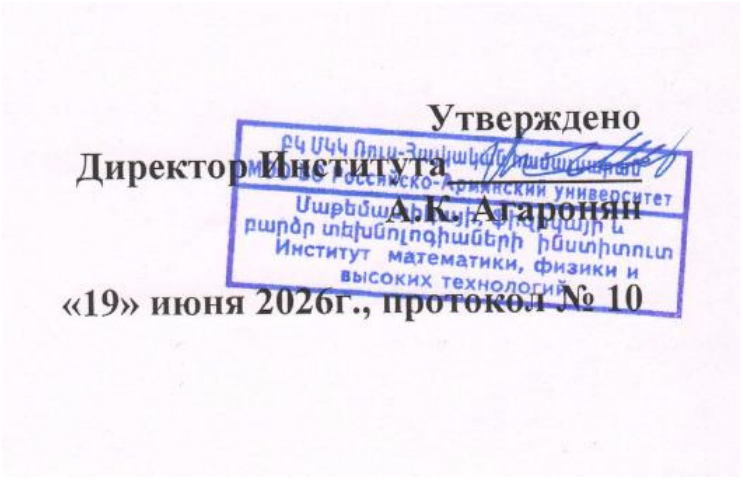
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.22 Оптические свойства твердых тел

Автор (ы) _д.ф.-м.н., проффесор Агаронян Камо Гамлетович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Оптические методы исследования полупроводниковых соединений являются мощным инструментом, позволяющим определить зонное строение изучаемых образцов. С учетом того, что полупроводники могут быть как прямозонными, так и не прямозонными, возникает необходимость изучения соответственно прямых и непрямых переходов в полупроводниках. Примечательно, что на сегодняшний день детально развиты как классическая, так и квантовая теории оптических свойств полупроводников. В предлагаемом курсе изучаются особенности оптических свойств полупроводниковых соединений. При этом рассматривается также влияние внешних полей на процессы поглощения в полупроводниках.

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

3 академических кредита / 108 часа. Форма итогового контроля — зачет.

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

"Физика 3", "Квантовые наноструктуры", "Введение в квантовую механику", Физика твердого тела, Квантовая теория твердого тела.

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 с тенденциями и перспективами	ПК-1.1	Знает принципы построения и фукнционирования изделий микро- и

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

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: ознакомление студентов с оптическими явлениями, имеющими место в полупроводниках, а также с механизмами внутризонных и межзонных (прямых и непрямых) переходов в вышеуказанных системах. Подготовка будущих специалистов в области микро и оптоэлектроники с необходимым знанием теоретических и прикладных знаний.

Задачи:

- дать представление студентам о характере оптических переходов в полупроводниках, а также начальную информацию о функционировании оптоэлектронных приборов нового поколения (гетероструктурные лазеры, диоды 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	**108**	**108**

дисциплины по семестрам, в т. ч.:		
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**64**	**64**
1.1.1.Лекции	**32**	**32**
1.1.2.Практические занятия, в т. ч.	**-**	**-**
1.1.3.Лабораторные работы	**32**	**32**
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**44**	**44**
1.3. Консультации		
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)	Лабор. (ак. часов)
1	**2=3+4+5+6+7**	**3**	**6**
Раздел 1. Макроскопическая теория оптики изотропных сред	**12**	**6**	**6**
Раздел 2. Микроскопическая теория оптических свойств полупроводников	**16**	**8**	**8**
Раздел 3. Оптические явления, обусловленные свободными носителями тока	**12**	**6**	**6**
Раздел 4. Поглощение света во внешних полях	**12**	**6**	**6**
Раздел 5. Взаимодействие света с кристаллической решеткой	**12**	**6**	**6**
ИТОГО	**64**	**32**	**32**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Макроскопическая и микроскопическая теории оптических свойств полупроводников

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи.

Раздел 1. Макроскопическая теория оптики изотропных сред

Тема 1.1. Уравнения Максвелла, векторный потенциал, калибровочные преобразования

Уравнения Максвелла для немагнитных сред. Калибровочные преобразования для векторного потенциала. Взаимодействие излучения с твердым телом. (| 1] гл. 7 §1).

