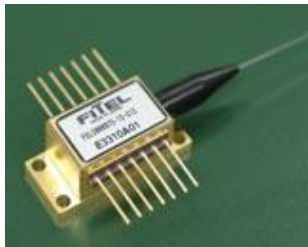
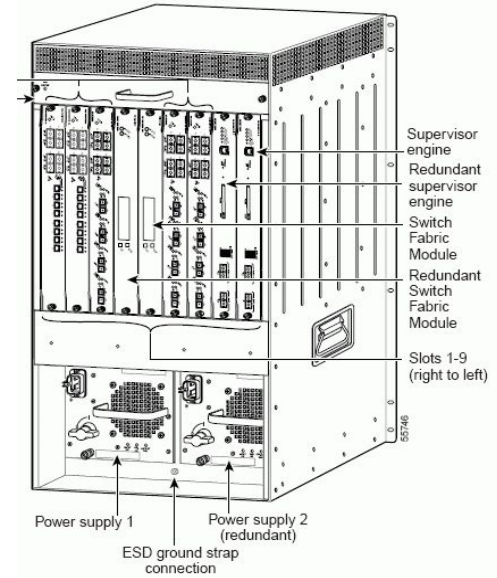




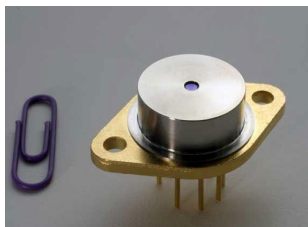
# Характеристики, параметры и классификация оптических волокон и оптических кабелей



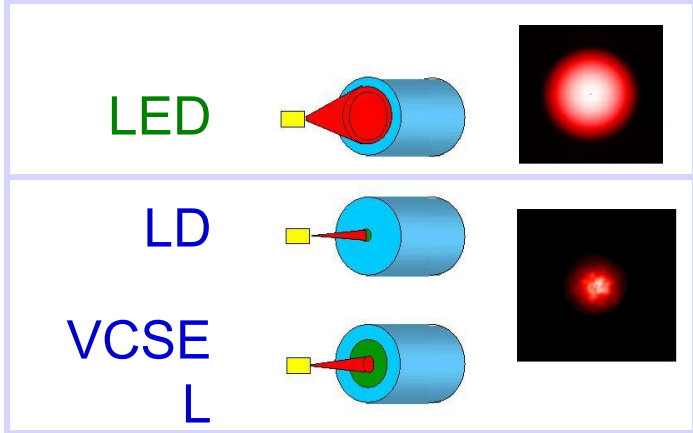
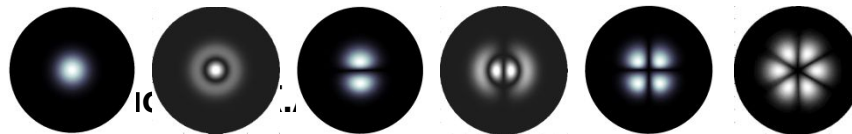
современное коммерческое активное оборудование гигабитных и мультигигабитных сетей передачи данных реализуется на основе **лазерных источников излучения**



