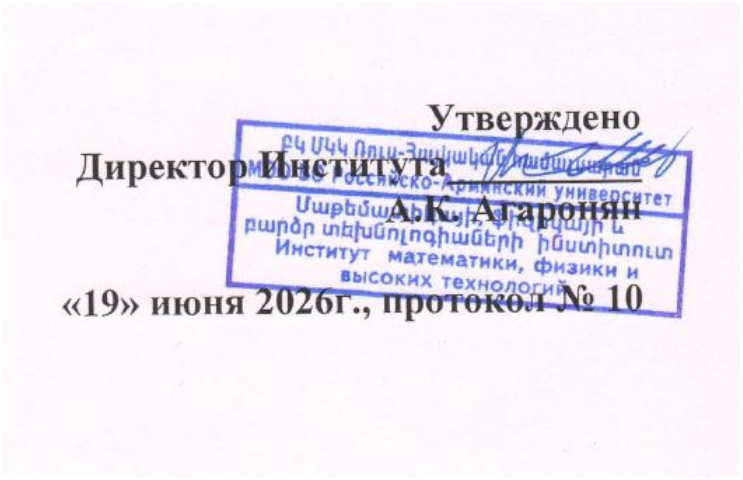
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



Утверждено
Директор Института _____
А.К. Агаронян
«19» июня 2026г., протокол № 10

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.08 Квантовые наноструктуры во внешних полях

Автор (ы) _k.ф.-м.н. Харатян Гор Цолакович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Основная образовательная программа магистратуры: «Квантовая и оптическая электроника»

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Дисциплина посвящена изучению физических процессов в квантовых наноструктурах (квантовых точках, квантовых нитях, квантовых ямах) под воздействием внешних электромагнитных, электрических и магнитных полей. Рассматриваются основные модели и методы описания электронных и оптических свойств наносистем, включая уравнение Шрёдингера, подход эффективной массы, влияние спин-орбитального взаимодействия и поля излучения. Изучается воздействие постоянных и переменных полей на энергетические уровни, вероятности переходов, туннелирование, эффект Зеемана, Штарка, а также взаимодействие с сильными лазерными полями. Особое внимание уделяется прикладным аспектам, таким как управление квантовыми состояниями и возможность применения в квантовых вычислениях и оптоэлектронных устройствах.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

2 академических кредита / 72 часа. Форма итогового контроля — зачет.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Компьютерные технологии в физике, Полупроводниковая наноэлектроника, Квантоворазмерные системы наноэлектроники, Элементы квантовой и оптической информатики.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии	ПК-1.1	Знает принципы построения и фукнционирования изделий микро- и

	с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач		наноэлектроники
		ПК-1.2	Умеет рассчитывать предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники
		ПК-1.3	Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Данный курс имеет своей целью ознакомить магистрантов II-ого года обучения с физическими процессами в полупроводниковых квантовых наноструктурах при наличии внешних полей. Курс имеет ярко выраженный междисциплинарный характер, так как затрагивает вопросы связанные как с оптическими и электронными свойствами квантовых наноструктур, так и со спиновыми, а также многочастичными характеристиками таких систем. Помимо сугубо твердотельных задач, обсуждаются фундаментальные квантомеханические вопросы затрагивающие основы квантовой теории (эффект Ааронова- Бона, фаза Берри и т.д.).

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**
		1 сем
1	**2**	**3**
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**72**	**72**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**16**	**16**
1.1.1. Лекции	**10**	**10**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**6**	**6**

1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**56**	**56**
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Зачет**	**-**

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	**Всего (ак. часов)**	**Лекции(ак. часов)**	**Практ. Занятия (ак. часов)**
1	**2=3+4+5+6+7**	**3**	**4**
Модуль 1.			
Раздел 1. Квантовые наноструктуры в магнитном поле.			
Тема 1. Электрон в однородном магнитном поле. Уровни Ландау. Квантовая яма в однородном магнитном поле.	**2**	1	1
Тема 2. Параболическая квантовая точка в однородном магнитном поле. Конкуренция размерного и магнитного квантований.	**2**	2	0
Тема 3. Межзонное поглощение в параболической квантовой точке при наличии однородного магнитного поля. Зависимость края поглощения от геометрических параметров и значения магнитного поля.	**2**	1	1
Тема 4. Квантовое кольцо в магнитном поле. Эффект Ааронова- Бома для связанных состояний.	**2**	2	0
Тема 5. Плотность электронного тока в магнитном поле с учетом спина. Ток спинового магнитного момента. Ток спинового магнитного момента в квантовом кольце.	**2**	1	1

