

Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«ОСНОВЫ ФИЗИКИ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ»

(наименование дисциплины по учебному плану)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Направление 01.06.01 «Математика и механика»
(код и наименование)

Профиль программы аспирантуры Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения: Очная

Курс: 1, 2 Семестр(ы): 1-3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

Виды контроля:

Экзамен: - нет

Диф.зачёт: - 1

Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

Пермь 2015

Учебно-методический комплекс дисциплины**Основы физики магнитных явлений**

(полное наименование дисциплины)

разработан на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «25» августа 2014 г. номер приказа «866» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика жидкости, газа и плазмы», утвержденной «10» 09 2015 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», программы аспирантуры «Механика жидкости, газа и плазмы», утвержденной «10» 09 2015 г.

Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин

1. Динамика магнитных жидкостей
2. Гидродинамика неньютоновских жидкостей

участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик

д.ф.-м. н.
(учёная степень, звание)
(подпись)Райхер Ю.Л.
(инициалы, фамилия)

Рецензент

д.ф.-м. н, проф.
(учёная степень, звание)
(подпись)Пшеничников А.Ф.
(инициалы, фамилия)**Рабочая программа рассмотрена и одобрена учёным советом ИМСС УрО РАН**
«10» 09 2015 г., протокол № 6-15

1. Общие положения

1.1. Цель учебной дисциплины – формирование системы знаний и основных понятий по междисциплинарным разделам, где механика композиционных материалов, механика сплошных сред и теория определяющих соотношений стыкуются с физикой магнетизма в целом и с физикой малых магнитных частиц и их ансамблей, в частности. Данный курс содержит сведения, которые аспиранту необходимо усвоить, прежде, чем начать изучение более специального раздела «Физика вязкоупругих магнитных супензий»

Главной линией, которая объединяет настоящий курс и указанное выше его продолжение является идея о том, что композиционные материалы, получаемые при наполнении упругих матриц магнитными частицами микро- или наноразмера, проявляют целый ряд магнитомеханических эффектов. Иными словами: их механическое поведение и свойства изменяются под действием и в присутствие магнитного поля. Справедливо и обратное: чисто механические воздействия способны заметно влиять на магнитные характеристики таких композитов.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие компетенции:

- способность проводить научные исследования в области механики жидкости и газа, ставить и решать конкретные фундаментальные и прикладные задачи механики жидкости и газа (ПК-1);
- способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей (ПК-3).

1.2. Задачи учебной дисциплины:

- **изучение**
 - природы ферромагнетизма и типов веществ, в которых он может возникать; отклика частицы ферромагнетика на внешнее поле при уменьшении частицы — от макроскопического масштаба до наноразмера; специфики статических и динамических свойств ансамблей малых частиц;
 - материаловедческой стороны затронутых проблем: какие материалы реально используются, каковы дисперсность и магнитные характеристики существующих микро- и нанопорошков, каков уровень внутреннего (магнитного трения) в них;
 - постановки проблемы микромагнетизма, как она модифицируется для случаев многодоменных частиц и ансамблей однодоменных частиц, каковы главные качественные выводы, полученные для названных постановок задач;
 - современных проблем физики малых магнитных частиц в целом и, в частности, эффектов поверхностной и обменной анизотропии;
- **формирование умения и формирование навыков:**

- овладение методами и приемами постановки и решения теоретических задач феноменологической теории магнетизма и теории суперпарамагнитных эффектов.

1.3. Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

Явление ферромагнетизма, микро- и нанопорошки, их дисперсность и магнитные характеристики, физика малых магнитных частиц.

1.4. Место учебной дисциплины в структуре профессиональной подготовки выпускников.

Дисциплина «Динамика магнитных жидкостей» относится к *вариативной* части блока 1 и является *дисциплиной по выбору аспирантов* при освоении ООП ВО по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и механика», направленность «01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы».

В результате изучения дисциплины обучающийся должен освоить следующие компетенции и демонстрировать следующие результаты:

• знать:

- современные достижения, методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики жидкости и газа (основные уравнения движения жидкости и газа и методы их решения);
- современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных по изучению поведения жидких и газообразных сред, современное состояние экспериментальных возможностей в области исследования задач механики жидкости и газа;

• уметь:

- ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа;
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред.

Связь с предшествующими дисциплинами

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний по высшей математике, уравнениям математической физики, вариационному исчислению и общей физике в объёме программы высшего профессионального образования.

Связь с последующими дисциплинами

Знания и навыки, полученные аспирантом при изучении данного курса, необходимы для усвоения курса «Физика вязкоупругих магнитных супензий» и при работе над и при написании диссертации по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1, ПК-3.