**LD FP**  
 $\lambda=1310$   
HM



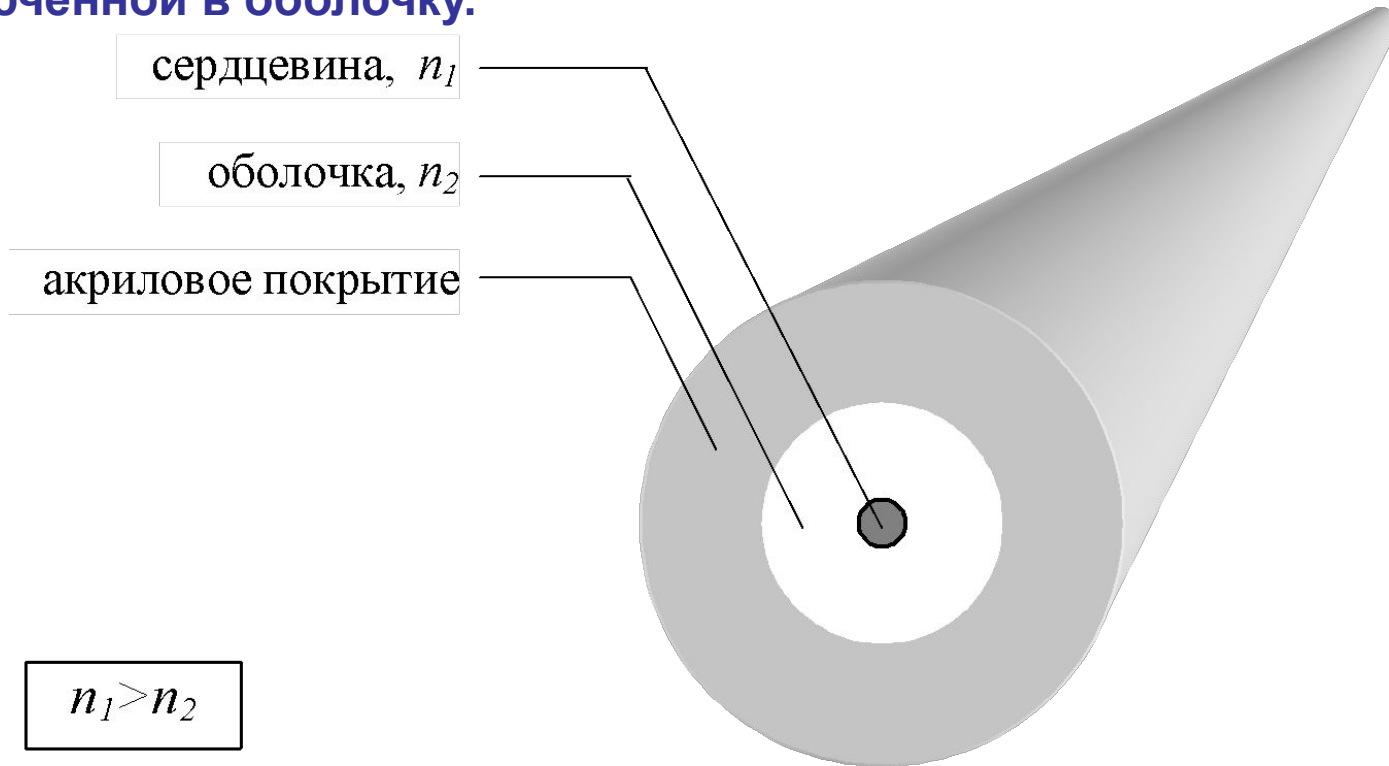
**VCSEL**  
 $\lambda=850$  nm





## Конструкция оптических волокон

Оптическое волокно (ОВ) представляет собой двухслойную, как правило, цилиндрическую структуру в виде сердцевины, заключенной в оболочку.





## Оптические волокна, их основные типы и параметры

По материалу **сердцевина–оболочка** выделяют следующие группы волоконных световодов:

- кварц – кварц
- кварц – полимер
- полимер - полимер



## Оптические волокна, их основные типы и параметры

В настоящее время на сетях связи наиболее широко используются кварцевые волокна ( $\text{SiO}_2$ ), которые, по сравнению с полимерными, обладают существенно меньшим затуханием.

Значение показателя преломления сердцевины  $n_1$  несколько превышает показатель преломления оболочки  $n_2$ . Для обеспечения разницы показателей преломления материал сердцевины слабо легируют германием (Ge) или другими добавками.

Первичное защитно-упрочняющее покрытие (ПЗУП) – эпоксиакрилат (акрил).

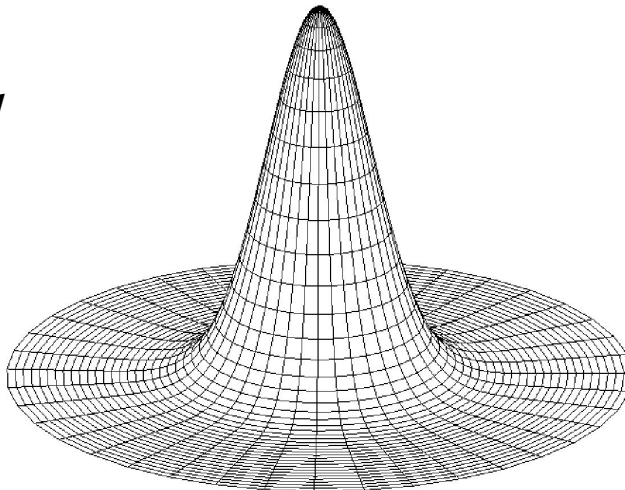


В зависимости от условий распространения световой волны в сердцевине оптических волокон (ОВ) делятся на **одномодовые (SM – Single Mode)** и **многомодовые (MM – Multi Mode)**.

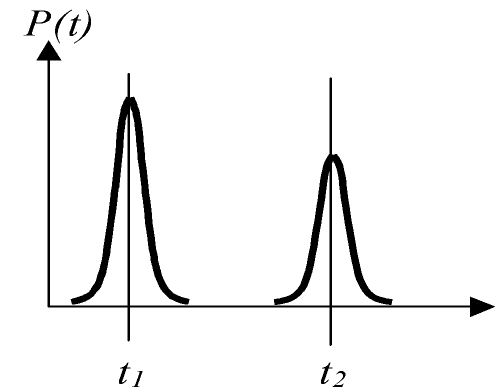
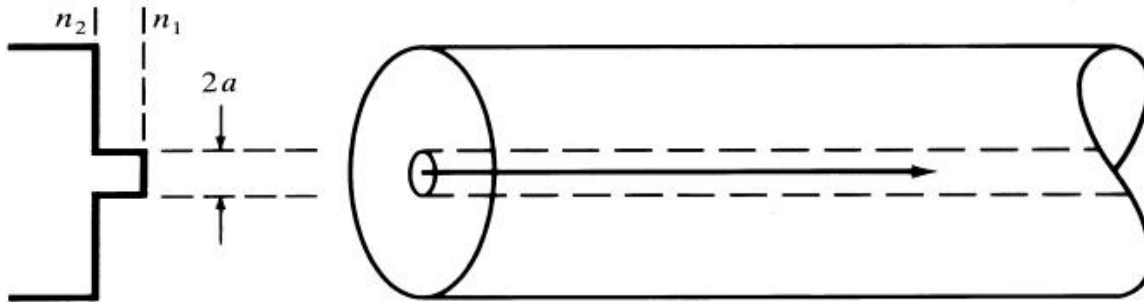


**SM OB:** диаметр сердцевины ( $2a=8...10$  мкм) соизмерим с длиной волны, и за счет этого в нем существует только одна основная направляемая мода  $HE_{11}$  (линейно-поляризованная  $LP_{01}$ ).

