

УМК

# Специальные волоконные световоды

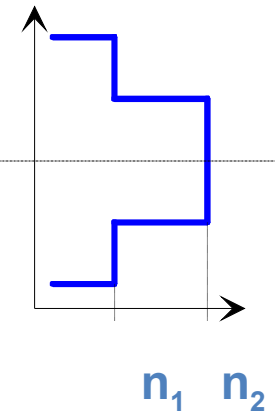
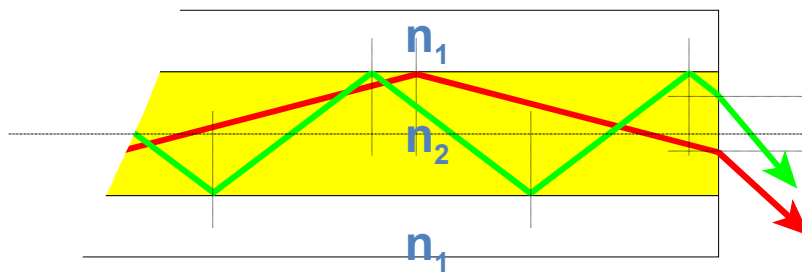
## **Тема 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ**

# Обзор основных характеристик

	Определение	Эффект	Ограничение
1	Затухание [dB/km]	Потери энергии по всей длине линка	Длина линка
2	Дисперсия	Расширение импульса и ослабление сигнала	Полоса пропускания & длина линка
3	Числовая апертура (NA) [-]	Потери на соединениях LED/Laser → fiber fiber → fiber fiber → e.g. APD*	Характеристики соединения

\* Лавинный фотодиод

# Многомодовое волокно (Ступенчатый индекс)

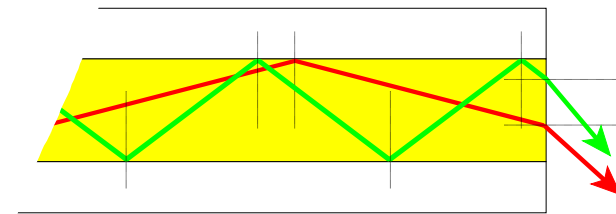
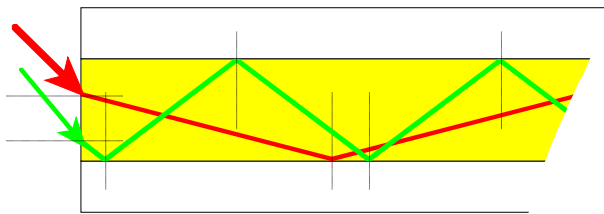


**Число Мод  $M = 0.5 \times (\pi \times d \times NA / \lambda)^2$**

**Профиль  
показателя  
преломления  
(Ступенчатый индекс)**

**Примечание:** ~ 680 Мод при  $NA = 0.2$ ,  $d = 50 \mu\text{m}$  и  $\lambda = 850\text{nm}$   
~ 292 Мод при  $NA = 0.2$ ,  $d = 50 \mu\text{m}$  и  $\lambda = 1300\text{nm}$

# Модовая дисперсия (ступенчатый индекс)



Меандры



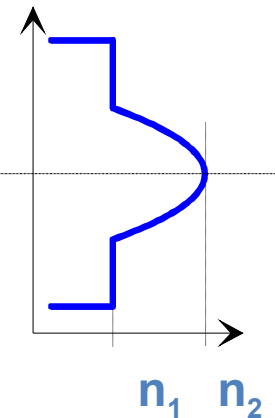
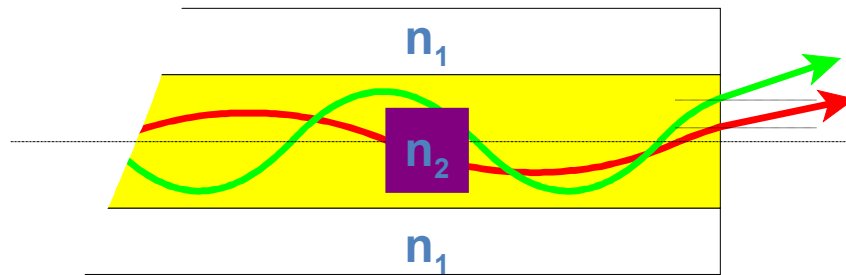
Тип импульса на  
Источнике

Деформированные Импульсы



Тип импульса на  
Приемнике

# Многомодовое волокно (Сглаженный индекс)

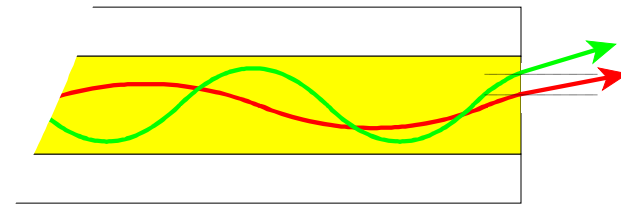
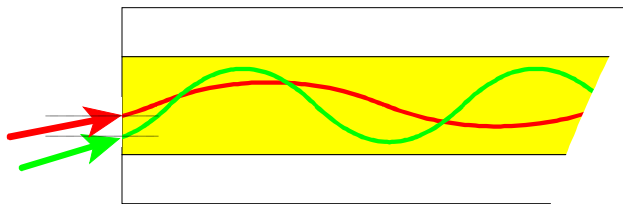


$$\text{Число Мод } M = 0.25 \times (\pi \times d \times NA / \lambda)^2$$

Профиль  
показателя  
преломления  
(Сглаженный индекс)

Примечание: ~150 Мод при  $NA = 0.2$ ,  $d = 50 \mu\text{m}$  и  $\lambda = 1300 \text{ nm}$

# Модовая дисперсия в МНОГОМОДОВОМ ВОЛОКНЕ



Меандры



Форма импульса на  
передающей стороне

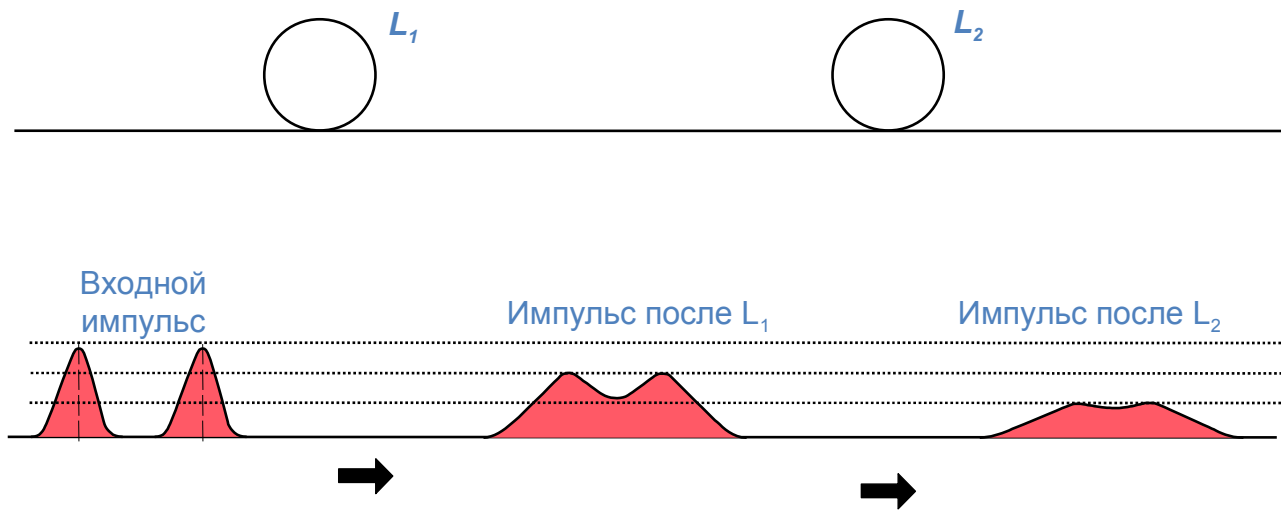
Деформированные Импульсы



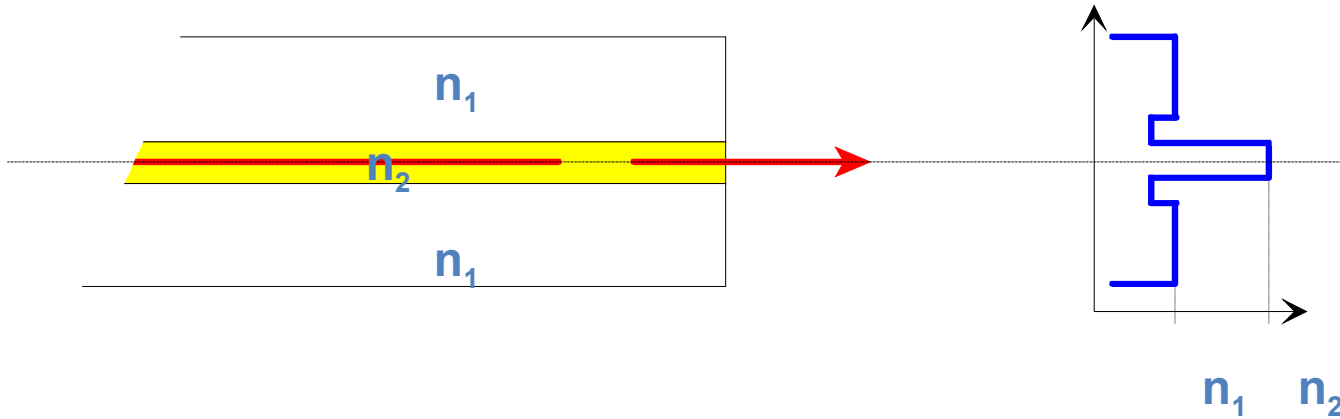
Форма импульса на  
приемной стороне

# Дисперсия

- Результатом дисперсии является расширение узкого входного импульса, который распространяется вдоль оптического волокна.



