

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РА
ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Составлена в соответствии с федеральными
Государственными требованиями к структуре
основной профессиональной образовательной
программы послевузовского профессионального
образования (аспирантура)

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке

П.С. Аветисян

«30» апреля 2025 г.

Институт: Инженерно-Физический
Кафедра: Общей физики и квантовых наноструктур

Учебная программа подготовки аспиранта и соискателя
ДИСЦИПЛИНА: 2.1.8.2 Кулоновские задачи в квантовых структурах

1.3.11

-Шифр

Физика полупроводников

наименование научной специальности

Программа одобрена на заседании
кафедры

протокол № 06 от 18 апреля 2025 г.

Утверждена Ученым Советом ИФИ

протокол № 05 от 30 апреля 2025 г.

Заведующий кафедрой

д-р. физ.-мат. наук, доц. Д.Б. Айрапетян
И.О.Ф, ученая степень, звание

Разработчик программы

д-р. физ.-мат. наук, доц. Д.Б. Айрапетян
И.О.Ф, ученая степень, звание

Ереван 2025

Общие положения

Настоящая рабочая программа обязательной дисциплины **«Кулоновские задачи в квантовых структурах»** образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) ориентирована на аспирантов университета, уже прослушавших общие и специальные курсы по теоретической физике, математической физике, квантовой теории твердого тела, физики низкоразмерных систем, физическим основам нанoeлектроники.

1. Цели изучения дисциплины (модуля)

Целью изучения дисциплины **«Кулоновские задачи в квантовых структурах»** является ознакомление с современной теорией, а также технологиями полупроводниковой нанoeлектроники, связанных кулоновскими явлениями в наноструктурах. Тема лекций являются актуальными и охватывают большой класс теоретических и прикладных задач.

Дисциплина **«Кулоновские задачи в квантовых структурах»** относится к циклу обязательных дисциплин и входит в состав образовательной составляющей учебного плана по направлению обучения в аспирантуре по специальности **01.04.10 Физика полупроводников**.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

Аспирант должен

-Знать:

- основы теории переходов в низкоразмерных структурах при участии примесных центров
- физические особенности и область применения слоистых КТ, содержащих примеси

- Уметь:

- самостоятельно решать квантовомеханические задачи в низкоразмерных системах;
- проводить вычисления с помощью различных программ по математическому моделированию физических систем;
- сопоставлять результаты с физической картиной явлений.

- Владеть:

- аппаратом вариационного исчисления при решении примесных задач в низкоразмерных системах;
- навыками моделирования задач, связанными с примесными переходами в низкоразмерных системах.

3. Объем дисциплины (модуля) и количество учебных часов

Вид учебной работы	Кол-во зачетных единиц*/уч. часов
Аудиторные занятия	1/26
Лекции (минимальный объем теоретических знаний)	8
Семинар	18
Практические занятия	-
Другие виды учебной работы (авторский курс, учитывающий результаты исследований научных школ Университета, в т.ч. региональных)	-
Формы текущего контроля успеваемости аспирантов	-
Внеаудиторные занятия:	-
Самостоятельная работа аспиранта	10
ИТОГО	36
Вид итогового контроля	Составляющая экзамена кандидатского минимума зачет

4. Содержание дисциплины (модуля)

4.1 Содержание лекционных занятий

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Водородоподобные примесные центры в наноструктурах	1
2	Донорные и акцепторные состояния в квантовых ямах	1
3	Адиабатическое приближение. Вариационный метод решения примесных задач	1
4	Переходы примесь-зона, зона примесь и межпримесные переходы в КЯ. Коэффициент поглощения.	1
5	Примеси в квантовых точках. Влияние внешних полей	1
6	Экситоны в квантовых точках. Влияние внешних полей	1
7	Слоистые наноструктуры. Сферические нанослои.	1

8	Методы получения ядро/слой квантовых точек. Применение	
9	Влияние примеси на электронные состояния в сферическом нанослое	1
10	Кулоновская блокада. Одноэлектронный транзистор	
Всего:		8

4.2 Семинарские занятия

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Применение вариационного метода при решении примесных задач в низлоразмерных структурах. Моделирование и численные расчеты.	4
2	Определение интенсивности переходов, вычисление коэффициента поглощения при примесных переходах	4
3	Учет влияния внешних полей при решении вариационных задач в КТ	3
4	Типы структур ядро/оболочка, ядро/оболочка/оболочка; модели ограничивающих потенциалов	4
5	Кулоновская блокада; рассмотрение температурного эффекта кулоновской блокады в КТ	3
Всего:		18

4.3 Практические занятия

Практические занятия не предусмотрены учебным планом

4.4 Другие виды учебной работы

Другие виды учебной работы не предусмотрены учебным планом.