$LP_{01}$



## Распространение основной моды $LP_{01}$ в ступенчатых одномодовых волоконных световодах

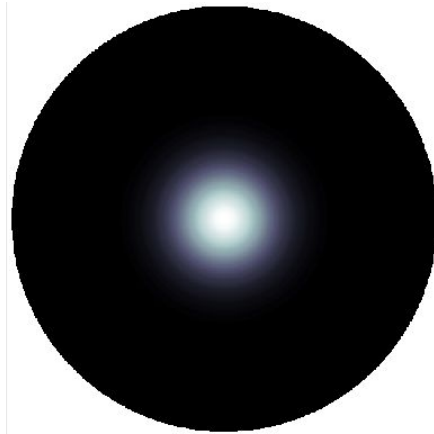
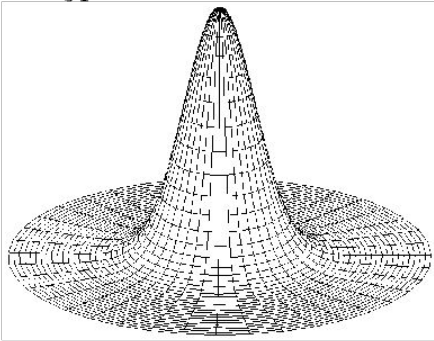


импульс на входе    импульс на выходе

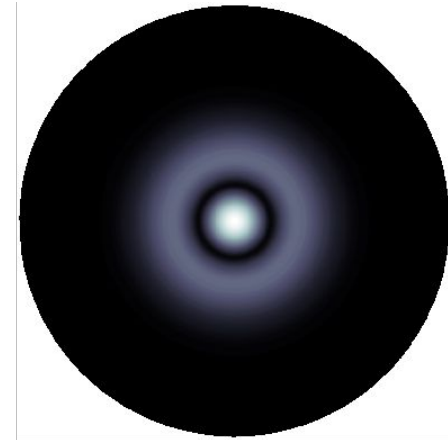
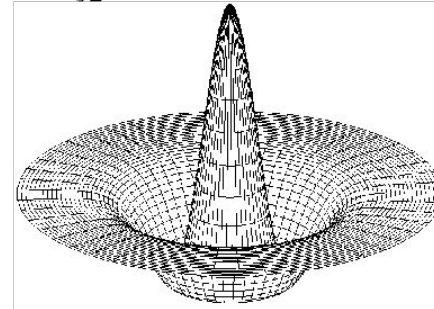


**ММ ОВ:** диаметр сердцевины больше длины волны оптической несущей, и условие полного внутреннего отражения выполняется не только для основной моды, но и для мод высших порядков. Число распространяющихся мод может составлять нескольких тысяч.

$LP_{01}$

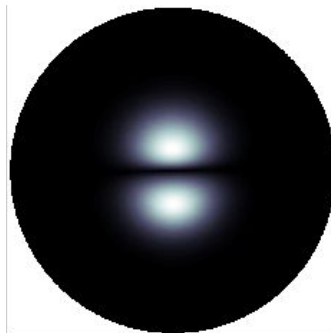
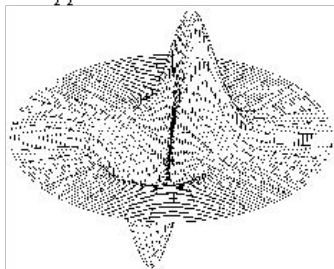


$LP_{02}$

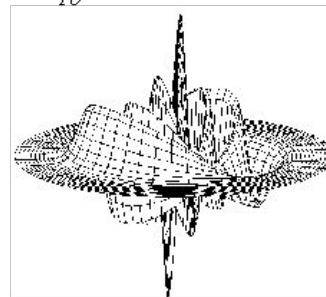




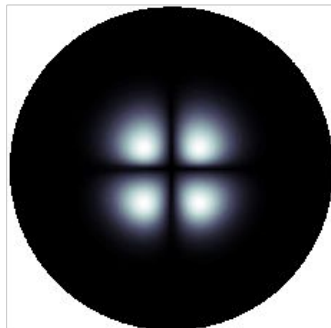
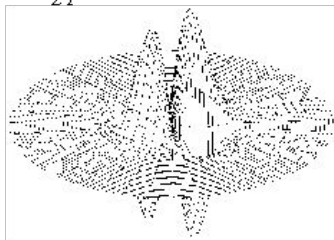
$LP_{11}$



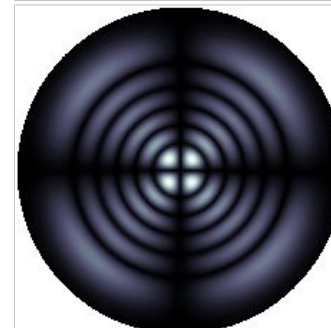
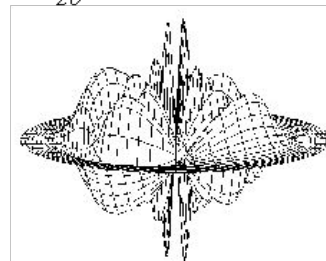
$LP_{16}$



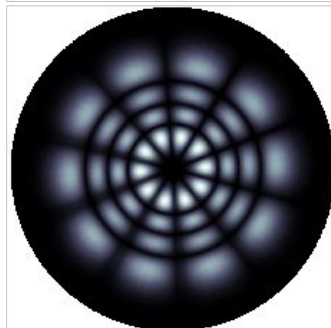
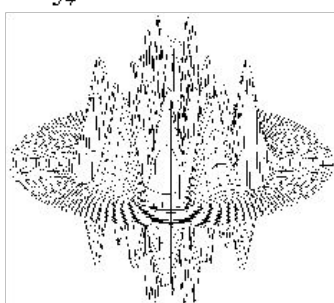
$LP_{21}$