# Одномодовое ВОЛОКНО

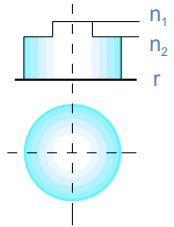


Пример:  $n_1 = 1.4570$  и  $n_2 = 1.4625$

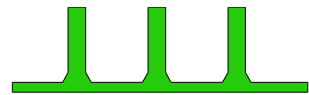
Профиль  
показателя  
преломления  
(Ступенчатый индекс)



# Волокно с ступенчатой теория

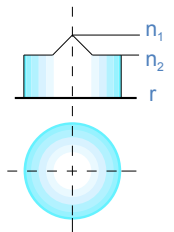
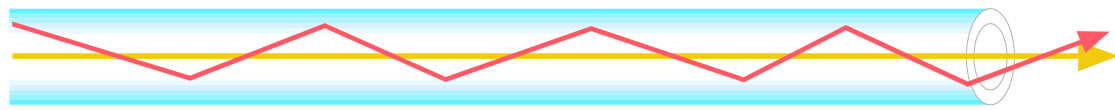


Вносимый сигнал

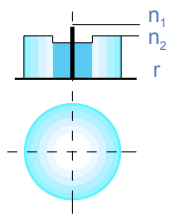
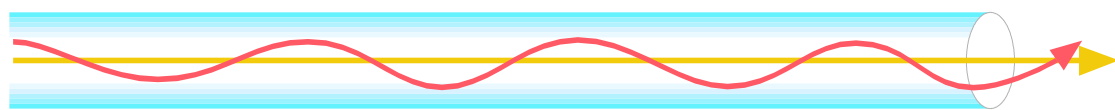
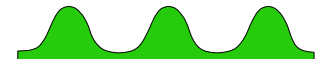


Многомод ступенчатый

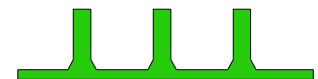
Выходной сигнал



Многомод градиентный



Одномод



# Виды дисперсии

Многомодовое  
волокно

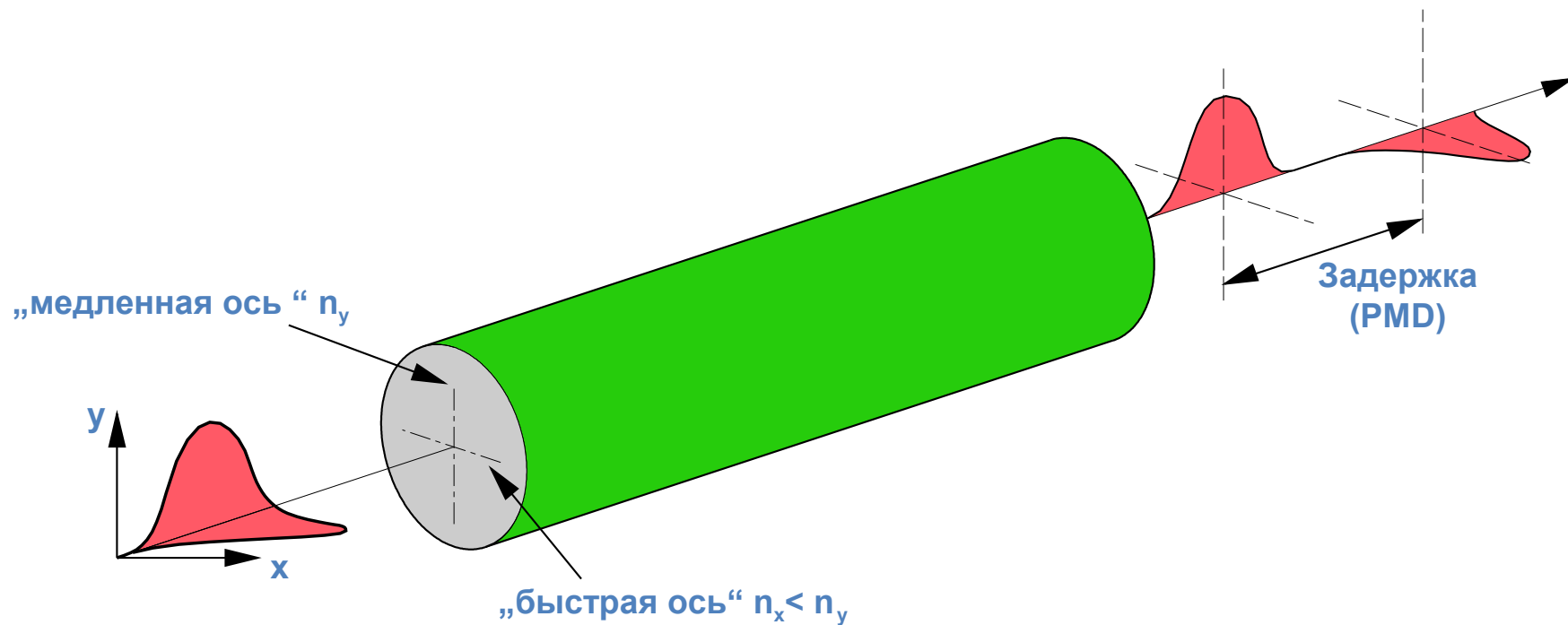
Одномодовое  
волокно

Модовая  
дисперсия

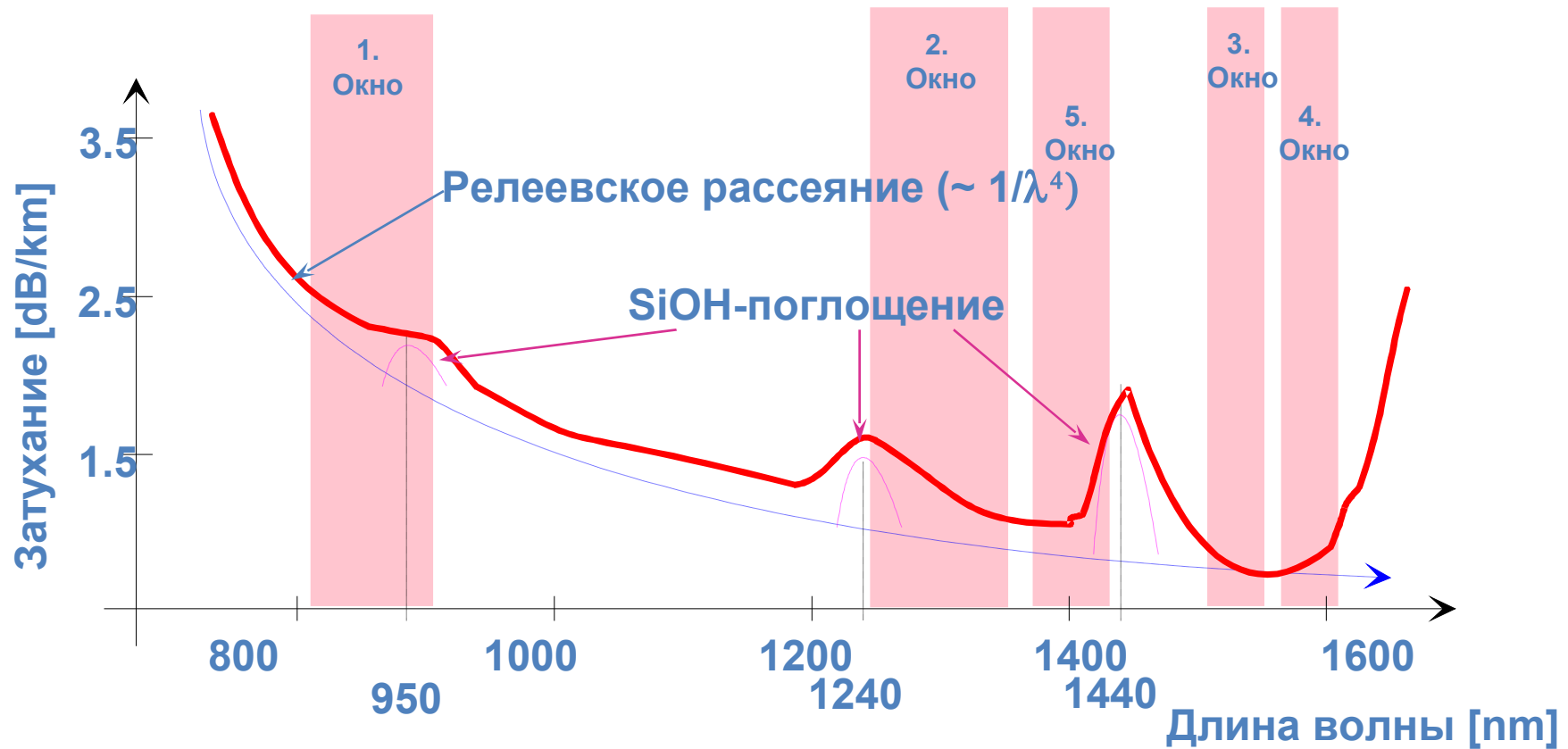
Хроматическая  
дисперсия  
[ps/km \* nm]

Поляризационная  
Модовая дисперсия  
PMD  
[ps/√(km)]

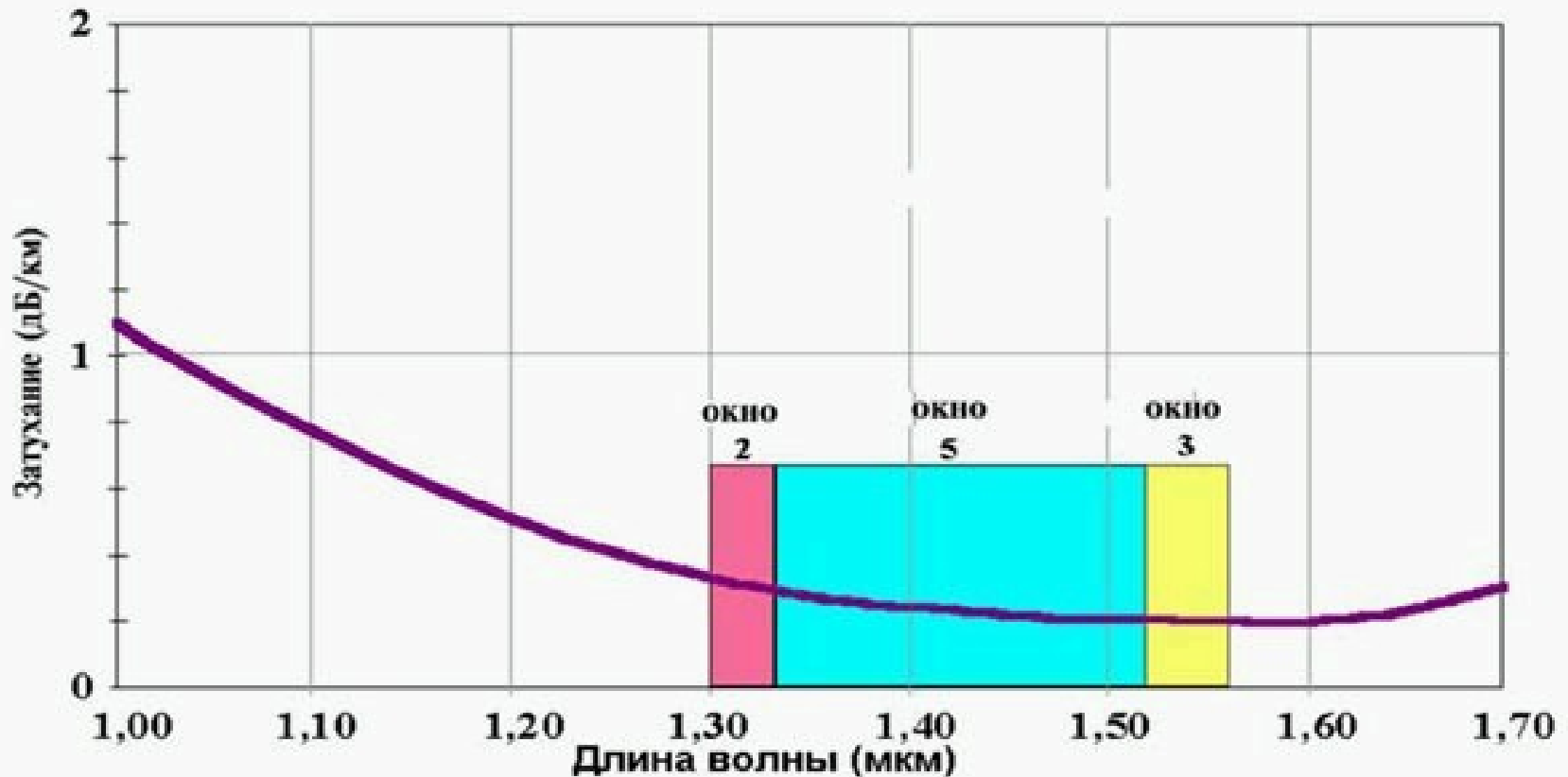
# PMD для одномодового оптического волокна



