


Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
и инновациям
С.И. Чуприс



19.10.2019г.

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-6958/уч.

НАНОЭЛЕКТРОНИКА
**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 05 физика

Минск 2019

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 05 –2019, G 31-062/ уч от 11.04.2019

РЕЦЕНЗЕНТ:

Ю.А. Бумай — доцент Белорусского национального технического университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

СОСТАВИТЕЛЬ:

М.Г. Лукашевич — профессор кафедры физики полупроводников и нанoeлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и нанoeлектроники физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 13 от 29 мая 2019 г.)

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 5 от 28 июня 2019 г.)

Заведующий кафедрой



Оджаев В.Б.

М.Г. Лукашевич

Программа курса «Наноэлектроника» для учреждений высшего образования Республики Беларусь в соответствии с требованиями образовательных стандартов по специальности: 1-31 80 05 физика.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины «Наноэлектроника» является формирование у магистрантов на базе устоявшихся представлений об электронных состояниях и процессах в конденсированных средах знаний о проявлении размерных эффектов в электрических, магнитных, гальваномагнитных и оптических характеристиках размерно ограниченных электронных систем и их использовании в изделиях твердотельной наноэлектроники, а также основных технологических приемах получения наноструктурированных твердых тел.

Задачи учебной дисциплины:

1. Углубленное изучение электронных состояний и процессов в конденсированных средах.

2. Углубленное изучение проявления классических и квантовых размерных эффектов в электрических, магнитных, гальваномагнитных и оптических свойствах твердых тел.

3. Изучение основных технологических методов производства изделий наноэлектроники.

5. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических результатов по проявлению размерных эффектов на ряде характеристических длин в электрофизических характеристиках твердых тел, составление описания выполненных исследований наноструктурированных материалов и подготовка научных обзоров, публикаций и отчетов.

Содержание дисциплины «Наноэлектроника» охватывает круг вопросов, связанных с освоением ряда методик определения критических характеристических размеров проявления как классических, так и квантовых размерных эффектов и технологических приемов получения наноструктурированных электронных систем. Учебный процесс по данной дисциплине проводится с привлечением иллюстрирующего материала и представлением информации о последних достижениях в области создания элементов и приборов наноэлектроники.

Место учебной дисциплины в системе подготовки магистра - углубленное изучение проявления классических и квантовых размерных эффектов в электрических, магнитных, гальваномагнитных и оптических характеристиках твердых тел, что с учетом микроминиатюризации изделий электронной техники, как основного направления ее дальнейшего развития, актуально при выполнении диссертационных исследований и последующей практической работе в вышеприведенных направлениях физических исследований наноструктурированных твердых тел и их использования в изделиях электронной техники.

При изучении дисциплины применяются активные методы обучения. Основу составляют технологии проблемного и контекстного обучения, предполагающие наряду с приобщением магистрантов к объективным противоречиям научного знания и способам их решения также

последовательное моделирование условий профессиональной деятельности.

Учебная дисциплина относится к Модулю «*«Физические принципы и объекты нанoeлектроники»* компонента учреждения высшего образования.

Связи с учебными дисциплинами: учебная дисциплина «Нанoeлектроника» связана с дисциплиной «Квантовая механика молекулярных систем».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Нанoeлектроника» должно обеспечить формирование следующих **специализированных компетенций**:

СК-1. Быть способным использовать современные представления квантовой механики и физики конденсированного состояния для анализа физических механизмов функционирования приборов и устройств нанoeлектроники

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- физические принципы, используемые для описания проявления классических и квантовых размерных эффектов в электрических, магнитных, гальваномагнитных и оптических свойствах твердых тел.

- физико-химические принципы получения низкоразмерных электронных систем;

уметь:

- проводить физические оценки размеров твердых тел, когда начинают проявляться классические и квантовые размерные эффекты, прогнозировать возможность их получения в виде наноструктурированных электронных систем;

владеть:

- терминологией и новой информацией о достижениях в описании современных экспериментальных данных квантово-размерных процессов и достижениях в области нанотехнологий, иметь опыт работы с научной литературой по твердотельной электронике в направлениях микроэлектроника, нанoeлектроника, спинтроника, нанoфотоника.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Нанoeлектроника» отведено для очной формы получения высшего образования – 90 часов, в том числе 42 аудиторных часов, из них: лекции – 32 часа, семинарские занятия – 6 ч., аудиторный контроль УСП – 4 ч.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.
Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Общие физические подходы для описания электронных состояний и процессов в конденсированных средах.