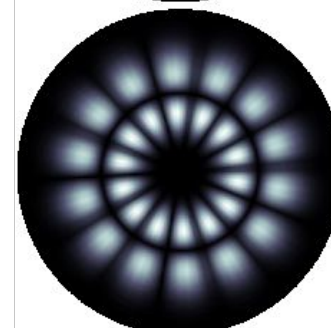
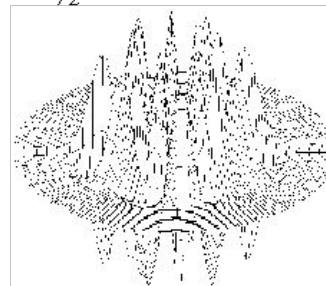
$LP_{26}$



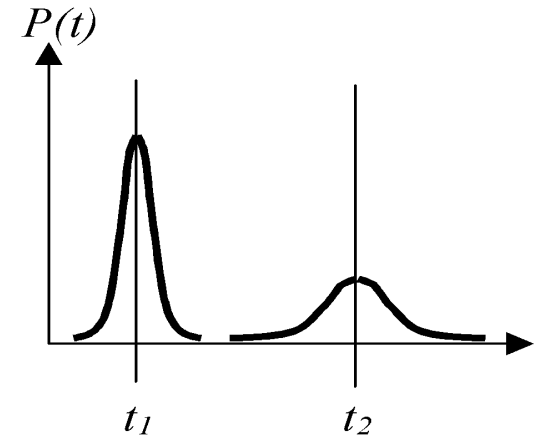
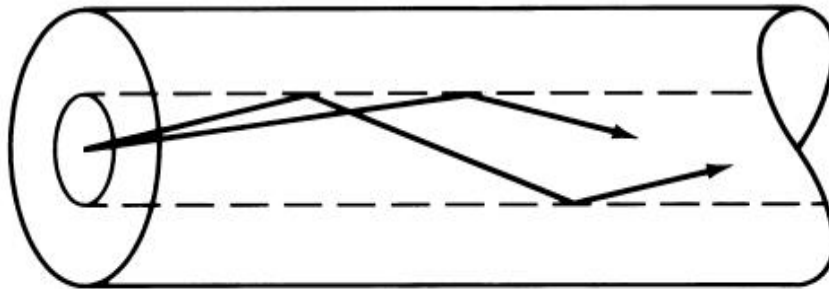
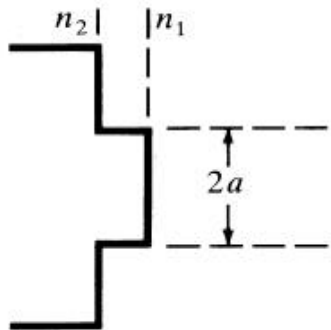
$LP_{54}$



$LP_{72}$

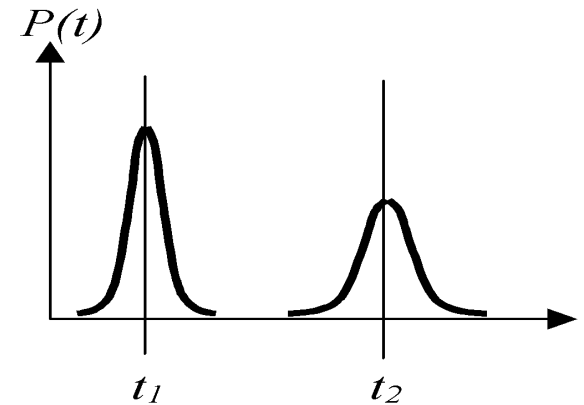
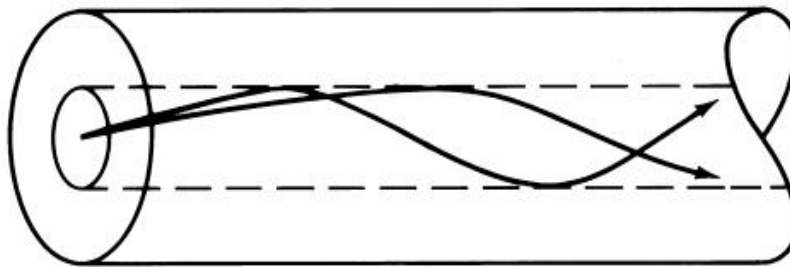
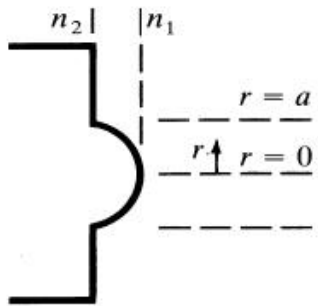


## Распространение направляемых мод оптического излучения в ступенчатых многомодовых волоконных световодах



импульс на входе    импульс на выходе

## Распространение направляемых мод оптического излучения в градиентных многомодовых волоконных световодах



импульс на входе    импульс на выходе



## Геометрические параметры ОВ

Одномодовое оптическое волокно ОМ ОВ  
10/125/250 мкм;

Многомодовое оптическое волокно ММ ОВ  
50/125/250 или 62,5/125/250 мкм



## Многомодовые оптические волокна (рек. МСЭ-Т G.651)

В настоящее время различают две спецификации кварцевых многомодовых оптических волокон по значениям диаметр сердцевины/диаметр оболочки: 50/125 и 62,5/125, регламентируемых рекомендацией международного союза электросвязи (департамент телекоммуникаций) (МСЭ-Т – ITU-T – International Telecommunication Union Telecommunications department) G.651.



