

**«УТВЕРЖДАЮ»**

И.о. декана физического факультета МГУ

профессор Белокуров В.В.



**БИЛЕТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

**Направление подготовки 03.04.02 «Физика»**

**Магистерская программа**

**«ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ, ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ И СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»**

### Билет № 1

1. Нелинейная поляризация среды в поле интенсивного лазерного излучения. Среда с квадратичной нелинейностью. Оптическое детектирование и генерация гармоник.
2. Статистические явления в оптике. Распределения случайных величин. Спектральное представление случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина.
3. Определить оптимальную мощность и максимальную дальность работы когерентной оптической DWDM системы связи (80 каналов по 100 Гбит/с) на длине волны 1550 нм. Требуемый OSNR ( $OSNR_R$ ) приемо-передающей системы 12 дБ, длина пролетов 100 км, затухание в волокне 0,2 дБ/км, шум-фактор оптического усилителя 6 дБ, коэффициент нелинейного шума  $\eta = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}^{-2}$

### Билет № 2

1. Понятие об экситонах в твердых телах. Типы экситонов, их свойства, особенности спектров поглощения.
2. Принцип когерентного детектирования и структура интегрированного когерентного приемника с поляризационной диверсификацией.
3. Рассчитать критические углы полного внутреннего отражения для светодиодов на основе GaAs, GaN и полимерного материала, показатели преломления соответственно равны 3,4; 2,5 и 1,5. Определить долю света, выходящего за пределы кристаллов указанных материалов. Оценить, как изменится доля выходящего света, если кристалл GaAs поместить в герметичный корпус. Отражением света на границе полимер-воздух пренебречь.

### Билет № 3

1. Механизмы локализации света и типы планарных волноводов: металлические, диэлектрические и брэгговские волноводы. Зависимость постоянной распространения металлического волновода от длины световой волны.
2. Рекомбинация носителей в полупроводниках. Излучательная рекомбинация, безизлучательная рекомбинация. Излучательная рекомбинация носителей при низком и высоком уровне возбуждения.
3. Определить время жизни неосновных носителей в GaAs p-типа при концентрациях легирующих примесей  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Коэффициент бимолекулярной рекомбинации  $B = 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$ . Оценить время жизни носителей в беспримесном GaAs, если концентрация носителей составляет  $n_0 = p_0 = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

### Билет № 4

- Оптические характеристики светодиодов. Спектр излучения. Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения. Кривая светораспределения, Ламбертовское распределение излучения.
2. Сингулярные элементы в структуре световых полей. Каустики и винтовые дислокации волнового фронта. Методы регистрации винтовых дислокаций.
  3. Найти длины волн отсечки первых 5 поперечных мод распространения планарного волновода толщиной  $d = 2 \text{ мкм}$  с идеальными металлическими зеркалами. Найти зависимости фазовой и групповой скоростей распространения первых 5 поперечных мод от длины волны. При какой длине волны фазовая скорость 2-ой моды совпадает с фазовой скоростью 1-ой (основной) моды с длиной волны  $\lambda = 1500 \text{ нм}$ ? Пространство между зеркалами – вакуум.

### Билет № 5

1. Свойства устойчивых и неустойчивых оптических резонаторов. Кольцевые резонаторы.
2. Светодиоды в волоконной оптике и системах связи. Соединение светодиода с оптическим волокном при помощи линз. Беспроводные оптические системы связи. Глаз-диаграмма.
3. Найти число отличных от нуля компонент амплитуды немагнитного резонансного диполь-дипольного рассеяния рентгеновского излучения для атома, окружение которого имеет симметрию  $4m$ .

### Билет № 6

1. 1. Нелинейная поляризация в среде с кубичной нелинейностью. Самовоздействие света.
2. 2. Динамические характеристики светодиодов. Время нарастания и спада сигналов, частота по уровню 3дБ и полоса пропускания в теории линейных цепей. Время нарастания и спада оптического сигнала при большой и малой емкости светодиодов. Уход носителей из активной области. Время жизни носителей и частота по уровню 3 дБ.
3. 3. Излучение представляет собой набор большого числа цугов волн, имеющих вид:  $E(t) = E_0 \sin(\omega_0 t + \varphi/2)$ . Начальная фаза  $\varphi$  распределена равномерно на отрезке  $[0, 2\pi]$ .  
Найти спектр мощности излучения. Энергию инжекции принять равной 440 МэВ/нуклон.

### Билет № 7

1. Влияние температуры активной области полупроводникового кристалла на спектральные характеристики светодиода. Зависимость длины волны в максимуме спектра излучения и его положения от температуры р-п перехода. Определение температуры носителей по наклону спектральной характеристики в области высоких энергий.
2. Формирование спекл-полей при взаимодействии света с диффузными объектами. Физическая природа спеклов и их размеры. Спекл-интерферометрия.
3. Чему равна когерентная длина генерации второй гармоники излучения рубинового лазера с длиной волны 694,3 нм в нелинейной среде с показателями преломления, равными 1,584 на длине волны 347,2 нм и 1,562 на длине волны основного излучения?