Тема 1.2. Теория Лоренца-Зинера.

Тема 1.3. Дисперсия дилектрической проницаемости.

Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты. Комплексная функция диэлектричской проницаемости. Диэлектрическая проницаемость при очень больших частотах. ([1] гл. 7 §1, [2])

Тема 1.4. Аналитические свойства диэлектрической проницаемости. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Правило сумм.

Аналитические свойства функции диэлектрической проницаемости. Связь между действительной и мнимой частями функции диэлектрической проницаемости. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Сила осциллятора. Правило сумм ([1]гл.7§1,[2])

Раздел 2. Микроскопическая теория оптических свойств полупроводников

Тема 2.1. Особенности энергетических зон полупроводников. Механизмы поглощения света в полупроводниках.

Оптические коэффициенты и связь их с диэлектрической проницаемостью. Классификация механизмов поглощения света в полупроводниках. ([1] гл. 7 §§1, 2).

Тема 2.2. Гамильтониан электрона в кристаллах в поле электромагнитной волны. Энергия возмущения.

Оператор импульса электрона в поле световой волны. Сравнение значений волновых векторов фотона и электрона. Матричный элемент энергии возмущения.

([1]гл.7§2п.2,[2][3])

Тема 2.3. Межзонное поглощение света, связанное с прямыми переходами. Разрешенные и запрещенные переходы.

Край поглощения, ее связь с энергетической зонной структурой полупроводника. Расчет матричного элемента перехода. Разрешенные и запрещенные переходы. ([1] гл. 7 §2, [3])

Тема 2.4. Учет влияния кулоновского взаимодействия электрона и дырки на поглощение света при прямых переходах

Закон сохранения волнового вектора при образовании экситона. Экситонное поглощение. Коэффициенты поглощения при разрешенных и запрещенных переходах. Правила отбора ([1] гл. 7 §§2 п.З. [3])

Тема 2.5. Межзонное поглощение света, связанное с непрямыми переходами (фононный механизм поглощения)

Полупроводники с непрямыми зонами. Каналы переходов электронов в непрямозонных полупроводниках ([1] гл. 7 §§ 3 п.1)

Тема 2.6. Поглощение света в полупроводниках с участием примесных центров

Донорные и акцепторные уровни. Коэффициенты поглощения при наличии примесных центров. ([3])

Оптические явления во внешних полях.

Раздел 3. Оптические явления, обусловленные свободными носителями тока

Тема 3.1. Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации.

Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации. Спектры плазменного отражения, анализ экспериментальных данных. Определение эффективных масс для разных законов дисперсии. ([13], гл.5 § 7, гл.8 §2).

Тема 3.2. Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса

Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса. Сечение поглощения, роль разных механизмов рассеяния. Оптические переходы между различными ветвями зоны проводимости и валентной зоны ([1] гл. 7 § 4, [3] гл. 8 § 6)

Раздел 4. Поглощение света во внешних полях

Тема 4.1. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле и (прямые непрямые переходы).

Теория межзонного поглощения в квантующем магнитном поле. Прямые и непрямые переходы. Коэффициент поглощения, правила отбора ([1] гл. 7 § 7 п. 1.)

Тема 4.2. Межзонное поглощение света в скрещенных электрическом и магнитном полях.

Теория межзонного поглощения в скрещенных электрическом и магнитном полях. Коэффициент поглощения, правила отбора ([1] гл. 7 § 7 п. 2.)

Тема 4.3. Поглощение света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша.)

Теория поглощения света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша). Правила отбора ([1] гл. 7 § 8, [5] гл. 8 § 8-4б)

Тема 4.4. Эффект вращения Фарадея.

Явление Фарадея для свободных носителей со скалярной эффективной массой ([1] гл. 7 § 6).

Взаимодействие света с кристаллической решеткой.оптическое поглощение в гетероструктурах.

Раздел 5. Взаимодействие света с кристаллической решеткой.

Тема 5.1. Однофононный резонанс

([3] гл.7 § 3, [4], гл.9, §77)

Тема 5.2. Поляритон, Плазмон-фононный резонанс.

Квазичастица поляритон — фонон оптической ветви плюс фотон. ([1] гл. 7 § 5)

Тема 5.3.Многофононное поглощение света.

