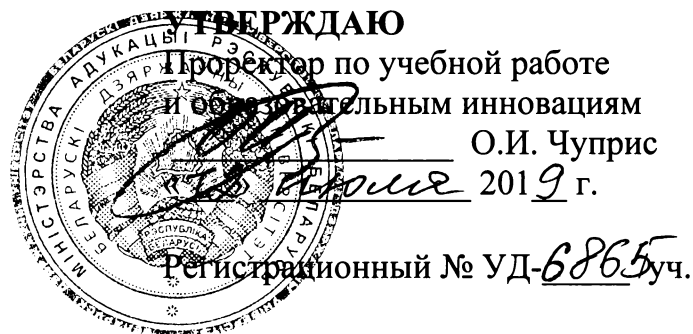


Белорусский государственный университет



НИЗКОРАЗМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

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

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направление специальности: 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская
деятельность)

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013 и учебного плана № G31-163/уч. от 30.05.2013 г. и № G31и-174/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Н.А. Поклонский — профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.П. Сайко — заместитель генерального директора ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», заведующий лабораторией теории твердого тела, доктор физико-математических наук;

И.Д. Феранчук — профессор кафедры теоретической физики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники
(протокол № 13 от 29 мая 2019 г.);

Советом физического факультета БГУ
(протокол № 12 от 27 июня 2019 г.)

Заведующий кафедрой



Оджаев В.Б.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа курса «Низкоразмерные системы» разработана для специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность).

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины — обучение студентов основам физики низкоразмерных полупроводниковых систем.

Задачи учебной дисциплины: выработка умения самостоятельно приобретать и расширять знания в области физики низкоразмерных систем для последующей работы в исследовательской деятельности.

В курсе освещаются основы физики атомных и электронных процессов в системах и материалах с низкоразмерным структурированием в диапазоне 10^{-6} – 10^{-9} м. Анализируются условия получения низкоразмерных систем (элементов, структур), в том числе на основе методов нанотехнологии, а также их применения. На лекциях студенты, специализирующиеся на кафедре физики полупроводников и наноэлектроники, знакомятся с современными представлениями физики низкоразмерных полупроводниковых элементов и систем. Рассматриваются вопросы электронной и атомной структуры разупорядоченных конденсированных систем. Разбираются модели фазовых переходов в 3D-, 2D- и 1D-проводниках электричества и тепла.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием — обучение основам физики низкоразмерных систем для решения исследовательских и прикладных задач.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации.

Связи с другими учебными дисциплинами: материал курса основан на знаниях и представлениях, заложенных в дисциплине специализации «Физика полупроводников», он является базовым для дисциплины специализации «Избранные главы физики и техники полупроводников».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Низкоразмерные системы» должно обеспечить формирование следующих **академических, социально-личностных и профессиональных** компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.

ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.

ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

ПК-8. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров оборудования и технологических процессов, эффективности разрабатываемых технологий.

ПК-11. Владеть знаниями о структурной организации материи, о современных физических методах познания природы.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

– основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем;
– электрические, оптические и магнитные явления в низкоразмерных системах;

– области применения низкоразмерных систем;

уметь:

– прогнозировать электрические, оптические и магнитные свойства низкоразмерных систем, исходя из данных об их составе, структуре и размере;

владеть:

– базовыми принципами расчета размерных эффектов в низкоразмерных конденсированных системах.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Низкоразмерные системы» отведено:

– для очной формы получения высшего образования — 106 часов, в том числе 38 аудиторных часов, из них: лекции — 32 часа, управляемая самостоятельная работа — 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации — экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Классификация низкоразмерных систем

Тема 1.1. Классификация физических объектов, основанная на наблюдаемых в них размерных эффектах

Определение понятия «низкоразмерные системы». Квантовые точки. Квантовые нити. Квантовые ямы (слои). Квазичастицы. Электроны и дырки в поле сил инерции

Раздел 2. Электронные состояния в полупроводниковых системах

Тема 2.1. Фазовые переходы

Концентрационный фазовый переход изолятор–металл (переход Мотта). Диэлектрическая проницаемость на изоляторной стороне перехода Мотта. «Сверхатом» — наноразмерная область скопления водородоподобных доноров в кристаллической матрице. Экситоны в квантовых ямах

Тема 2.2. Точечные, линейные и плоскостные дефекты

Автолокализованные состояния электронов — поляроны в ионных кристаллах. Изменение атомной конфигурации точечного дефекта кристаллической структуры при захвате им электрона (дырки). Материалы, содержащие центры (дефекты) с отрицательной энергией корреляции

