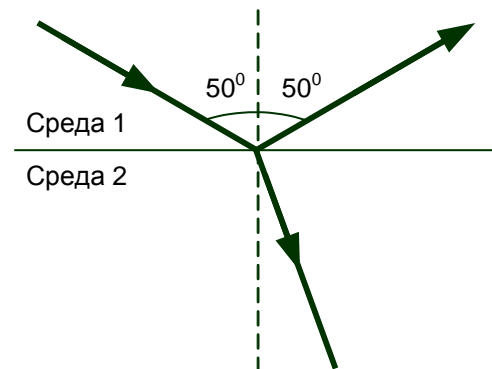


## Задания для практических занятий по дисциплине «Волоконно-оптические линии связи»

### По разделу 2 «Физические основы процессов распространения света в оптических волокнах»

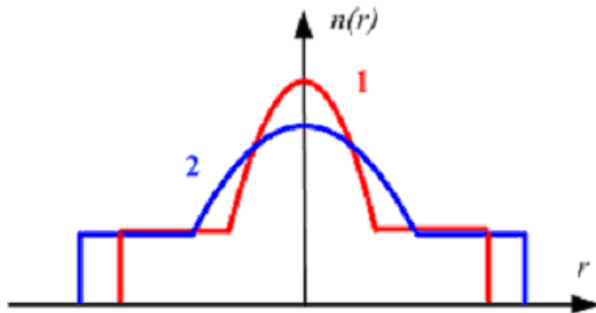
1. Свет падает на границу раздела флинта (показатель преломления равен 2.2) и воздуха со стороны флинта под углом  $60^\circ$ . Определите энергетические коэффициенты отражения и пропускания границы раздела.
2. Фазовые скорости света в двух веществах связаны соотношением  $2.5 \cdot V_{p1} = 1.6 \cdot V_{p2}$ . Как соотносятся показатели преломления в этих веществах?
3. На пластину, изготовленную из вещества с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 1.9, из воздуха падает параллельный пучок света частотой  $2.8 \cdot 10^{14}$  Гц. Найдите частоту и длину волны света в веществе.
4. В воду ( $n = 1.3$ ) поместили стеклянную пластину ( $n = 1.52$ ). Свет, падая на пластину из воды, преломляется в стекле под углом  $19^\circ$ . Найдите углы падения и отражения.
5. Свет падает на плоскую границу раздела двух сред, одной из которых является алмаз ( $n = 2.4$ ), под критическим углом полного внутреннего отражения, равным  $41^\circ$ . Найдите показатель преломления второй среды.
6. Фазовая скорость света в среде 2 в 1.5 раза больше фазовой скорости света в среде 1. Могут ли отраженный и преломленный лучи вести при данном угле падения себя так, как показано на рисунке? Обоснуйте свое мнение. Если Вы считаете, что рисунок сделан неправильно, нарисуйте правильный вариант.



### По разделу 4 «Затухание в оптических волокнах»

1. Оцените правильность утверждения: *С увеличением энергии квантов, распространяющегося по волокну излучения, коэффициент затухания, обусловленный релеевским рассеянием, уменьшается.* Объясните свое мнение.
2. Коэффициент затухания оптического волокна составляет 1.4 дБ/км. Сигнал, проходя по волокну, ослабляется в 24 раза. Найдите длину волокна.
3. При подключении к волокну измерительных источников излучения с мощностью 7 мВт и разными длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  мощность сигнала на выходе составила -19 и -8 дБм соответственно. Коэффициент затухания на длине волны  $\lambda_1$  равен 0.4 дБ/км. Найдите коэффициент затухания на длине волны  $\lambda_2$ .
4. Длина волокна 18 км. Коэффициент затухания на рабочей длине волны 1310 нм составляет 0.7 дБ/км. В результате реконструкции рабочей стала длина волны 1550 нм, где коэффициент затухания составляет 0.22 дБ/км. Средняя мощность источника излучения составляет 4 мВт. Максимально допустимая мощность сигнала на входе фотоприемника -6 дБм. Будет ли теперь линия работать? Какие меры необходимо принять для восстановления связи?

