

УМК

Специальные волоконные световоды

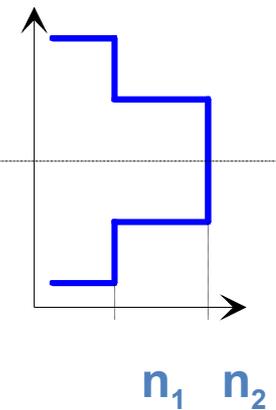
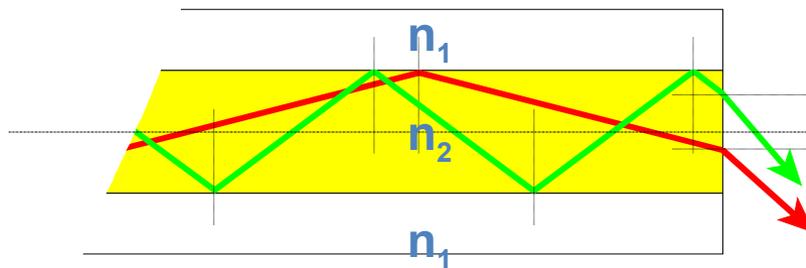
Тема 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

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)

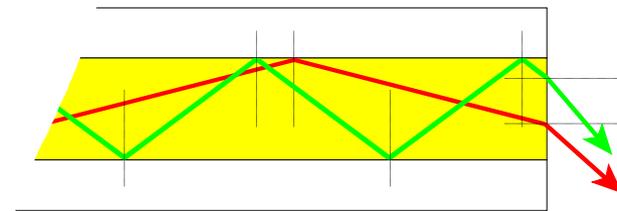
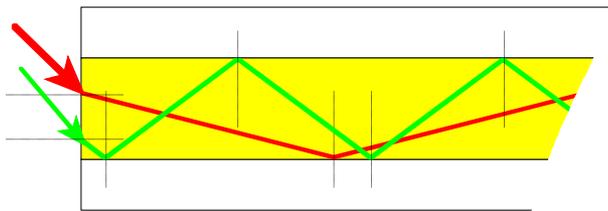


Число Мод $M = 0.5 \times (\pi \times d \times NA / \lambda)^2$

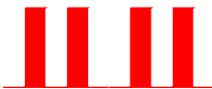
**Профиль
показателя
преломления
(Ступенчатый индекс)**

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



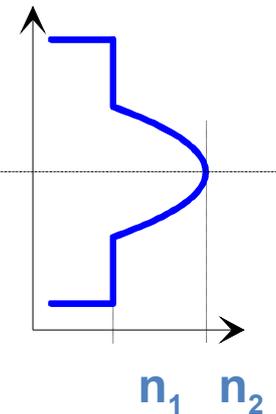
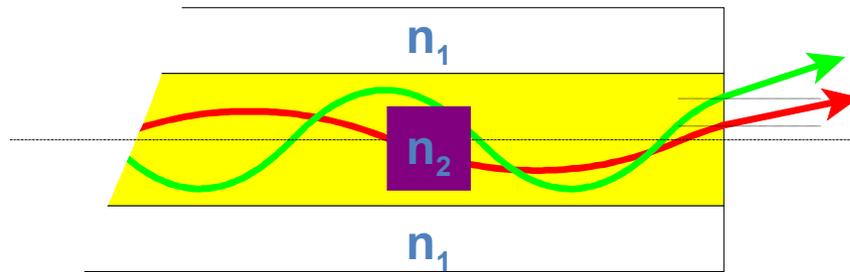
Тип импульса на
Источнике

Деформированные Импульсы



Тип импульса на
Приемнике

Многомодовое волокно (Сглаженный индекс)