Тема 2.3. Прыжковая электропроводность по точечным дефектам кристаллической структуры

Прыжковый перенос электронов (электронных вакансий) по водородоподобным атомам примесей в кристаллах: дискретный и континуальный аспекты. Термо-э.д.с. на прыгающих по водородоподобным примесям электронах (дырках)

Раздел 3. Электрические и оптические явления в низкоразмерных системах

Тема 3.1. Туннелирование электронов в низкоразмерных системах

Туннельные явления в проводниках электричества. Непрямые переходы электронов и дырок в k - и r -пространствах. Диоды Ганна и Хесса

Тема 3.2. Одномерные системы

Электронные состояния в квантовых нитях (проволоках). Заполнение дислокаций электронами (дырками) в легированном кристалле. Перенос электронов по квантовой проволоке в изоляторе

Тема 3.3. Двумерные системы

Двумерный электронный газ (жидкость) инверсионных слоев в кристаллических полупроводниках. δ -Легированные слои. Электрические и оптические явления в тонких пленках аморфных изоляторов, полупроводников и металлов. Квантовый эффект Холла. Электроны и дырки в полупроводниковых сверхрешетках. Каскадный лазер. Эмиссия электронов из низкоразмерных систем в вакуум

Тема 3.4. Физика и электроника углеродных низкоразмерных структур
Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Графен. Приборные структуры на углеродных материалах. Мемристоры. Электродинамика сверхпроводников

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР (ДО)	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторный контроль УСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Классификация низкоразмерных систем	6						
1.1	<i>Классификация физических объектов, основанная на наблюдаемых в них размерных эффектах</i> 1. Определение понятия «низкоразмерные системы». 2. Квантовые точки. Квантовые нити. Квантовые ямы (слои). 3. Квазичастицы. Электроны и дырки в поле сил инерции.	2 2 2						Опрос
2	Электронные состояния в полупроводниковых системах	10				2		
2.1	<i>Фазовые переходы</i> 1. Концентрационный фазовый переход изолятор–металл (переход Мотта). Диэлектрическая проницаемость на изоляторной стороне перехода Мотта. 2. «Сверхатом» — наноразмерная область скопления водородоподобных доноров в кристаллической матрице. 3. Экситоны в квантовых ямах.	2 2						Опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.2	<i>Точечные, линейные и плоскостные дефекты</i> 1. Автолокализованные состояния электронов — поляроны в ионных кристаллах. 2. Изменение атомной конфигурации точечного дефекта кристаллической структуры при захвате им электрона (дырки). 3. Материалы, содержащие центры (дефекты) с отрицательной энергией корреляции.	2 2						Опрос
2.3	<i>Прыжковая электропроводность по точечным дефектам кристаллической структуры</i> 1. Прыжковый перенос электронов (электронных вакансий) по водородоподобным атомам примесей в кристаллах: дискретный и континуальный аспекты. 2. Термо-э.д.с. на прыгающих по водородоподобным примесям электронах (дырках).	2				2		Контроль-ная работа по разделам № 1 и № 2
3	Электрические и оптические явления в низкоразмерных системах	16				4		
3.1	<i>Туннелирование электронов в низкоразмерных системах</i> 1. Туннельные явления в проводниках электричества. 2. Непрямые переходы электронов и дырок в k - и r -пространствах. 3. Диоды Ганна и Хесса.	2 2				2		Защита рефератов
3.2	<i>Одномерные системы</i> 1. Электронные состояния в квантовых нитях (проволоках). 2. Заполнение дислокаций электронами (дырками) в легированном кристалле. 3. Перенос электронов по квантовой проволоке в изоляторе.	2						Опрос
3.3	<i>Двумерные системы</i> 1. Двумерный электронный газ (жидкость) инверсионных слоев в кристаллических полупроводниках. δ -Легированные слои. 2. Электрические и оптические явления в тонких пленках аморфных изоляторов, полупроводников и металлов. 3. Квантовый эффект Холла.	2 2						Опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4. Электроны и дырки в полупроводниковых сверхрешетках. 5. Каскадный лазер. 6. Эмиссия электронов из низкоразмерных систем в вакуум.	2						
3.4	<i>Физика и электроника углеродных низкоразмерных структур</i> 1. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Графен. 2. Приборные структуры на углеродных материалах. 3. Мемристоры. 4. Электродинамика сверхпроводников	2 2				2		Контроль- ная работа по разделу № 3