### Билет № 8

1. Дифракционные оптические элементы. Использование принципов адаптивной оптики при фокусировке излучения.
2. Принцип работы и структура волоконно-оптических систем связи. Принципы увеличения скорости передачи информации: временное и спектральное мультиплексирование.
3. Оценить, во сколько раз амплитуда магнитного нерезонансного рассеяния синхротронного излучения для энергии 10 кэВ отличается от атомной амплитуды рассеяния.

### Билет № 9

1. Моды свободного пространства. Параболическое приближение. Свойства основной моды и мод высших порядков.
2. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) в средах с кубичной нелинейностью. Порог возбуждения ВКР. Стоксовы и антистоксовы компоненты ВКР.
3. Мнимая часть диэлектрической проницаемости модельной системы  $\varepsilon_2(\eta\omega)$  равна нулю везде, кроме области энергий фотонов от 4 до 8 эВ, в которой  $\varepsilon_2(\eta\omega)=2$ . Найти коэффициент преломления системы в далекой инфракрасной области.

### Билет № 10

1. Методы линейного и кругового рентгеновского дихроизма и их применение для исследования магнитных структур.
2. Временная и пространственная когерентности. Комплексная степень когерентности света. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Звездный интерферометр Майкельсона.
3. InP – прямозонный полупроводник. Его ширина запрещенной зоны при комнатной температуре составляет 1,35 эВ. Коэффициент поглощения при 775 нм равен  $3,5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$ . Рассчитайте пропускание плоскопараллельного образца толщиной 1 мкм на длине волны 620 нм, отражением можно пренебречь (просветляющее покрытие с обеих сторон).

### Билет № 11

1. Требуемый OSNR приемо-передающей системы. Методика измерения требуемого OSNR приемо-передающей системы. Дальность работы однопролетной и многопролетной линии связи в линейном режиме.
2. Статистика фотоотсчетов в случайном световом поле. Функция распределения фотоотсчетов. Формула Манделя.
3. Определить апертуру светодиода при вводе его излучения в оптоволокно при помощи линзы. Диаметр круговой излучательной области светодиода равен  $D = 20 \text{ мкм}$ , числовая апертура кварцевого оптоволокна равна  $NA=0,2$ , диаметр сердцевины оптоволокна  $I=62,5 \text{ мкм}$ . Оценить мощность излучения вводимого в оптоволокно, если мощность светодиода равна  $P = 1 \text{ мВт}$ .

### Билет № 12

1. Особенности распространения света в круглых волоконных световодах в линейном режиме.
2. Детерминированный хаос в оптических системах. Природа детерминированного хаоса и методы его описания. Странные аттракторы.
3. Линия поглощения дефекта в кристалле при комнатной температуре имеет гауссову форму с шириной на полувысоте 0,3 эВ. Какую ширину будет иметь линия поглощения того же дефекта при температуре  $300^\circ\text{C}$ , если энергия продольного оптического фонона 10 мэВ?

### Билет № 13

1. В методе фотоэлектронной спектроскопии, что позволяют исследовать CIS (Constant Initial State) и CFS (Constant Final State) спектры? Какие источники возбуждения необходимы для реализации этих методик?
2. Особенности возбуждения нелинейных эффектов в волоконных световодах.
3. Какова пороговая интенсивность  $I_{\text{пор}}$  лазерного пучка для возбуждения первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного рассеяния в жидком азоте (удельный коэффициент усиления ВКР  $b = 0,02 \text{ МВт}^{-1} \times \text{см}$ ) при длине нелинейной среды  $l = 5 \text{ см}$ .

### Билет № 14

1. Дефекты в твердых телах. Спектры поглощения и люминесценции с учетом электрон-фононного взаимодействия.
2. Какие процессы определяют световыход сцинтиллятора при высокоэнергетическом возбуждении?
3. Найти ширину полосы пропускания светодиода  $\Delta f = f_{3\text{дБ}}$ . Считать, что  $|H_{\text{LED}}^2(2\pi f_{3\text{дБ}})| = \frac{1}{2}$ ,  $\tau_{\text{rise}} = \tau_{\text{fall}} = \ln(9) \tau = 2,2\tau$

Определить полосу пропускания светодиода со временем нарастания сигнала  $\tau_{\text{rise}} = 1,75 \text{ нс}$ .

### Билет № 15

1. Рассеяние рентгеновского излучения свободным электроном, атомом. Атомный и структурный факторы.
2. Принцип работы и структура волоконно-оптических систем связи. Принципы увеличения скорости передачи информации: временное и спектральное мультиплексирование.
3. На рисунке представлен фотоэлектронный спектр германия, на поверхности которого образовалась пленка GeO. Объясните, почему соотношение пиков, соответствующих Ge0 и Ge2+, различается для 2p и 3d пиков.

