

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РА
Г О У В П О Р О С С И Й С К О - А Р М Я Н С К И Й У Н И В Е Р С И Т Е Т

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

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по науке
П.С. Аветисян
« 19 » июля 2023г.

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

Учебная программа подготовки аспиранта и соискателя
ДИСЦИПЛИНА: 2.1.9.2

Многоэлектронные и спиновые эффекты в квантовых наноструктурах
наименование дисциплины (модуля) по учебному плану подготовки аспиранта

1.3.11.
-Шифр

Физика полупроводников
наименование научной специальности

Программа одобрена на заседании
кафедры ОФКН

протокол № 10 от 18 июля 2023 г.

Утверждена Ученым Советом ИФИ

протокол № 33 от 19 июля 2023 г.

Заведующий кафедрой



Подпись

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

Разработчик программы

Подпись

д-р физ.-мат. наук, проф. Саркисян А.А.
И.О.Ф, ученая степень, звание

Ереван 2023

Общие положения

Настоящая рабочая программа обязательной дисциплины **«Многоэлектронные и спиновые эффекты в квантовых наноструктурах»** 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 **«Многоэлектронные и спиновые эффекты в квантовых наноструктурах»** является введение аспирантов в современное состояние исследований в области полупроводниковой нанoeлектроники основанной на манипуляциях многоэлектронными и спиновыми состояниями электронов. Так как наряду с микро- и нанoeлектроникой идет активное развитие спинтроники, то темы планируемых лекций являются актуальными и охватывают большой класс прикладных задач.

Дисциплина **«Многоэлектронные и спиновые эффекты в квантовых наноструктурах»** 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 квантовой механики;
- методы решения уравнений математической физики;
- аппарат решения многочастичных задач в твердых телах;
- основы тензорного и векторного анализа.

- Уметь:

- решать уравнения Шредингера, Паули и Дирака в криволинейных координатах;

- пользоваться различными пакетами математического моделирования физических систем;

- анализировать физическую картину полученных результатов.

- Владеть:

- Аппаратом решения квантомеханических задач;
- Методами решения уравнений математической физики;
- Основами математического моделирования физических систем.

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	Одноэлектронные состояния в квантовых наноструктурах.	2
2	Двухчастичные спиновые волновые функции. Орто- и парасостояния.	2
3	Слоистые наноструктуры. Сферические и цилиндрические нанослои, квантовые кольца.	2

4	Двумерный параболический атом Томаса-Ферми. Теорема Кона.	2
Всего:		8

4.2 Семинарские занятия

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Спин электрона. Матрицы Паули. Полный угловой момент	4
2	Атом гелия. Искусственный атом гелия.	3
3	Адиабатическое описание двухэлектронных состояний в сферических и цилиндрических нанослоях. Два электрона на кольце.	4
4	Управление временем обмена состояниями в двухэлектронной системе находящейся в наноструктуре.	4
5	Ток спинового магнитного момента в цилиндрических нанослоях.	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 одночастичных и многочастичных задач в криволинейных координатах в том числе и с учетом кривизны пространства.	3
3	Всесторонний качественный и количественный анализ полученных физических результатов.	3
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. Спин электрона, матрицы Паули, коммутационные соотношения для спиновых операторов.
2. Уравнение Паули, спин-орбитальное взаимодействие.

3. Гамильтониан Рашбы.
4. Атом гелия, синглетные и триплетные состояния.
5. Квантовая точка с двумя электронами, параболический атом гелия.
6. Двухэлектронные состояния в квантовом кольце (модель Чакраборти-Пиетилаинена, модель Винтерница-Сморозинского).
7. Двухэлектронные состояния в квантовом кольце (адиабатическое описание).
8. Гармониум, атом Мошинского.
9. Двухэлектронные состояния в сферическом нанослое (искусственные орто- и парагелий).
10. Двухэлектронные состояния в тонком сферическом нанослое (адиабатическое описание).
11. Управление временем обмена состояниями в двухэлектронной системе находящейся в квантовой точке.
12. Модель атома Томаса-Ферми.
13. Двумерный параболический атом Томаса-Ферми (точно решаемая модель).
14. Циклотронный резонанс в многоэлектронной системе, теорема Кона.
15. Параболические квантовые точки, обобщенная теорема Кона.
16. Фермионные состояния в центрально-симметричном поле, спиноры.
17. Дипольный и квадрупольный моменты электрона в сферическом нанослое.
18. Орбитальный ток и ток спинового магнитного момента.
19. Ток спинового магнитного момента в сферических и цилиндрических нанослоях.
20. Понятие о спиновом токе, спинтроника.

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:

- Bordoloi, A., Zannier, V., Sorba, L., Schönenberger, C. and Baumgartner, A., 2020. A double quantum dot spin valve. *Communications Physics*, 3(1), pp.1-7.
- Giba, A.E., Gao, X., Stoffel, M., Devaux, X., Xu, B., Marie, X., Renucci, P., Jaffrès, H., George, J.M., Cong, G. and Wang, Z., 2020. Spin Injection and Relaxation in p-Doped (In, Ga) As/Ga As Quantum-Dot Spin Light-Emitting Diodes at Zero Magnetic Field. *Physical Review Applied*, 14(3), p.034017.
- Bhattacharyya, K., Debnath, D. and Chatterjee, A., 2020. Role of Rashba spin-orbit interaction on polaron Zeeman effect in a two-dimensional quantum dot with parabolic confinement. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 506, p.166745.
- Leon, R.C.C., Yang, C.H., Hwang, J.C.C., Lemyre, J.C., Tantt, T., Huang, W., Chan, K.W., Tan, K.Y., Hudson, F.E., Itoh, K.M. and Morello, A., 2020. Coherent spin control of s-, p-, d- and f-electrons in a silicon quantum dot. *Nature communications*, 11(1), pp.1-7.
- Dehollain, J.P., Mukhopadhyay, U., Michal, V.P., Wang, Y., Wunsch, B., Reichl, C., Wegscheider, W., Rudner, M.S., Demler, E. and Vandersypen, L.M., 2020. Nagaoka ferromagnetism observed in a quantum dot plaquette. *Nature*, 579(7800), pp.528-533.
- 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)..
- S. Flugge. *Practical Quantum Mechanics Part 2*. Springer, Germany (1971).
- L. Landau, E. Lifshits, *Quantum Mechanics*, Nauka, Moscow (1989).
- Энциклопедия ЮНЕСКО “Нанонаука и нанотехнологии”. Изд. Магистр-пресс, Москва (2011).
- В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин, *Основы наноэлектроники*. Изд. НГТУ, Новосибирск (2004).
- В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган, *Задачи по квантовой механике*, Изд. Наука, Москва (1981).

7.2. Дополнительная литература

- В. Аскеров, *Electronic transport phenomena in semiconductors*. Nauka, Moscow (1985).
- А.И. Ансельм, *Введение в теорию полупроводников*, Изд. Наука, Москва (1978).
- И.В. Савельев, *Основы теоретической физики*, Изд. Наука, Москва (1991).

7.3. Интернет-ресурсы

1. <http://www.scholar.google.com>
2. <http://adsabs.harvard.edu>
3. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/quantum.htm>

8 Материально-техническое обеспечение

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