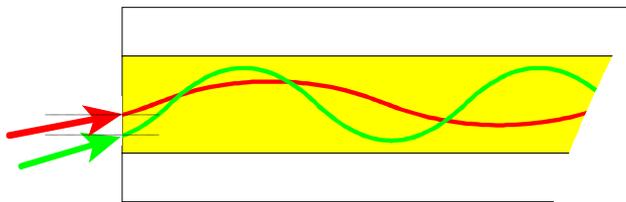


Профиль
показателя
преломления
(Сглаженный индекс)

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

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

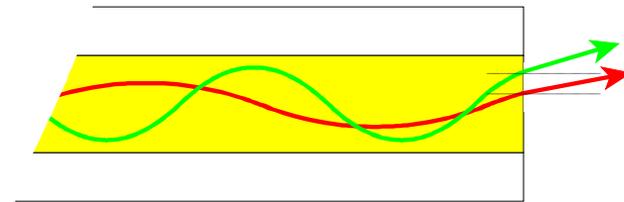
Модовая дисперсия в МНОГОМОДОВОМ ВОЛОКНЕ



Меандры



Форма импульса на
передающей стороне



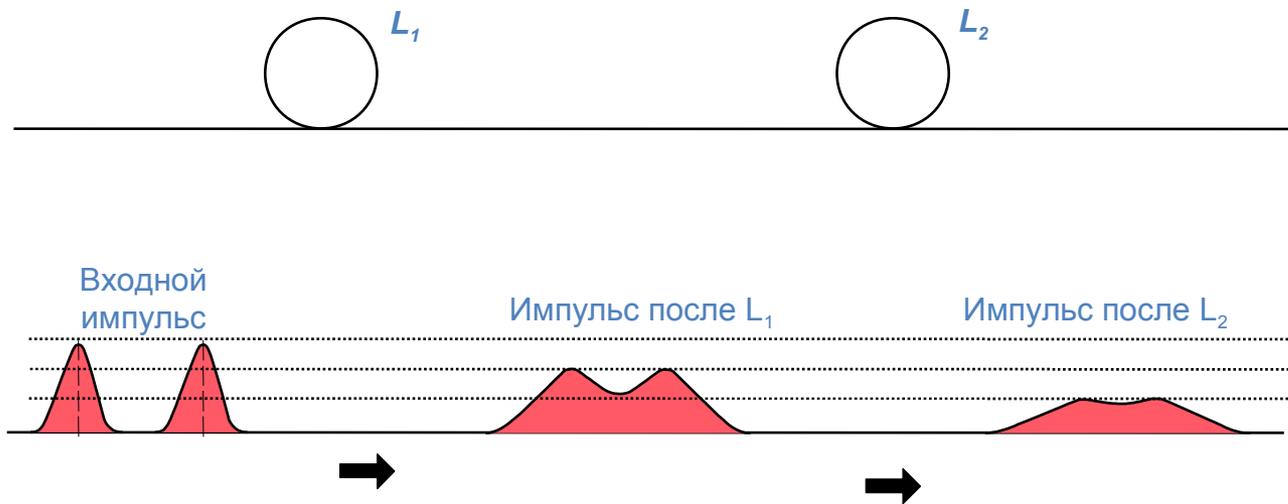
Деформированные Импульсы



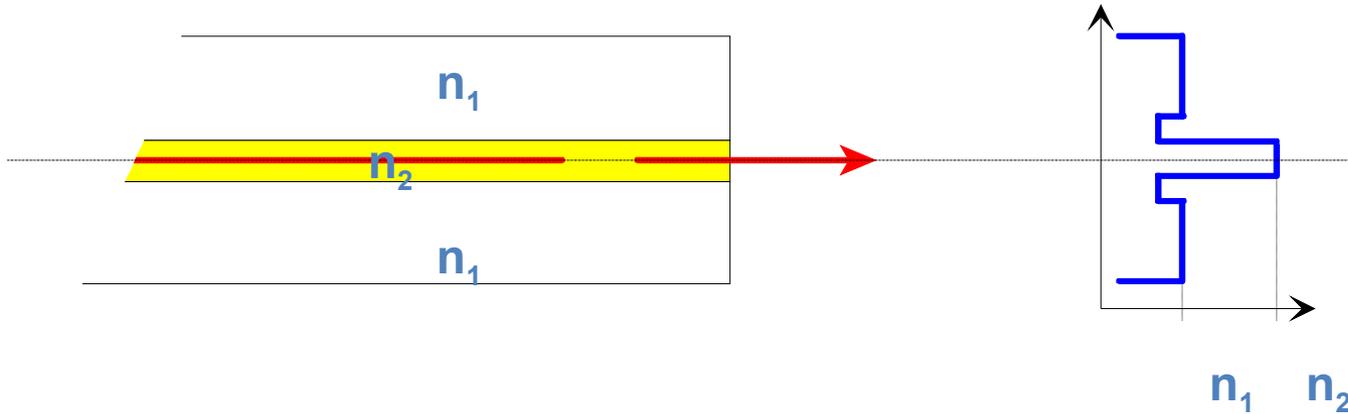
Форма импульса на
приемной стороне

Дисперсия