([3] гл.7 § 4, [4], гл.9, §78)

Тема 5.4. Рассеяние света колебаниями решетки. Комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана-Ландсберга). Рассеяние на акустических фононах (Манделыштама-Брилюэна)

([4], гл.9, §79)

2.3.3. Краткое содержание практических занятий

Раздел 1. Макроскопическая теория оптики

Практическое занятие 1.

Решение задач на основе уравнений Максвелла

- вывод волнового уравнения в диэлектрике;
- расчёт скорости распространения света и показателя преломления.

Практическое занятие 2.

Модель Лоренца и дисперсия

- расчёт диэлектрической проницаемости в модели Лоренца;
- построение частотной зависимости $\varepsilon(\omega)$

Практическое занятие 3.

Комплексная диэлектрическая проницаемость

- определение действительной и мнимой частей;
- расчёт коэффициентов поглощения и отражения.

Практическое занятие 4.

Соотношения Крамерса–Кронига

- анализ связи между $\varepsilon'(\omega)$ и $\varepsilon''(\omega)$;
- применение правил сумм.

Раздел 2. Микроскопическая теория

Практическое занятие 5.

Энергетические зоны и оптические переходы

- анализ зонной структуры полупроводников;
- определение типа перехода (прямой/непрямой).

Практическое занятие 6.

Матричные элементы переходов

- расчёт вероятности оптических переходов;
- применение правил отбора.

Практическое занятие 7.

Межзонное поглощение

- расчёт коэффициента поглощения для прямых переходов;
- определение края поглощения.

Практическое занятие 8.

Экситонные эффекты

- оценка энергии связи экситона;
- влияние кулоновского взаимодействия на спектры.

Практическое занятие 9.

Непрямые переходы и фононное участие

- анализ процессов с поглощением/испусканием фононов.

Практическое занятие 10.

Примесное поглощение

- расчёт уровней доноров и акцепторов;
- анализ спектров поглощения.

Раздел 3. Свободные носители

Практическое занятие 11.

Плазменные явления

- расчёт плазменной частоты;
- анализ спектров отражения.

Практическое занятие 12.

Поглощение на свободных носителях

- применение соотношения Хагена–Рубенса;
- оценка времени релаксации.

Раздел 4. Внешние поля

Практическое занятие 13.

Поглощение в магнитном поле

- анализ уровней Ландау;
- расчёт коэффициента поглощения.

Практическое занятие 14.

Эффект Франца–Келдыша

- расчёт сдвига края поглощения;
- анализ спектров.

Практическое занятие 15.

Эффект Фарадея

- расчёт угла вращения плоскости поляризации.

Раздел 5. Взаимодействие с решёткой

Практическое занятие 16.

Фононные процессы

- анализ одно- и многофононного поглощения.

Практическое занятие 17.

Поляритоны и плазмон-фононные взаимодействия

- расчёт дисперсионных зависимостей.

Практическое занятие 18.

Рассеяние света

- анализ спектров комбинационного рассеяния (Раман, Бриллюэн);
- интерпретация экспериментальных данных.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория для проведения лекционных и практических занятий

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								

[1] Учебный Модуль

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);

[I] Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., Наука, 1978.

[2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982.

[3] Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М., Мир, 1966.

[4] О.Маделунг, Теория твердого тела, М., Наука,1980

[5] Бассани Ф., Пастори Паравичини Дж. Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах. М., Наука, 1982.

[6] Воробьев Л.Е. и др., Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах. Санкт-Петербург, изд. СПбГТУ, 2000.

[7] Демиховский И.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., "Логос", 2000.

[8] Singh J. Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures. Cambridge Univ. Press, 2003.

Дополнительная литература

[9] Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. Минск, 1975.

[10] Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М., Мир, 1973.

[11] Смит Р. Полупроводники. М, Мир, 1982.

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

4.1. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы:

Раздел 1. Макроскопическая теория

1. Запишите уравнения Максвелла для немагнитной среды и объясните их физический смысл.
2. В чём заключается калибровочная инвариантность в электродинамике?
3. Объясните модель Лоренца и её применение к описанию оптических свойств среды.
4. Что такое дисперсия диэлектрической проницаемости?
5. Каковы физические смыслы действительной и мнимой частей ε(ω)?
6. Сформулируйте соотношения Крамерса–Кронига и их значение.

