

# Распространение света в оптоволокне

Выполнила: Кременецкая Ольга, гр. 21611

# Определения

- Оптоэлектроника — раздел физики и техники, связанный с преобразованием электромагнитного излучения оптического диапазона в электрический ток и обратно.
- Оптическое волокно — нить из оптически прозрачного материала, используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.
- Волоконная оптика — раздел прикладной науки и машиностроения, описывающий такие волокна.

# Преимущества и недостатки ВОЛС

## ● Преимущества оптоволоконна:

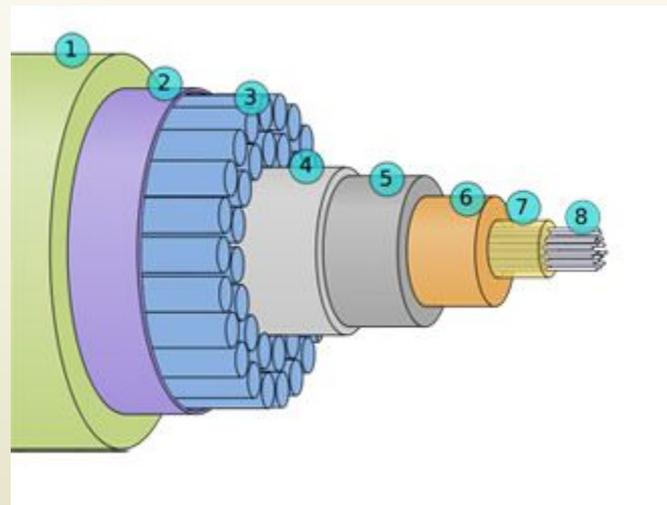
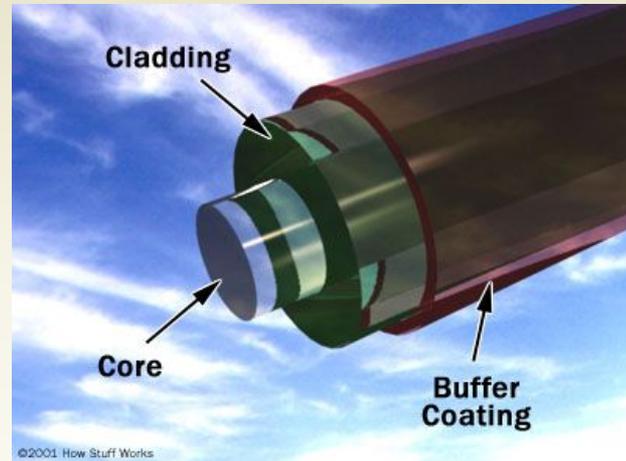
- Высокая частота передачи сигнала → широкая полоса пропускания → высокая скорость передачи информации (теоретически – до 1 Тбит/с);
- Увеличение скорости в 2 раза: передача сигнала одновременно в двух направлениях, использование волн двух перпендикулярных поляризаций.
- Частотное уплотнение по оптоволоконным линиям связи - передача разных сигналов на разных длинах волн.
- Низкие потери (0,2-0,3 дБ/км при  $\lambda=1,55$ ). Потери не зависят от частоты передачи сигнала;
- Нечувствительность к электромагнитным помехам → отсутствие искажений;
- Малый вес и размер;
- Пожаро- и взрывобезопасность;
- Сложность прослушки сигнала без нарушения приема/передачи → информационная безопасность (???)

## ● Недостатки ВОЛС:

- Хрупкость;
- Сложность изготовления;
- Снижение эффективности с течением времени;
- Дороговизна оборудования, монтажа и обслуживания.

# Устройство оптоволокна

- 2 слоя:
  - сердцевина
  - оболочка
  - + защитная оболочка.
- Строение подводного оптоволоконного кабеля:
  1. Полиэтилен.
  2. Лавсановая плёнка.
  3. Витые стальные провода.
  4. Алюминиевый "водный барьер".
  5. Поликарбонат.
  6. Медная или алюминиевая трубка.
  7. Углеводородный гель.
  8. Оптоволокно.

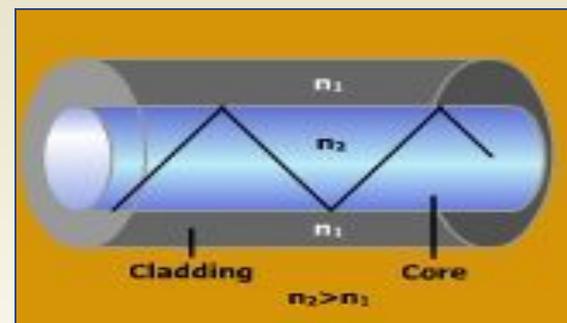


# Устройство оптоволокна

- Передача света в оптоволокне – эффект полного внутреннего отражения  $\rightarrow n_2 >$

$n_1$ .