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



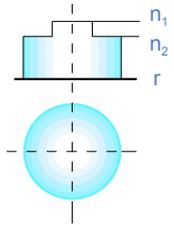
Одномодовое ВОЛОКНО



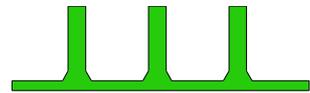
Пример: $n_1 = 1.4570$ и $n_2 = 1.4625$

**Профиль
показателя
преломления
(Ступенчатый индекс)**

Волокно с ступенчатой теория

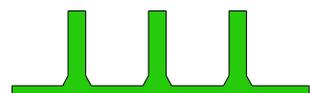
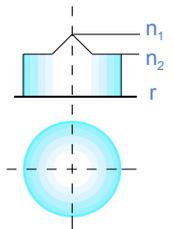
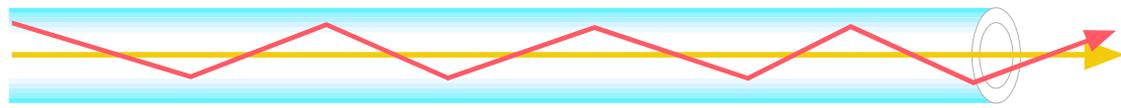


Вносимый сигнал

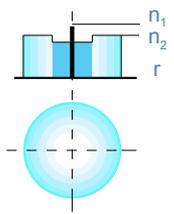
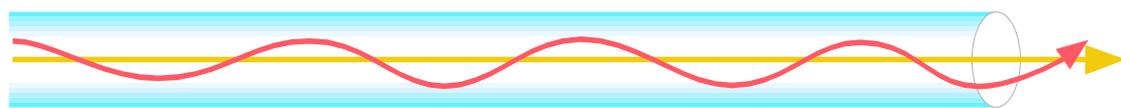