# Затухание многомодовых волокон

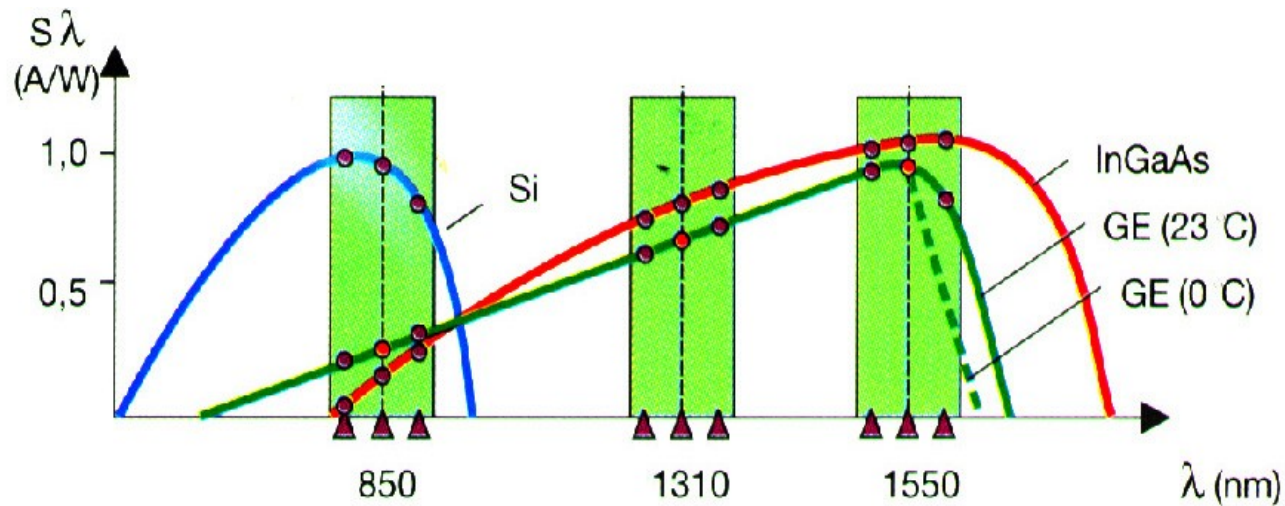


# Затухание одномодовых волокон

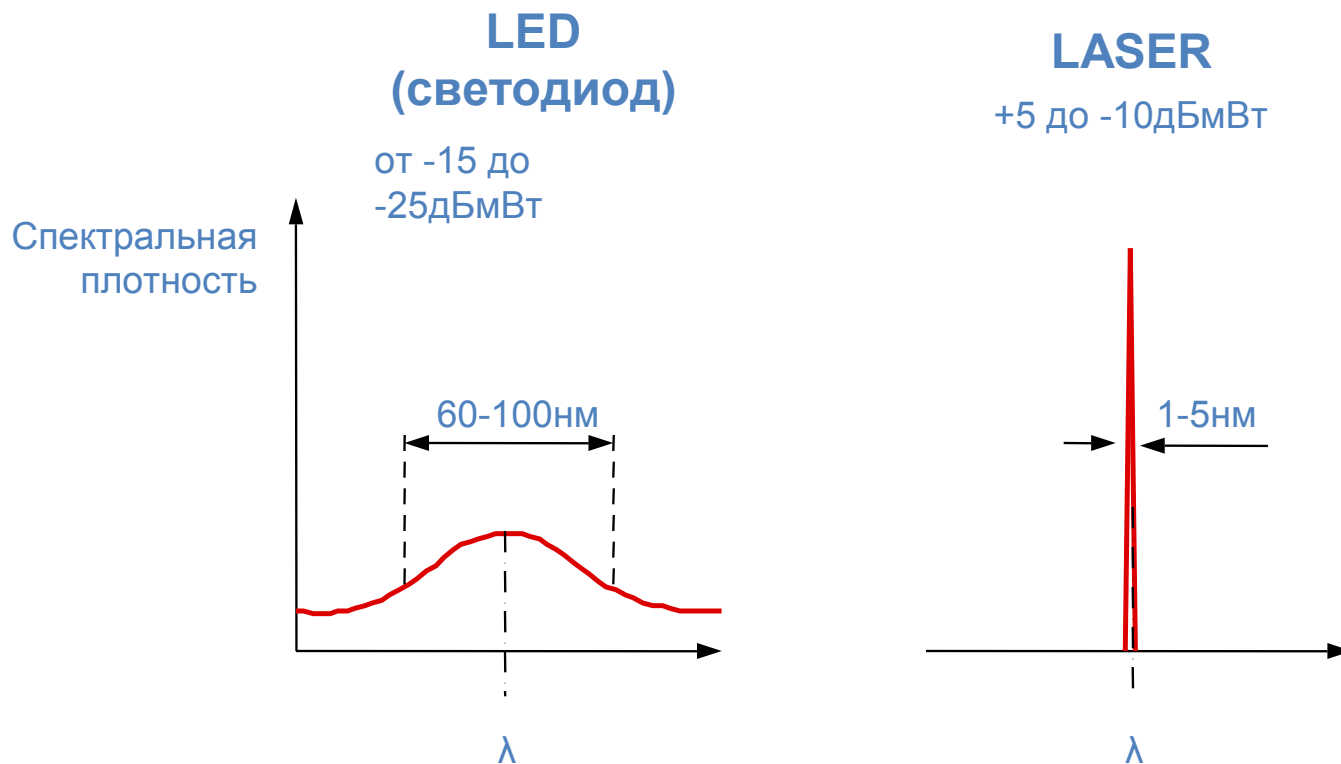


**Зависимость коэффициента затухания от длины волны одномодового оптического волокна**

# Спектральная чувствительность детекторов



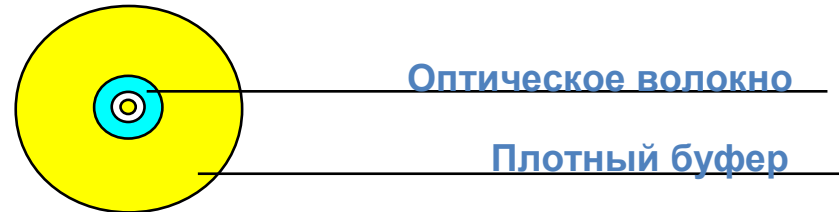
# Спектр излучения лазера и LED



# Обзор различных покрытий для волокна

## Плотный буфер

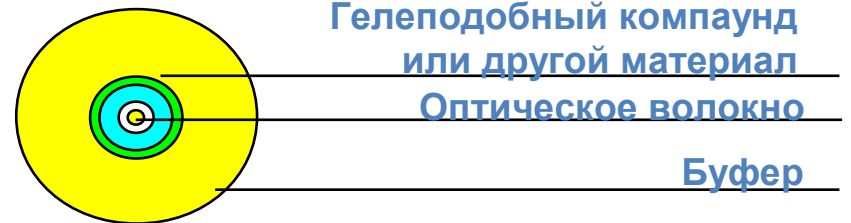
Плотно прилегает; из термопластика.



## Полу-плотный буфер

Воздушная прослойка в несколько сотых долей миллиметра.

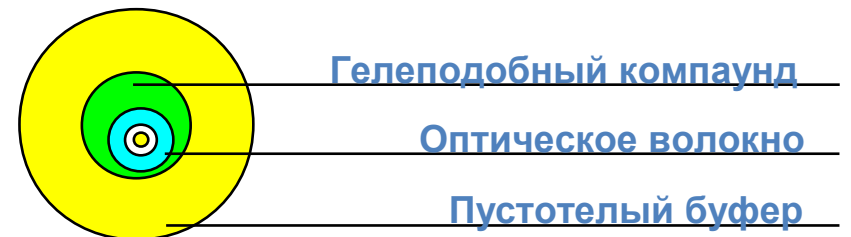
- легче снимается вторичное покрытие
- минимальные потери из-за микроизгибов



## Пустотелый буфер

Воздушная прослойка в несколько десятых долей миллиметра.

Прослойка обычно заполнена водоотталкивающим гелем.



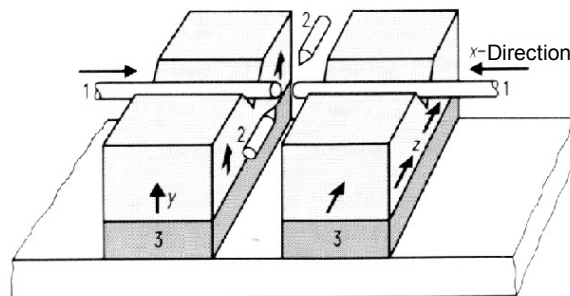


# Соединения волокон

- **Существуют три 3 способа соединения оптических волокон:**
  - Разъемное соединение                      напр. разъем
  - Квази-разъемное соединение            напр. mechanical splice
  - Не разъемное соединение                напр. сварное соединение
  
- **Какой способ использовать зависит от:**
  - надежности или требований к соединению
  - требуемой или необходимой гибкости
  - стоимости

# Неразъемное соединение

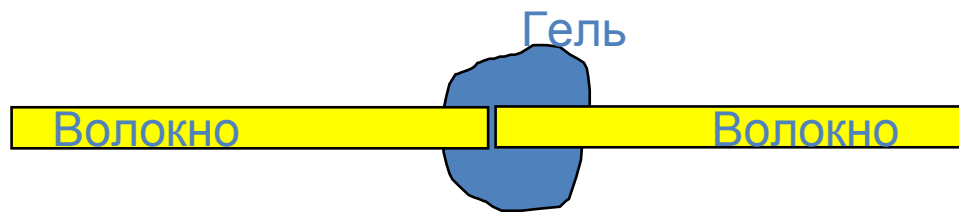
- Принцип работы
  - Очищенные и сколотые волокна совмещаются друг с другом торцами как можно плотнее в сварочном аппарате (по возможности без горизонтальных или вертикальных смещений). Свариваются. Затем, сварное соединение защищается так называемой гильзой защиты сварного соединения.



