

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы



А.В. Перминов
д.ф.-м.н., зав. каф. общей физики

«30» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Прикладная электродинамика сплошных сред»

Научная специальность	1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Механика жидкости, газа и плазмы
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Общая физика, Прикладная физика
Форма обучения	Очная
Курс: 3	Семестр (ы): 5
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 5 Диф.зачет

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Прикладная электродинамика сплошных сред» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области прикладной электродинамики.

В процессе изучения данной дисциплины аспирант формирует следующие **компетенции**: самостоятельно осваивать и применять новые теории, физико-математические и вычислительные методы, новые системы компьютерной математики и системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) для эффективного решения профессиональных задач.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Прикладная электродинамика сплошных сред» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- фундаментальные законы электродинамики и их математическое описание;
- современные методы решения задач электродинамики сплошных сред.

Уметь:

- использовать фундаментальные знания по электродинамике для решения задач, возникающих в процессе обучения, а также в будущей профессиональной деятельности;
- применять современные вычислительные методы для решения электродинамических задач.

Владеть:

- методами и средствами решения задач электродинамики применительно к проблемам анализа и моделирования процессов в электротехнических и электроэнергетических устройствах

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		5 семестр
1	Аудиторная работа	17
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	6
	Самостоятельная работа (СР)	55
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

(Л – 5, ПР – 6, СР – 55)

Тема 1. Уравнения Максвелла. Стационарное электрическое поле, дипольный момент системы зарядов. Стационарное магнитное поле, магнитный момент системы зарядов. Дипольный и магнитный моменты, аналогия.

Тема 2. Уравнение Максвелла в среде. Микро и макроскопические электромагнитные величины. Осреднение уравнений Максвелла. Макроскопическая плотность заряда в среде. Система уравнений электромагнетизма в среде. Граничные условия.

Тема 3. Диэлектрики в постоянном электрическом поле. Зависимость дипольного момента от внешнего поля. Поляризация диэлектриков I-города (квазиупругие молекулы). Поляризация диэлектриков II-города (полярные молекулы).

Тема 4. Магнетики в постоянном магнитном поле. Классификация магнитных материалов. В классической физике нет магнетизма. Магнитные свойства атомов. Парамагнетизм. Диамагнетизм. Ферромагнетизм: феноменологическая модель ферромагнетизма, доменная структура, обратимые и необратимые процессы намагничивания, петля гистерезиса, эффект Баркгаузена.

Тема 5. Плоские монохроматические волны в однородной среде. Электромагнитные волны в вакууме; волновое уравнение, монохроматические волны, волновой вектор, стоячая волна. Дисперсионное соотношение в сплошной среде. Волны в диэлектриках. Волны в проводниках, скин-эффект. Законы отражения и преломления. Формулы Френеля.

Тема 6. Цепи переменного тока. Импедансы. Цепи идеальных элементов: правило Кирхгофа. Реальные элементы цепи. Полые резонаторы, собственные колебания.

Тема 7. Волноводы. Передающая линия. Скорость волн в волноводе. Главная волна.

Тема 8. Магнитная гидродинамика. Уравнение движения жидкости в магнитном поле. Диссипативные процессы. Течение между параллельными плоскостями.

Тема 9. Магнитные цепи. Правило Кирхгофа для магнитных цепей. Расчёт разветвленной и неразветвленной цепи. Цепи с постоянным магнитом. Воздействие магнитного поля на ток в проводниках, вытеснение тока в проводах, уложенных в пазы магнитопровода.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1, 2	Уравнения Максвелла в вакууме и среде	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	5, 7	Плоские монохроматические волны, волноводы.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	8	Магнитная гидродинамика	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	3	Диэлектрики в постоянном электрическом поле. Зависимость дипольного момента от внешнего поля. Поляризация диэлектриков I-города (квазиупругие молекулы). Поляризация диэлектриков II-города (полярные молекулы).	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	4	Магнетики в постоянном магнитном поле. Классификация магнитных материалов. В классической физике нет магнетизма. Магнитные свойства атомов. Парамагнетизм. Диамагнетизм. Ферромагнетизм: феноменологическая модель ферромагнетизма, доменная структура, обратимые и необратимые процессы намагничивания, петля	Творческое задание	Темы творческих заданий

