

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: 2.1.9.2 Многоэлектронные и спиновые эффекты в  
квантовых наноструктурах

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

Подпись:  И.О.Ф., ученая степень, звание

Разработчик программы

д-р физ.-мат. наук, проф. А.А. Саркисян

Подпись:  И.О.Ф., ученая степень, звание

Ереван 2025

## **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
<b>ИТОГО</b>	<b>36</b>
Вид итогового контроля	Составляющая экзамена кандидатского минимума <b>зачет</b>

### 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-Смординского).
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., Tanttu, 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.