Тема 1.1. Введение. Метод квазичастиц и приближенного решения уравнения Шредингера для электронов в твердом теле. Законы дисперсии, плотность разрешенных состояний и функция распределения электронов по энергиям.

Тема 1.2. Нахождение энергетического спектра электронов в кристалле методом решения уравнения Шредингера

Тема 1.3. Основные характеристики электрона в силовом периодическом поле кристаллической решетки: скорость, ускорение, квазиимпульс, эффективная масса.

Тема 1.4. Зонные структуры основных материалов твердотельной микро- и нанoeлектроники.

Раздел 2. Электронная проводимость твердых тел.

Тема 2.1. Диэлектрики, полупроводники и металлы с точки зрения зонной теории энергетического спектра электронов.

Тема 2.2. Основные механизмы проводимости твердых тел: металлическая проводимость по Друде, режимы сильной и слабой локализации.

Тема 2.3. Проявление классических и квантовых размерных эффектов в явлениях электронного транспорта.

Тема 2.4. Изменение основных характеристик электронов при проявлении размерных эффектов: энергетический спектр, плотность состояний и функция распределения

Раздел 3. Влияние электрического и магнитного полей на электронные состояния и процессы в твердом теле.

Тема 3.1. Изменение основных характеристик электронного газа в электрическом поле: разогрев электронов и изменение функции распределения.

Тема 3.2. Энергетический спектр, плотность состояний и функция распределения в магнитном поле. Основные гальваномагнитные явления и их интерпретация классических и квантовых магнитных полей.

Тема 3.3. Гальваномагнитные явления при проявлении классических и квантовых размерных эффектов. Квантовый эффект Холла.

Тема 3.4. Особенности гальваномагнитных явлений в конденсированных средах с магнитным упорядочением. Физические основы магнитоэлектроники и спинтроники. Спин-зависимые электронные процессы при разных механизмах переноса электронов. Гигантский и туннельный магниторезистивные эффекты. Спиновый эффект Холла.

Тема 3.5. Магнитные свойства твердых тел: диамагнетизм, парамагнетизм, ферро и антиферромагнетизм. Магнитные свойства систем пониженной размерности: суперпарамагнетизм.

Раздел 4. Оптически свойства электронных систем с размерным ограничением.

Тема 4.1. Отражение, поглощение и рассеяние света в твердом теле. Спонтанное и вынужденное излучения. Проявление классических и квантовых размерных эффектов в оптических свойствах твердых тел.

Тема 4.2. Квантовая наноэлектроника, лазерные наноструктуры и фотоприемники на квантовых точках.

Тема 4.3. Наноплазмоника, металлические наночастицы в диэлектрической матрице.

Раздел 5. Основные технологии наноэлектроники.

Тема 5.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газовая эпитаксия из металлоорганических соединений. Формирование структур на основе коллоидных растворов, золь-гель технология. Основные методы зондовых технологий.

Тема 5.2 Нанолитография: оптическая, рентгеновская, электронная, ионная.

Раздел 6. Элементы и приборы наноэлектроники

Тема 6.1. Теоретические и технологические проблемы скейлинга. Кремниевые транзисторы. Гетероструктурные транзисторы на основе арсенида галлия. Гетероструктурный транзистор на основе квантовых точек.

Тема 6.2. Резонансно-туннельные и одноэлектронные приборы. Изделия наноэлектроники на основе углерода, нанотранзистор на основе углеродных нанотрубок, молекулярная электроника.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы,	Количество аудиторных часов					Иное	Формы контроля знаний
		лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторный контроль УСР		
1	2	3	4	5	6	7		9
1	Общие физические подходы для описания электронных состояний и процессов в конденсированных средах.	8						
1.1	Введение. Метод квазичастиц и приближенного решения уравнения Шредингера для электронов в твердом теле. Законы дисперсии, плотность разрешенных состояний и функция распределения электронов по энергиям.	2						
1.2	Нахождение энергетического спектра электронов в кристалле методом решения уравнения Шредингера	2						
1.3	Основные характеристики электрона в силовом периодическом поле кристаллической решетки: скорость, ускорение, квазиимпульс, эффективная масса.	2						
1.4	Зонные структуры основных материалов твердотельной микро- и нанoeлектроники.	2						Презентация по теме 1.4. Письменный тест по разделу 1
2	Электронная проводимость твердых тел.	4		2		2		
2.1	Диэлектрики, полупроводники и металлы с точки зрения зонной теории энергетического спектра электронов.	2						