- Например:  $n_1 = 1.474, n_2 = 1.479$
- Разница между  $n_1$  и  $n_2 \sim 1\%$
- В стеклянном волокне  $n$  меняется с помощью легирования:
  - $B_2O_3, F$  – уменьшают  $n$ ;
  - $GeO_2, P_2O_5$  – увеличивают  $n$ .



- По материалу оптоволокно делится на

- стеклянные волокна;
- стеклянные волокна с пластиковой оптической оболочкой (PCS);
- пластиковые волокна.

- Стандартные диаметры сердцевины и оболочки (мкм):

- Обозначения: 8/125, 62.5/125...
- диаметр человеческого волоса  $\approx 100$  мкм.

Материал	Длина волны в вакууме	Показатель преломления
Стекло	850	1,4525
	1300	1,4469
	1550	1,4440
GaAlAs	850	3,6
Пластик	650	1,4-1,5

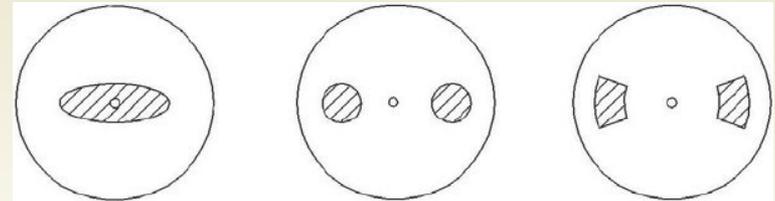
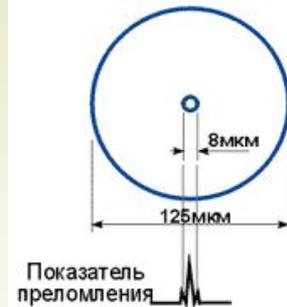
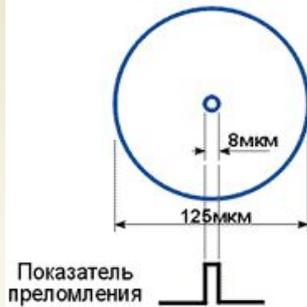
  

Ядро	Оболочка
8	125
50	125
62,5	125
100	140

# Типы оптоволокна

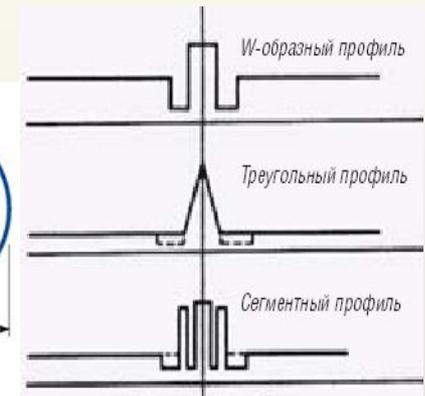
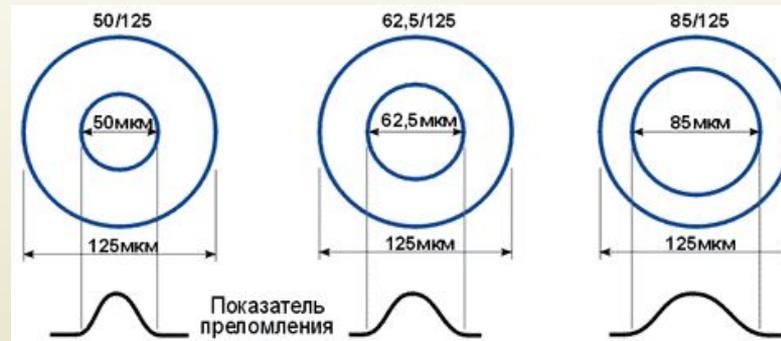
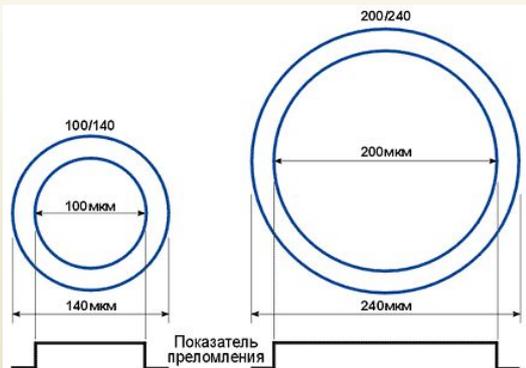
## 1. Одномодовое

- диаметр сердцевины 7-9 мкм.