Многомод ступенчатый

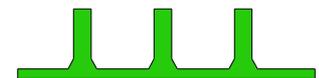
Выходной сигнал



Многомод градиентный



Одномод



Виды дисперсии

Многомодовое
волокно

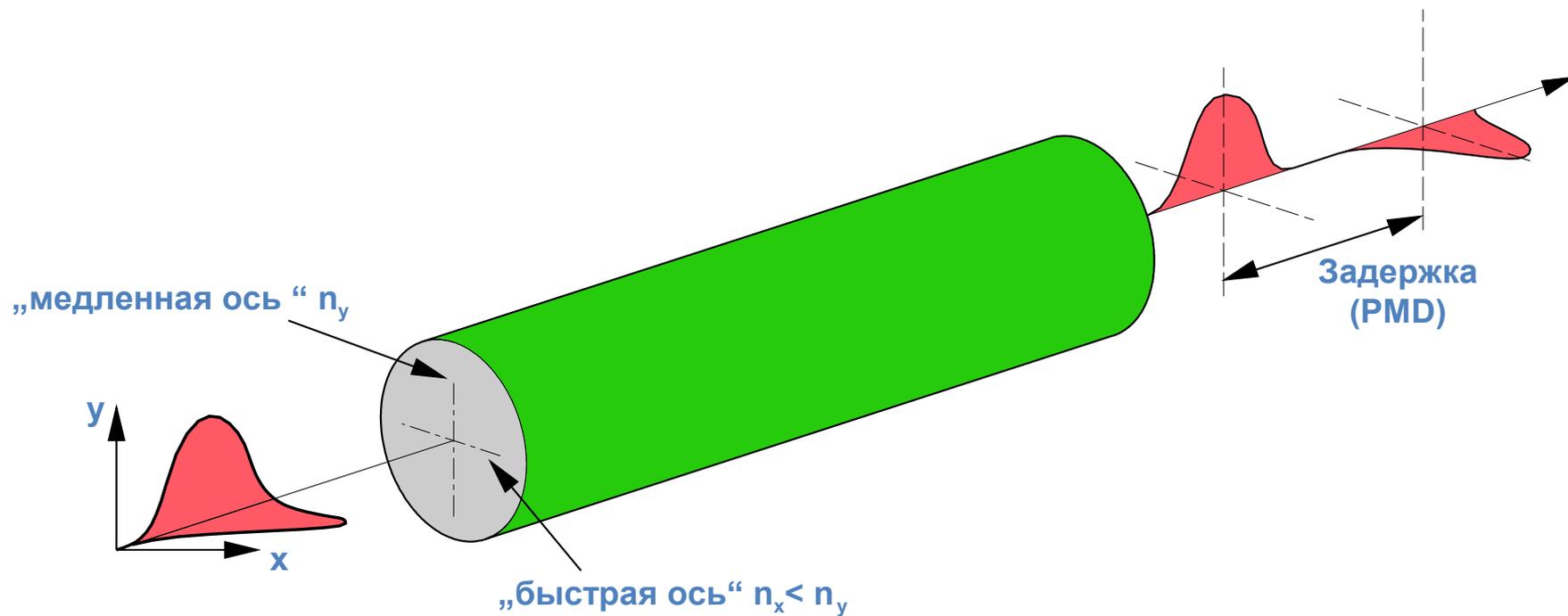
Одномодовое
волокно

Модовая
дисперсия

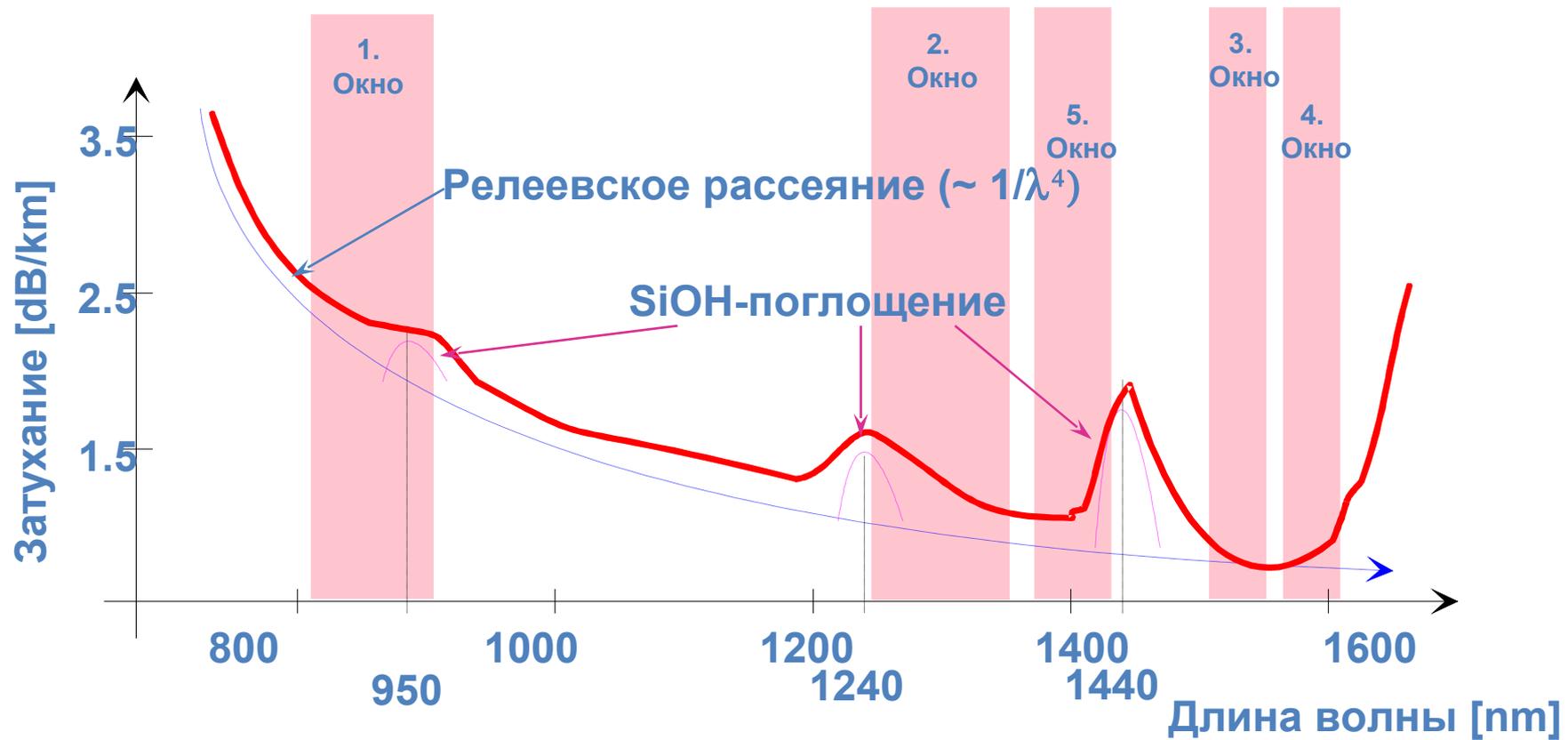
Хроматическая
дисперсия
[ps/km * nm]