# Квази-разъемное соединение

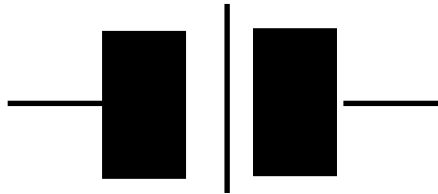
## – Принцип работы

- Два качественно сколотых волокна совмещаются торцами.
- Для улучшения характеристик место соединения между двумя волокнами заполняется гелем.
- Рисунок



# Разъемное соединение

- Принцип работы
  - Коннектор / адаптер / коннектор



- Существует несколько типов соединений, отличающихся способом полировки наконечника и своими параметрами (RL, IL). Это:
  - Плоский контакт
  - Physical Contact (PC)
  - Angled Physical Contact (APC)

# Обзор

<b>Criteria's</b>	<b>Detachable</b>	<b>Quasi – Detachable</b>	<b>Not – Detachable</b>
Insertion loss $\alpha$ in [dB]	$0,05 < \alpha < 0,75$	$0,1 < \alpha < 0,5$	$0,05 < \alpha < 0,2$
Return loss $\alpha$ in [dB]	$15 < \alpha < 80$	$\alpha < 40$	$\alpha < 80$
Mounting on field	Appropriate	Appropriate	Appropriate
Repeated disconnect and connect	Very simple, without equipment and without the need of qualified personnel	Simple, simple equipment and qualified personnel needed.	expensive, high-quality equipment and need of very high qualified personnel.
Reliability Lifespan	ca. 500 - 2000 Pcs. Cycles	Not	Very high
Costs <ul style="list-style-type: none"> <li>● Equipment</li> <li>● Initial Installation</li> <li>● Repeated disconnect and connect</li> </ul>	medium high very low	low high low	high low high
Alignment principle	Pins / sleeve (mech.)	V – groove (mech.)	Substance conclusive
Fiber contact	As usually a Physical Contact	Immersion between separation-surfaces	Substance conclusive

2

Dependent on the Connector Type and polishing (PC, SPC, UPC, APV = HRL)

- PC** Physical Contact, Return loss of approximately 30 dB, can be reached by manual polishing
- SPC** Super Physical Contact, Return loss of approximately 40dB, can be reached by machine polishing
- UPC** Ultra Physical Contact, Return loss of approximately 50 dB, can be reached by machine polishing and optical testing of the fiber positioning
- APC ( HRL)** Angle Physical Contact (High Return Loss), Return loss of approximately 60 dB, can be reached by machine polishing ( usually R. 8° Angle Polished)

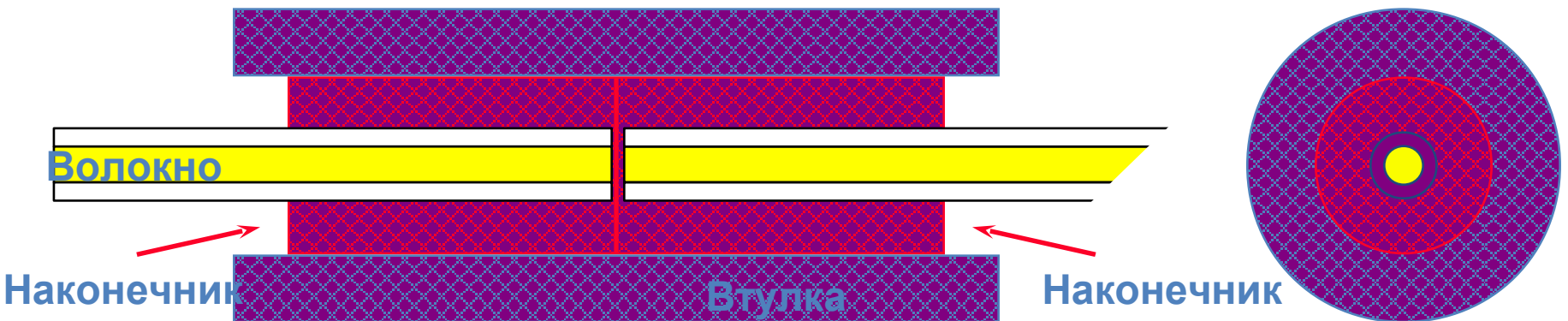
# Технология совмещения – Цилиндрическая гильза

## Допустимое отклонение

Наконечник 2.4990 - 2.4995  
Втулка 2.4995 - 2.5000

## Материалы

Наконечник железо, карбид вольфрама  
Втулка железо, карбид вольфрама



# Технология совмещения - Эластичная гильза

## Допустимое отклонение

Наконечник 2.4985 - 2.4995 мм

Гильза Gauge Retention Force 2.9 - 5.9 N

## Материалы

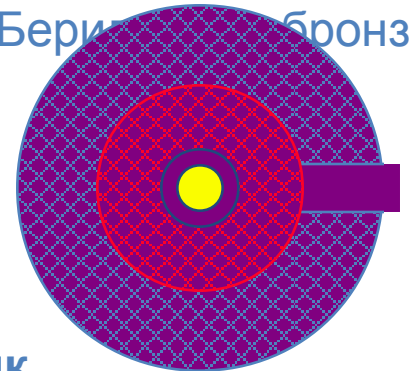
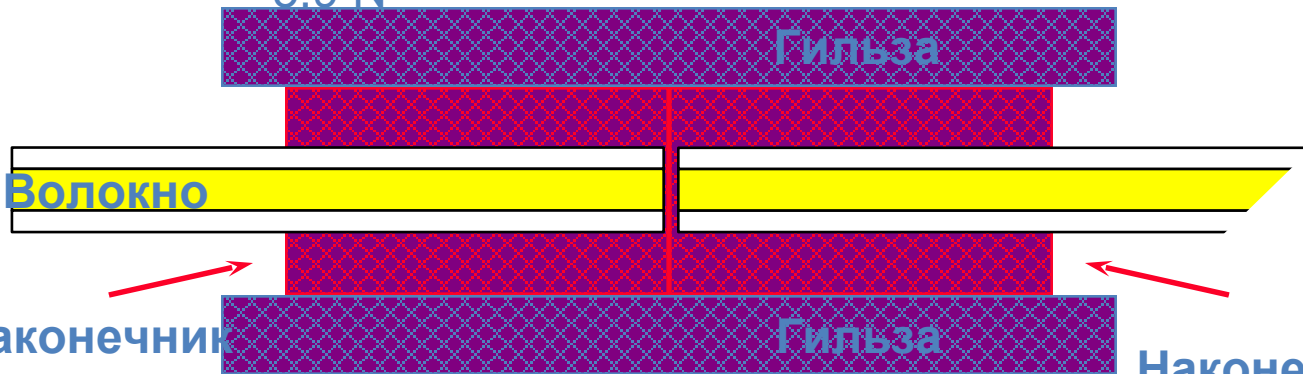
Наконечник Керамика (Circonia)

Карбид Вольфрама

Гильза

Керамика (Circonia)

Берил бронза

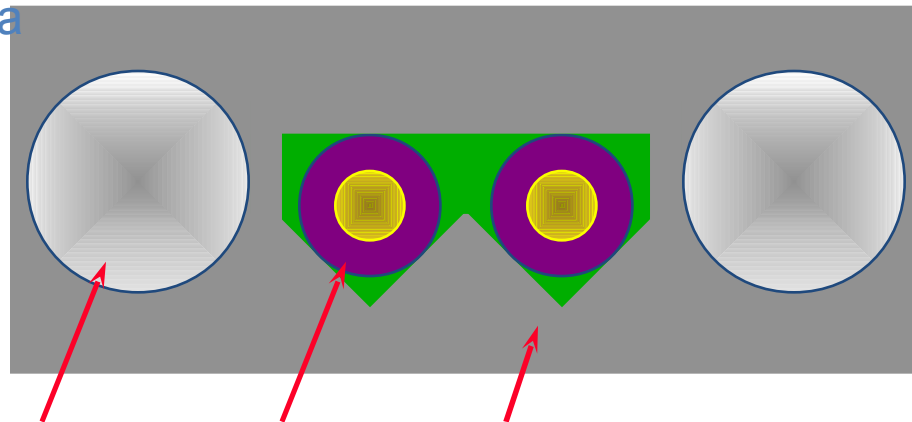


# Новые технологии совмещения – V-образный канал

## Материалы

V-обр. желоб  
Силиконовая подложка

Центровщик  
Карбид вольфрама



Центровщик    Волокно    V - обр. желоб

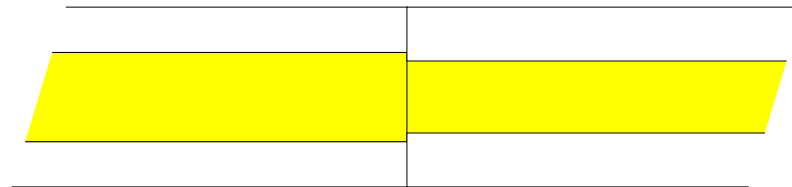


# Вносимые потери - внутренние

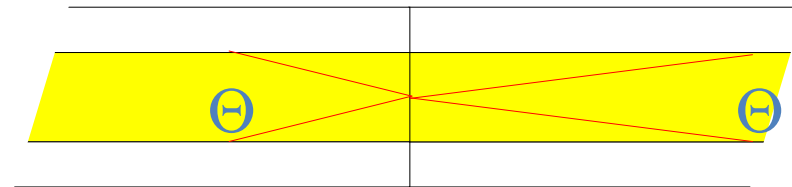
Разницей в:



Диаметра ядер



Численных  
Апертура



Профилей  
показателя  
преломления



# Вносимые потери - Внешние

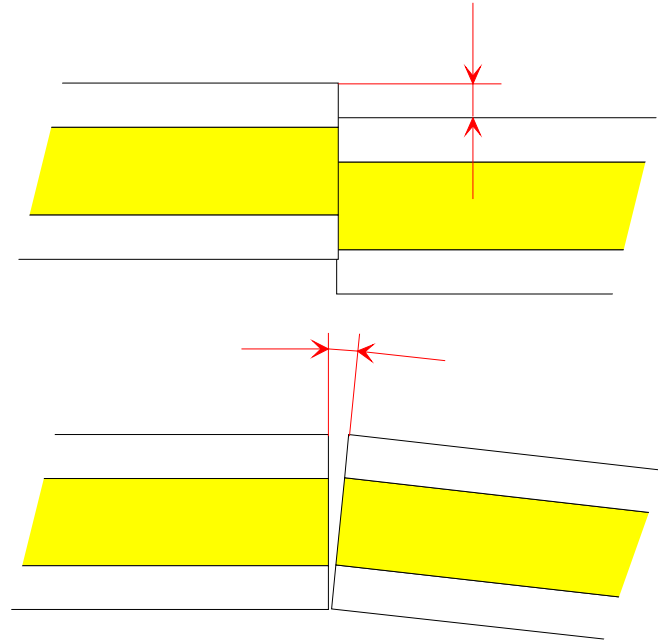
Относительное  
позиционирование:



Горизонтальное  
несовпадение  
волокон



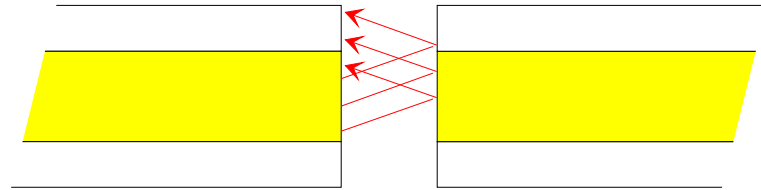
Осевой наклон



# Вносимые потери - внешние



Неплотное прилегание



*4% отражение на каждом конце = 0.36 dB потерь*

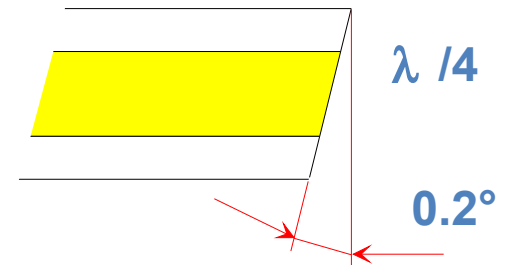
Подготовка поверхности волокна:



Шероховатость поверхности



Угол



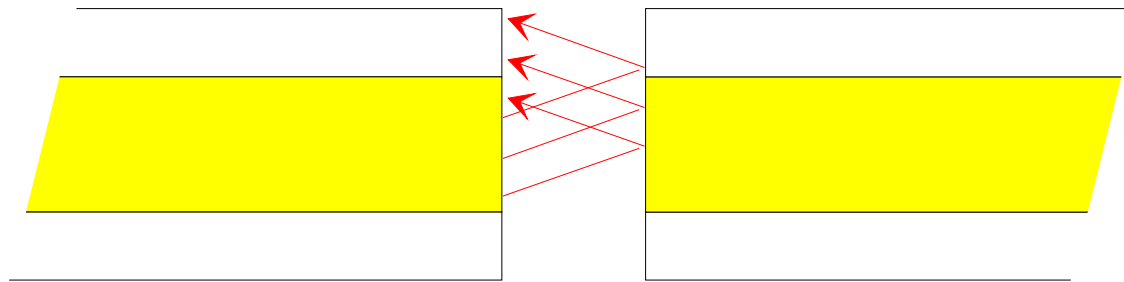
# Зазор между сердцевинами

—

## нет физического контакта

### Параметры передачи

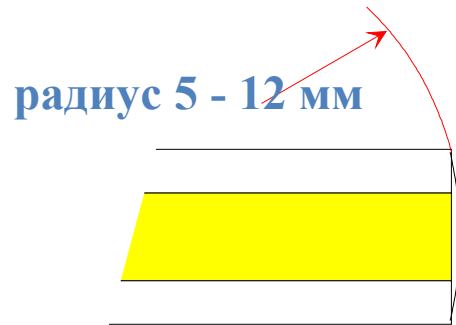
Вносимые потери	< 1.0 dB
Обратные потери	~ 15 dB



*4% Отражение на каждой стороне  
приводит к потерям в 0.36 dB*

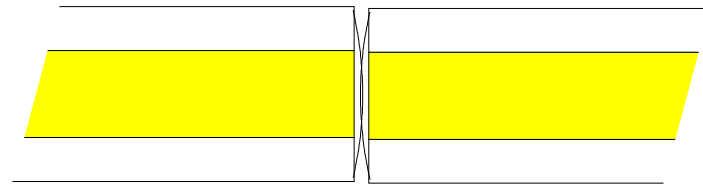
# Торцы наконечников –

## Сферический контакт

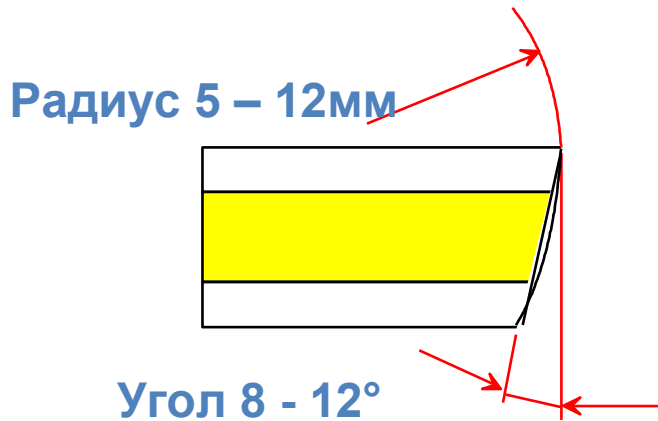


### Параметры передачи

Вносимые потери	< 0.5 dB
Обратные потери	> 35 dB



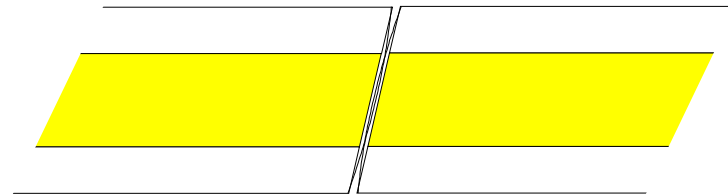
# Угловой сферический физический КОНТАКТ



Передаточные характеристики

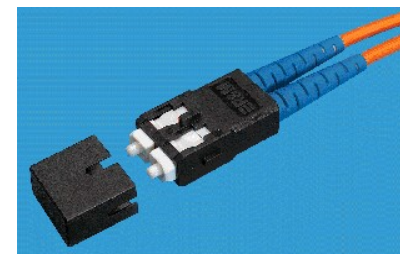
Вносимое затухание < 0.3 dB

Возвртные потери > 60 dB

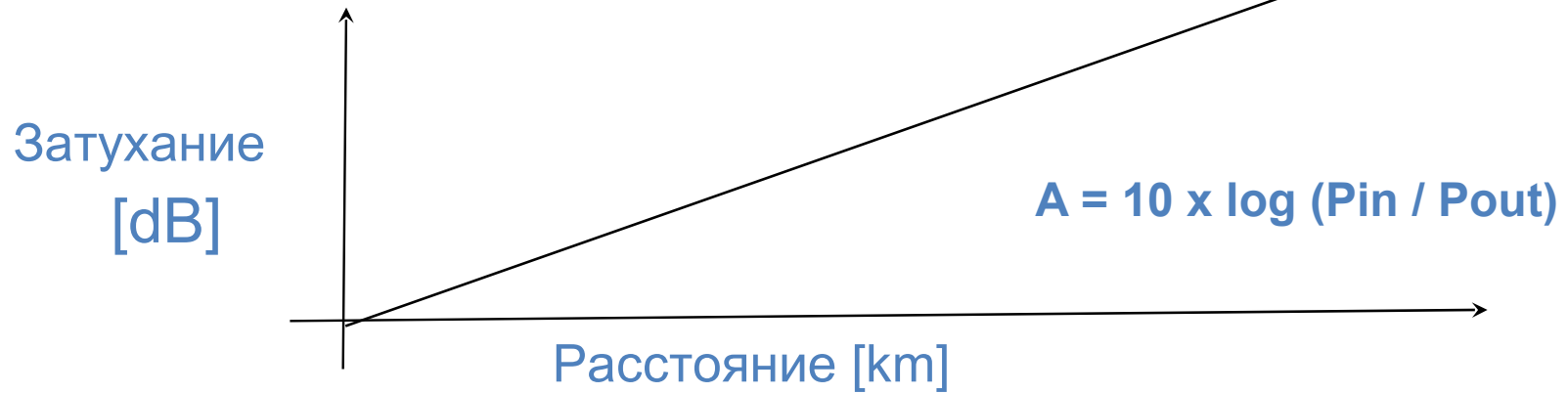
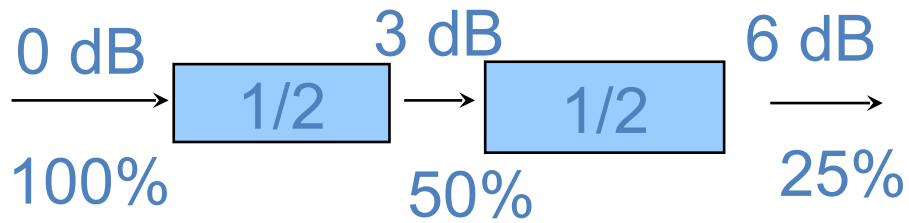


# SC-RJ коннектор

- SFF коннектор с размерами как у RJ45
  - Керамический наконечник -> Хорошо известный на рынке
  - Высокая плотность портов, примерно в 2 раза с Duplex SC
  - Многомодовые и одномодовые
  - Обратная совместимость с SC
  - Один тип коннектора + адаптер
  - Соответствие спецификациям ISO/IEC 11801 и TIA/EIA 568A
  - *SCcompact* (or SC-RJ) основан на SC коннекторе
  - (согласно с CECS 86265-xxx, IEC 60874-14)
- Возможно соединение с SC Simplex
- Типичное вносимое затухание : < 0.2dB.