2.2	Основные механизмы проводимости твердых тел: металлическая проводимость по Друде, режимы сильной и слабой локализации.	2						
2.3	Проявление классических и квантовых размерных эффектов в явлениях электронного транспорта.			2				Устный тест
2.4	Изменение основных характеристик электронов при проявлении размерных эффектов: энергетический спектр, плотность состояний и функция распределения					2		Письменный обзор и тест по разделу 2
3	Влияние электрического и магнитного полей на электронные состояния и процессы в твердом теле.	8		2				
3.1	Изменение основных характеристик электронного газа в электрическом поле: разогрев электронов и изменение функции распределения.	2						
3.2	Энергетический спектр, плотность состояний и функция распределения в магнитном поле. Основные гальваномагнитные явления и их интерпретация к классических и квантовых магнитных полях.	2						
3.3	Гальваномагнитные явления при проявлении классических и квантовых размерных эффектов. Квантовый эффект Холла.			2				Презентация. Устный тест
3.4	Особенности гальваномагнитных явлений в конденсированных средах с магнитным упорядочением. Физические основы магнитоэлектроники и спинтроники. Спин-зависимые электронные процессы при разных механизмах переноса электронов.	2						
3.5	Магнитные свойства твердых тел: диамагнетизм, парамагнетизм, ферро и антиферромагнетизм. Магнитные свойства систем пониженной размерности: суперпарамагнетизм.	2						Письменный тест по разделу 3
4	Оптические свойства электронных систем с размерным ограничением.	4		2		2		
4.1	Отражение, поглощение и рассеяние света в твердом теле. Спонтанное и вынужденное излучения. Проявление классических и квантовых размерных эффектов в оптических свойствах твердых тел.	2						

4.2	Квантовая наноэлектроника, лазерные наноструктуры и фотоприемники на квантовых точках.			2				Устный тест
4.3	Наноплазмоника, металлические наночастицы в диэлектрической матрице.	2				2		Письменный обзор и тест по разделу 4
5	Основные технологии наноэлектроники.	4						
5.1	Молекулярно-лучевая эпитаксия. газовая эпитаксия из металлоорганических соединений. Формирование структур на основе коллоидных растворов, золь-гель технология. Основные методы зондовых технологий...	2						
5.2	Нанолитография, оптическая, рентгеновская, электронная, ионная.	2						Письменный тест по разделу 5
6	Элементы и приборы наноэлектроники	4						
6.1	Гетероструктурные транзисторы на основе арсенида галлия. гетероструктурный транзистор на основе квантовых точек.	2						
6.2	Резонансно-туннельные и одноэлектронные приборы. Изделия наноэлектроники на основе углерода, нанотранзистор на основе углеродных нанотрубок. Молекулярная электроника	2						Письменный тест по разделу 6

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Киреев П.С. Физика полупроводников. М., 1975.
2. Абрикосов А. А. Основы теории металлов. М., 1987.
3. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. М., 1985.
4. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971.-470 с.
5. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1978. -791 с.
7. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука. 1979. -416 с.
8. Имри И. Введение в мезоскопическую физику. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.
9. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. М.: Физматлит, 2003. – 174 с.
10. Шик, А.Я. Физика низкоразмерных систем / А.Я. Шик, Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А.— СПб.: Наука, 2001.— 160 с.
11. Щука А.А.. Нанoeлектроника. Москва, Физматкнига, 207.-463 с.
12. Андриевский, Р. А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля.— М.: Издательский центр «Академия», 2005.— 192 с.
13. Вонсовский, С. В. Магнетизм / С. В. Вонсовский. – М.: Наука, 1971. – 1031 с.
14. Campbel, I. A. Transport properties of ferromagnets / I. A. Campbel, A. Fert //Ferromagnetic materials: Vol. 3. / Ed. E. P. Wohlfarth. - Amsterdam, 1982. – P. 741 – 804.
15. Лукашевич, М. Г. Введение в магнитоэлектронику: курс лекций / М. Г. Лукашевич. - Минск: Изд-во БГУ, 2004. – 69 с.
16. Gaponenko, S.V. Introduction to nanophotonics / S.V. Gaponenko. – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 2010. – 484 p.
17. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / А.Н. Игнатов.— СПб.: Издательство «Лань», 2011.— 544 с.
18. Kreibig, U. Optical properties of metal clusters / U. Kreibig, M. Vollmer. – Berlin: Springer, 1995. – 532 p.