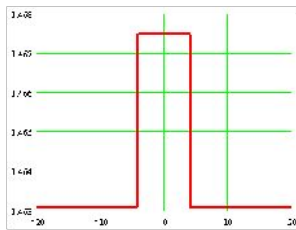
кварцевые многомодовые оптические волокна

сердцевина 50 или 62,5 мкм

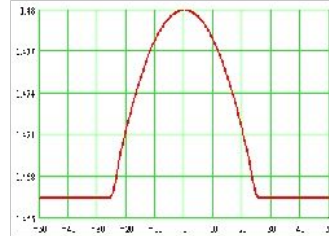
оболочка 125 мкм

акриловое покрытие 250 мкм

профили



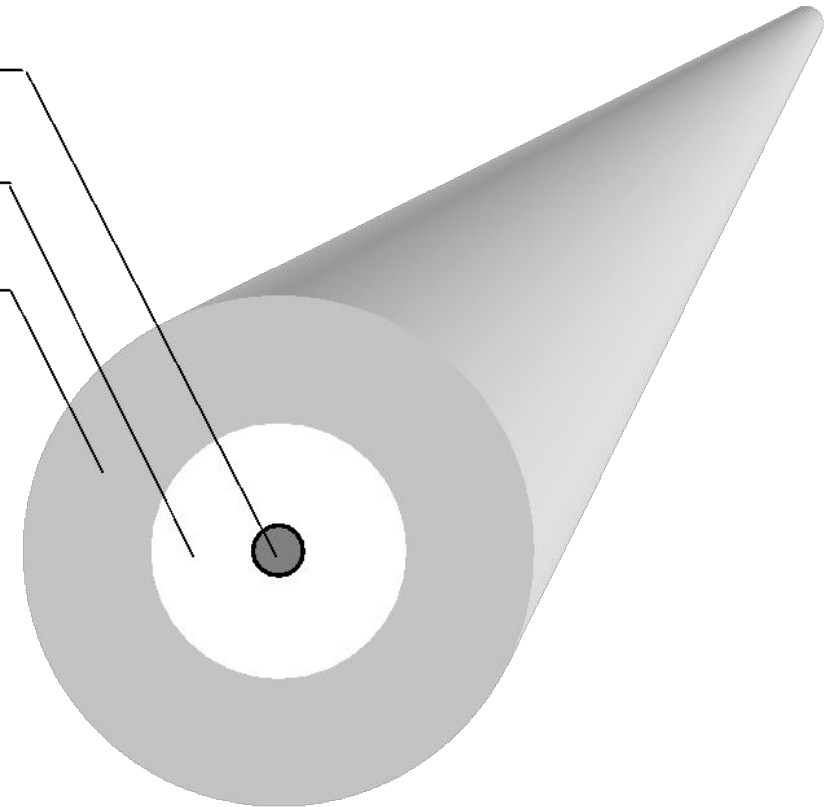
ступенчатый



градиентный

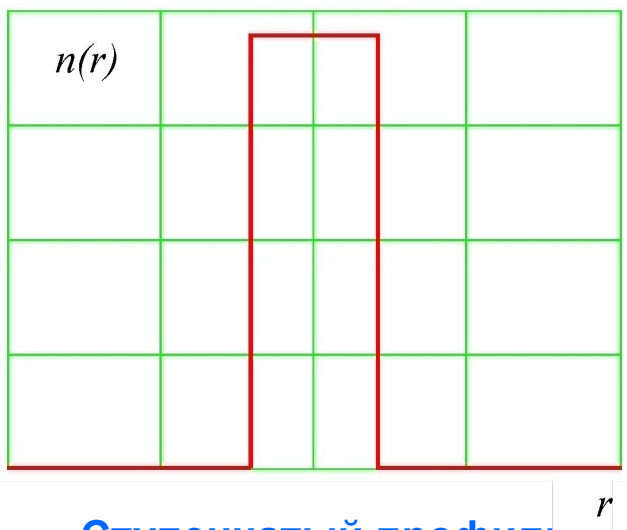


(в настоящее время промышленностью практически не выпускаются)

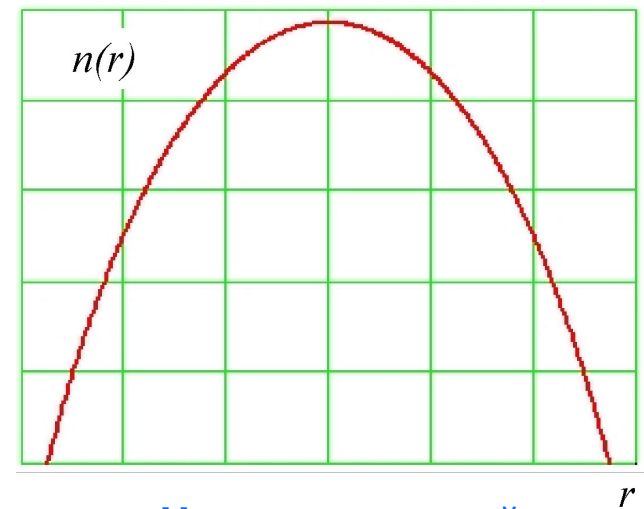




В общем случае по профилю показателя преломления многомодовые оптические волокна можно разделить на ступенчатые и градиентные.