		гистерезиса, эффект Баркгаузена.		
3	6	Цепи переменного тока. Импедансы. Цепи идеальных элементов: правило Кирхгофа. Реальные элементы цепи. Полые резонаторы, собственные колебания.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	9	Магнитные цепи. Правило Кирхгофа для магнитных цепей. Расчёт разветвленной и неразветвленной цепи. Цепи с постоянным магнитом. Воздействие магнитного поля на ток в проводниках, вытеснение тока в проводах, уложенных в пазы магнитопровода.	Творческое задание	Темы творческих заданий

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Прикладная электродинамика сплошных сред» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. – 620 с.	4
2	Беляев Е.Ф., Шулаков Н.В. Дискретно-полевые модели электрических машин. Пермь: изд-во ПГТУ, 2009. – 457 с.	49+Электронная библиотека ПНИПУ
3	Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам : учебное пособие для среднего профессионального образования. – Москва: Академия, 2005. – 480 с.	19
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	Беспалов В.Я. Электрические машины : учебное пособие. – М.: Академия, 2013. – 320 с.	12

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
2	Копылов И.П. Электрические машины : учебник для вузов / И.П. Копылов. - М.: Высш. шк., 2006	11
3	Алиев И. И. Электрические машины : учебно-справочное пособие / И. И. Алиев. - Москва: РадиоСофт, 2011.	6
2.2 Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления	
2	Известия высших учебных заведений. Электромеханика	
2.3 Нормативно-технические издания		
1	Не используется	
2.4 Официальные издания		
1	Не используется	

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : мультидисциплинар. электрон. версии журн. на ин. яз.] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 2000-2016. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. Scopus [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на англ. яз.] / Elsevier B. V. – Amsterdam, 2016. – Режим доступа: <http://www.scopus.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Web of Science [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на англ. яз.] / Thomson Reuters. – New York, 2016. – Режим доступа: <http://apps.webofknowledge.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

6.2.2 Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Рег. номер	Назначение
1	Практическое, самостоятельная работа	Microsoft Office 2007 Professional	42661567	Подготовка отчетов, статей
2	Практическое, самостоятельная работа	Microsoft Windows 7 Professional	48648458	Операционная система

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры ASUS на базе процессоров Intel Core i5 – 2320, CPU 3 GHz	6	Оперативное управление	252

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля. Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине. Зачет по дисциплине выставляется на основании оценок текущего контроля за собеседования и творческие задания

Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачета:

Текущий контроль для комплексного оценивания показателей знаний, умений и владений проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

• Собеседование

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с аспирантом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Таблица 5 Критерии и показатели оценивания собеседования

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
<i>Зачтено</i>	Аспирант достаточно свободно использует фактический материал по заданному вопросу, умеет определять причинно-следственные связи событий, логично и грамотно, с использованием профессиональной терминологии обосновывает свою точку зрения.
<i>Незачтено</i>	Аспирант демонстрирует полное незнание материала или наличие бессистемных, отрывочных знаний, связанных с поставленным перед ним вопросом, при этом не ориентируется в профессиональной терминологии.

• Защита отчета о творческом задании

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Таблица 6 Критерии оценивания защиты отчета творческого задания

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
<i>Зачтено</i>	Аспирант выполнил творческое задание успешно, показав в целом систематическое или сопровождающееся отдельными ошибками применение полученных знаний и умений , аспирант ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Аспирант может объяснить полностью или частично полученные результаты.
<i>Незачтено</i>	Аспирант допустил много ошибок или не выполнил творческое задание.