# Затухание и МОЩНОСТЬ





# Затухание канала

## СВЯЗИ

Предполагаемое затухание ВО канала связи

$$ATT = \alpha \times L + A_s \times N_s + A_c \times N_c$$

$\alpha$  : Затухание кабеля [dB/km]

$L$  : Длина кабеля [km]

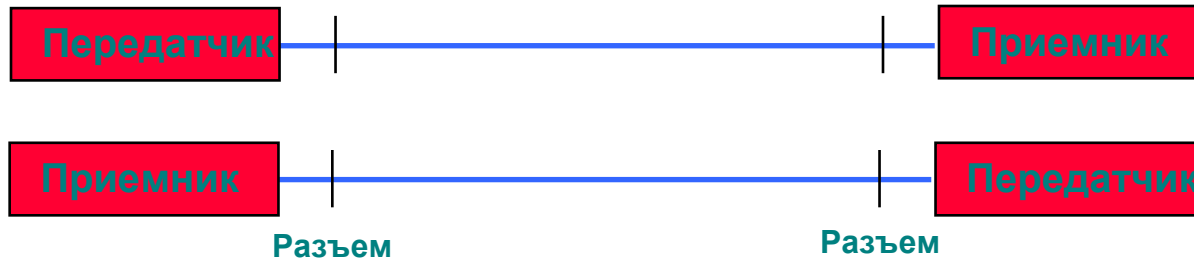
$A_s$ : Затухание на соединении [dB]

$N_s$ : Число соединений

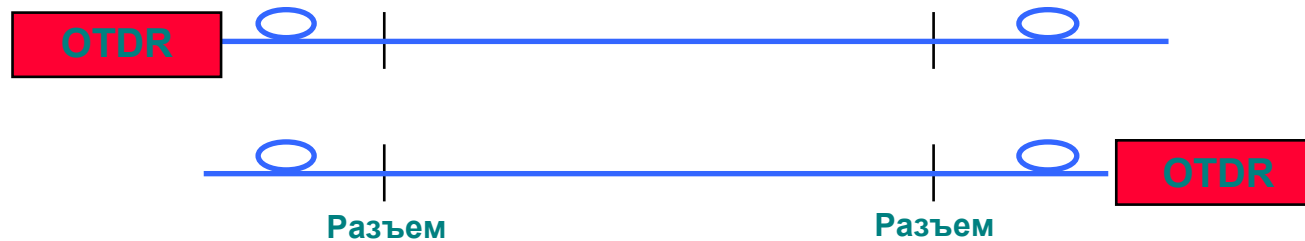
$A_c$ : Вносимые потери коннектора [dB]

$N_c$ : К-во коннекторов

# Измерение затухания / принципы



## Измерение обратных отражений (OTDR)

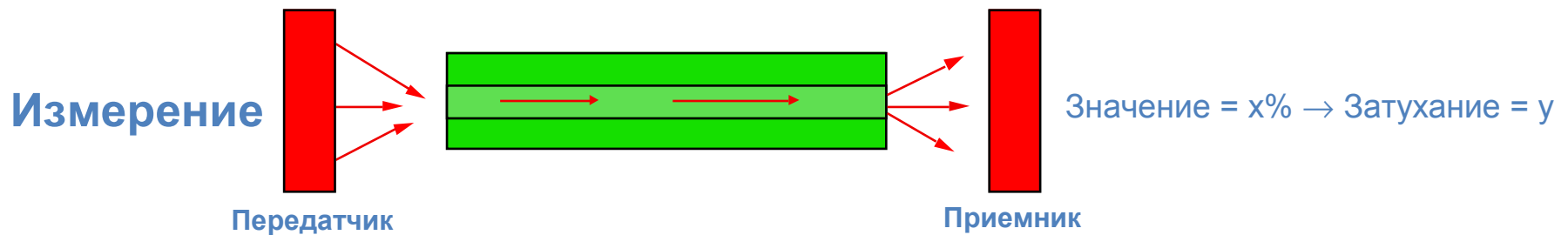


# Какой метод

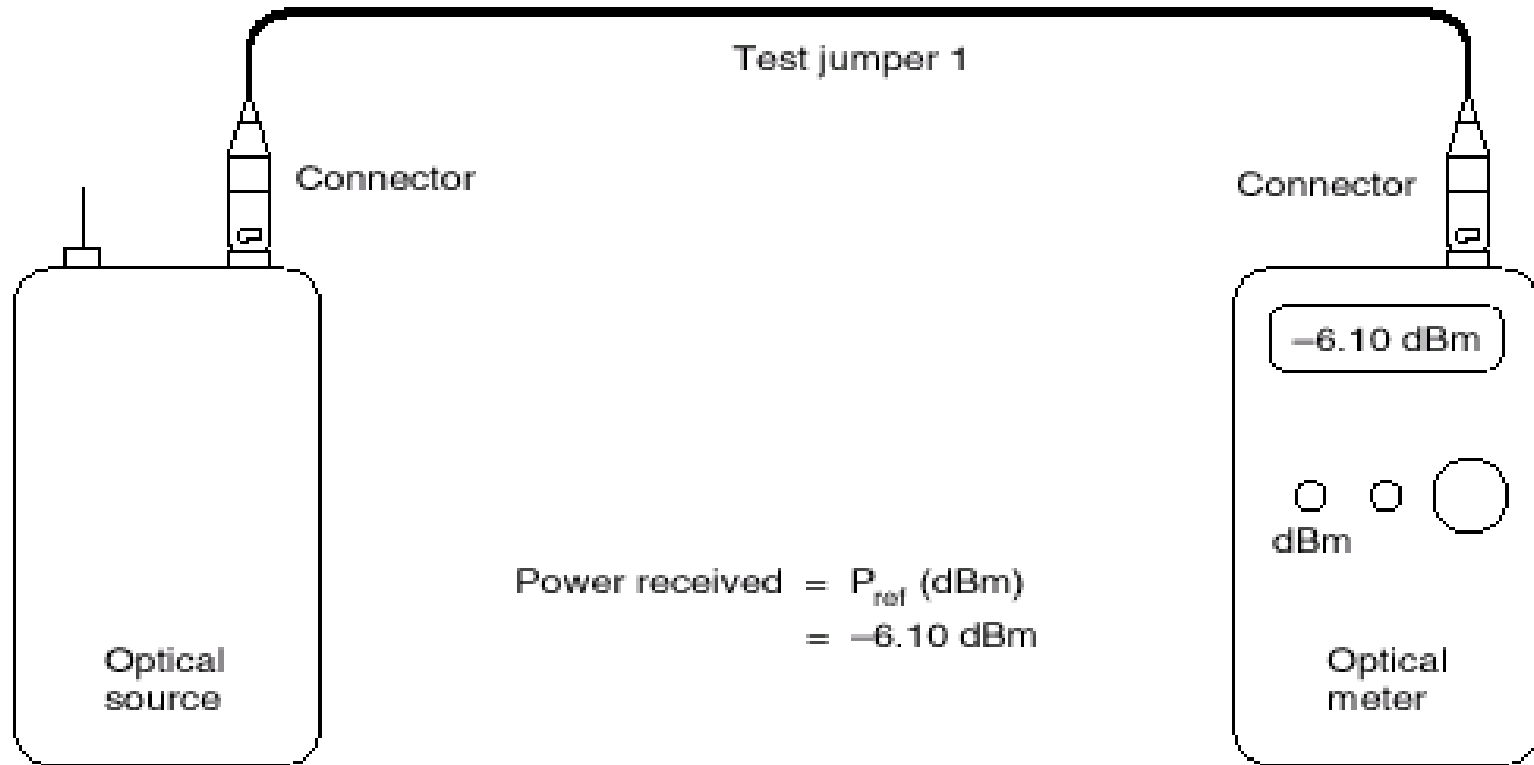
## ИСПОЛЬЗОВАТЬ?

- **Измерение затухания:**
  - всегда при оконечивании кабелей
  - для измерения затухания линка
- **Измерение обратных отражений:**
  - когда на линке есть ВО муфты
  - для кабелей длиной более 200 м
  - для сложных линков
  - для обнаружения повреждений