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
2. Боровик, Е.С. Лекции по магнетизму / Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. – М.: Физматлит, 2005. – 512 с.
3. Брандт, Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. – М.: Физматлит, 2016. – 632 с.
4. Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер. – М.: Физматлит, 2005. – 232 с.
5. Гирвин, С. Квантовый эффект Холла: необычные возбуждения и нарушенные симметрии / С. Гирвин. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2003. – 156 с.
6. Дмитриев, А.С. Введение в нанотеплофизику / А.С. Дмитриев. – М.: Бином, 2015. – 793 с.
7. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П.Н. Дьячков. – М.: Бином, 2015. – 488 с.
8. Имри, Й. Введение в мезоскопическую физику / Й. Имри. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.
9. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.
10. Мартинес-Дуарт, Дж.М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда. – М.: Техносфера, 2009. – 368 с.
11. Розеншер, Э. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер. – М.: Техносфера, 2004. – 592 с.
12. Щука, А.А. Нанозлектроника / А.А. Щука. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.
13. Ципенюк, Ю.М. Физические основы сверхпроводимости / Ю.М. Ципенюк. – М.: Физматкнига, 2003. – 160 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Адлер, Д. Приборы на аморфных полупроводниках / Д. Адлер // УФН. – 1978. – Т. 125, № 4. – С. 707–730.
2. Алферов, Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии / Ж.И. Алферов // УФН. – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 1068–1086.
3. Бинниг, Г. Сканирующая туннельная микроскопия — от рождения к юности / Г. Бинниг, Г. Рорер // УФН. – 1988. – Т. 154, № 2. – С. 261–278.
4. Вайскопф, В. Образование куперовских пар и природа сверхпроводящих токов / В. Вайскопф // УФН. – 1983. – Т. 140, № 1. – С. 117–135.
5. Волков, В.А. Поверхность с высокими кристаллографическими индексами — сверхрешетка для двумерных электронов / В.А. Волков, В.А. Петров, В.Б. Сандомирский // УФН. – 1980. – Т. 131, № 3. – С. 423–440.

6. Газале, М. Гномон. От фараонов до фракталов / М. Газале. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 272 с.
7. Гейм, А.К. Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену / А.К. Гейм // УФН. – 2011. – Т. 181, № 12. – С. 1284–1298.
8. Гиавер, И. Туннелирование электронов и сверхпроводимость / И. Гиавер // УФН. – 1975. – Т. 116, № 4. – С. 585–595.
9. Грюнберг, П.А. От спиновых волн к гигантскому магнетосопротивлению и далее / П.А. Грюнберг // УФН. – 2008. – Т. 178, № 12. – С. 1349–1358.
10. де Жен, П.-Ж. Хрупкие объекты / П.-Ж. де Жен, Ж. Бадос. – М.: Мир, 2000. – 189 с.
11. Демельт, Х. Эксперименты с покоящейся изолированной субатомной частицей / Х. Демельт // УФН. – 1990. – Т. 160, № 12. – С. 129–139.
12. Джозефсон, Б. Открытие туннельных сверхпроводящих токов / Б. Джозефсон // УФН. – 1975. – Т. 116, № 4. – С. 597–603.
13. Зенгуил, Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
14. Капаев, В.В. Зависимость от импульса размерности электронных состояний в гетероструктурах / В.В. Капаев, Ю.В. Копаев, И.В. Токатлы // УФН. – 1997. – Т. 167, № 5. – С. 562–566.
15. Крёмер, Г. Квазиэлектрическое поле и разрывы зон. Обучение электронов новым фокусам / Г. Крёмер // УФН. – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 1087–1101.
16. Лафлин, Р.Б. Дробное квантование / Р.Б. Лафлин // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 292–303.
17. Новосёлов, К.С. Графен: материалы Флатландии / К.С. Новосёлов // УФН. – 2011. – Т. 181, № 12. – С. 1299–1311.
18. Пауль, В. Электромагнитные ловушки для заряженных и нейтральных частиц / В. Пауль // УФН. – 1990. – Т. 160, № 12. – С. 109–127.
19. Ферт, А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники / А. Ферт // УФН. – 2008. – Т. 178, № 12. – С. 1336–1348.
20. Физические ограничения минимальных размеров элементов современной микроэлектроники / Ю.В. Гуляев [и др.] // УФН. – 1984. – Т. 144, № 3. – С. 475–495.
21. фон Клитцинг, К. Квантованный эффект Холла / К. фон Клитцинг // УФН. – 1986. – Т. 150, № 1. – С. 107–126.
22. Хоффман, Р. Такой одинаковый и разный мир / Р. Хоффман. – М.: Мир, 2001. – 294 с.
23. Цидильковский, И.М. Электроны и дырки в поле сил инерции / И.М. Цидильковский // УФН. – 1975. – Т. 115, № 2. – С. 321–331.
24. Цуи, Д. Соотношение беспорядка и взаимодействия в двумерном электронном газе, помещенном в сильное магнитное поле / Д. Цуи // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 320–324.
25. Штёрмер, Х. Дробный квантовый эффект Холла / Х. Штёрмер // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 304–319.