**Ступенчатый профиль показателя преломления ( $q=\infty$ )**



**Неограниченный параболический профиль показателя преломления ( $q=2$ )**



Очевидно, что градиентные многомодовые оптические волокна характеризуются большей полосой пропускания, по сравнению со ступенчатыми.

В настоящее время кварцевые многомодовые оптические волокна со ступенчатым профилем показателя преломления промышленностью практически не выпускаются.



Назначение и область применения кварцевых  
градиентных ММ ОВ на сетях связи РФ:

- Сети связи общего пользования (транспортные сети)
- Локальные сети (LANs)



кварцевые одномодовые оптические волокна

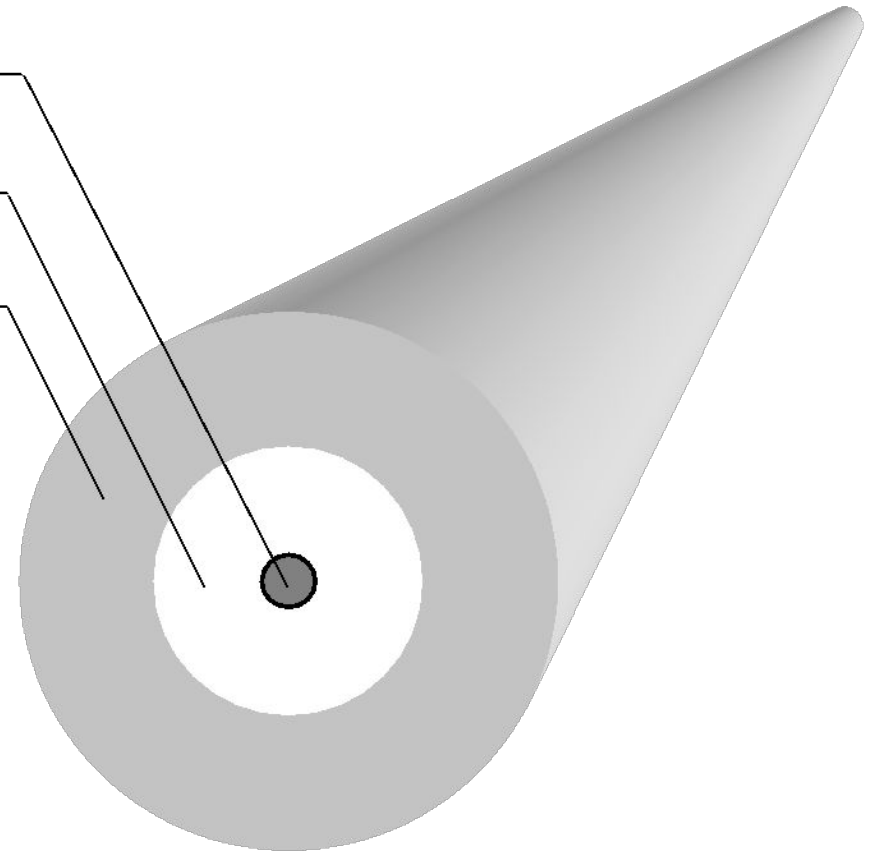
сердцевина 6...10 мкм

оболочка 125 мкм

акриловое покрытие 250 мкм

Рекомендации ITU-T:

- G.652** SSF
- G.653** DSF
- G.654** Low Loss
- G.655** NZDSF





В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т в настоящее время различают шесть типов одномодовых оптических волокон:

- Волокна с нулевой дисперсией (стандартные волокна SSF) – рек МСЭ-Т G.652;
- Волокна со смещенной дисперсией (DSF) – рек. МСЭ-Т G.653;
- Волокна с минимизацией потерь на длине волны 1550 нм (Low Loss) – рек. МСЭ-Т G.654;
- Волокна с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF) – рек. МСЭ-Т G.655.

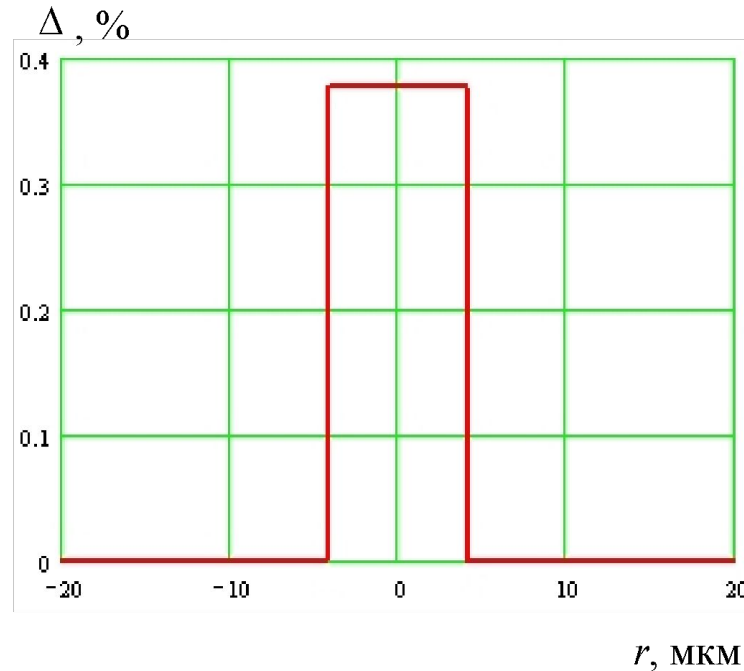


В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т в настоящее время различают шесть типов одномодовых оптических волокон:

- Волокна с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF) для широкополосных транспортных сетей – рек. МСЭ-Т G.656;
- Волокна с пониженной восприимчивостью к изгибам для оптических сетей доступа – рек. МСЭ-Т G.657.