Раздел 2. Квантовые наноструктуры в электрическом поле.			
Тема 6. Квантовая яма в однородном электрическом поле. Слоистая нанопроволока в однородном электрическом поле (сильные и слабые поля).	**2**	1	1
Тема 7. Параболическая квантовая точка в однородном электрическом поле. Электропоглощение в параболической квантовой точке. Край электропоглощения и его зависимость от геометрических параметров и значения электрического поля.	**2**	1	1
Тема 8. Сферический нанослой в однородном электрическом поле. Эффект Штарка для близких уровней. Электропоглощение в сферическом нанослое.	**2**	1	1
ИТОГО	**16**	**10**	**6**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Модуль 1

Введение

Во введении представлена общая картина развития основных теоретических понятий лежащих в основе описания поведения квантовых наноструктур во внешних полях.

Раздел 1. Квантовые наноструктуры в магнитном поле

Тема 1. Электрон в однородном магнитном поле. Уровни Ландау. Квантовая яма в однородном магнитном поле.

В рамках нерелятивистского уравнения Шредингера исследуются стационарные состояния электрона в однородном магнитном поле. Показывается, что поведение частицы в поперечной к полю плоскости описывается уравнением гармонического осциллятора. Если теперь рассмотреть квантовую яму в однородном магнитном поле, направленном перпендикулярно к плоскости ямы, то спектр становится полностью квантованным.

Литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – “Квантовая механика”, М. “Наука” 1989.
2. Գ.Ս. Սահակյան, Է.Վ. Չուբարյան – “Քվանտային մեխանիկա”, ԵՊՀ հրատարակ. 2011.

Тема 2. Параболическая квантовая точка в однородном магнитном поле. Конкуренция размерного и магнитного квантований.

Исследуется поведение электрона в параболической квантовой точке при наличии однородного магнитного поля направленноговдоль оси квантовой точки. Определены волновая функция и энергетический спектр электрона. Показано, что спектр частицы является осциллятором, частота которого выражается через комбинацию циклотронной частоты и частоты параболического потенциала ограничения. При этом в случае сильных полей в системе реализуется спектр Ландау.

Литература:

1. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган – "Задачи по квантовой механике"М. "Наука" 1981.
2. M.S. Atoyan, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan "Direct interband light absorption in a cylindrical quantum dot in quantizing magnetic field", Physica **E**, vol. 22, p. 860-866 (2004).

Тема 3. Межзонное поглощение в параболической квантовой точке при наличии однородного магнитного поля. Зависимость края поглощения от геометрических параметров и значения магнитного поля.

На основе полученных в предыдущей теме результатов расмотрено межзонное поглощение в параболической квантовой точке при наличии магнитного поля. При этом обсуждается режим сильного размерного квантования, когда можно пренебречь экситонными эффектами. Вычисляется коэффициент поглощения и определяются пороговые частоты поглощения. На основе аналитического выражения исследуется зависимость порога поглощения от геометрических размеров квантовой точки и величины магнитного поля.

Литература:

1. M.S. Atoyan, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan "Direct interband light absorption in a cylindrical quantum dot in quantizing magnetic field", *Physica E*, vol. 22, p. 860-866 (2004).

Тема 4. Квантовое кольцо в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома для связанных состояний.

Рассмотрены одноэлектронные состояния в квантовом кольце при наличии аксиального магнитного поля. Показано, что в случае кольца малой толщины проблема сводится к задаче плоского ротатора в магнитном поле. Особое внимание уделяется специфической геометрии кольцеобразной наноструктуре. Топология кольца позволяет экспериментально продемонстрировать реализацию эффекта Ааронова-Бома в случае связанных состояний. Обсуждается проблема одноэлектронных уровней в тонком квантовом кольце при наличии аксиального однородного магнитного поля. Показывается, что энергия электрона определяется отношением потока магнитного поля сквозь квантовое кольцо на квант магнитного потока. Отмечается, что последнее обстоятельство является следствием нелокальности взаимодействия в квантовой механике. На основе сказанного выявляется особая роль электромагнитных потенциалов в квантовых системах (эффект Ааронова-Бома).