### По разделу 5 «Многомодовые оптические волокна»



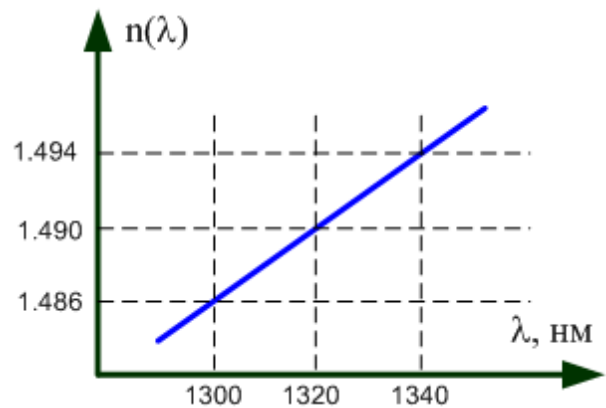
1. На рисунке слева показаны профили показателя преломления двух многомодовых волокон. Какое из них обладает большей широкополосностью? Показатели степенного профиля волокон считать одинаковыми. Поясните свой ответ или объясните, почему Вы считаете, что на данный вопрос нельзя ответить.

2. Апертура ступенчатого многомодового волокна при вводе излучения

из воздуха равна  $15^\circ$ . Его нормированная частота на длине волны 0.9 мкм равна 78. Найдите диаметр сердцевины.

3. Найдите групповой показатель преломления на длине волны 1310 нм по зависимости, показанной на рисунке справа.

4. Длина многомодового волокна составляет 600 м. Максимальная скорость, с которой можно передавать данные по этому волокну без регенерации, составляет 1.5 Гбит/с. Какой должна быть длина волокна, чтобы уширение импульса составило 3 нс? С какой максимальной скоростью можно передавать данные на это расстояние без регенерации? Считать, что используется безызыточное двоичное кодирование.



### По разделу 6 «Одномодовые оптические волокна»

1. В таблице представлены характеристики волокна с ненулевой смещенной дисперсией. На длине волны 1550 нм волокно работает в одномодовом режиме. Будет ли это волокно одномодовым, если рабочая длина волны составляет 1310 нм? Объясните свое мнение.

Параметр	Значение
Затухание на длине волны 1550 нм, дБ/км	0.22
Затухание на длине волны 1310 нм, дБ/км	0.5
Длина волны отсечки, нм	1400
Длина волны нулевой дисперсии, нм	1560
Наклон нулевой дисперсии, пс/нм <sup>2</sup> *км	0.092

2. Нормированная частота на длине волны 0.8 мкм равна 3. Найти длину волны отсечки.

3. Хроматическая дисперсия одномодового волокна, работающего на длине волны 1310 нм, равна 15 пс/(нм\*км). Ширина спектра сигнала равна 100 ГГц. Известно, что уширение оптического импульса составляет 60 пс. Какова длина волокна?

4. Длина волоконно-оптической линии составляет 400 км. Хроматическая дисперсия составляет 4 пс/(нм\*км). Используется система передачи STM-16 (скорость 2.5 Гбит/с). Найти длину регенерационного участка по дисперсии и минимальное число участков для источников с шириной спектра 1 нм и 5 нм. Считать, что длительность входного оптического импульса равна одной трети тактового интервала. Рабочая длина волны 1550 нм.