# Принцип измерения затухания мощности



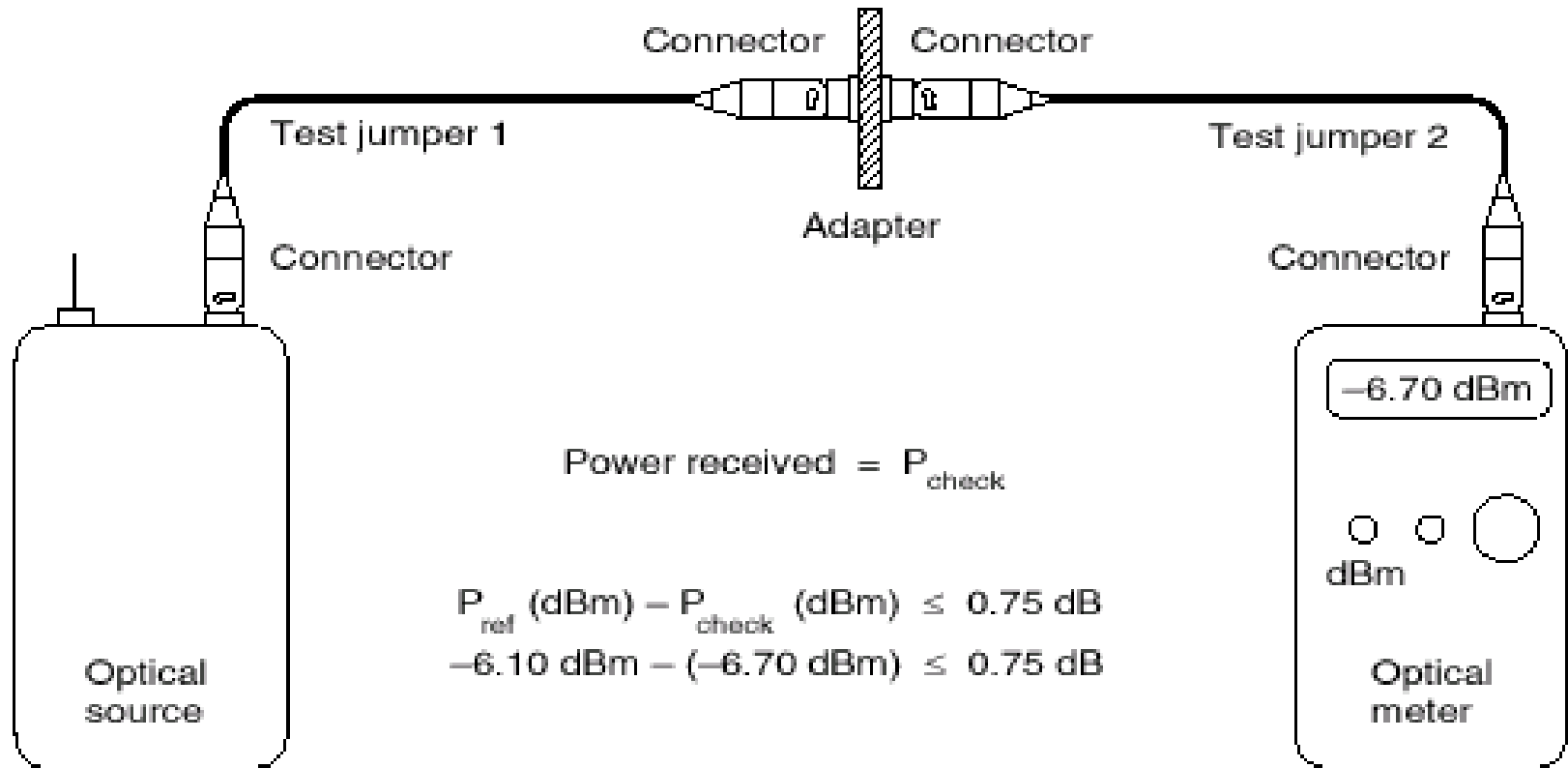
# Принцип измерения затухания МОЩНОСТИ



dBm = Decibel milliwatt

# Принцип измерения затухания

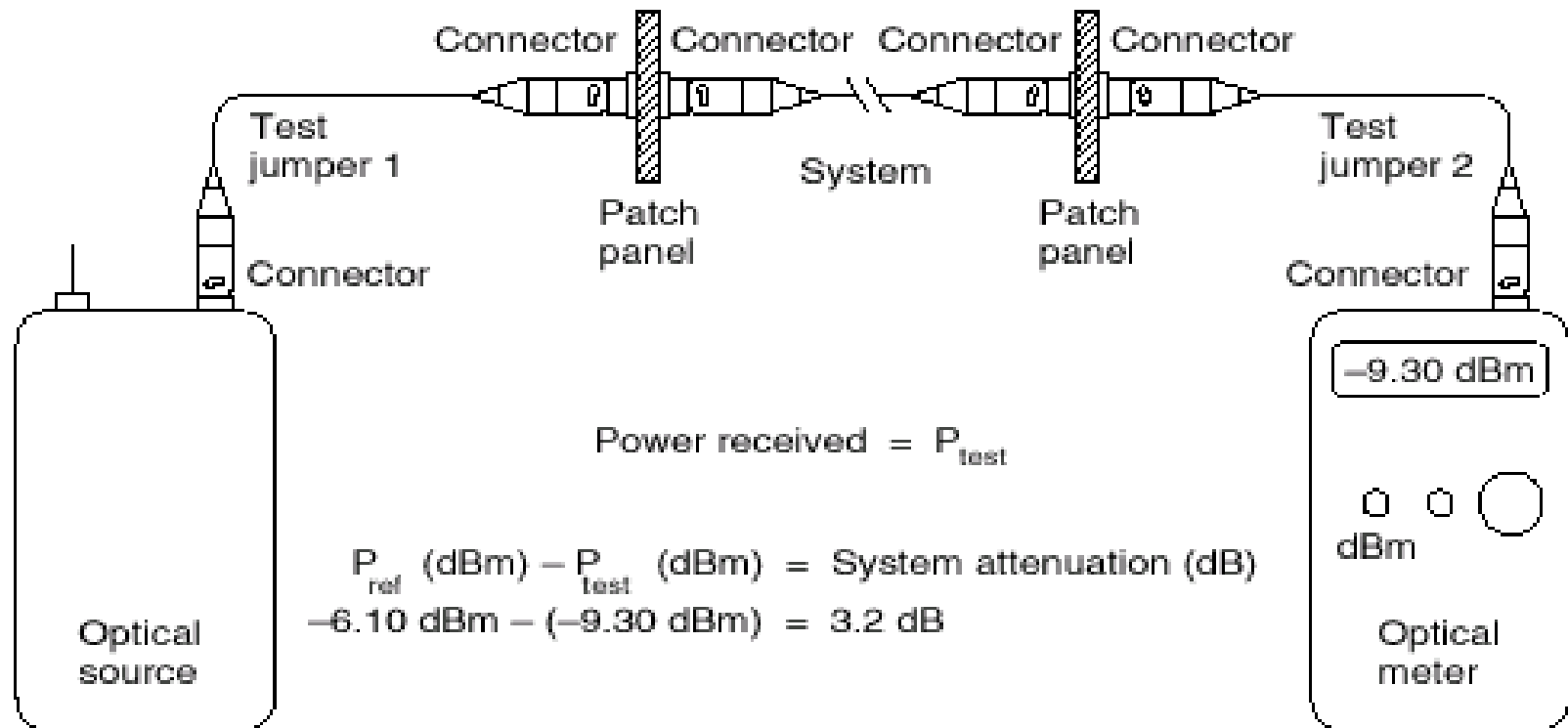
## МОШНОСТИ



dB = Decibel  
dBm = Decibel milliwatt

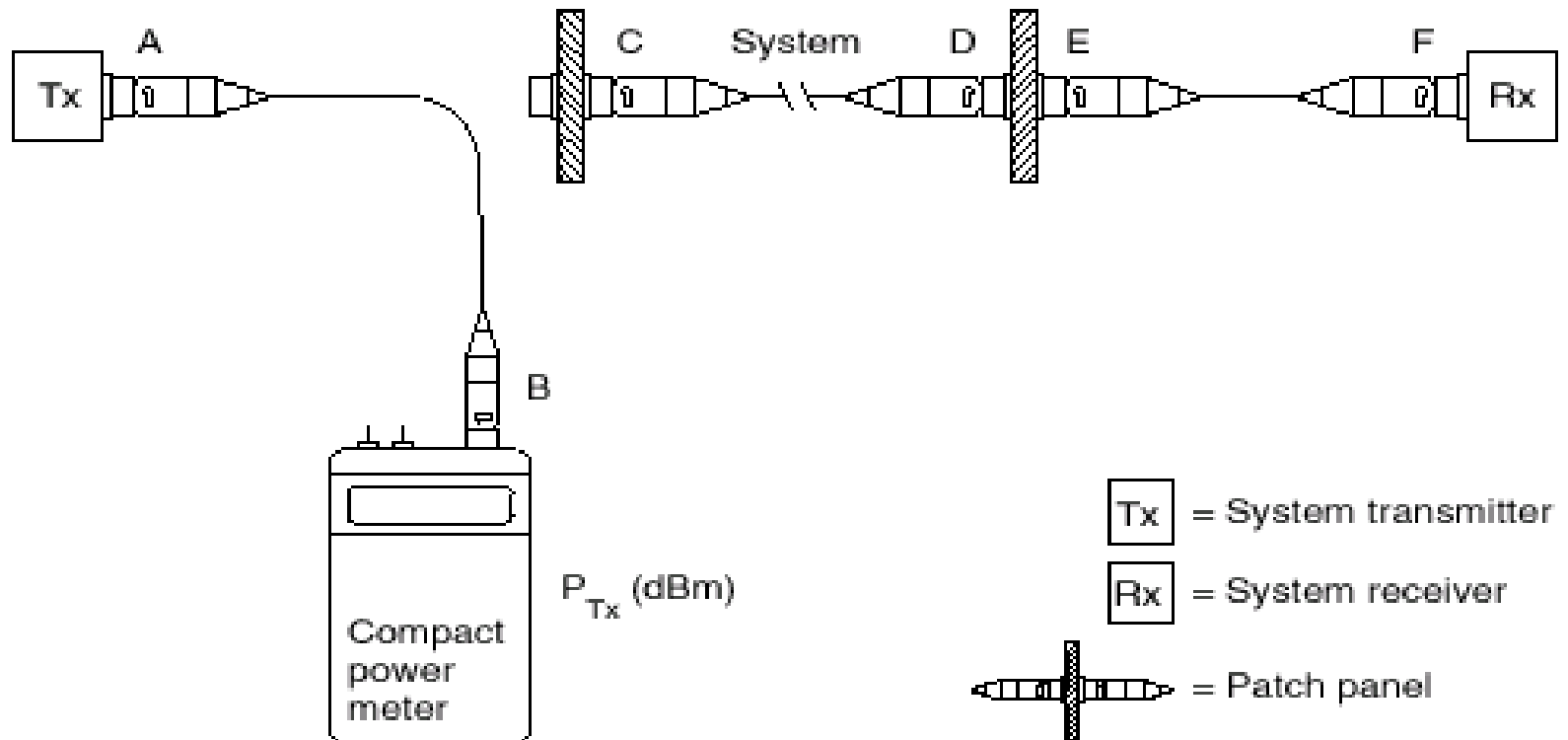
# Принцип измерения затухания

## МОЩНОСТИ



dB = Decibel  
dBm = Decibel milliwatt

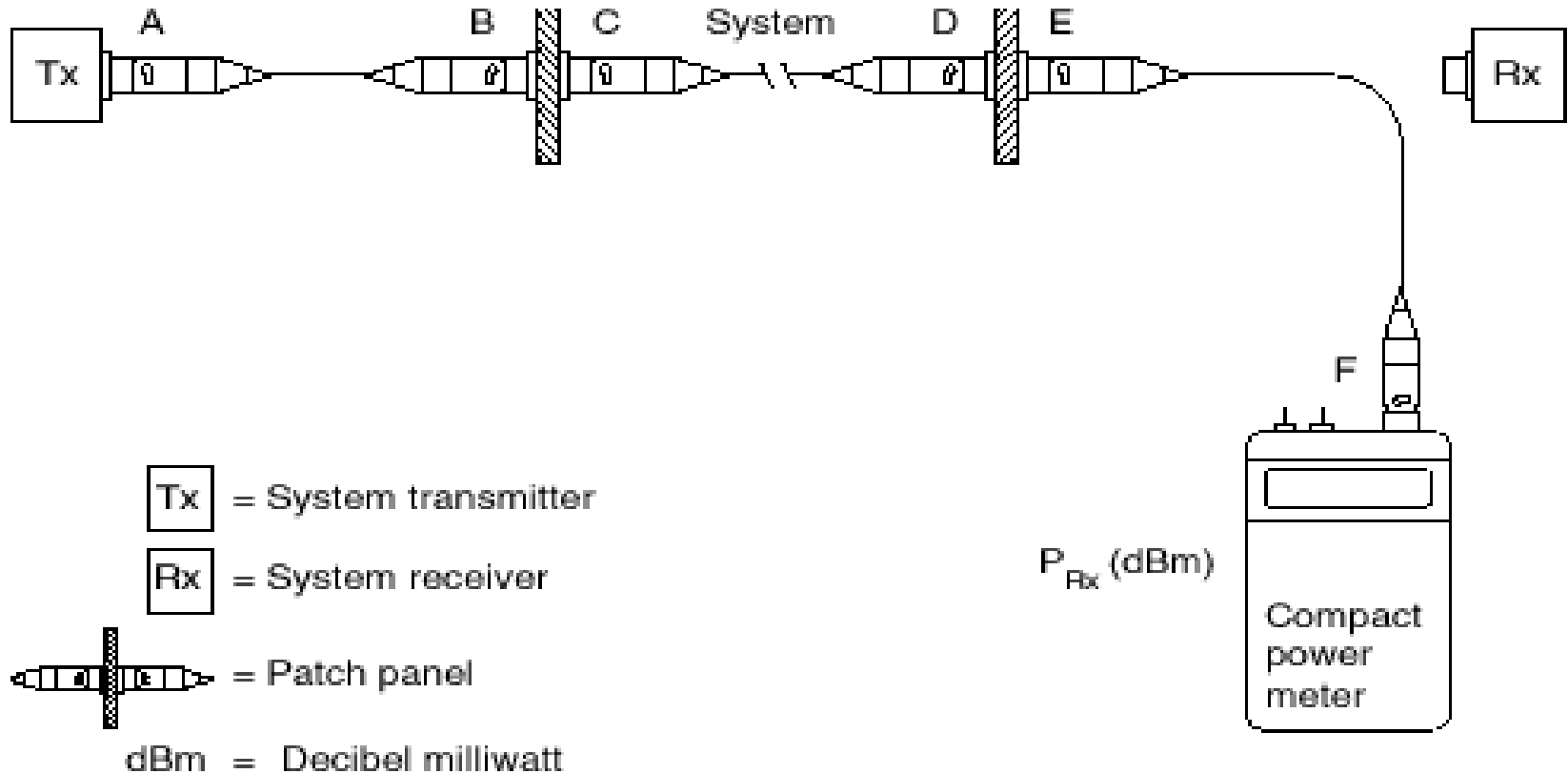
# Принцип измерения мощности передатчика



