

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО – АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДЕНО УС РАУ

Ректор



А.Р. Дарбинян

08.08.2020 г. протокол №8

**ПРОГРАММА
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ
«ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР»
ПО ПРОФИЛЮ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
ПРОГРАММЫ
«ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»**

1. Аннотация:

Актуальность программы

Низкоразмерные системы нашли широкое применение в различных областях физики, химии и биологии. Мощное развитие компьютерных методов моделирования квантовых систем позволило сформулировать целый ряд новаторских проблем, решение которых приведет к существенному техническому прогрессу. Создание высокоэффективных аккумуляторов, светодиодов, многофункциональной оптоэлектроники, а также создание новых систем жизнеобеспечения, продолжением являются основания для разработки данной программы дополнительного профессионального образования.

Цель реализации программы

Программа профессиональной переподготовки «Физика низкоразмерных структур» направлена на получение компетенции в области физики низкоразмерных систем, необходимой для выполнения нового вида профессиональной деятельности, приобретение новой квалификации.

Целью программы является ознакомление слушателей с физическими свойствами низкоразмерных систем: квантовых ям проволок точек, двумерных материалов, фуллеренов и нанотрубок.

Задача реализации программы

Программа переподготовки основывается на базовом образовании специалистов в области полупроводниковой нано- и оптоэлектроники (преподаватели высших учебных заведений, учителя старшей школы, научные сотрудники ...), формирование навыков владения методами теоретического, численного, а также экспериментального исследования физических характеристик полупроводниковых квантовых наноструктур, создания основ для межпредметных связей с такими дисциплинами, как химии, биологии, в которых широко используются в качестве активных сред квантовых наноструктур.

- 2. Уровень образовательной программы –** дополнительное профессиональное образование.
- 3. Вид образовательной программы:** дополнительная (профессиональная переподготовка).
- 4. Трудоемкость программы профессиональной переподготовки**

Настоящая программа рассчитана на 540 академических часов.

5. **Формы обучения** - очная с применением дистанционных образовательных технологий в режиме видеоконференц-связи.
6. **Срок освоения программы** 36 недель по 6 занятий в неделю.
7. **Категориями слушателей для программы профессиональной переподготовки являются** лица, имеющие среднее профессиональное и (или) высшее образование.
8. **Для приема на обучение предоставляются следующие документы:**
 - 8.1. Заполненная в установленной форме заявка;
 - 8.2. Копия документа, удостоверяющего личность;
 - 8.3. Диплом о наличии среднего профессионального или высшего образования лица, имеющие среднее профессиональное и (или) высшее образование.
9. **Планируемые результаты обучения:**
 - **Знания:** современных методов теоретического и экспериментального исследования физических процессов в полупроводниковых квантовых наноструктурах;
 - **Умения:** пользоваться современным теоретическим аппаратом и экспериментальными методами исследования физических характеристик квантовых наноструктур (квантовых ям, проволок и точек);
 - **Навыки:** использования современных математических и компьютерных методов описания физических процессов, имеющих место в низкоразмерных структурах.
10. **Описание перечня профессиональных компетенций, формируемых в результате освоения программы профессиональной переподготовки**
 - **Научное мышление:** Способность использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;
 - **Исследовательская деятельность:** Способность самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных;

- **Владение информационными технологиями:** Способность применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности;
- **Компьютерная грамотность:** Способность применять современные компьютерные технологии для подготовки текстовой и конструкторско-технологической документации с учетом требований нормативной документации.

11. Форма итоговой аттестации - устный экзамен.

12. Распределение объема программы по дисциплинам и видам учебной работы

Дисциплины и темы	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. занятия (ак. часов)	Семина- ры (ак. часов)	Самостоя тельная работа
1	2=3+4+5+6	3	4	5	6
1. Нанoeлектроника	90	36	18	18	18
1.1 Плотности состояний в низкоразмерных структурах	20	8	4	4	4
1.2 Электронные состояния в квантовых ямах, проволоках и точках	28	10	6	6	6
1.3 Примесные состояния в квантовой точке	20	8	4	4	4
1.4 Экситонные состояния в наноструктурах	22	10	4	4	4
2. Квантовые наноструктуры во внешних полях	90	36	18	18	18
2.1 Квантовая яма во внешних полях	30	12	6	6	6
2.2 Квантовая проволока в магнитном поле	30	12	6	6	6
2.3 Квантовая точка во внешних полях	30	12	6	6	6
3. Квантовая теория твердого тела	90	36	18	18	18
3.1 Волновая функция электрона в периодическом поле	20	8	4	4	4
3.2 Метод присоединенных плоских волн	12	6	2	2	2
3.3 Формулировка с помощью теории возмущений	20	8	4	4	4
3.4 Квантомеханическая средняя скорость электрона в периодическом поле	18	6	4	4	4

