

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Малышев А.И.
декан _____
« 30 » _____ августа 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

«Современные проблемы спинтроники»

Уровень подготовки

аспирантура

Направление подготовки

11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Направленность образовательной программы

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Квалификация

Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2021 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Современные проблемы спинтроники» относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору и изучается на 3 году обучения в 5 семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

Цель дисциплины «Спинтроника» состоит в том, чтобы дать аспирантам основные понятия и представления о спинтронике, новом быстроразвивающемся направлении науки и техники, находящемся на стыке микроэлектроники, оптоэлектроники и магнетизма. В приборах спинтроники для достижения более высоких, чем в традиционных приборах электроники, характеристик процесса обработки информации используется, кроме заряда носителей тока, также спиновая степень свободы электрона.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники. Уметь: разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области спинтроники. Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники.
ОПК-2 владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Знать: культуру научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий Уметь: разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий Владеть: культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.
ПК-3 Готовность подготовить и провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования	Знать: как провести физический эксперимент в области спинтроники. Уметь: осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных. Владеть: современными методами обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.

экспериментальных данных и методов численного моделирования физических и технологических процессов	
--	--

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 55 часов, из которых 55 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (54 часов занятия лекционного типа, 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час - мероприятия промежуточной аттестации), 17 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
		Очное				
Понятие спина электрона		3				
Эффекты с участием спина		4.5				
Магнетизм атомов		4.5				
Магнитные характеристики материалов. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетик и		6				5
Разбавленные магнитные полупроводник и. Магнетизм наночастиц		7.5				6
Аномальный и спиновый эффекты Холла		4.5				6

Оптическая ориентация						4
Спиновая инжекция		3				2
Механизмы спиновой релаксации		4.5				2
Спиновый клапан		4.5				6
Приборы спинтроники (спиновые транзистор, светодиод)		6				4
ВСЕГО		54				17
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация - зачет						

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Понятие спина электрона	История развития спинтроники. Спин электрона, гиромагнитное отношение. Опыт Штерна и Герлаха. Магнетон Бора и ядерный магнетон.	Лекции	зачёт
2.	Эффекты с участием спина	Энергия магнитного диполя во внешнем магнитном поле. Взаимодействие между спинами; сравнение энергии спин-спинового взаимодействия с тепловой энергией при температуре Т. Ларморовская частота, прецессия магнитного момента в магнитном поле, эффект Зеемана. Спин-орбитальное взаимодействие.	Лекции	зачёт
3.	Магнетизм атомов	Спиновый и орбитальный магнетизм атома водорода. Магнетизм многоэлектронных атомов. Электроны в атомах переходных элементов.	Лекции	зачёт
4.	Магнитные характеристики	Определения – магнитная восприимчивость, относительная и	Лекции	зачёт

	ки материалов. Диамagnetик и, парамагнетик и, ферромагнет ики	абсолютная магнитная проницаемость. Диамagnetизм орбитального движения электронов в атомах. Диамagnetизм Ландау в металлах. Парамагнетизм спинов электронов. Вывод закона Кюри для невзаимодействующих электронов. Парамагнетизм Паули. Зонная структура переходных металлов: сравнение для меди и никеля. Гейзенберговский обменный гамильтониан, обменный интеграл и случаи ферромагнетизма и антиферромагнетизма. Приближение молекулярного поля Вейсса, закон Кюри- Вейсса. Доменная структура и стенки Блоха. Энергия анизотропии. Коэрцитивная сила и гистерезис.		
5.	Разбавленные магнитные полупроводн ики. Магнетизм наночастиц	Магнитные разбавленные полупроводники. Фазовая диаграмма для выращивания GaMnAs. Магнитные свойства, типичные значения температуры Кюри для слоев GaMnAs, нанесенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Магнетизм малых частиц. Зависимость коэрцитивного поля от размеров частиц. Суперпарамагнетизм.	Лекции	зачёт
6.	Аномальный и спиновый эффекты Холла	Внешний и внутренний спиновый эффект Холла. Изменение направлений спина во внешних магнитном и электрическом полях. Расчет спинового тока в спиновом эффекте Холла. Экспериментальные наблюдения спинового эффекта Холла. Аномальный эффект Холла в ферромагнетиках. Анализ результатов измерения эффекта Холла (аномального эффекта Холла) для получения информации об электронной и магнитной подсистемах разбавленного магнитного полупроводника.	Лекции	зачёт
7.	Оптическая ориентация	Правила отбора при излучении и поглощении света атомом. Описание состояний электрона в зонах GaAs (зона проводимости, зоны легких и тяжелых	Лекции	зачёт

