>4</b>	<b>Самоорганизующиеся магнитные структуры и их взаимодействие с внешним магнитным полем.</b>	<i>1 час. Самоорганизующаяся магнитная доменная структура в магнитной пленке при наличии локальной цилиндрической неоднородности. Магнитный экранирующий эффект.</i>	<i>1 час. Анализ формулы величины искривления доменной полосовой структуры при наличии локальной цилиндрической неоднородности. Оценка экранирующего эффекта полосовой доменной структуры.</i>			<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме</i>
		<i>1 час. Движение доменной стенки под действием импульса внешнего магнитного поля. Эффект диффузной доменной границы.</i>	<i>1 час. Оценка скорости движения плоской доменной границы. Анализ параметров диффузной доменной границы</i>			<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме</i>
		<i>1 час. Самоорганизация магнитного</i>	<i>1 час. Анализ нелинейной динамики</i>			<i>3 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров.</i>
						<i>ДЗ, Об, Оп</i>

		<i>момента однородно намагниченной частицы под действием внешнего магнитного поля. Динамика магнитного момента в считывающей магниторезистивной головке жесткого магнитного диска</i>	<i>вектора намагниченности. Оценка критерия устойчивого считывания информации магниторезистивной головкой жесткого магнитного диска.</i>		<i>Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>
		<i>1 час. Самоорганизация в ориентационной динамике двух вращающихся магнитов (взаимодействующих диполей) под влиянием внешнего периодического поля. Эффект маятника Капицы.</i>	<i>1 час. Анализ новых устойчивых состояний двух взаимодействующих магнитов, находящихся во внешнем периодическом поле.</i>		<i>2 часа. Освоение и закрепление материала лекций и семинаров. Работа с дополнительной литературой. Решение контрольных вопросов и заданий по теме.</i>

**Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости:**

- Домашнее задание (ДЗ),
- Обсуждение (Об),
- Опрос (Оп).

## **9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО**

1. Обязательная дисциплина.
2. Вариативная часть, профессиональный блок.
3. Дисциплина является теоретическим базисом к овладению современными методами анализа самоорганизация в сложных электродинамических системах. Дисциплина дополняет дисциплины из ООП, посвященные электродинамике сплошных сред, физике конденсированного состояния, физике магнитных явлений.
  - 3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины:
    - дисциплины "Математический анализ", "Дифференциальные уравнения", "Интегральные уравнения и вариационное исчисление" из блока Б-ОН базовой части ООП ВПО,
    - дисциплины "Электродинамика сплошных сред", "Методы математической физики", "Радиофизика" из блока Б-ПРОФ базовой части ООП ВПО.
  - 3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Научно-исследовательская работа из блока "Научно-исследовательская работа" и выпускная квалификационная работа по направлению "Физика" из блока "Итоговая государственная аттестация".

## **10. Образовательные технологии**

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы и дающие наиболее эффективные результаты освоения дисциплины:

- дискуссии,
- консультации,
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

## **11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях и семинарах, восприятие излагаемого материала, выполнение домашних заданий.

Полный перечень вопросов к зачету:

1. Решение прямой задачи электростатики для заряженных тел сложной формы. Примеры нетривиальных аналитических решений: однородно заряженный эллипсоид и прямоугольный параллелепипед. Причины возникновения сингулярности в одномерных и двумерных случаях.
2. Приближенные и численные методы решения задачи электростатики. Разложение по мультиполям. Численные методы. Проблема сингулярности и способы регуляризации. Специализированные пакеты и программы решения прикладных задач электростатики.
3. Решение задачи электростатики заряженных проводящих тел (оболочек) сложной формы. Примеры имеющихся аналитических решений.
4. Зарядовая неустойчивость жидкой проводящей капли. Электростатическое распыление проводящих жидкостей.
5. Общая постановка задачи о распределении токов в полосковых проводниках. Метод конформного отображения, комплексный потенциал. Распределение токов в бесконечном полосковом проводнике с изменяющейся скачком шириной.