Перечень дополнительной литературы

1. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / Сигов А. С. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний., 2013, 184 с.
2. Методы и средства исследования структуры и свойств наноматериалов и покрытий с наноструктурой: учебно-методическое / Н.А. Мясникова, А.В. Сидашов; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 157 с.
3. Современные методы исследования конденсированных материалов /В.Б. Оджаев, Д.В. Свиридов, И.А. Карпович, В.В. Понарядов – Мн.: БГУ, 2003. – 82 с.

4. Туннельные явления в твердых телах / Под. ред. Э. Бурштейна и С. Лундквиста. М.: Мир, 1973. -421 с.
5. Квантовый эффект Холла /Под ред. Р. Прейенджа, С. Гирвина. – М.: Мир, 1989. – 404 с.
6. Молекулярно – лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга, К. Плога. – М.: Мир, 1989. – 582 с.
7. Херман, М. Полупроводниковые сверхрешетки / М. Херман.— М.: Мир, 1989.— 240 с.
8. Мартинес-Дуарт, Дж. М. Нанoeлектроника / Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда.— М.: Техносфера, 2007.— 368 с.
9. Оптические свойства наноструктур / Л.Е. Воробьев, Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А.— СПб.: Наука, 2001.— 188 с.
10. Демиховский, В. Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В.Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер.— М.: Логос, 2000.— 248 с.
11. Грюнберг, П. А. От спиновых волн к гигантскому магнетосопротивлению и далее / П.А. Грюнберг // УФН.— 2008.— Т. 178, № 12.— С. 1349—1358.
12. Ферт, А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники / А. Ферт // УФН.— 2008.— Т. 178, № 12.— С. 1336—1348.
13. К. фон Клитцинг, К. Квантованный эффект Холла / К. фон Клитцинг // УФН.— 1986.— Т. 150, № 1.— С. 107—126.
14. Нагаев, Э. Л. Малые металлические частицы / Э.Л. Нагаев // УФН.— 1992.— Т. 162, № 9.— С. 49—124.
15. Штёрмер, Х. Дробный квантовый эффект Холла / Х. Штёрмер // УФН.— 2000.— Т. 170, № 3.— С. 304—319.
16. В.Б. Оджаев, В.С.Просолович, Ю.В.Сидоренко, А.Р.Челядинский Тенденции в развитии электроники и электронной промышленности. Курс лекций, Минск БГУ.-2010.-259 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Устный опрос на семинарских занятиях.
2. Письменное выполнение тестовых заданий по темам разделов
3. Презентации по темам 1.4 (Зонные структуры основных материалов твердотельной микро- и нанoeлектроники) и 3.3 (Квантовый эффект Холла), а также аннотированный письменный обзор научно-технической литературы по предлагаемой теме.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать научных обзоров и выполнение тестовых задания по разделам дисциплины. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные

мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование проводится в письменной форме. На выполнение теста отводится 45 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждого из тестов проводится по десятибалльной шкале.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Письменный обзор включает себя аннотированный обзор научно-технической литературы по предлагаемой теме и оценивается на открытой защите.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое из письменных тестирований и письменного обзора.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- выполнение теста 1 – 20 %
- выполнение теста 2 – 20 %
- выполнение теста 3 – 20 %
- письменный обзор 1 – 10 %
- письменный обзор 2 – 10 %
- письменный обзор 3 – 10 %
- устный опрос на семинаре-10%

Формой текущей аттестации по дисциплине «Нанoeлектроника» учебным планом предусмотрен зачет.