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

10.1 Типовые творческие задания:

1. Какой ток J нужно пустить по длинному и тонкому однослойному соленоиду с плотностью намотки n [витков/см], чтобы индукция B была равна индукции постоянного магнита тех же размеров? Намагниченность I постоянна и направлена по оси.
2. Намагниченность I прямоугольного бруска одинакова во всех точках бруска и направлена вдоль его оси. Найти поверхностную плотность σ «магнитных зарядов» на торцах бруска и соотношение между B и H внутри бруска.
3. Бесконечная плоская пластина изготовлена из однородного намагниченного ферромагнетика, причём вектор намагниченности I перпендикулярен плоскости пластины. Найти поля B и H внутри и вне пластины.
4. Бесконечная плоская пластина изготовлена из однородного намагниченного ферромагнетика, причём вектор намагниченности I параллелен плоскости пластины. Найти поля B и H внутри и вне пластины.
5. Круглый диск радиусом r из магнитного материала ($\mu \gg 1$), помещён во внешнее однородное магнитное поле B_0 , направленное вдоль его оси. В бесконечно тонком диске индукция B , как известно была бы равна B_0 . Оценить, при какой максимальной толщине диска h индукция в центре диска отличается от этого значения не более, чем на 1%.
6. По обмотке электромагнита, имеющего N витков, протекает ток J . Определить индукцию магнитного поля в небольшом зазоре, если все участки сердечника имеют одинаковые сечения, а магнитная проницаемость материала равна μ .
7. Тороидальный сердечник составлен из двух половинок, сделанных из различных ферромагнитных материалов с магнитными проницаемостями μ_1 и μ_2 . Общая длина сердечников, включая два небольших зазора d , равна L . По обмотке сердечника, имеющей N витков, течёт ток J . Определить величину поля B в зазоре. Рассеянием магнитного поля в зазоре пренебречь.
8. Определить индуктивность на единицу длины двух плоских шин, находящихся на расстоянии d друг от друга. Ширина шины $a \gg d$. Найти силу, действующую на единицу площади шин, если по ним текут одинаковые токи в противоположных направлениях.
9. Из энергетических соображений оценить коэффициент самоиндукции круглой петли длиной h из тонкой проволоки радиусом r .
10. Длинный соленоид, намотанный на тонкостенный капилляр, погружен одним концом в парамагнитную жидкость с плотностью ρ и магнитной проницаемостью μ . Насколько изменится уровень жидкости в капилляре, если по соленоиду пропустить ток J ? Число витков на единицу длины соленоида равно n .

10.2 Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на зачете по дисциплине:

- 1. Уравнения Максвелла.** Стационарное электрическое поле, дипольный момент системы зарядов. Стационарное магнитное поле, магнитный момент системы зарядов. Дипольный и магнитный моменты, аналогия.
- 2. Уравнение Максвелла в среде.** Микро и макроскопические электромагнитные величины. Осреднение уравнений Максвелла. Макроскопическая плотность заряда в среде. Система уравнений электромагнетизма в среде. Граничные условия.
- 3. Диэлектрики в постоянном электрическом поле.** Зависимость дипольного момента от внешнего поля. Поляризация диэлектриков I-города (квазиупругие молекулы). Поляризация диэлектриков II-города (полярные молекулы).
- 4. Магнетики в постоянном магнитном поле.** Классификация магнитных материалов. В классической физике нет магнетизма. Магнитные свойства атомов. Парамагнетизм. Диамагнетизм. Ферромагнетизм: феноменологическая модель ферромагнетизма, доменная структура, обратимые и необратимые процессы намагничивания, петля гистерезиса, эффект Баркгаузена.
- 5. Плоские монохроматические волны в однородной среде.** Электромагнитные волны в вакууме; волновое уравнение, монохроматические волны, волновой вектор, стоячая волна. Дисперсионное соотношение в сплошной среде. Волны в диэлектриках. Волны в проводниках, скин-эффект. Законы отражения и преломления. Формулы Френеля.
- 6. Цепи переменного тока.** Импедансы. Цепи идеальных элементов: правило Кирхгофа. Реальные элементы цепи. Полые резонаторы, собственные колебания.
- 7. Волноводы.** Передающая линия. Скорость волн в волноводе. Главная волна.
- 8. Магнитная гидродинамика.** Уравнение движения жидкости в магнитном поле. Диссипативные процессы. Течение между параллельными плоскостями.
- 9. Магнитные цепи.** Правило Кирхгофа для магнитных цепей. Расчёт разветвленной и неразветвленной цепи. Цепи с постоянным магнитом. Воздействие магнитного поля на ток в проводниках, вытеснение тока в проводах, уложенных в пазы магнитопровода.