		дырок, спин-отщепленная зона). Правила отбора при межзонных переходах в GaAs вблизи $\vec{k}=0$. Расчет относительных интенсивностей межзонных переходов при поглощении циркулярно-поляризованного света. Спиновая поляризация возбужденных электронов. Спиновая поляризация в стационарном состоянии; случаи полупроводников p- и n-типа. Эффект Ханле. Экспериментальные данные для GaSb и GaAs.		
8.	Спиновая инжекция	Качественное рассмотрение спиновой инжекции из ферромагнитного (Ф) в нормальный (Н) металл. Эксперимент Джонсона-Силсби со структурой Ф-Н-Ф, эффект Ханле в этой структуре. Зонная диаграмма структуры Ф-Н-Ф. Феноменологическое описание инжекции спина в системе Ф-Н. Стандартная (диффузионная) модель спиновой инжекции в системе Ф-Н. Формулы Ван Соны для спиновой поляризации тока на границе Ф-Н. Проблема рассогласования проводимостей. Спиновая инжекция в системе металл/полупроводник.	Лекции	зачёт
9.	Механизмы спиновой релаксации	Спиновая релаксация и спиновая дефазировка. Основные механизмы спиновой релаксации. Механизм Эллиотта-Яфета. Механизм Дьяконова-Переля. Механизм Бира-Аронова-Пикуса. Механизм, связанный со сверхтонким взаимодействием. Зависимости времени спиновой релаксации от температуры для указанных механизмов.	Лекции	зачёт
10.	Спиновый клапан	Эффект гигантского магнетосопротивления в трехслойной структуре Ф-Н-Ф. Технология изготовления спинового клапана. Четырехслойные структуры, роль антиферромагнитного слоя. Эффекты туннельного магнетосопротивления. Системы памяти с произвольным	Лекции	зачёт

		доступом на основе спиновых клапанов.		
11.	Приборы спинтроники (спиновые транзистор, светодиод)	Концепция спинового полевого транзистора Датты-Дэса. Время жизни спина в проводящем канале. Принцип контроля затвором в спиновом транзисторе. Трудности в реализации спинового транзистора и пути их преодоления. Принцип работы спинового свето-излучающего диода. Схемы свето-излучающих диодов с эмиттером в виде ферромагнитного полупроводника n-типа и p-типа. Приемы вывода излучения. Зависимость поляризационных характеристик диодов при варьировании температуры измерений, толщины спейсера, способа приложения магнитного поля. Зенеровский туннельный диод.	Лекции	зачёт

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме а также в форме самостоятельной работы аспирантов. На лекциях аспиранты знакомятся с основными понятиями и представления о спинтронике, новом быстроразвивающемся направлении науки и техники, находящемся на стыке микроэлектроники, оптоэлектроники и магнетизма. В приборах спинтроники для достижения более высоких, чем в традиционных приборах электроники, характеристик процесса обработки информации используется, кроме заряда носителей тока, также спиновая степень свободы электрона. Во время самостоятельной работы аспиранты изучают методологию теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники, культуру научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, изучают как подготовить и провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, компьютерных классах и в домашних условиях, с доступом к базам данных, к ресурсам Интернет.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций учебное программное обеспечение.

Критерием положительной оценки «зачтено» является успешное выполнение расчетных заданий и ответ на один или более (по усмотрению преподавателя) контрольных вопроса:

1. Определение спинтроники. Принцип работы спинового клапана.