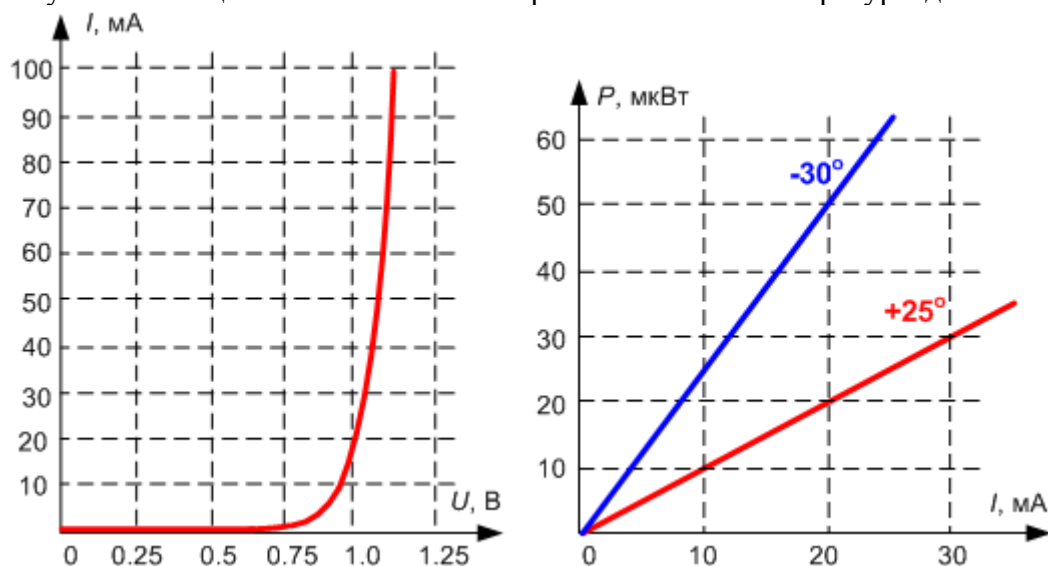
- Поляризационная модовая дисперсия составляет  $2 \text{ пс/км}^{0.5}$ . Длина линии 100 км. Определить, с какой максимальной скоростью можно передавать данные по этой линии без регенерации.

#### По разделу 7 «Пассивные оптические компоненты»

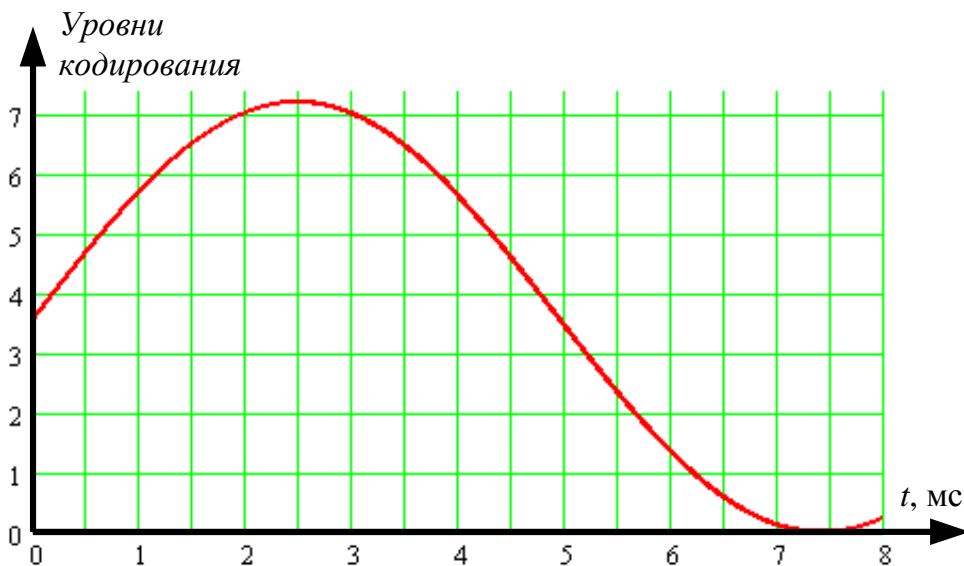
- Пассивное устройство имеет 1 вход и 2 выхода. При подаче на вход сигнала с длиной волны 1310 нм и мощностью 10 мВт на обоих выходах появляется сигнал мощностью 4.5 мВт. При подаче на вход сигнала с длиной волны 1550 нм и мощностью 10 мВт на обоих выходах также появляется сигнал мощностью 4.5 мВт. Может ли это устройство быть мультиплексором WDM для длин волн 1310 и 1550 нм? Объясните свое мнение.
- Вносимые оптическим attenuатором потери составляют 16 дБ, возвратные потери составляют 39 дБ. Мощность излучения, падающего на attenuатор из линии, равна 20 мВт. Найти мощность излучения на выходе attenuатора и отраженную мощность.
- В паспорте на многомодовое волокно 50/125 приведены следующие параметры: диаметр сердцевины  $50 \pm 2.5 \text{ мкм}$ , диаметр оболочки  $125 \pm 1 \text{ мкм}$ , эксцентриситет сердцевина/оболочка  $\leq 1.5 \text{ мкм}$ , коэффициент затухания на длине волны 850 нм  $2.4 \pm 0.1 \text{ дБ/км}$ . Найдите максимальные потери в сварном соединении, считая, что они обусловлены только различием параметров соединяемых волокон.
- Оптический разветвитель имеет 1 вход и 2 выхода. Были проведены следующие измерения: 1. На вход разветвителя подавался сигнал мощностью 20 мВт и измерялись мощности сигналов на выходах, они оказались равными 3.9 и 4.1 мВт соответственно. 2. Сигнал мощностью 20 мВт подавался на выход 1 и измерялись мощности на входе и выходе 2, они составили 4.0 мВт и 2 мкВт соответственно. 3. Сигнал мощностью 20 мВт подавался на выход 2 и измерялись мощности на входе и выходе 1, они составили 4.2 мВт и 1.5 мкВт соответственно. 4. Отражение от входа и выходов не превышает 0.5%. Составьте матрицу потерь разветвителя.