## Стандартные одномодовые оптические волокна (рек. МСЭ-Т G.652)

Волокна SSF характеризуются наиболее простой формой профиля показателя преломления – ступенчатой.

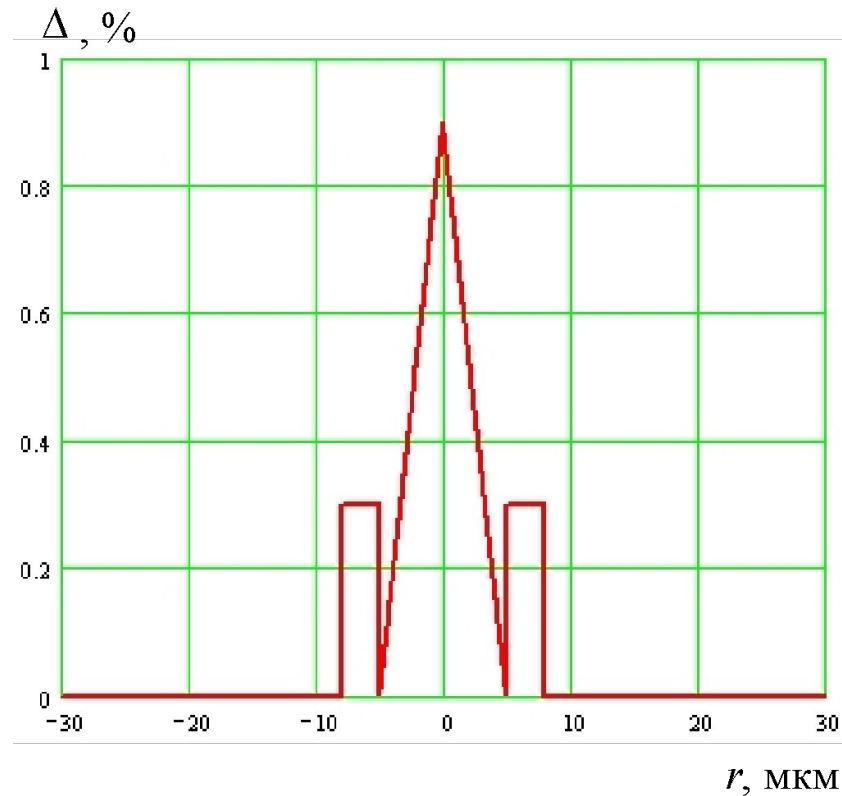




## Одномодовые оптические волокна со смещенной дисперсией (рек. МСЭ-Т G.653)

В 1985 г. был создан новый тип одномодовых оптических волокон — волокон со смещенной дисперсией DSF (Dispersion Shifted Fibers) (рек. МСЭ-Т G.653).

Длина волны нулевой дисперсией у волокон DSF смещена в область третьего окна прозрачности ( $\lambda=1550$  нм), которому соответствует минимальный коэффициент затухания.



Смещение дисперсии достигается путем формирования профиля показателя преломления специальной формы, например, треугольной или W-образной треугольной.





Рынок волокон DSF составляют трансконтинентальные ВОЛП, в которых одна длина волны передается на расстояние в несколько тысяч километров, а также магистральные ВОЛП.

Волокна DSF идеальны для работы в третьем окне прозрачности на одной оптической несущей.

При спектральном уплотнении в области  $\lambda=1550$  нм применение волокон DSF приводит к существенным искажениям передаваемых сигналов.

По этой причине использование волокон DSF совместно с аппаратурой ОСП WDM неприемлемо.



## Волокна с минимизацией потерь в третьем окне прозрачности (рек. МСЭ-Т G.654)

Волокна с минимизацией потерь (Low Loss Fibers) на длине волны  $\lambda=1550$  нм (рек. МСЭ-Т G.654) являются модификацией волокон SSF с уменьшенными потерями (менее 0,18 дБ/км) в третьем окне прозрачности.