Раздел 2. Микроскопическая теория

7. Опишите зонную структуру полупроводников и её роль в оптических процессах.
8. Перечислите основные механизмы поглощения света в полупроводниках.
9. Что такое матричный элемент оптического перехода?
10. В чём различие между разрешёнными и запрещёнными переходами?
11. Объясните природу экситонов и их вклад в спектры поглощения.
12. В чём особенности непрямых межзонных переходов?
13. Как примесные уровни влияют на оптические свойства?

Раздел 3. Свободные носители

14. Что такое плазменная частота и от каких параметров она зависит?
15. Опишите механизм поглощения света свободными носителями.
16. Сформулируйте соотношение Хагена–Рубенса.

Раздел 4. Внешние поля

17. Как магнитное поле влияет на оптические переходы?
18. В чём заключается эффект Франца–Келдыша?
19. Объясните физическую природу эффекта Фарадея.

Раздел 5. Взаимодействие с решёткой

20. Что такое фонон и как он участвует в оптических процессах?
21. Объясните природу поляритонов.

22. В чём различие между однофононным и многофононным поглощением?
23. Что такое комбинационное (Раман) рассеяние света?

Задания:

Теоретические задания

1. Вывести волновое уравнение из уравнений Максвелла для диэлектрической среды.
2. Получить выражение для диэлектрической проницаемости в модели Лоренца.
3. Проанализировать связь между показателем преломления и диэлектрической проницаемостью.
4. Вывести формулу для коэффициента поглощения через мнимую часть ε(ω).
5. Рассмотреть правила отбора для межзонных переходов.

Расчётные задания

6. Рассчитать плазменную частоту для заданной концентрации носителей.
7. Определить коэффициент поглощения для прямозонного полупроводника.
8. Оценить энергию связи экситона в модели водородоподобного атома.
9. Рассчитать положение края поглощения в полупроводнике.
10. Оценить изменение спектра при наличии примесных уровней.

Аналитические и исследовательские задания

11. Проанализировать экспериментальный спектр отражения/поглощения и определить параметры материала.
12. Сравнить прямозонные и непрямозонные полупроводники по оптическим свойствам.
13. Исследовать влияние температуры на оптические характеристики.
14. Проанализировать влияние внешнего электрического или магнитного поля на спектры.
15. Подготовить обзор научной статьи по одной из тем курса.

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

Вариант 1 (сложный) – 20 вопросов

1. Какой вид дисперсии наблюдается вблизи резонансной частоты колебательного осциллятора?
   A) Нормальная
   B) Аномальная

C) Отсутствует
D) Линейная

2. Плазменная частота ω_p определяется…
   A) концентрацией свободных носителей и эффективной массой
   B) диэлектрической проницаемостью вакуума
   C) коэффициентом поглощения
   D) только длиной волны света
3. Для экситона в полупроводнике характерно:
   A) энергия связи мала и подчиняется закону водородного атома
   B) энергия связи большая, как у электрона
   C) не существует в полупроводниках с непрямой зоной
   D) полностью зависит от температуры
4. Формула Крамерса-Кронига связывает:
   A) действительную и мнимую части ε(ω)
   B) плазменную частоту и коэффициент отражения
   C) диэлектрическую проницаемость и плотность состояний
   D) коэффициент поглощения и время релаксации
5. Эффект Франца-Келдыша проявляется при:
   A) наложении однородного электрического поля
   B) магнитном поле только
   C) отсутствии поля
   D) температурной зависимости
6. Разрешённые переходы между зонами подчиняются правилу:
   A) отбора по волновому вектору и спину
   B) только по энергии фотона
   C) не подчиняются правилам отбора
   D) только для примесных уровней
7. Поляритон — это:
   A) квазичастица, объединяющая фотон и фонон
   B) фотон в вакууме
   C) электрон в зоне проводимости
   D) экситон с большим временем жизни
8. Эффективная масса носителей влияет на:
   A) плазменную частоту и коэффициент отражения
   B) только на диэлектрическую проницаемость
   C) коэффициент Хагена-Рубенса
   D) ничего не влияет
9. Что характеризует комплексная диэлектрическая проницаемость?
   A) ε' — преломление, ε'' — поглощение
   B) ε' — поглощение, ε'' — преломление
   C) только преломление
   D) только поглощение
10. Раман-эффект связан с:
    A) рассеянием на оптических фононах
    B) поглощением света в магнитном поле
    C) только межзонными переходами
    D) поляризацией света