#### По разделу 8 «Передающие устройства ВОЛС»

- Ширина запрещенной зоны полупроводника составляет 1.87 эВ. Определите центральную длину волны излучения и ширину спектра светоизлучающего диода, изготовленного из этого полупроводника, если его температура равна  $30^\circ\text{C}$ ?
- На рисунке представлены ваттамперные и вольтамперные характеристики светоизлучающего диода. Температура составляет  $-30^\circ\text{C}$ . Напряжение смещения составляет 1 В. Насколько нужно изменить напряжение смещения для того, чтобы излучаемая мощность не изменилась при повышении температуры до  $+25^\circ\text{C}$ ?



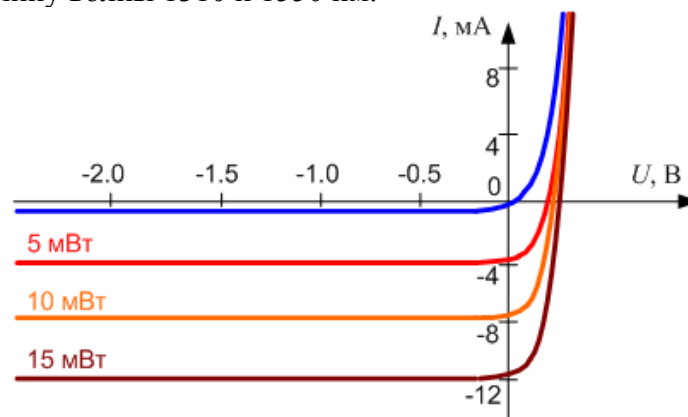
5. Лазер Фабри-Перо имеет длину резонатора 1 мм. В качестве активной среды используется фосфид индия (показатель преломления равен 3.1, максимальное усиление наблюдается на длине волны, которая в вакууме составляет 0.93 мкм). Коэффициенты отражения от зеркал резонатора равны 1 и 0.5. Найти 1) расстояние между соседними модами, 2) ширину спектра одной моды лазера по частоте и длине волны.
6. Пороговый ток накачки лазерного диода при характеристической температуре 246 К равен 70 мА. Температура диода составляет 40°C. Определить мощности излучения при токах через диод 85 и 120 мА, если крутизна ваттамперной характеристики при малых токах накачки равна 20 мкВт/мА, а в режиме лазерной генерации – 200 мкВт/мА.
7. По сети, в которой реализована скорость 25 Мбит/с, передаются 10 аналоговых сигналов, преобразованных в цифровую форму с помощью импульсно-кодовой модуляции (4-разрядное двухуровневое кодирование) и уплотненных по времени. Найдите максимально возможную верхнюю частоту в спектре одного сигнала, если спектры всех сигналов имеют одинаковую верхнюю частоту.
8. Спектр аналогового сигнала на рисунке ограничен сверху частотой 1 кГц. Представьте сигнал в цифровой форме с использованием 3-разрядного двухуровневого кодирования. Определите для него скорость передачи.