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

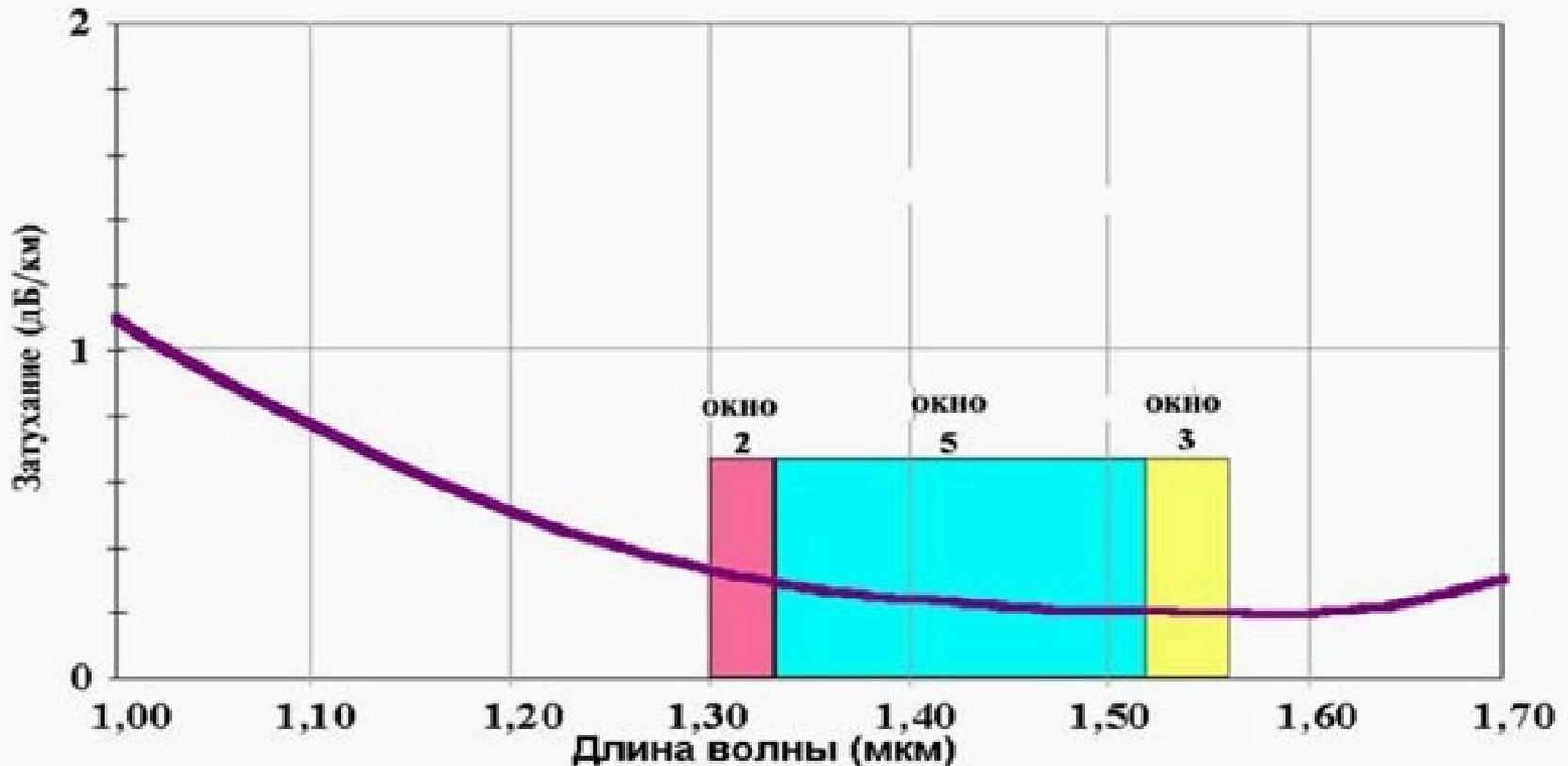
PMD для одномодового оптического волокна