11. Влияние кулоновского взаимодействия на экситонное поглощение проявляется через:
    A) образование связанных электронно-дырочных пар
    B) изменение длины волны фотона
    C) уменьшение плазменной частоты
    D) исчезновение межзонных переходов
12. В полупроводниках с непрямой зоной переход с поглощением фонона называется:
    A) фононно-оптическим
    B) прямым
    C) запрещённым
    D) резонансным
13. Поглощение света на свободных носителях описывается:
    A) соотношением Хагена-Рубенса
    B) правилом сумм
    C) законом Ома
    D) законом Кирхгофа
14. Что является характеристикой плазменного резонанса?
    A) частота, при которой $\varepsilon(\omega) = 0$
    B) $\varepsilon'' = 0$
    C) $\varepsilon' \to \infty$
    D) коэффициент отражения = 0
15. Влияние примесных центров на оптические свойства:
    A) создаёт дополнительные уровни и линии поглощения
    B) уменьшает скорость света в кристалле
    C) влияет только на магнитные свойства
    D) не влияет
16. Межзонное поглощение в скрещенных E и B полях подчиняется:
    A) правилам отбора для каждой оси поля
    B) только закону сохранения энергии
    C) закону Кулона
    D) не подчиняется никаким правилам
17. В однородном электрическом поле край поглощения:
    A) смещается к меньшим энергиям (эффект Франца-Келдыша)
    B) не изменяется
    C) исчезает
    D) увеличивается
18. Однофононный резонанс наблюдается при:
    A) возбуждении одного оптического фонона
    B) возбуждении множества фононов
    C) плазменной частоте
    D) экситонной энергии
19. Рассеивающий потенциал на акустических фононах называется:
    A) Мандельштама-Бриллюэна
    B) Рамана-Ландсберга
    C) плазменным
    D) экситонным
20. Энергетическая зона полупроводника определяется:
    A) структурой кристаллической решетки
    B) только температурой

C) примесями
D) внешним полем

Вариант 2 (сложный)

1. Как ведёт себя показатель преломления в области аномальной дисперсии?
   A) увеличивается с ростом частоты
   B) уменьшается с ростом частоты
   C) не зависит от частоты
   D) равен нулю
2. Плазменная частота в металле зависит от:
   A) концентрации электронов и их эффективной массы
   B) длины волны падающего света
   C) температуры решётки
   D) коэффициента отражения
3. Для экситонного состояния характерно:
   A) образование связанной пары электрон–дырка
   B) наличие свободных электронов
   C) отсутствие кулоновского взаимодействия
   D) только температурная зависимость
4. Соотношения Крамерса–Кронига следуют из:
   A) принципа причинности
   B) закона сохранения энергии
   C) квантования уровней
   D) уравнения Шрёдингера
5. Эффект Франца–Келдыша связан с:
   A) туннелированием носителей в электрическом поле
   B) взаимодействием с магнитным полем
   C) тепловым возбуждением
   D) рассеянием света
6. Правила отбора при межзонных переходах определяются:
   A) симметрией зон и волновым вектором
   B) только энергией фотона
   C) температурой
   D) концентрацией носителей
7. Поляритон возникает при:
   A) сильной связи фотона с фононом
   B) взаимодействии электрона и дырки
   C) рассеянии света
   D) поглощении фотона
8. Эффективная масса влияет на:
   A) динамику носителей и оптический отклик
   B) только тепловые свойства
   C) только проводимость
   D) не влияет
9. Комплексный показатель преломления описывает:
   A) распространение и затухание волны
   B) только отражение