10.3 Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на зачете по дисциплине:

1. Медный диск радиусом $r=10$ см, вращается в однородном магнитном поле, делая 100 оборотов в секунду. Индукция магнитного поля направлена перпендикулярно к плоскости диска и равна $B=10^4$ Гс. Две щётки, одна на оси диска, другая на окружности, соединяют диск с внешней цепью, в которую включены реостат с сопротивлением $R=10$ Ом и амперметр, сопротивлением которого можно пренебречь. Что показывает амперметр?
2. В длинном воздушном соленоиде с радиусом катушки $r=1$ см и плотностью витков $n=10$ см⁻¹ течёт ток, нарастающий с постоянной скоростью $dI/dt=100$ А/с. Какова будет форма силовых линий соответствующего ему вихревого электрического поля E ?
3. К небольшой катушечке с числом витков N и площадью витка S подносят на расстоянии a подносят лист из хорошо проводящего металла. По катушке течёт переменный ток I (действующее значение) частотой ω . Найти дополнительную ЭДС ε , возникшую в катушке после приближения листа. Лист расположен перпендикулярно оси катушки.
4. Два соосных круговых витка радиусами R и $r \ll R$ размещены на расстоянии R друг от друга. По малому витку пропускается ток $i=i_0 \cos \omega t$. Найти ток $J(t)$ в большом витке, сопротивление которого равно R_0 .
5. В центре кругового витка радиусом R , подключённого к вольтметру переменного тока, имеется небольшой тонкий цилиндрический магнетик, остаточная индукция которого равна B . Длина и радиус цилиндра равны h и r соответственно. Магнетик приводят во вращение с угловой скоростью ω вокруг оси, лежащей в плоскости витка и перпендикулярной оси цилиндра. Определить показания вольтметра. Считать $r \ll h \ll R$.
6. По длинному соленоиду, имеющему n [витков/см], течёт ток J . Найти давление P , действующее на боковую поверхность соленоида. Магнитная проницаемость среды $\mu=1$.

7. Постоянная времени разряда плоского масляного конденсатора через некоторое сопротивление равна τ_1 . После того как масло конденсатора отсырело, постоянная времени разряда через то же сопротивление оказалась равной τ_2 . Определить удельное сопротивление ρ отсыревшего масла, если его диэлектрическая проницаемость ϵ не изменилась.

8. Два соленоида имеют одинаковые геометрические размеры, но один из них изготовлен из провода вдвое большей площади поперечного сечения и вдвое меньшей длины, чем другой. Материал проводов обоих соленоидов одинаков. В обмотке какого из соленоидов будет выделяться больше тепла, если магнитные поля в них одинаковы? У кого из соленоидов меньше время установления магнитного поля?

9. Требуется построить электромагнит, который создаёт в зазоре магнитную индукцию $B=10^4$ Гс. Длина железного сердечника $h=140$ см, ширина воздушного зазора $a=1$ см, диаметр сердечника $d=6$ см. Какое наименьшее число витков должна иметь обмотка, если используется медный провод сечением $S=1$ мм², по которому можно пропустить ток, не превышающий $J_{max}=3$ А?

10. На железный сердечник постоянного сечения длиной $h=1$ м с зазором $d=1$ мм намотана катушка с числом витков $N=1600$, по которой течёт ток $J=1$ А (рис. 1). Зависимость $B(H)$ материала сердечника представлена на рис. 2. Определить магнитное поле в зазоре.

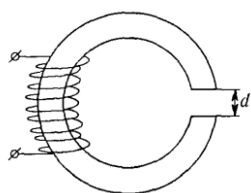


Рис.1

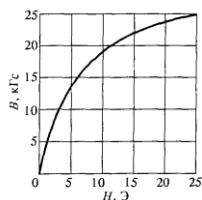


Рис.2

Полный комплект вопросов и заданий для сдачи зачета в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ОФ».

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		