3.5 Тепловое расширение и теплопроводность твердого тела	20	8	4	4	4
4. Кинетические явления в полупроводниках	90	36	18	18	18
4.1 Кинетическое уравнение Больцмана	18	6	4	4	4
4.2 Рассеяние на ионах примеси	26	8	6	6	6
4.3 Термоэлектрические явления	24	12	4	4	4
4.4 Полупроводники в сильном электрическом поле	22	10	4	4	4
5. Квантоворазмерные системы нанoeлектроники	90	36	18	18	18
5.1 Квантовые размерные эффекты	20	8	4	4	4
5.2 Квантовые ямы различных форм	28	10	6	6	6
5.3 Квантовые точки и линзы с покрытием	20	8	4	4	4
5.4 Полупроводниковые приборы на квантовых точках	22	10	4	4	4
6. Приближенные методы квантовой механики	90	36	18	18	18
6.1 Различные случаи теории возмущений . Адиабатическое возмущение	47	18	10	10	9
6.2 Квазиклассическое приближение . Методы задач многих тел	43	18	8	8	9
ИТОГО	540	216	108	108	108

13. Содержание аннотации дисциплин

- 1. Наноэлектроника-** Размерное квантование в полупроводниках. Квантовые ямы, проволоки и точки. Плотность состояний в наноструктурах. Некоторые модели потенциалов ограничения. Электронные состояния в квантовых ямах (прямоугольный потенциал, параболический потенциал). Квантовая яма во внешних электрическом и магнитном полях. Полупроводниковые сверхрешетки. Электронные состояния в квантовых проволоках с прямоугольным и круговым сечениями. Квантовая проволока в магнитном поле. Квантовые точки с различными геометриями. Электронные состояния в сферической квантовой точке. Адиабатическое приближение. Электронные состояния в эллипсоидальных квантовых точках. Низкоразмерные экситонные и примесные состояния. Межзонные переходы в квантовых наноструктурах. Прямые и не прямые переходы. Низкоразмерные фононы.

Литература:

1. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы наноэлектроники, Новосибирск. Изд. НГТУ 2004.
 2. Л.Е. Воробьев и др. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах, Санкт-Петербург, Изд. СПбГТУ 2000.
 3. G. Bastard. Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Edition de Physique, les Ulis Cedex, France 1988.
 4. J.H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors, Cambridge University Press 1998.
 5. В.Я. Демиховский. Г.А. Вугальтер. Физика квантовых низкоразмерных структур, Москва, Изд. Наука 2000.
-
- 2. Квантовые наноструктуры во внешних полях** – Данная дисциплина является связующим звеном между такими разделами, как квантовая механика, квантовая теория твердого тела и физика низкоразмерных систем. Методы применяемые в процессе преподавания дисциплины (как математические, так и физические) являются синтезом методов математической физики и теоретической физики. Предварительным условием прохождения дисциплины является обладание основами теоретической физики, а также

ее математическим аппаратом. После прохождения данного курса студенты должны уметь вычислять различные физические характеристики квантовых наноструктур во внешних полях. Они должны уметь пользоваться соответствующей научной литературой, анализировать результаты полученные различными авторами, исследующих физические процессы в наноструктурах помещенных во внешние поля. У студентов должны выработаться навыки по анализу возможностей управления физическими свойствами наноструктур как с помощью изменения геометрических параметров изучаемых систем, так и путем изменения значений внешних полей.

Литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – “Квантовая механика”, М. “Наука” 1989.
2. Չ.Ս. Սահակյան, Է.Վ. Չոլբարյան – “Զվանտայինմեխանիկա”, ԵՊՀհրատարակ. 2011.
3. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган – “Задачи по квантовой механике”М. “Наука” 1981.
4. M.S. Atoyán, E.M. Kazaryán, H.A. Sarkisyan “Direct interband light absorption in a cylindrical quantum dot in quantizing magnetic field”, *Physica E*, vol. 22, p. 860-866 (2004).
 A. Lorke et all. “Spectroscopy of Nanoscopic Semiconductor Rings”, *Physical Review Letters*, vol., pp.2223-2226 (2000).
5. E.M. Kazaryán, H.A. Sarkisyan, "Layered nanostructures", *Encyclopedia UNESCO Nanoscience and Nanotechnology*, Ed. V.N. Kharkin (Russian Edition) pp. 120-133 (2011).
6. З. Флюгге “Задачи по квантовой механике”, т.1, М. “Мир” 1984.
7. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган – “Задачи по квантовой механике”, М. “Наука”, 1981.
8. N.G. Aghekyan, E.M. Kazaryán, H.A. Sarkisyan "A single electron current in a cylindrical nanolayer", *Reports of National Academy of Sciences Republic of Armenia*, vol.112, N1, pp.73-78 (2012).
9. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян “Физические основы наноэлектроники”, Ереван Изд. РАУ 2005.
10. M. Matsuura, T. Kamirato, “Subbands and excitons in a quantum well in an electric field”, *Physical Review B*, vol. 33, pp. 8385-8389 (1986).

11. V.A. Harutyunyan "Cylindrical nanolayer in the strong uniform electrical field: The field localization of carriers and electrooptical transitions", *Physica E*, vol. 41, pp. 695-700 (2009).
12. V.A. Harutyunyan, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan "Optical absorption in a narrow-band InSb cylindrical layered nanowire in the presence of strong electrostatic field", *Journal of Contemporary Physics*, vol. 46, pp. 285-292 (2011).
13. H.A. Sarkisyan, "Electronic states in cylindrical quantum dot in the presence of parallel electrical and magnetic fields", *Modern Physics Letters B*, vol.16, pp.835-841 (2002).
14. M.S. Atoyanyan, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan, "Interband light absorption in a cylindrical quantum dots in the presence of electrical field", *Reports of National Academy of Sciences Republic of Armenia*, vol.104, pp.314-320 (2004).
15. V.A. Harutyunyan "Optical transitions in semiconductor nanospherical layer under the presence of perturbing electrical field", *Physica E*, vol. 39, pp. 37-49 (2007).
16. A.A. Kirakosyan, E.M. Kazaryan, V.N. Mughnetsyan, H.A. Sarkisyan, "Tunability of absorption threshold frequencies and Stark shift in the InSb narrow gap spherical quantum layer", *Semiconductor Science and Technology*, vol. 27, pp. 085003 (6 pages) (2012).

3. Квантовая теория твердого тела -имеет своей целью формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел, металлов, полупроводников и неупорядоченных диэлектриков при создании элементов, приборов и устройств микро- и нанoeлектроники. Цель предлагаемого курса состоит в том, чтобы дать будущему инженеру-исследователю базовые представления о строении и классификации твердых тел, показать влияние дефектов кристаллической структуры на их свойства, рассмотреть квантовую теорию в применении к твердому телу, продемонстрировать возможности современных методов исследования электронных спектров в кристаллах, на основе которых интерпретируется широкий набор различных физико-механических свойств. Возникает потребность в специалистах в области микро- и нанoeлектроники, которые владели бы аппаратом квантовой механики, и его приложениями к теории твердого тела.

Литература:

1. Ч. Киттель. Квантовая теория твердых тел. -М.: Наука, 1967.

2. А.И. Ансельм - “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”, 1978г.
3. Н.Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела.- М.: Мир, 1979, Т.1,2.
4. Дж. Блекмор. Физика твердого тела. .- М.: Мир, 1988
5. Дж. Займан. Принципы физики твердого тела. .- М.: Мир, 1974.
6. Дж. Каллуэй. Теория энергетической зонной структуры.- М.: Мир, 1969.
7. Г.Джонс. Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристалле. - М.: Мир, 1968.
8. Дж. Слэтер. Методы самосогласованного поля для молекул и твердых тел. -М.: Мир, 1978
9. В.В. Немошкаленко и В.И. Антонов. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. - Киев: Наукова Думка, 1985.
10. О. Маделунг. Теория твердого тела. -М.: Наука, 1980.
11. 2. Учебное(ые) пособие(я)
12. Ա.Ա. Կիրակոսյան, Պինդարմինիֆիզիկայի ներածություն – ՄասII, 1999թ., Եր
13. Է.Ս. Ղազարյան, Ա.Լ. Վարդանյան, Պինդարմինիքվանտային տեսություն, 1997թ., Երևան

4. Кинетические явления в полупроводниках - Цель данного курса – дать базовые знания по кинетическим явлениям в полупроводниках, т.к. они являются основой для прикладного использования полупроводников. Поэтому у студентов данной специальности возникает необходимость в рассмотрении основных закономерностей протекающих процессов в полупроводниках при различных конкретных физических условиях.