2.1. Дисциплинарная карта компетенции ПК-1

Код ПК-1	Формулировка компетенции Способность проводить научные исследования в области механики жидкости и газа, ставить и решать конкретные фундаментальные и прикладные задачи механики жидкости и газа
Код ПК-1. Б1.В.03.02	Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность проводить научные исследования, направленные на изучение природы ферромагнетизма и типов веществ, в которых он может возникать, ставить и решать теоретические задачи феноменологической теории магнетизма и теории суперпарамагнитных эффектов.

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции студент: Знает: <ul style="list-style-type: none"> - современные достижения, методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики жидкости и газа (основные уравнения движения жидкости и газа и методы их решения) (З ПК-1); 	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического и при подготовке к семинарам.	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.
Умеет: <ul style="list-style-type: none"> - ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа (У ПК-1). 	Самостоятельная работа студентов (подготовка к лекциям), ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов, в части публикаций и участия в конференциях. Дифференцированный зачет для итогового контроля

2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

Код ПК-3	Формулировка компетенции Способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей
Код ПК-3. Б1.В.03.02	Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность планировать и проводить эксперименты по исследованию магнитных явлений (физики малых магнитных частиц, эффектов поверхностной и обменной анизотропии).

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
----------------------	---------------------	-----------------

В результате освоения компетенции студент: Знает: - современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных по изучению поведения жидких и газообразных сред, современное состояние экспериментальных возможностей в области исследования задач механики жидкости и газа (3 ПК-3);	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического и при подготовке к семинарам.	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.
Умеет: - планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред (У ПК-3).	Самостоятельная работа студентов (подготовка к лекциям), ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов, в части публикаций и участия в конференциях. Дифференцированный зачет для итогового контроля

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч			всего	
		по семестрам				
		3	1й	2й		
1	2				4	
1	Аудиторная работа	28	-	-	28	
	- лекции (Л)	20	-	-	20	
	- лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	-	
	-семинары (ПЗ)	8	-	-	8	
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	2	-	-	2	
3	Самостоятельная работа студентов (СРС)	6	36	34	76	
	- изучение теоретического материала	2	36	34	72	
	- подготовка к семинарам	4	-	-	4	
4	Итоговая аттестация по дисциплине: <i>дифференцированный зачёт</i>	-	-	2	2	
5	Трудоёмкость дисциплины, всего:					
	в часах (ч)	36	36	36	108	
	в зачётных единицах (ЗЕ)	1	1	1	3	

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Модульный тематический план

Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учеб- ного	Номер раз- дела	Номер темы дисципл	Количество часов (очная форма обучения)			Трудоём- кость, ч / ЗЕ
			аудиторная работа	итогова я	самос- тояте	

мо- дуля	дисци- плины	ины	всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР	аттеста- ция	льная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	Введение	1	1	-	-	-	-	-	1	
		1	1	1	-	-	-	-	8	9	
		2	4	2	2	-	-	-	8	12	
		3	5	2	2	-	1	-	8	13	
		4	2	2	-	-	-	-	8	10	
		5	2	2	-	-	-	-	8	10	
		6	4	2	2	-	-	-	8	12	
		7	2	2	-	-	-	-	7	9	
		8	2	2	-	-	-	-	7	9	
		9	4	2	2	-	-	-	7	11	
		10	3	2	-	-	1	-	7	10	
Итого по модулю:			30	20	8		2		76	106/2.94	
Итоговая аттестация								2		2/0.056	
Всего:								2		108/3	

4.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Введение.

Л – 1ч.

Организация учебного процесса. Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины.

Модуль 1. Основы физики магнитных явлений

Раздел 1. Электро- и магнитодинамика сплошных сред.

Л – 5ч., ПЗ – 4ч., КСР – 1ч., СРС – 24ч.

Тема 1. Электрический заряд, ток и токовый диполь. Уравнения Максвелла в вакууме. Энергия диполя во внешнем магнитном поле.

Тема 2. Электродинамика атома, орбитальный и спиновый магнитные моменты, характер микроскопических полей в конденсированном веществе. Переход к макроскопическому описанию поля в среде, индукция, напряженность и поляризация / намагниченность. Уравнения Максвелла, тензоры проводимости, восприимчивости и проницаемости вещества.

Тема 3. Стационарное магнитное поле в веществе, размагничивающее поле и тензор размагничивающих коэффициентов. Энергия намагниченного тела, тензор напряжений Максвелла, пондеромоторные силы. Представление магнитного поля через потенциал, уравнение Лапласа.