Организация текущего контроля и текущей аттестации знаний студентов по учебной дисциплине осуществляется в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете (утверждено приказом ректора БГУ от 18 августа 2015 г. № 382-ОД).

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы обучающихся

УСР проводится в форме подготовки презентаций, обзора научно-технической литературы, тестирования по предлагаемой теме с оцениванием на открытой защите.

Раздел 2. Электронная проводимость твердых тел (2ч).

Тема 2.4. Изменение основных характеристик электронов при проявлении размерных эффектов: энергетический спектр, плотность состояний и функция распределения

(Форма контроля – Письменный тест по разделу 2).

Раздел 4. Оптические свойства электронных систем с размерным ограничением (2ч.)

Тема 4.3. Наноплазмоника, металлические наночастицы в диэлектрической матрице.

(Форма контроля – Письменный тест по разделу 4).

Презентация по теме 1.4. Зонные структуры основных материалов твердотельной микро- и наноэлектроники.

Презентация по теме 3.3. Квантовый эффект Холла.

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар 1. Раздел 2. Проявление классических и квантовых размерных эффектов в явлениях электронного транспорта (2ч.)

Семинар 2. Раздел 3. Гальваномагнитные явления при проявлении классических и квантовых размерных эффектов. Квантовый эффект Холла. (2 ч.)

Семинар 3. Раздел 4. Квантовая наноэлектроника, лазерные гетероструктуры и приборы на квантовых точках (2 ч.)

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Также применяется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование этого метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы: – поиск (подбор) и обзор научно-технической литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса; подготовка, написание

рефератов и презентаций на заданные темы, аннотированных обзоров научно-технической литературы по предлагаемой теме.

Для организации самостоятельной работы магистрантов по учебной дисциплине будет использоваться информационный ресурс vk.com/kafedrafizikipr: размещение учебно-методических материалов, включая, вопросы для подготовки к зачету, тематику рефератов, тематика практических занятий, тематику для подготовки письменного обзора.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Энергетический спектр свободного электрона.
2. Плотность разрешенных состояний для параболического закона дисперсии.
3. Уравнение Шредингера для кристалла.
4. Смысл адиабатического приближения.
5. Смысл одноэлектронного приближения.
6. Трансляционное свойство волновой функции.
7. Плоская волна Блоха.
8. Основные характеристики электрона в поле кристаллической решетки.
9. Физический смысл приближения почти свободного электрона.
10. Физический смысл приближения почти связанного электрона.
11. Зонная структура основных элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений.
12. Влияние электрического поля на движение и энергетический спектр электронов.
13. Влияние магнитного поля на движение и энергетический спектр электронов.
14. Эффект Холла.
15. Магниторезистивный эффект.
16. Эффект Кондо и отрицательного магнитосопротивления.
17. Основные механизмы переноса заряда в твердом теле.
18. Проявление классических размерных эффектов в электронном транспорте.
19. Проявление квантовых размерных эффектов в электронном транспорте.
20. Спин-зависимые процессы электронного туннелирования.
21. Спин-зависимые электронные процессы электронного рассеяния.
22. Магниторезистивный эффект в режиме прыжковой проводимости.
23. Магниторезистивный эффект в квантовом пределе.

- 24.Эффект Холла в квантовом пределе.
- 25.Магниторезистивный эффект в режиме слабой локализации.
26. Магнитные свойства твердых тел.
27. Парамагнетизм и суперпарамагнетизм.
- 28.Физические эффекты магнитоэлектроники и спинтроники.
29. Гигантский и туннельный магниторезистивные эффекты.
- 30.Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла.
- 31.Оптические процессы в низкоразмерных электронных системах.
- 32.Поверхностный плазмонный резонанс.
33. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.
- 34.Формирование наноструктур золь-гель технологией .
35. Контактное формирование нанорельефа.
- 36.Пористые материалы в наноэлектронике.
37. Резонансно-туннельные электронные приборы.
- 38.Транзисторные гетероструктуры.
- 39.Низкоразмерные структуры на основе углерода.
- 40.Молекулярная электроника.
- 41.Физические основы одноэлектроники.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Квантовая механика молекулярных систем.	Кафедра теоретической физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 13 от 29.05.2019 г.