Затухание многомодовых волокон

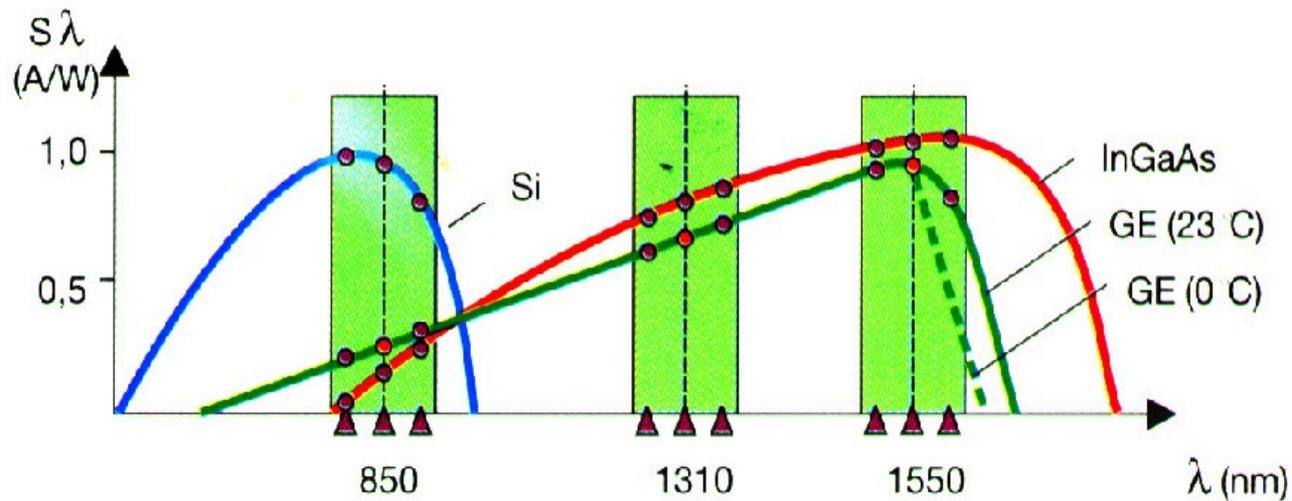


Затухание одномодовых волокон

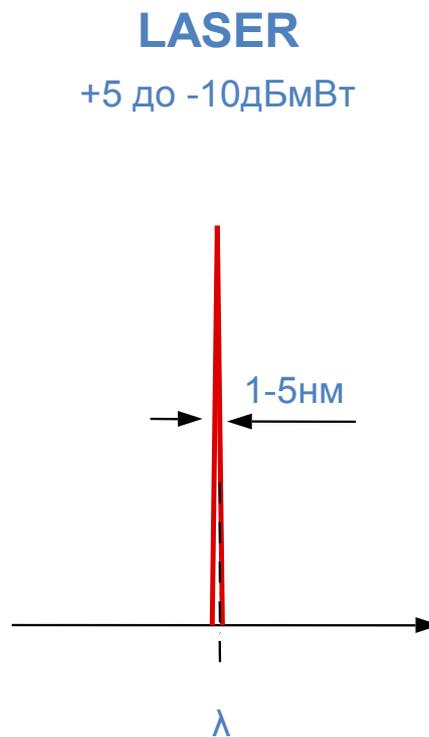
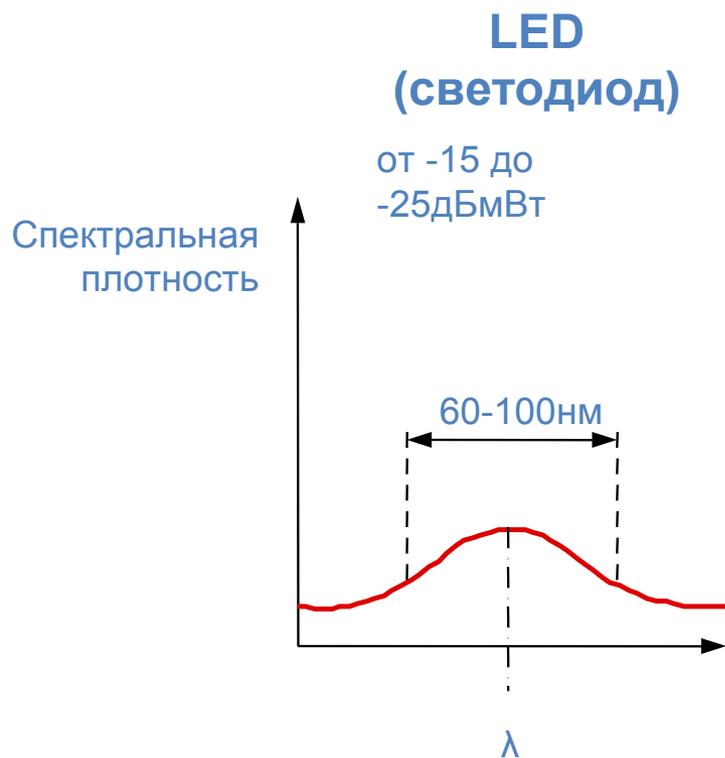


Зависимость коэффициента затухания от длины волны одномодового оптического волокна

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.