4.5 Самостоятельная работа аспиранта

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Кол-во уч. часов
1	Ознакомление с учебной и научной литературой	2
2	Усвоение методов решения кулоновских задач в наноструктурах	2
3	Самостоятельный качественный и количественный анализ полученных физических результатов.	4
4	Усвоение навыков оформления научных статей	2
Всего:		10

5 Перечень контрольных мероприятий и вопросы к экзаменам кандидатского минимума

Перечень вопросов к экзаменам кандидатского минимума:

1. Примеси в полупроводниках. Мелкие и глубокие уровни
2. Доноры и акцепторы в полупроводниковых квантовых структурах

3. Адиабатическое приближение для примесной задачи в КЯ
4. Переходы примесь-зона и зона примесь
5. Приближение ближайшего соседа при межпримесных переходах в КЯ
6. Расчет поглощения при межпримесных переходах. Учет легирования
7. Примесные состояния в сферических КТ. Влияние магнитного поля
8. Кейновский магнетоэкситон в цилиндрической КТ
9. Магнетоэкситон в квантовом кольце
10. Сферические нанослои. Аналитические модели потенциалов
11. Примесные состояния в сферическом нанослое
12. Реализация ядро/слой квантовых точек. Применение
13. Кулоновская блокада в КТ. Одноэлектронный транзистор
14. Температурный эффект кулоновской блокады в КТ.

6 Образовательные технологии

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала.
2. Проведение лекций с использованием интерактивных методов обучения.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Учебно-методические и библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют качественное освоение аспирантом образовательной программы. Университет располагает обширной библиотекой, включающей научную литературу по физике, научные журналы и труды научно-практических конференций по основополагающим проблемам науки и практики управления.

7.1. Основная литература:

- Peng, K., Wu, S., Xie, X., Yang, J., Qian, C., Song, F., Sun, S., Dang, J., Yu, Y., Shi, S. and He, J., 2019. Giant photocurrent enhancement by coulomb interaction in a single quantum dot for energy harvesting. *Physical Review Applied*, 11(2), p.024015.
- Zhang, Y., Yang, Z., Zhang, X., Lin, B., Lin, G. and Chen, J., 2018. Coulomb-coupled quantum-dot thermal transistors. *EPL (Europhysics Letters)*, 122(1), p.17002.
- Koley, S., Cui, J., Panfil, Y.E. and Banin, U., 2021. Coupled colloidal quantum dot molecules. *Accounts of Chemical Research*, 54(5), pp.1178-1188.

- Quang, N.H., Huong, N.Q., Dung, T.A., Tuan, H.A. and Thang, N.T., 2021. Strongly confined 2D parabolic quantum dot: Biexciton or quadron?. *Physica B: Condensed Matter*, 602, p.412591.
- Zhang, L.L., Zhan, G.H., Yu, D.Q. and Gong, W.J., 2018. Transport through a non-Hermitian parallel double-quantum-dot structure in the presence of interdot Coulomb interaction. *Superlattices and Microstructures*, 113, pp.558-565.
- Э.М. Казарян, С.Г. Петросян, *Физические основы наноэлектроники* (на армянском языке). Изд. РАУ, Ереван (2005).
- D. Bimberg, M. Grundman and N. Ledentsov, *Quantum dot heterostructures*. Wiley, New-York (1999).
- G. Bastard, *Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures*, Les Éditions de Physique (1988).
- L. Landau, E. Lifshits, *Quantum Mechanics*, Nauka, Moscow (1989).
- А.И. Ансельм, *Введение в теорию полупроводников*, Изд. Наука, Москва (1978).
- В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган, *Задачи по квантовой механике*, Изд. Наука, Москва (1981).
- S. Flugge. *Practical Quantum Mechanics Part 2*. Springer, Germany (1971).

7.2. Дополнительная литература

- В. Аскеров, *Electronic transport phenomena in semiconductors*. Nauka, Moscow (1985).
- В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин, *Основы наноэлектроники*. Изд. НГТУ, Новосибирск (2004).
- http://www.lps.u-psud.fr/IMG/pdf_Baranger_cours3.pdf - Coulumb blockade in quantum dots

7.3. Интернет-ресурсы

1. rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2008/04/21/297996
2. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15350978
3. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sml.201001096/full
4. adsabs.harvard.edu/
5. scholar.google.com

8 Материально-техническое обеспечение

Кафедра располагает соответствующим компьютерным оборудованием позволяющим проводить численные расчеты. Можно также использовать компьютерный кластер кафедры теоретической физики ЕГУ.