6. Распределение токов в полосковых проводниках, расходящихся под углом. Отображение Шварца-Кристоффеля.
7. Распределение тока в полосковом проводнике с трещиной и прямоугольной перемычкой.
8. Тепловыделение и распределение температура в полосковых проводниках сложной формы.
9. Расчет магнитного поля от полосковых проводников сложной формы.
10. Расчет магнитного поля постоянных магнитов сложной формы: однородно намагниченный эллипсоид, однородно намагниченный прямоугольный параллелепипед. Проблема регуляризации сингулярности.
11. Постоянные магниты с неоднородным распределением намагниченности. Магнитная сборка Халбаха. Цилиндрические и сферические магниты с неоднородными распределениями намагниченности. Рекордный магнит Блоча.
12. Управление магнитными полями движениями магнитных частиц. Магнитные биосенсоры. Эндоскопическая капсула. Магнитные концентраторы. Усиление магнитного поля в локальной области намагниченными телами.
13. Сферический концентратор. Прямоугольный концентратор. Увеличение чувствительности датчиков Холла с помощью концентраторов. Методы получения сверхсильных магнитных полей. Катушка Битнера. Сверхпроводящие катушки. Взрывные технологии. Катушки с концентратором. Квазистатические магнитные поля при взаимодействии сверхмощных фемтосекундных лазерных импульсов с веществом.
14. Самоорганизующаяся магнитная доменная структура в магнитной пленке при наличии локальной цилиндрической неоднородности. Магнитный экранирующий эффект.
15. Движение доменной стенки под действием импульса внешнего магнитного поля. Эффект диффузной доменной границы.
16. Самоорганизация магнитного момента однородно намагниченной частицы под действием внешнего магнитного поля. Динамика магнитного момента в считывающей магниторезистивной головке жесткого магнитного диска.
17. Самоорганизация в ориентационной динамике двух вращающихся магнитов (взаимодействующих диполей) под влиянием внешнего периодического поля. Эффект маятника Капицы.

## **12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### Основная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. М. «Наука», 1982.
2. В. Смайт. Электростатика и электродинамика. М.: ИЛ, 1954.
3. В.И. Ивановский, Л.А. Черникова. Физика магнитных явлений. М.: М.: Изд-во МГУ, 1981.

### Дополнительная литература

1. Гринберг Г.А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948.
2. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1965.
3. Эшенфелдер А. Физика и техника цилиндрических магнитных доменов. М.: Мир, 1983.
4. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008.
5. Касаткин С.И., Васильева Н.П., Муравьев А.М. Спинтронные магниторезистивные элементы и приборы на их основе. М.: Изд-во ГКС, 2005.



## Периодическая литература

1. Поляков П., Русакова Н., Самухина Ю. О новых точных решениях задачи электростатики проводников // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия. — 2014. — № 6. — С. 57–60.
2. Вагин Д.В., Герасименко Т.Н., Поляков П.А. Точное аналитическое выражение для индукции магнитного поля образца прямоугольной формы.// Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия, № 6. 2008. с. 54-56.
3. В.Н. Самофалов, Д.П. Белозоров, А.Г. Равлик . Сильные поля рассеяния в системах магнитов с гигантской магнитной анизотропией. УФН. Т183, № 3. 2013, с.287-306. Г.Кольм, А. Фриман. Сильные магнитные поля. УФН. Т88, вып. 4. 1966, с.704-723.
4. В. Амеличев, Т. Герасименко, П. Поляков, С. Касаткин. Применение метода конформных преобразований для решения задачи о распределении плотности тока и создаваемого им магнитного поля в полосковом проводнике с прямоугольным вырезом // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2014. — Т. 54, № 10. — С. 1678–1685.
5. Вагин Д.В., Касаткин С.И., Поляков П.А. Полосковые концентраторы магнитного поля для магниторезистивных датчиков тока и датчиков холла.//Датчики и системы \ Sensors & Systems. № 12. 2010, с. 25-29.

### **13. Материально-техническое обеспечение**

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Лекции по дисциплине проводятся в аудитории им. А.Н. Матвеева (комн. 4-30) физического факультета. Лекционная аудитория обеспечена проекционным оборудованием и компьютером.