Литература:

1. A. Lorke et all. “Spectroscopy of Nanoscopic Semiconductor Rings”, ***Physical Review Letters***, vol., pp.2223-2226 (2000).
2. З. Флюгге “Задачи по квантовой механике”, т.1, М. “Мир” 1984.
3. E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan, "Layered nanostructures", ***Encyclopedia UNESCO Nanoscience and Nanotechnology***, Ed. V.N. Kharkin (Russian Edition) pp. 120-133 (2011).

Тема 5. Плотность электронного тока в магнитном поле с учетом спина. Ток спинового магнитного момента. Ток спинового магнитного момента в квантовом кольце.

С учетом спина электрона выводится вырожение для плотности тока в однородном магнитном поле. Выводится формула для тока спинового магнитного момента.

Рассматривается проблема одноэлектронного тока в квантовом кольце при наличие однородного аксиального магнитного поля. Показано, что благодаря размерному квантованию во всех трех направлениях, можно погасить одноэлектронный орбитальный ток и оставить только ток спинового магнитного момента. Показывается возможность

управления током спинового магнитного момента путем изменения геометрических параметров квантового кольца и величины магнитного поля.

Литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – "Квантовая механика", М. "Наука" 1989.
2. N.G. Aghekyan, E.M. Kazaryan, 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).
3. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган – "Задачи по квантовой механике", М. "Наука" 1981.

Тема 6. Квантовая яма в однородном электрическом поле. Слоистая нанопроволока в однородном электрическом поле (сильные и слабые поля).

В приближении эффективной массы рассматривается задача о поведении электрона в непроницаемой квантовой яме при наличии однородного электрического поля направленного перпендикулярно к плоскости ямы. Выявляется квадратичный характер штарковского расщепления уровней энергии электрона. Обсуждается случай сильного электрического поля, когда можно рассматривать движение электрона в треугольной яме.

Рассматривается одноэлектронный спектр квантовой проволоки, имеющей сечение в виде цилиндрического слоя при наличии электрического поля, направленного перпендикулярно оси проволоки. В случае слабого поля задача решается в рамках теории возмущений. В случае сильного поля показывается, что проблема может быть сведена к задаче гармонического осциллятора, эффективная частота которого определяется величиной электрического поля.

Литература:

1. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян "Физические основы наноэлектроники", Ереван Изд. РАУ 2005.
2. M. Matsuura, T. Kamirato, "Subbands and excitons in a quantum well in an electric field", ***Physical Review B***, vol. 33, pp. 8385-8389 (1986).
3. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган – "Задачи по квантовой механике" М. "Наука", 1981.

4. 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).
5. 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).

Тема 7. Параболическая квантовая точка в однородном электрическом поле. Электропоглощение в параболической квантовой точке. Край электропоглощения и его зависимость от геометрических параметров и значения электрического поля.

Рассматривается влияние однородного электрического поля на состояние электрона в параболической квантовой точке. Показывается, что данная задача является аналитически решаемой. При этом в направлении поля задача аналогична проблеме поведения электрона в параболической квантовой яме при наличии однородного электрического поля. Полученные аналитические результаты позволяют провести детальный анализ поведения спектра электрона в зависимости от геометрических размеров квантовой точки и величины электрического поля.

Рассматривается проблема межзонного поглощения в параболической квантовой точке при наличии однородного электрического поля. Вычисляется коэффициент поглощения и определяются пороговые частоты поглощения. Выявляются зависимости частот переходов от размеров квантовой точки и величины поля.

Литература:

1. 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).
2. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян “Физические основы наноэлектроники”, Ереван Изд. РАУ 2005.
3. M.S. Atoyan, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan “Interband light absorption in parabolic quantum dot in the presence of electrical and magnetic fields”, ***Physica E***, vol. 31, pp. 83-85 (2006).