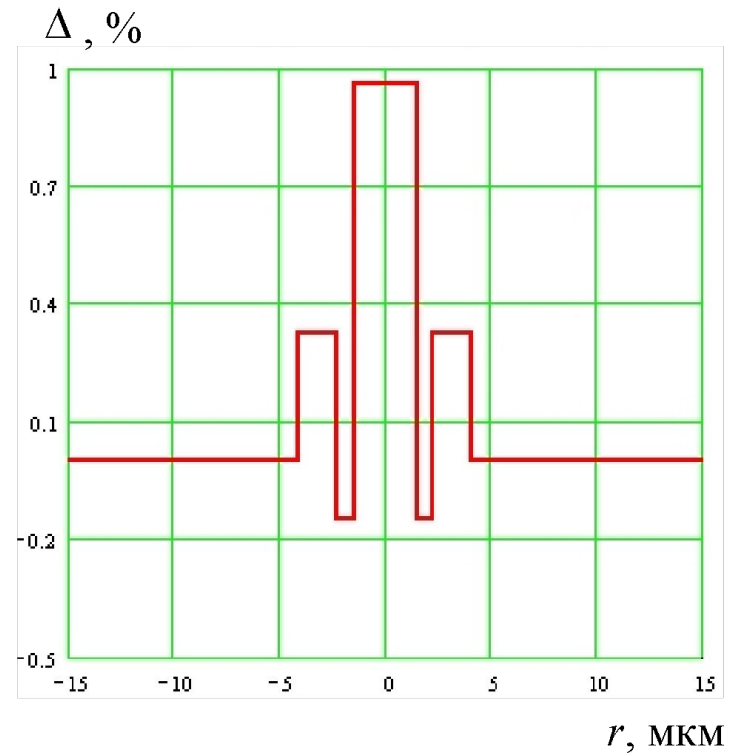
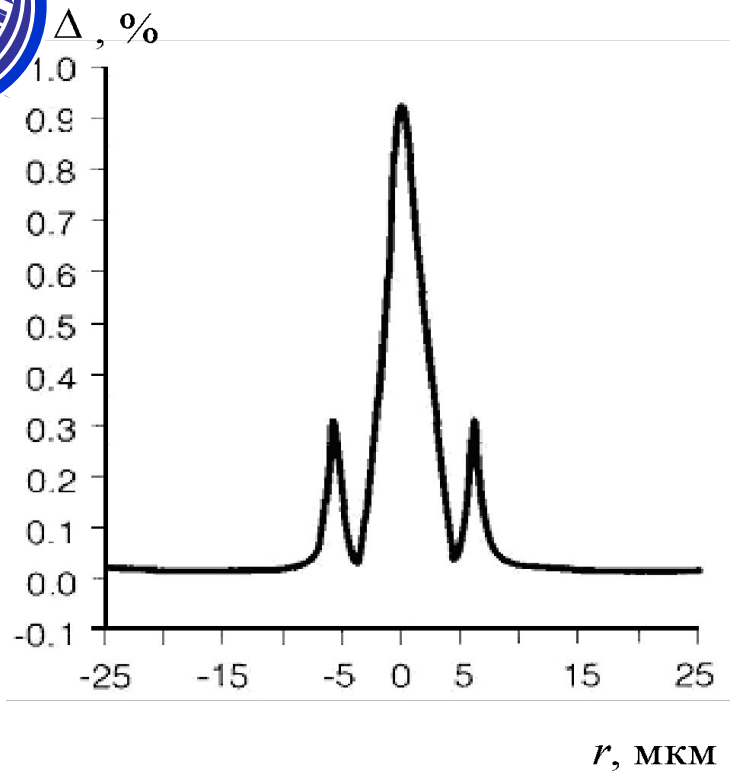
Основная область применения волокон Low Loss – трансконтинентальные ВОЛП, где они обеспечивают возможность передачи сигналов на огромные расстояния без установки активных элементов.



## Волокна с ненулевой смещенной дисперсией (рек. МСЭ-Т G.655)

Волокна с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fibers) – рек. МСЭ-Т G.655 – появились на рынке телекоммуникаций в 1993 г.

Данный тип оптических волокон характеризуется минимальным и максимальным значением хроматической дисперсии в спектральной области третьего окна прозрачности:  
 $0,1 \dots 6$  пс/(нм·км) в диапазоне длин волн  $1530 \dots 1565$  нм.



Управление дисперсией также осуществляется путем формирования специальной W-образной формы профиля ОВ. Световоды с профилем подобной формы также называют волокнами с двойной оболочкой.



Волокна NZDSF были специально разработаны для применения на оптических сетях с последним поколением DWDM систем с оптическими усилителями.



## Оптические волокна с ненулевой смещенной дисперсией для широкополосной оптической передачи (рек. МСЭ-Т G.656)

Первая редакция рек. МСЭ-Т G.656 была одобрена 13 июня 2004 года и действует до настоящего времени.

Оптические волокна со смещенной дисперсией, соответствующие рекомендации МСЭ-Т G.656, предназначены для работы совместно с широкополосными системами “грубого” (Coarse Wavelength Division Multiplexing – CWDM) и “плотного” (Dense Wavelength Division Multiplexing – DWDM) спектрального уплотнения.



## Волокна с пониженной восприимчивостью к изгибам для оптических сетей доступа (рек. МСЭ-Т G.657)

Первая редакция рек. МСЭ-Т G.657 была одобрена в 2006 году.

Оптические волокна, удовлетворяющие требованиям рек. МСЭ-Т G.657, делятся на две категории: А и В, которые различаются диаметром сердцевины. Для волокон типа А он составляет от 8,6 до 9,5 мкм, а для волокон типа В - от 6,3 до 9,5 мкм.

## Рекомендации МСЭ-Т (ITU-T) на оптические волокна и кабели

**G.651.** Характеристики многомодового оптического волокна

**G.652.** Характеристики одномодового оптического и кабеля на его основе

**G.653.** Характеристики одномодового оптического волокна

со смещенной дисперсией и кабеля на его основе

**G.654.** Характеристики одномодового оптического волокна

со смещенной длиной волны отсечки и кабеля на его основе

**G.655.** Характеристики одномодового оптического волокна

с ненулевой смещенной дисперсией и кабеля на его основе

**G.656.** Характеристики одномодового оптического волокна с ненулевой

смещенной дисперсией для широкополосной передачи и кабеля на его основе

**G.657** Характеристики одномодового оптического волокна, обладающего

низкой восприимчивостью к изгибам и кабеля на его основе





## Доли использования ОВ:

G. 652 - Около 80%

G. 651 - Около 9%

G. 654, G. 655 - Около

11%



## Поставщики Corning – ОВ.

40%

Fujikura –

30%

OFS – 18%

Draka – 9%

Другие -3%

# Спасибо за внимание!