- 1) ступенчатое (SF) дисперсией (DSF)
- 2) со смещенной дисперсией (NZDSF)
- 3) с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF)
- 4) с сохранением поляризации  
■ напрягающие оболочки

## 3. Многомодовое:

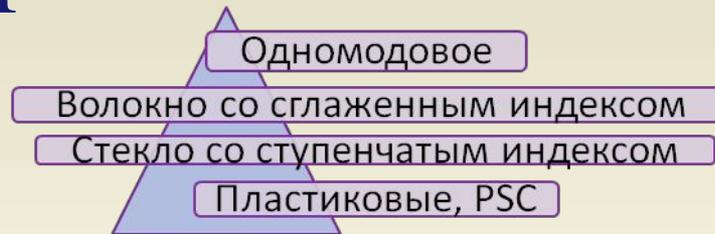


- 1) Ступенчатое  
■ d сердцевины 100 – 970 мкм.
- 2) Градиентное  
d сердцевины 50, 62.5, 85 мкм.

Иногда - более сложная структура профиля.

# Дисперсия сигналов в оптоволокне

Качество  
оптоволокон  
а:



Качество:

- Потери
- Полоса пропускания
- Информационная емкость

*Дисперсия – расплывание светового импульса по мере его движения по оптоволокну*

## 1. Модовая

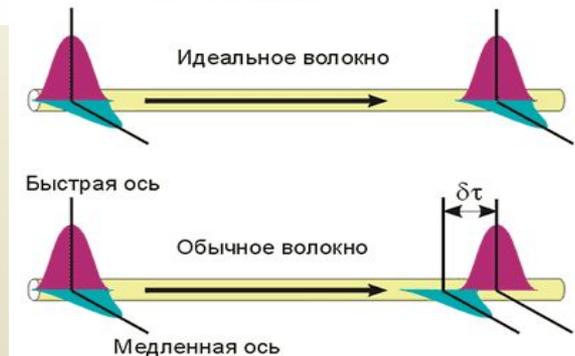
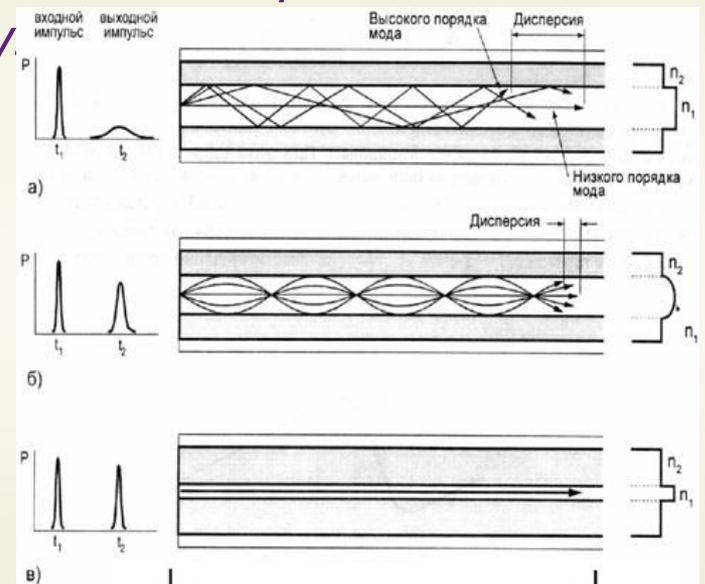
- Причина: лучи с разными углами падения проходят различные расстояния.
- Только в многомодовых системах.

## 2. Хроматическая:

- 1) Материальная (молекулярная)
  - Причина: зависимость  $n$  световода от  $\lambda$
- 2) Волноводная
  - Причина: ~20% энергии распространяется по оболочке. Зависит от геометрических и др. свойств волновода.

## 3. Поляризационная

- Причина: различная скорость двух взаимно перпендикулярных поляризационных составляющих моды
- Проявляется в одномод. системах при  $v > 2,4$  Гбит/с.



# Затухание сигнала

Закон Бугера:  $W(L) = W_0 e^{-\alpha L}$  ,

$W_0$  – сигнал на входе,  $\alpha$  - коэффициент затухания (дБ/км),  $L$  – длина волокна.

Одномодовое волокно:  $\alpha \sim 0.2$  дБ/км, пластиковое:  $\alpha \sim 300$  дБ/км.