C) только поглощение
D) только интерференцию

10. Раман-рассеяние связано с:
A) неупругим рассеянием фотонов
B) упругим отражением
C) поглощением энергии
D) туннелированием

11. Экситонное поглощение наблюдается:
A) ниже ширины запрещённой зоны
B) выше зоны
C) только в металлах
D) при высоких температурах

12. В непрямозонных полупроводниках переходы происходят с участием:
A) фононов
B) только фотонов
C) электронов
D) примесей

13. Поглощение свободными носителями связано с:
A) внутриполосными переходами
B) межзонными переходами
C) экситонами
D) фононами

14. Плазменный резонанс наблюдается при:
A) $\varepsilon(\omega) \to 0$
B) $\varepsilon'' = 0$
C) $n = 0$
D) $\alpha = 0$

15. Примеси в кристалле:
A) создают локальные энергетические уровни
B) не влияют на спектр
C) уменьшают ширину зоны
D) устраняют поглощение

16. Внешние поля изменяют:
A) спектр межзонного поглощения
B) только температуру
C) массу электрона
D) решётку

17. В электрическом поле край поглощения:
A) смещается и размывается
B) не изменяется
C) исчезает
D) становится резким

18. Однофононные процессы связаны с:
A) возбуждением одного фонона
B) возбуждением электронов
C) плазменным резонансом
D) экситонами

19. Бриллюэновское рассеяние связано с:
    A) акустическими фононами
    B) оптическими фононами
    C) электронами
    D) фотонами
20. Ширина запрещённой зоны определяется:
    A) структурой кристалла
    B) только температурой
    C) внешним полем
    D) давлением

Вариант 3 (сложный)

1. В области нормальной дисперсии:
    A) $dn/d\omega > 0$
    B) $dn/d\omega < 0$
    C) $dn/d\omega = 0$
    D) случайно
2. Плазменная частота возрастает при:
    A) увеличении концентрации носителей
    B) увеличении температуры
    C) увеличении длины волны
    D) уменьшении заряда
3. Экситон описывается моделью:
    A) водородоподобной
    B) классической
    C) статистической
    D) случайной
4. Соотношения Крамерса–Кронига связывают:
    A) ε' и ε''
    B) α и R
    C) n и λ
    D) ω и T
5. Франц–Келдыш эффект приводит к:
    A) изменению формы края поглощения
    B) исчезновению зоны
    C) увеличению массы
    D) уменьшению ε
6. Правила отбора определяют:
    A) вероятность перехода
    B) энергию фотона
    C) температуру
    D) массу
7. Поляритоны наблюдаются в:
    A) диэлектриках и полупроводниках
    B) только в металлах
    C) вакууме
    D) газах

8. Эффективная масса:
   A) зависит от зонной структуры
   B) постоянна
   C) равна массе электрона
   D) случайна
9. Комплексная ε(ω):
   A) описывает отклик среды
   B) только отражение
   C) только поглощение
   D) только фазу
10. Раман-эффект:
   A) неупругий процесс
   B) упругий
   C) отсутствует
   D) случай
11. Экситоны влияют на:
   A) спектр поглощения
   B) только проводимость
   C) только массу
   D) не влияют
12. Непрямые переходы требуют:
   A) участия фонона
   B) только фотона
   C) температуры
   D) давления
13. Свободные носители дают:
   A) инфракрасное поглощение
   B) ультрафиолетовое
   C) рентгеновское
   D) отсутствует
14. Плазменная частота:
   A) граница прозрачности
   B) энергия зоны
   C) энергия экситона
   D) нет
15. Примеси:
   A) формируют уровни
   B) устраняют зоны
   C) не влияют
   D) увеличивают ω_p
16. Поля вызывают:
   A) сдвиг спектров
   B) исчезновение света
   C) изменение массы
   D) нет
17. Электрическое поле:
   A) размывает край
   B) не влияет

C) усиливает резкость
D) убирает поглощение

18. Однофононный процесс:
A) один квант колебаний
B) много
C) нет
D) случай
19. Бриллюэн:
A) акустические фононы
B) оптические
C) электроны
D) нет
20. Зонная структура:
A) определяется решёткой
B) температурой
C) давлением
D) полем

Вариант 4 (сложный)