2. Спин электрона, магнитомеханическое отношение. Опыт Штерна и Герлаха. Магнетон Бора и ядерный магнетон.
3. Энергия магнитного момента в магнитном поле, энергия диполь-дипольного (спин-спинового) взаимодействия. Классическое объяснение эффекта Зеемана.
4. Магнетизм одноэлектронного атома.
5. Строение электронных оболочек атомов переходных элементов (главное, орбитальное, магнитное квантовые числа и спин, электронная конфигурация).
6. Описание зоны проводимости и валентных подзон GaAs, соответствующие им значения проекции полного момента. Спин-отщепленная зона.
7. Правила отбора при излучении и поглощении света атомом. Описание состояний электрона в зонах GaAs (зона проводимости, зоны легких и тяжелых дырок, спин-отщепленная зона). Правила отбора при межзонных переходах в GaAs вблизи $\vec{k}=0$. Матричные элементы дипольного момента. Расчет относительных интенсивностей межзонных переходов при поглощении циркулярно-поляризованного света. Спиновая поляризация возбужденных электронов.
8. Циркулярно-поляризованная фотолюминесценция (ЦП ФЛ) как способ регистрации спиновой поляризации электронов в полупроводниках. Степень циркулярной поляризации ФЛ, ее зависимость от энергии квантов возбуждающего ЦП света.
9. Спиновая поляризация в стационарном состоянии при поглощении циркулярно-поляризованного света; случаи полупроводников *p*-и *n*-типа.
10. Качественное рассмотрение спиновой инжекции из ферромагнитного (Ф) в нормальный (Н) металл. Зонная диаграмма структуры Ф-Н-Ф.
11. Феноменологическое описание инжекции спина в системе Ф-Н. Проблема рассогласования проводимостей.
12. Концепция спинового полевого транзистора Датта-Даса. Принцип контроля затвором в спиновом транзисторе; фазовый сдвиг для длины канала *L*. Трудности в реализации спинового транзистора и пути их преодоления.
13. Принцип работы спинового светоизлучающего диода. Приемы вывода излучения.
14. Магнитные разбавленные полупроводники. Фазовая диаграмма для выращивания GaMnAs. Магнитные свойства, типичные значения температуры Кюри для слоев GaMnAs, нанесенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии.
15. Основные механизмы спиновой релаксации. Механизм Эллиотта-Яфета в полупроводниках.
16. Механизм Дзяконова-Переля.
17. Механизм Бира-Аронова-Пикуса.
18. Определения – магнитная восприимчивость, относительная и абсолютная магнитная проницаемость. Связь между этими характеристиками. Магнитная индукция, единицы измерения. Классификация магнетиков.
19. Диамагнетизм орбитального движения электронов в атомах; классический вывод формулы для магнитной восприимчивости. Диамагнетизм Ландау в металлах.
20. Парамагнетизм спинов электронов. Вывод закона Кюри для невзаимодействующих электронов. Парамагнетизм Паули.
21. Обменное взаимодействие, обменный интеграл и случаи ферромагнетизма и антиферромагнетизма.
22. Примеры ферромагнетиков, антиферромагнетиков и ферримагнетиков. Приближение молекулярного поля Вейсса, закон Кюри-Вейсса.

23. Доменная структура и стенки Блоха. Энергия анизотропии. Коэрцитивное поле и гистерезис.
24. Аномальный эффект Холла в магнетиках. Определение характеристик материала из зависимости $R_H(B)$.
25. Магнетизм малых частиц. Зависимость коэрцитивного поля от размеров частиц. Однодоменные частицы
26. Суперпарамагнетизм. Температура блокировки.
27. Современные устройства на основе спинового клапана. Принцип функционирования MRAM.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине
включающий:

6.1. *Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования.*

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. *Описание шкал оценивания*

«Зачтено» – владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, наличие хотя бы фрагментарных знаний по каждому из основных вопросов, способность критически анализировать и сравнивать получаемые научные результаты. Приняты все отчёты.

«Незачтено» – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Хотя бы один из отчётов не принят.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии: :

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций.