9. Ваттамперная характеристика (ВтАХ) светоизлучающего диода (СИД) в диапазоне рабочих токов имеет вид:  $P = k_p I$ , где  $P$  – мощность излучения,  $I$  – ток через диод,  $k_p$  – крутизна ВтАХ. Осуществляется внутренняя модуляция СИД. Средний ток через СИД составляет 50 мА. Определить среднюю мощность излучения, глубину модуляции, амплитуду изменения тока через СИД и пределы изменения напряжения смещения, если коэффициент экстинкции составляет 10. Известно, что тепловой ток через диод равен 50 нА, температура диода 25°C, крутизна ВтАХ равна 10 мкВт/мА. Коэффициент рекомбинации принять равным 2.
10. Какую амплитуду должно иметь переменное напряжение, прикладываемое к электрооптическому фазовому модулятору на основе пленки ниобата лития ( $n_0 = 2.2$ ) длиной  $L = 10$  мм и толщиной  $d = 0.01$  мм, для получения глубины модуляции 80 и 100%? Длина волны излучения равна 1.55 мкм, постоянная Погкельса ниобата лития составляет  $3.7 \cdot 10^{-12}$  м/В.

### По разделу 9 «Приемные устройства ВОЛС»

1. Фотодиод (ФД) с квантовой эффективностью 0.8 принимает непрерывное оптическое излучение мощностью 0.2 мВт, имеющее длину волны 1310 нм. Определите среднее число фотонов, падающих на фоточувствительную площадку ФД в единицу времени, токовую чувствительность ФД, среднее значение фототока. Постройте график зависимости токовой чувствительности ФД от длины волны в диапазоне 1200–1500 нм. Ширина запрещенной зоны полупроводника, из которого изготовлен ФД, составляет 0.85 эВ.
2. На рисунке слева показано семейство вольтамперных характеристик ФД p-i-n структуры для излучения с длиной волны 1310 нм. ФД подключен ко входу усилителя фототока (УФТ), построенного по трансимпедансной схеме. Обратное напряжение смещения к ФД не приложено. Величина сопротивления в цепи обратной связи УФТ составляет 100 Ом. Осуществляется прием излучения с двухуровневой амплитудной модуляцией, мощность излучения при передаче логической «1» составляет 2 мВт, при передаче логического «0» – 0.2 мВт. Определить пределы изменения выходного напряжения УФТ, для излучения, имеющего длину волны 1310 и 1550 нм.



3. ФД подключен ко входу УФТ, построенного по трансимпедансной схеме. К ФД приложено обратное напряжение смещения 0.5 В. Осуществляется прием оптического сигнала со средней мощностью 100 мкВт, длиной волны 1550 нм и шириной спектра 0.2 нм. Токовая чувствительность ФД на рабочей длине волны составляет 0.8 А/Вт. Температура ФД 30°C, тепловой обратный ток при этой температуре 100 нА. Величина сопротивления в цепи обратной связи УФТ составляет 120 Ом. Спектральные плотности шумового тока УФТ и шумового напряжения УФТ, приведенные ко входу операционного усилителя (ОУ), составляют  $3.6 \cdot 10^{-26} \text{ A}^2/\text{Гц}$  и  $4.0 \cdot 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Гц}$  соответственно. Определить СКО шумового тока, пороговую мощность ФД и отношение сигнала к шуму.