1. Аномальная дисперсия возникает при:
A) резонансе
B) низких частотах
C) высоких температурах
D) отсутствии поглощения
2. Плазменная частота определяется:
A) концентрацией и массой носителей
B) температурой
C) длиной волны
D) давлением
3. Экситон — это:
A) связанная электронно-дырочная пара
B) свободный электрон
C) фонон
D) дефект
4. Крамерс–Кронига:
A) связь ε' и ε"
B) связь α и R
C) связь n и T
D) связь ω и λ
5. Франц–Келдыш:
A) влияние электрического поля
B) магнитного
C) теплового
D) давления
6. Правила отбора:
A) ограничивают переходы
B) запрещают все переходы

C) не действуют
D) случайны

7. Поляритон:
   A) фотон + фонон
   B) электрон
   C) атом
   D) дырка
8. Эффективная масса влияет на:
   A) динамику носителей
   B) только температуру
   C) только давление
   D) не влияет
9. ε' отвечает за:
   A) преломление
   B) поглощение
   C) рассеяние
   D) отражение
10. Раман:
    A) неупругое рассеяние
    B) упругое
    C) нет
    D) случай
11. Экситон:
    A) кулоновское взаимодействие
    B) отсутствует
    C) случай
    D) слабое
12. Непрямые переходы:
    A) с фононами
    B) без фононов
    C) невозможны
    D) случай
13. Свободные носители:
    A) инфракрасное поглощение
    B) видимое
    C) нет
    D) случай
14. Плазменный резонанс:
    A) $\varepsilon=0$
    B) $\varepsilon=\infty$
    C) $\varepsilon''=0$
    D) $\alpha=0$
15. Примеси:
    A) уровни в щели
    B) нет
    C) зоны
    D) случай

16. Поля:
    A) изменяют спектры
    B) нет
    C) уменьшают массу
    D) случай
17. Электрическое поле:
    A) смещает край
    B) нет
    C) усиливает
    D) исчезает
18. Фонон:
    A) квант колебаний
    B) электрон
    C) фотон
    D) дырка
19. Бриллюэн:
    A) акустические фононы
    B) оптические
    C) электроны
    D) нет
20. Зонная структура:
    A) решётка
    B) T
    C) P
    D) поле

Ключи ответов:
Вариант 1
B A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
Вариант 2
B A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
Вариант 3
A A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
Вариант 4
A A A A A A A A A A A A A A A A A A A A

4.3. Перечень зачетных вопросов

5. Теория Лоренца-Зинера.
6. Дисперсия дилектрической проницаемости.
7. Аналитические свойства диэлектрической проницаемости.
8. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Правило сумм.
9. Особенности энергетических зон полупроводников. Механизмы поглощения света в полупроводниках.
10. Гамильтониан электрона в кристаллах в поле электромагнитной волны. Энергия возмущения.

11. Межзонное поглощение света, связанное с прямыми переходами. Разрешенные и запрещенные переходы.
12. Экситонное поглощение. Правила отбора.
13. Межзонное поглощение света, связанное с непрямыми переходами (фононный механизм поглощения).
14. Поглощение света в полупроводниках с участием примесных центров.
15. Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации. Определение эффективных масс для разных законов дисперсии.
16. Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса.
17. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле (прямые и непрямые переходы).
18. Межзонное поглощение света в скрещенных электрическом и магнитном полях, правила отбора.
19. Поглощение света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша). Правила отбора.
20. Эффект вращения Фарадея для свободных носителей.
21. Однофононный резонанс.
22. Поляритон. Плазмон-фононный резонанс.
23. Квазичастица поляритон — фонон оптической ветви плюс фотон.
24. Многофононное поглощение света.
25. Рассеяние света колебаниями решетки. Рассеяние Рамана-Ландсберга. Рассеяние Мандельштама-Брилюэна.

25.1. Образцы билетов

МОО ВО Российско-Армянский университет
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Оптические свойства твердых тел
(бакалавриат IV-ый курс, I-ый семестр)

Билет № **

1. Аналитические свойства диэлектрической проницаемости.
2. Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса.
3. Поляритон. Плазмон-фононный резонанс.

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.