Задачей дисциплины является изучение основных физических явлений, возникающих в полупроводниках при воздействии электрических и магнитных полей. Изложение материала базируется на фундаментальных физических соотношениях, описывающих механизмы переноса носителей заряда. Описаны области применения известных кинетических эффектов для практических целей.

Литература:

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., Наука, 1978.
2. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. М.: Наука. – 1985
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М., Наука, 1990.

5. Квантоворазмерные системы нанoeлектроники – Элементная база современной полупроводниковой микроэлектроники постепенно переходит на использование систем пониженной размерности. В этой связи чрезвычайно актуальной задачей становится изучение физических свойств низкоразмерных структур. При этом для экспериментального и теоретического изучения вышеуказанных систем используются с одной стороны технические возможности прецизионных измерений, а с другой — современные теоретические методы квантовой механики, теории поля и статистической физики. В предлагаемом курсе изучаются электронные, электрические и оптические свойства низкоразмерных систем. При этом наряду с квантовыми размерными эффектами обсуждаются также классические размерные эффекты.

Целью курса является формирование представлений о физических свойствах электронных систем различной размерности, о том, как влияет понижение размерности на физические явления, и какие новые эффекты при этом появляются, а также дать теоретические основы описания свойств наноструктур квантово-механическими методами. Подготовка будущих специалистов в области микро- и нанoeлектроники с необходимым багажом теоретических и прикладных знаний. Задачи курса состоят в изложении принципиальных понятий физики твердого тела для систем с пониженной размерностью и развитие основ понимания физических процессов, протекающих в этих системах при внешних воздействиях, а также изложение элементарных представлений об использовании этих явлений в современных областях техники (гетероструктурные лазеры, диоды и т. д.).

Литература:

1. А.Я. Шик и др. Физика низкоразмерных систем. Наука, С-Пб, 2001.
2. Казарян Э.М., Петросян С.Г. "Физические основы полупроводниковой нанoeлектроники", Ер. Изд. РАУ, 2005.(на арм. яз.)
3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. Новосибирск, изд. НГТУ, 2000.
4. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., "Логос", 2000.
5. Займан Дж., Электроны и фононы. М., 1962.
6. Harrison P., Quantum Wells, Wires and Dots, Willey-Interscience, 2005.

6. Приближенные методы квантовой механики -В последние годы возрос интерес к наноразмерным системам. В этой связи чрезвычайно актуальной задачей становится изучение физических свойств низкоразмерных структур. Для теоретического изучения вышеуказанных

систем используются современные теоретические методы квантовой механики, теории поля и статистической физики. В предлагаемом курсе изучаются разные приближенные методы, с помощью которых можно исследовать электрические и оптические свойства низкоразмерных систем.

Данный курс посвящен качественным методам теоретической физики (размерные и модельные оценки, изучение предельных случаев, использование аналитических свойств и свойств симметрии физических величин). Применение качественных методов иллюстрируется на многочисленных физических задачах из различных областей квантовой теории.

Литература:

1. А.Б. Мигдал, Качественные методы в квантовой теории, Изд. Наука, Москва, **1975**
2. Казарян Э.М., Петросян С.Г. "Физические основы полупроводниковой
3. наноэлектроники", Ер. Изд. РАУ, 2005.(на арм. яз.)
4. А.Б. Мигдал, В.П. Крайнов, Приближенные методы квантовой механики, Изд. Наука, Москва, 1966.
5. Галицкий В.М., Б. М.Карнаков, В.И.Коган - Задачи по квантовой механике. 2-е изд., М., 1992
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1989.
- 14.** Лицам, успешно освоившим соответствующую дополнительную профессиональную программу и прошедшим итоговую аттестацию, выдается диплом о профессиональной переподготовке.
- 15.** Программа составлена кафедрами **Общей физики и квантовых наноструктур, Технологии материалов и структур электронной техники, Квантовой и оптической электроники РАУ** и одобрена Советом Инженерно-физического института РАУ.