26. Эсаки, Л. Путешествие в страну туннелирования / Л. Эсаки // УФН. – 1975. – Т. 116, № 4. – С. 569–583.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать письменные контрольные работы по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. 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.

Оценка за ответы на лекциях (опрос) занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики.

Контрольные работы проводятся в письменной форме. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждой контрольной работы проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

При оценивании реферата обращается внимание на содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждую контрольную работу и оценки за защиту реферата.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- Опрос – 10%;
- Контрольная работа по разделам № 1 и № 2 – 30%;
- Защита рефератов – 30%;
- Контрольная работа по разделу № 3 – 30%.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена.

Оценка текущей успеваемости служит для определения допуска к экзамену по дисциплине. В случае получения неудовлетворительной (ниже 4 баллов) оценки по текущему контролю обучающийся не допускается к экзамену.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,15; для экзаменационной оценки — 0,85.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Раздел 1. Классификация низкоразмерных систем. Раздел 2. Электронные состояния в полупроводниковых системах (2 часа)

Классификация физических объектов, основанная на наблюдаемых в них размерных эффектах. Фазовые переходы. Точечные, линейные и плоскостные дефекты. Прыжковая электропроводность по точечным дефектам кристаллической структуры.

(Форма контроля – Контрольная работа).

Тема 3.1. Туннелирование электронов в низкоразмерных системах (2 часа)

Туннельные явления в проводниках электричества. Непрямые переходы электронов и дырок в **k**- и **r**-пространствах. Диоды Ганна и Хесса.

(Форма контроля – Защита рефератов).

Раздел 3. Электрические и оптические явления в низкоразмерных системах (2 часа)

Туннелирование электронов в низкоразмерных системах. Одномерные системы. Двумерные системы. Физика и электроника углеродных низкоразмерных структур.

(Форма контроля – Контрольная работа).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса по дисциплине используются: **метод группового обучения**, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности студентов, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями;

метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование 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 и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка и написание рефератов и презентаций на заданные темы;

- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к экзамену.

Темы реферативных работ

1. Автолокализованные состояния электронов — поляроны в ионных кристаллах.
2. Туннельные явления в проводниках электричества.
3. Непрямые переходы в **k**- и **r**-пространствах.
4. δ -Легированные слои в полупроводниках.
5. Эмиссия электронов из низкоразмерных систем в вакуум.
6. Электрические и оптические явления в пленках аморфных изоляторов, полупроводников и металлов.
7. Углеродные нанотрубки: физика и применение.
8. Графен (монослой графита).
9. Эффект Казимира.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Концентрационные фазовые переходы металл–изолятор в легированных полупроводниках: электронные состояния, диэлектрическая проницаемость.
2. Электроны и дырки полупроводника в поле сил инерции.
3. δ -Легированные слои в полупроводниках.
4. Классический и квантовый эффекты Холла.
5. Квантовая нить (проволока): электронные состояния и процессы переноса.
6. Прямые и непрямые переходы в пространствах квазиимпульсов и координат: диоды Ганна и Хесса.
7. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.
8. Прыжковый перенос электронов по водородоподобным примесям в кристаллических полупроводниках.
9. Сверхрешетки на поверхности полупроводников.
10. «Сверхатом» в кристаллической матрице.
11. Термо-э.д.с. на прыгающих по примесным атомам электронах.
12. Экситоны в «сферических» квантовых ямах. Трионы в низкоразмерных системах.
13. Туннельные явления в проводниках электричества. Каскадные лазеры.
14. Поляроны в ионных кристаллах. Центры с отрицательной энергией поляризации в кристаллах.
15. Электрические явления в пленках. Проблема твердотельной индуктивности.
16. Квантовый эффект Холла.
17. Квантование энергии и плотность состояний делокализованных электронов в одно- и двумерных проводниках электричества.
18. Сканирующий туннельный микроскоп.
19. Фуллерены. Углеродные нанотрубки.

20. Холодные катоды.
21. Абсолютное отрицательное сопротивление в приборных структурах.
22. Графен: физика и приложения.
23. Метаматериалы.
24. Мемристоры.

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)
Физика полупроводников	кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 13 от 29.05.2019 г.
Избранные главы физики и техники полупроводников	кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 13 от 29.05.2019 г.