Причины потерь мощности:

## ● Поглощение

- собственное поглощение в материале световода

Причины: в УФ-области – переходы между энергетическими уровнями атомов, в ИК-области – многофотонные и колебательные возбуждения молекул;

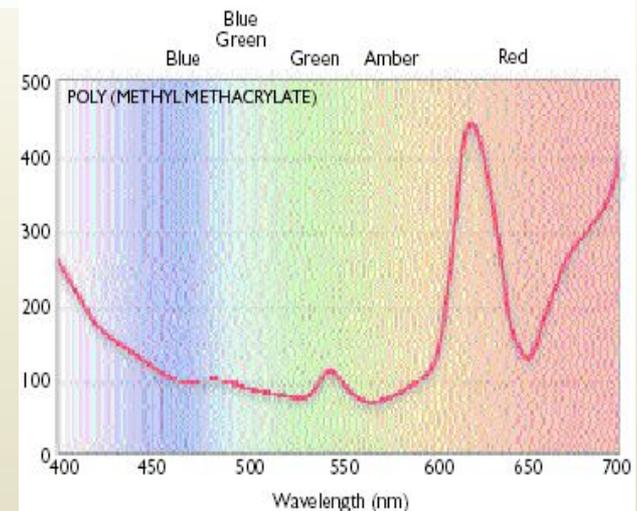
- $\text{SiO}_2$ :  $\lambda = 9.2$  мкм, гармоники: 2.2, 3.8, 4.4 мкм.

- примесное

концентрация примеси  $10^{-6}$  вес.ч.:

Примесный ион	Потери, дБ/км	$\lambda$ пика поглощения
$\text{Fe}^{2+}$	0.68	1.1
$\text{Fe}^{2+}$	0.15	0.4
$\text{Cu}^{2+}$	1.1	0.85
$\text{Cr}^{3+}$	1.6	0.625
$\text{V}^{4+}$	2.7	0.725
$\text{OH}^-$	1.0	0.95
$\text{OH}^-$	2.0	1.24
$\text{OH}^-$	4.0	1.38

- потери на дефектах атомной решетки.



# Затухание сигнала

Причины потерь мощности:

- Рассеяние:

- рассеяние Релея (на микрочастицах с размерами  $d \ll \lambda$ ),

- $\sim \lambda^{-4}$

- рассеяние Ми ( $d \gg \lambda$ )

- минимальный теоретический предел затухания:

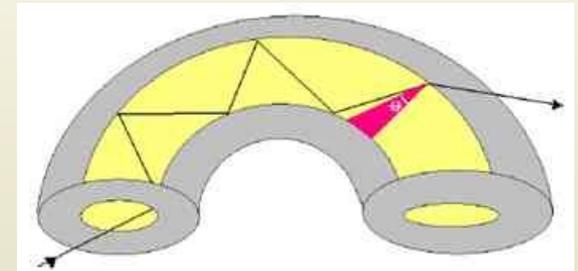
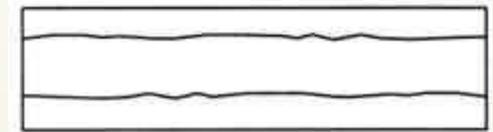
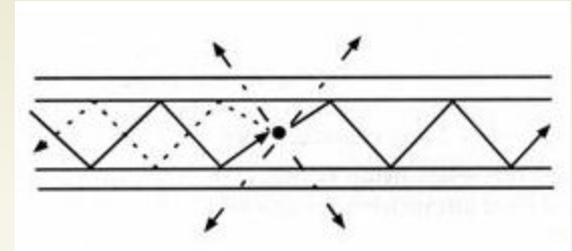
- 2.5 дБ при 820 нм
- 0.24 дБ при 1300 нм
- 0.012 дБ при 1550 нм

- Потери при изгибах:

- угол падения луча становится меньше критического, не наблюдается полного внутреннего отражения.
- уменьшение прочности волокна.

- микроизгибные

- макроизгибные



# Затухание сигнала

## Причины:

- Ионизирующее излучение
  - Причина - разрыв связей в молекулах → появление свободных связей → появление неоднородностей → усиление поглощения.
  - Зависит от: типа легирующей добавки, диаметра сердцевины, типа оболочки.
- Технологические разбросы параметров световода
  - эллиптичность сердцевины, флуктуации ее диаметра, нарушения закона распределения  $n$  по сечению... → рассеяние энергии.
- Появление и рост микротрещин.
  - Причины: при вытягивании волокна, под воздействием механических напряжений, химических реагентов (влаги, кислорода).
- Влияние температуры:
  - изменение  $n$  сердцевины и оболочки → перераспределение энергии между модами → потеря мощности основного сигнала.
  - разные коэффициенты теплового расширения → увеличение числа микроизгибов.
- Потери на стыках
- Потери на входе и выходе
  - $NA = \sin\varphi = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$  ание численных апертур волокна и источника/приемника
  - $\varphi$  - максимальный угол ввода света в волокно.

**ВНИМАНИЕ!**