Типовые контрольные задания включают в себя 2 вопроса из списка контрольных вопросов выше в п.5.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины а) основная литература:

- 1) Аплеснин С.С. Основы спинтроники. С-Пб: Лань, 2010. 288 с.
- 2) Кравченко А.Ф. Магнитная электроника. Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2002. 400с.

б) дополнительная литература:

- 1) С.В. Вонсовский «Магнетизм». «Наука», М., **1971**, 1032 с.
- 2) Г.С. Кринчик «Физика магнитных явлений». Изд-во Моск.ун-та, 1985, 336 с.
- 3) Э.Л. Нагаев «Физика магнитных полупроводников». «Наука», М., 1979, 431 с.
- 4) «Оптическая ориентация» под ред. Б.П. Захарчени, Ф. Майера. «Наука», Л., 1989, 408 с.
- 5) В.Я. Демиховский «Низкоразмерные структуры спинтроники». Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2007, 126 с.
- 6) Б.П. Захарченя, В.Л. Коренев. Интегрируя магнетизм в полупроводниковую электронику – УФН, 2005, т.175, в.6, с.629-635.
- 7) А. Ферт. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники – УФН, 2008, т.178, в.12, с.1336-1348.
- 8) П.А. Грюнберг. От спиновых волн к гигантскому магнетосопротивлению и далее – УФН, 2008, т.178, в.12, с.1349-1358.

в) Интернет-ресурсы

Для углубленного изучения вопросов спинтроники рекомендуется чтение обзорных и оригинальных статей в журналах, имеющих в открытом доступе для ННГУ:

1. Физика и техника полупроводников: <http://journals.ioffe.ru/ftp/>
2. Физика твердого тела: <http://journals.ioffe.ru/ftt/>
3. Успехи физических наук: <http://www.ufn.ru/>
4. Physical Review B: <http://prb.aps.org/>
5. Journal of Applied Physics: <http://jap.aip.org/>
6. Journal of Physics D: Applied Physics: <http://iopscience.iop.org/0022-3727>

Книга Аплеснина С.С. (Основы спинтроники. С-Пб: Лань, 2010. 288 с.) имеется в режиме чтения в доступе с компьютеров сети ННГУ по адресу <http://e.lanbook.com/>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование – комплекс учебного оборудования фирмы Natinal Instruments;
- лицензионное программное обеспечение фирмы Natinal Instruments.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор

доцент кафедры физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники, к.ф.-м.н.,

_____ Ю.А. Данилов

Рецензент:

заведующий кафедрой теоретической физики,
д.ф.-м.н., профессор

_____ В. А. Бурдов

Заведующий кафедрой физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники, д.ф.-м.н. профессор

_____ Д.А. Павлов

Программа рекомендована на заседании кафедры физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники от _____ года, протокол № _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от
_____ года, протокол № _____

Приложение 1

ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники.	В целом успешное знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники	Успешное и систематическое знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники
Уметь: разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области спинтроники.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области спинтроники.	В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области спинтроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области спинтроники	Сформированное умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области спинтроники
Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники.	В целом успешное, но не систематическое применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники	Успешное и систематическое применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области спинтроники

ОПК-2 владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
Знать: культуру научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Успешное и систематическое знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
Уметь: разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Отсутствие умений	Частично освоенное умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Сформированное умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
Владеть: культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение новейших информационно-коммуникационных технологий.	В целом успешное, но не систематическое применение новейших информационно-коммуникационных технологий.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение новейших информационно-коммуникационных технологий.	Успешное и систематическое применение новейших информационно-коммуникационных технологий.

ПК-3 Готовность подготовить и провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных и методов численного моделирования физических и технологических процессов

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
Знать: как провести физический эксперимент в области спинтроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание как провести физический эксперимент в области спинтроники.	В целом успешное знание как провести физический эксперимент в области спинтроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание как провести физический эксперимент в области спинтроники	Успешное и систематическое знание как провести физический эксперимент в области спинтроники
Уметь: осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	Сформированное умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.
Владеть: современными методами обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	Успешное и систематическое применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.