Раздел 2. Физическая природа магнитного упорядочения в веществе, магнитные частицы.

Л – 14ч., ПЗ – 4ч., КСР – 1ч., СРС – 52ч.

Тема 4. Квантовая природа обменного взаимодействия спинов, гамильтониан Гейзенберга. Кооперативный характер магнитного упорядочения спинов, ферромагнетики, ферримагнетики (ферриты) и антиферромагнетики. Температура Кюри, появление спонтанной намагниченности как фазовый переход. Теория среднего поля, ее результаты; модель Ландау — обобщенный подход, основанный на анализе симметрии параметра порядка.

Тема 5. Макроскопическая электродинамика ферромагнетиков, обменная энергия, энергия спин-орбитального взаимодействия (магнитная анизотропия), магнитостатическая энергия (размагничивание). Магнитострикционный эффект: микроскопическая природа и макроскопическое описание.

Тема 6. Теория доменной структуры, толщина и поверхностное натяжение доменной стенки для разных типов материалов. Стенки Блоха и Нееля. Микромагнетизм как обобщение теории доменной структуры. Вариационные принципы расчёта доменной структуры; теорема Брауна.

Тема 7. Кривые технического намагничивания: магнитомягкие и магнитожесткие материалы, петли магнитного гистерезиса и безгистерезисные режимы, потери энергии при намагничивании. Переход анизотропного образца ферромагнетика в однодоменное состояние при нулевой температуре. Модель Stoner-Wольфарта

Тема 8. Магнитодинамика ферромагнетиков, уравнения Ландау-Лифшица и Гильberta, ферромагнитный резонанс. Спиновые волны, спин-волновой резонанс.

Тема 9. Переход анизотропного образца в однодоменное состояние при уменьшении размера. Однодоменные частицы, энергетические оценки размера однодоменности. Суперпарамагнитное поведение наночастиц: неелевская релаксация, температура блокировки, зависимость времени релаксации от приложенного поля.

Тема 10. Намагничивание суперпарамагнитных систем, отклик на переменное поле. Ферромагнитный резонанс в наночастицах. Динамический гистерезис намагниченности в наночастицах, поглощение энергии; случай твердой, жидкой и вязкоупругой матриц.

4.3. Перечень тем практических занятий

Учебный семинар №1. Поле размагничивания. Внутреннее и внешнее поля намагниченного эллипсоида, коэффициенты размагничивания. Механические напряжения в намагниченном эллипсоиде; расчет поля напряжений при малых деформациях.

Учебный семинар №2. Принцип Больцмана для систем магнитных моментов, намагничивание парамагнитного газа, закон Ланжевена. Квазиклассическое описание намагничивания в системе невзаимодействующих спинов, функции Бриллюэна. Модель Изинга.

Учебный семинар №3. Доменная структура плёнки ферромагнетика. Простейший расчёт. Модификации с учётом многоосной анизотропии и магнитострикционного эффекта.

Учебный семинар №4. Ферромагнитный резонанс в однодоменной частице с учётом кристаллографической анизотропии и анизотропии формы. Динамическая восприимчивость, принцип причинности, соотношения Крамерса-Кронига. Понятие о метод измерения ФМР сканированием по намагничающему полю.

4.4. Перечень тем лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.5. Виды самостоятельной работы студентов

Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	2	3
1	изучение теоретического материала	8
2	изучение теоретического материала подготовка к семинару	8
3	изучение теоретического материала подготовка к семинару	8
4	изучение теоретического материала	8
5	изучение теоретического материала	8
6	изучение теоретического материала подготовка к семинару	8
7	изучение теоретического материала	7
8	изучение теоретического материала	7
9	изучение теоретического материала подготовка к семинару	7
10	изучение теоретического материала	7
	Итого: в ч / в ЗЕ	76/2,1

4.5.1. Изучение теоретического материала

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно

Тема 1. Магнитостатика в вакууме, уравнение Лапласа для магнитостатического потенциала и его простейшие решения.

Тема 2. Поле диполя, дипольный потенциал, энергия диполь-дипольного взаимодействия, междипольные силы.

Тема 3. Орбитальный и спиновый магнитные моменты атома, правило сложения моментов, полный магнитный момент.

Тема 4. Понятие параметра порядка, фазовый переход как спонтанное нарушение симметрии параметра порядка.

Тема 5. Намагниченность ферромагнетика во внешнем поле в интервале температур, включающем точку Кюри.

Тема 6. Размеры доменных стенок в высокоанизотропных и магнитомягких материалах. Доменная стенка Нееля.

Тема 7. Переход макроскопического ферромагнетика в однодоменное состояние при намагничивании.