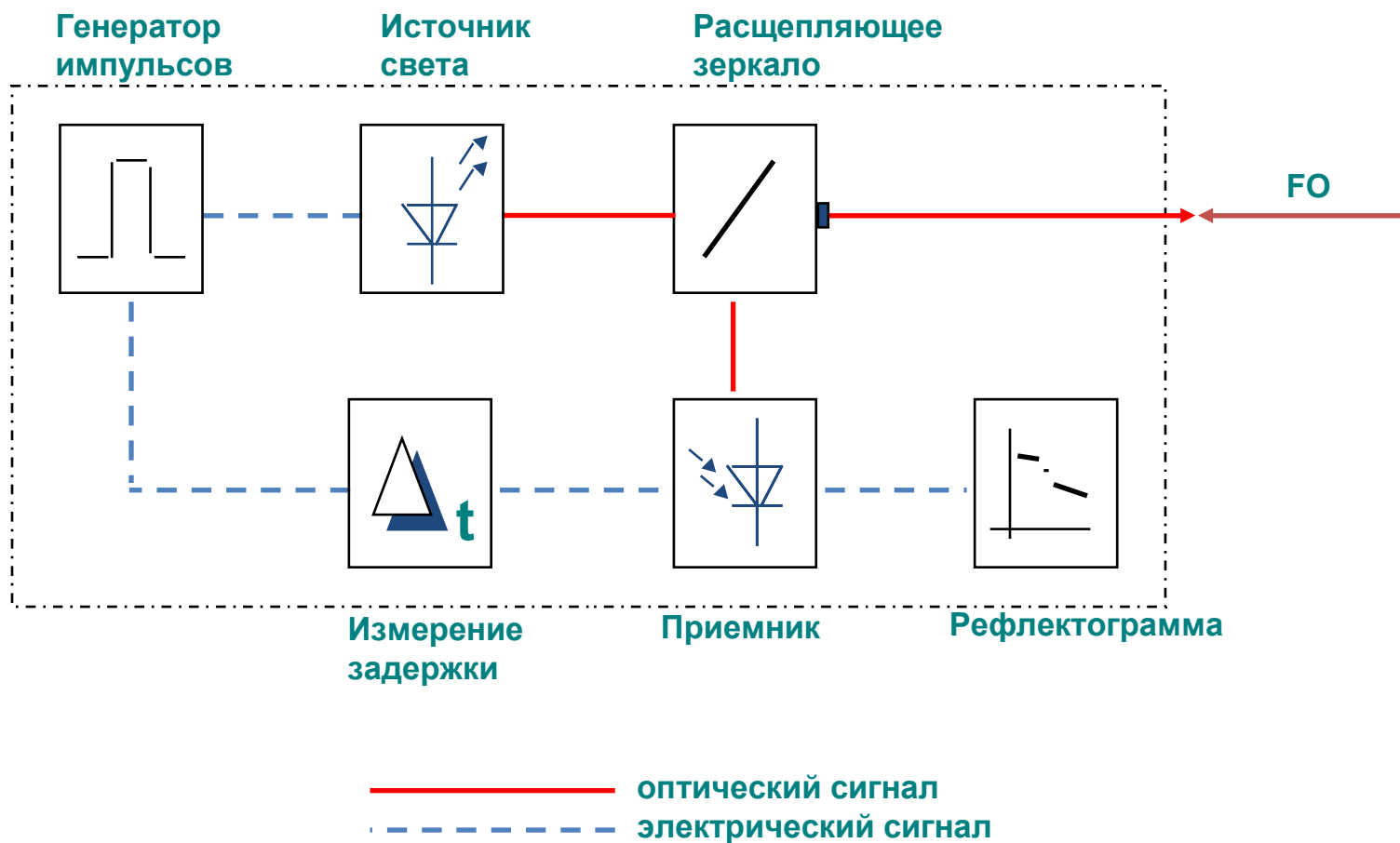
dBm = Decibel milliwatt



# Принцип измерения принимаемой мощности

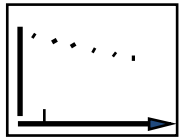


# Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

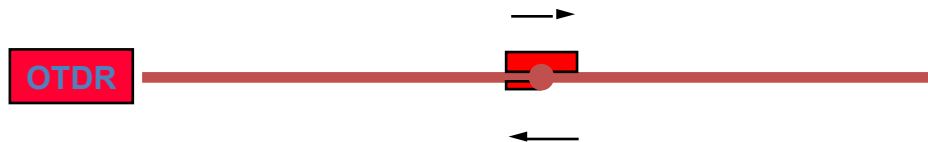


# OTDR измерительная процедура

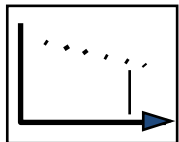
Импульс света распространяется по оптическому волноводу.



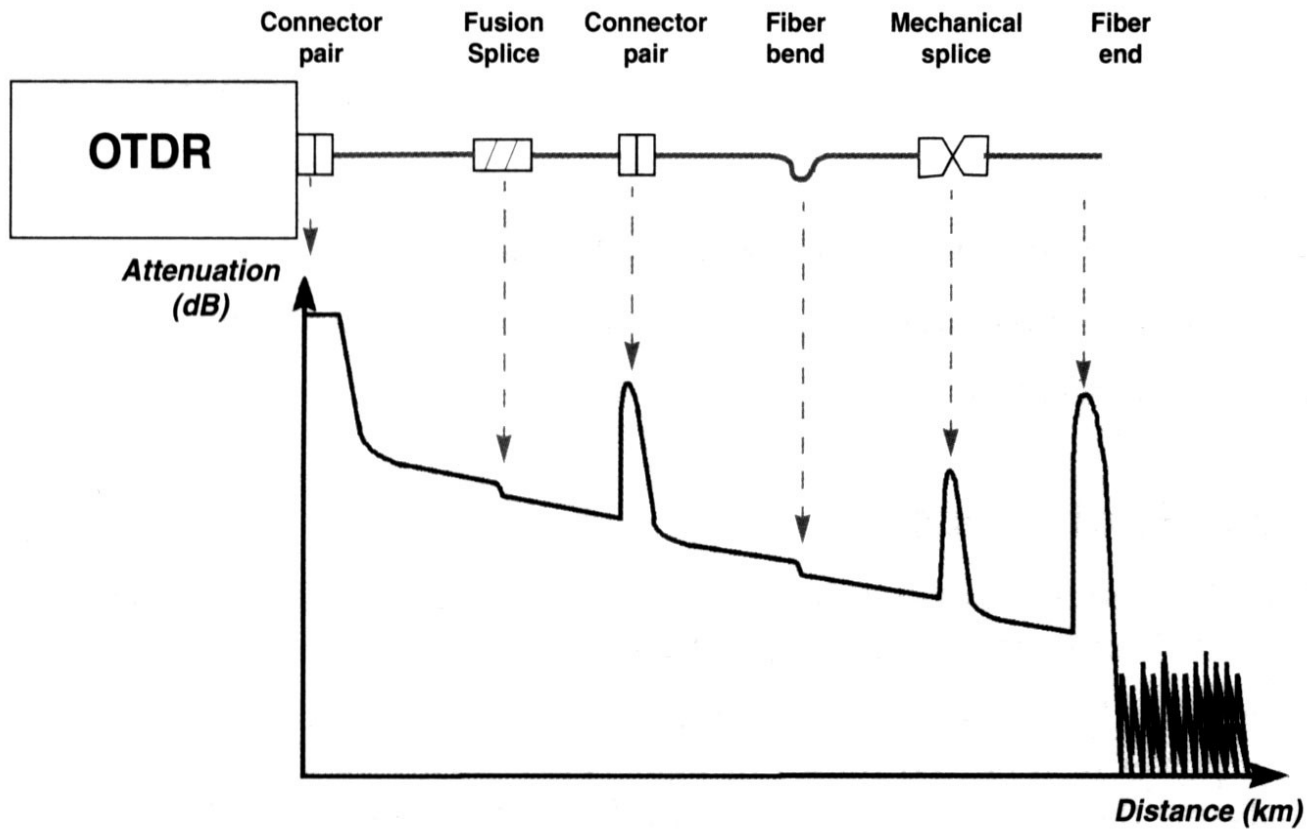
Импульс света частично отражается на неоднородностях.



Отраженный импульс принимается OTDR.



# Пример OTDR рефлектограммы



Typical OTDR trace

# Типичные и стандартизованные значения затуханий

- Сварное соединение
- Типичное:
  - MM: approx. 0.05 dB
  - SM: approx. 0.10 dB
- В соответствии со стандартом (ISO 11801):
  - MM: 0.3 dB
  - SM: 0.3 dB
  
- Разъемное соединение (IL / RL)
- Типичное :
  - MM: RL: 30 dB IL: approx. 0.3 dB
  - SM RL: 45 dB IL: approx. 0.1 - 0.2 dB
- В соответствии со стандартом (ISO 11801):
  - MM: RL: 20 dB IL: 0.75 dB
  - SM: RL: 35 dB IL: также как для MM