4. M.S. Atoyan, 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).

Тема 8. Сферический нанослой в однородном электрическом поле. Эффект Штарка для близких уровней. Электропоглощение в сферическом нанослое.

Рассматривается эффект Штарка в сферическом нанослое InSb с непроницаемыми стенками. Вычисления проводятся для случая близких уровней, когда учитывается перекрытие волновых функций невозмущенной задачи. Показано, что в системе реализуется квадратичный эффект Штарка.

Обсуждается электропоглощение в сферическом нанослое. Учитывается также непараболичность закона дисперсии электронов и легких дырок. Показана возможность контроля частот поглощения путем изменения как внутреннего, так и внешнего радиусов. Выявлены правила отбора для межзонных переходов.

Литература:

1. V.A. Harutyunyan “Optical transitions in semiconductor nanospherical layer under the presence of perturbating electrical field”, ***Physica E***, vol. 39, pp. 37-49 (2007).
2. 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).

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

В рамках практических занятий обучающиеся решают задачи на нахождение энергетических уровней и волновых функций в квантовых ямах, точках и кольцах под действием магнитного и электрического поля. Выполняется моделирование межзонного поглощения, плотности электронного и спинового тока, а также анализируются зависимости спектров от геометрических параметров и напряжённости поля. Особое внимание уделяется численным методам решения уравнения Шрёдингера и визуализации результатов.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Мультимедийное оборудование для лекций.

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
Вид учебной работы/контроля	**М1[1]**	**М2**	**М1**	**М2**	**М1**	**М2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**

3. Теоретический блок *(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)*

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

[1] Учебный Модуль

[1] Э.М. Казарян, С.Г. Петросян “Физические основы наноэлектроники”, Ереван Изд. РАУ 2005.

[2] Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – “Квантовая механика”, М. “Наука” 1989.

[3] В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган – “Задачи по квантовой механике”М. “Наука” 1981.

3.1.2. Учебное(ые) пособие(я);

[1] А.А. Саркисян, В.В. Эвоян, К.П. – “Элементы математического аппарата теоретической физики”, Ереван Изд. РАУ 2009.

3.1.3. Глоссарий/терминологический словарь;

- Уровни Ландау – энергетические уровни квантовой частицы в однородном магнитном поле.
- Параболическая квантовая точка – квантовая точка с параболическим профилем потенциала ограничения (частоты ограничения по разным направлениям могут быть различными).
- Электропоглощение – поглощение света при наличии электрического поля.
- Квантовое кольцо – наноразмерная кольцеобразная квантовая точка (в частности цилиндрический нанослой малой высоты).
- Штарковский сдвиг уровней – сдвиг уровней энергии электрона под воздействием электрического поля.
- Эффект Ааронова-Бома – квантовое явление, в котором на частицу с электрическим зарядом или магнитным моментом электромагнитное поле влияет даже в тех областях, где напряженность электрического поля E и индукция магнитного поля B равны нулю, но не равны нулю скалярный и/или векторный потенциалы электромагнитного поля (то есть если не равен нулю электромагнитный потенциал).

4. Фонды оценочных средств *(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).*

4.1. Планы практических занятий

№	Тема занятия	Краткое описание
1	Уровни Ландау и квантовая яма в	Решение задач на нахождение уровней энергии и

	магнитном поле	волновых функций.
2	Квантовая точка в магнитном поле	Анализ конкуренции размерного и магнитного квантования.
3	Поглощение в магнитном поле	Расчёт межзонного поглощения и построение графиков зависимости от параметров.
4	Электронный и спиновый ток	Вычисление плотности тока и анализ спиновых эффектов в кольцевых структурах.
5	Квантовая яма и нанопроволока в электрическом поле	Моделирование поведения уровней и локализации при различных полях.
6	Электропоглощение в параболической квантовой точке	Расчёт и визуализация зависимости поглощения от формы потенциальной ямы и напряжённости поля.

4.1.1. Задачники (практикумы);

1.С.В. Гончаров, А.Н. Козлов, Д.И. Хомич, Задачи и упражнения по квантовой физике наноструктур, М.: Физматлит, 2020.