Тема 8. Кривые намагничивания суперпарамагнитных частиц в жидких, твёрдых и упругих матрицах.

Тема 9. Спиновые волны: природа, дисперсионное уравнение, спин-волновой резонанс.

Тема 10. Рассмотрение в модели Стонера-Вольфарта гистерезиса намагниченности частицы, заключённой в немагнитную упругую матрицу.

4.5.2. Курсовой проект (курсовая работа)

Курсовой проект не предусмотрен.

4.5.3. Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.5.4. Расчёто-графические работы

Расчёто-графические работы не предусмотрены.

5. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Участие в научных мероприятиях различного уровня

№ п/п	Полное название мероприятия
1	Научный семинар Лаборатории кинетики анизотропных жидкостей, научный семинар ИМСС УрО РАН
2	Зимняя школа по механике сплошных сред, г. Пермь, ИМСС УрО РАН (ежедвухгодичная)
3	Всероссийская конференция молодых ученых «Математическое моделирование в естественных науках», г. Пермь, ПНИПУ (ежегодная)
4	Всероссийская конференция молодых ученых «Неравновесные процессы в сплошных средах», г. Пермь, ПГНИУ (ежегодная)
5	Международной школа-семинар «Новые магнитные материалы микроэлектроники», г. Москва, физфак МГУ (ежедвухгодичная)
7	Участие в проектах РФФИ и других проектах Лаборатории кинетики анизотропных жидкостей (индивидуально)

6. Управление и контроль освоения компетенций

6.1. Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

6.2. Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится по окончании каждого раздела дисциплины в форме:

- устного опроса.

6.3. Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Дифференцированный зачёт

Условия присвоения зачёта по дисциплине:

- зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого промежуточного контроля, результатам семинаров и самостоятельной работы.

2) Экзамен

Не предусмотрен.

6.4. Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля			
	ТК	ПК	ЛР	Диф. зачёт
В результате освоения компетенции студент:				
Знает:				
- современные достижения, методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики жидкости и газа (основные уравнения движения жидкости и газа и методы их решения) (ПК-1);	+	+		
- современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных по изучению поведения жидких и газообразных сред, современное состояние экспериментальных возможностей в области исследования задач механики жидкости и газа (ПК-3);	+	+		
Умеет:				
- ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа (ПК-1);				+
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред (ПК-3).				+

ТК – текущий контроль в форме устного опроса по темам (контроль знаний по теме);

ПК – промежуточный контроль в форме устного опроса по темам (контроль знаний по теме);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка умений и навыков).

7. График учебного процесса по дисциплине

1-й семестр

2-й семестр

3-й семестр

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

СПИСОК ИЗДАНИЙ

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)		Количество экземпляров в библиотеке
	1	2	
1. Основная литература			
1	Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 2003, 616 с.		1
2	Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Теория электромагнитных явлений в веществе. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005, 848 с.		1
3	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред М.: Физматлит, 2005, 656.		1
4	Можен Ж. Механика электромагнитных сплошных сред М.: Мир, 1991, 560 с.		1
2. Дополнительная литература			
2.1. Учебные и научные издания			
1	Raikher Yu.L., Shliomis M.I. The effective-field method in the orientational kinetics of magnetic fluids and liquid crystals // Advances in Chemical Physics. 1994. Vol. 87. P. 595-751.		1
2	Raikher Yu.L., Stepanov V.I. Nonlinear dynamic susceptibilities and field-induced birefringence in magnetic particle assemblies // Advances in Chemical Physics. 2004. Vol. 129. P. 419-588.		1
3	Coffey W.T., Kalmykov Yu.P. Thermal fluctuations of magnetic nanoparticles: Fifty years after Brown // J. Applied Physics. 2012. Vol. 112. P.121301-1 — 121301-47.		1
2.2. Периодические издания			
1	Журнал «Вычислительная механика сплошных сред»		
2.3. Нормативно-технические издания			
2.4. Официальные издания			
2.5. Электронные информационно-образовательные ресурсы			
1	Наукометрическая и реферативная база данных Scopus		
2	Электронная база данных Web of Science		

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

9.1. Специализированные лаборатории и классы

№ п.п.	Помещения			Площадь, м ²	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1.	Лекционная мультимедийная аудитория	ИМСС, корп. А	ауд.321	72	30
2.	Лекционная мультимедийная аудитория	ИМСС, корп. Б	ауд.233	72	30
3.	Компьютерный класс	ИМСС, корп. А	ауд.220	72	10

9.2. Основное учебное оборудование

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Компьютеры	10	оперативное управление	220