4.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

1. Выведите уровни энергии электрона в однородном магнитном поле (уровни Ландау). Проанализируйте физический смысл квантовых чисел, входящих в решение.
2. Постройте спектр и волновые функции для квантовой ямы в однородном магнитном поле. Определите условия локализации состояний.
3. Сравните спектры энергии для параболической квантовой точки при различных значениях магнитного поля. Опишите переход между размерным и магнитным квантованием.
4. Смоделируйте межзонное поглощение в параболической квантовой точке с учётом магнитного поля. Постройте график зависимости интенсивности поглощения от энергии фотона.
5. Исследуйте влияние геометрических параметров точки (ширина, глубина) и величины магнитного поля на край межзонного поглощения.
6. Выполните расчёт энергетического спектра и волновых функций для электрона в квантовом кольце в магнитном поле. Опишите условия появления периодичности.
7. Объясните физическую природу эффекта Аронова–Бома. Выведите выражение для фазы волновой функции, приобретаемой при обходе кольца.
8. Рассчитайте плотность тока электрона в магнитном поле с учётом спина. Проанализируйте спиновую поляризацию.

9. Постройте распределение тока спинового магнитного момента в квантовом кольце. Укажите, как оно зависит от магнитного потока.
10. Решите задачу о спектре электрона в квантовой яме в электрическом поле. Объясните механизм туннелирования при увеличении поля.
11. Смоделируйте энергетические уровни и локализацию волновых функций в слоистой нанопроволоке при сильном и слабом электрическом поле.
12. Рассчитайте спектр параболической квантовой точки в электрическом поле. Укажите, как сдвигаются уровни при изменении поля.
13. Постройте графики зависимости электропоглощения в параболической квантовой точке от частоты излучения и напряжённости поля.
14. Исследуйте край электропоглощения в параболической квантовой точке. Установите его зависимость от формы потенциальной ямы и значения электрического поля.
15. Выведите уровни энергии для сферического нанослоя в электрическом поле. Проанализируйте особенности пространственного распределения волновых функций.
16. Изучите эффект Штарка для близких уровней в сферическом нанослое. Постройте зависимость сдвига уровней от поля.
17. Смоделируйте спектр электропоглощения в сферическом нанослое. Сравните его с плоскими и параболическими структурами.
18. Проанализируйте, как край электропоглощения в сферическом нанослое зависит от радиуса, толщины и электрического поля. Постройте соответствующие графики.

4.3. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Контрольная работа. Вариант 1.

1. Электрон в однородном магнитном поле. Уровни Ландау.
2. Квантовое кольцо в магнитном поле: одноэлектронная волновая функция и энергетический спектр.

4.4. Перечень зачетных вопросов

1. Электрон в однородном магнитном поле. Уровни Ландау.
2. Квантовая яма в однородном магнитном поле.
3. Параболическая квантовая точка в однородном магнитном поле. Конкуренция размерного и магнитного квантований.

4. Межзонное поглощение в параболической квантовой точке при наличии однородного магнитного поля.
5. Зависимость края поглощения параболической квантовой точки от геометрических параметров точки и значения магнитного поля.
6. Квантовое кольцо в магнитном поле: одноэлектронная волновая функция и энергетический спектр.
7. Эффект Ааронова-Бома для связанных состояний.
8. Плотность электронного тока в магнитном поле с учетом спина.
9. Ток спинового магнитного момента.
10. Ток спинового магнитного момента в квантовом кольце.
11. Квантовая яма в однородном электрическом поле.
12. Слоистая нанопроволока в однородном электрическом поле (сильные поля).
13. Слоистая нанопроволока в однородном электрическом поле (слабые поля).
14. Параболическая квантовая точка в однородном электрическом поле.
15. Электропоглощение в параболической квантовой точке.
16. Край электропоглощения в параболической квантовой точке и его зависимость от геометрических параметров и значения электрического поля.
17. Сферический нанослой в однородном электрическом поле.
18. Эффект Штарка для близких уровней в сферическом нанослое.
19. Электропоглощение в сферическом нанослое.
20. Край электропоглощения в сферическом нанослое и его зависимость от геометрических параметров и значения электрического поля.