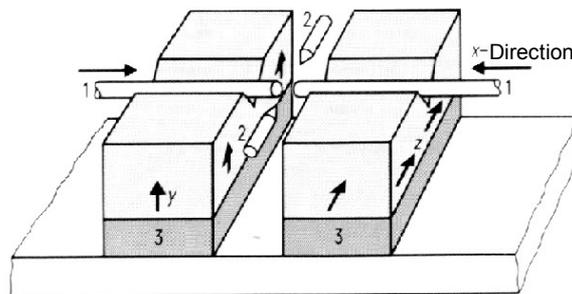
Соединения волокон

- **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

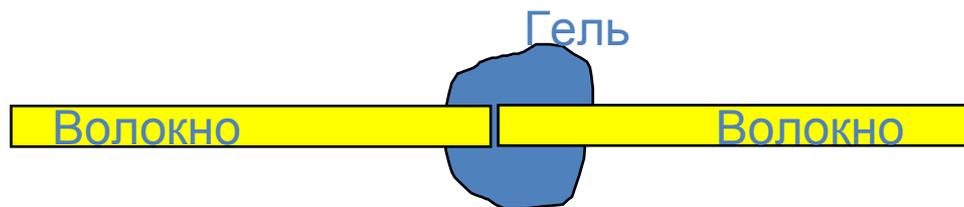
- Принцип работы
 - Очищенные и сколотые волокна совмещаются друг с другом торцами как можно плотнее в сварочном аппарате (по возможности без горизонтальных или вертикальных смещений). Свариваются. Затем, сварное соединение защищается так называемой гильзой защиты сварного соединения.



Квази-разъемное соединение

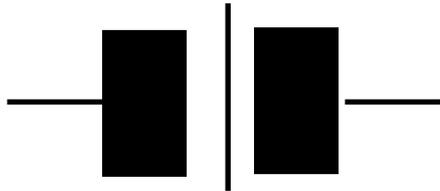
– Принцип работы

- 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

Criteria's	Detachable	Quasi – Detachable	Not – Detachable
Insertion loss α in [dB]	$0,05 < \alpha < 0,75$	$0,1 < \alpha < 0,5$	$0,05 < \alpha < 0,2$
Return loss α 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"> ● Equipment ● Initial Installation ● Repeated disconnect and connect 	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)

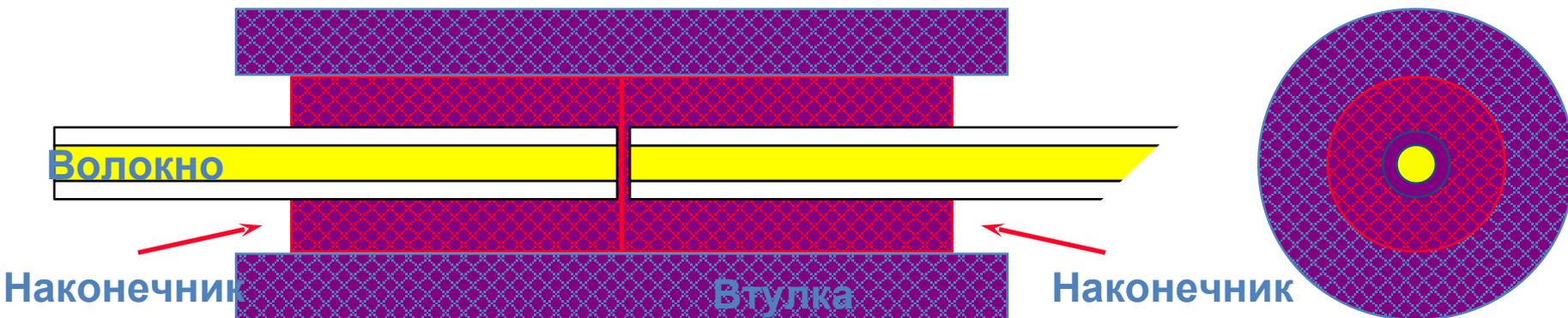
Технология совмещения – Цилиндрическая гильза

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

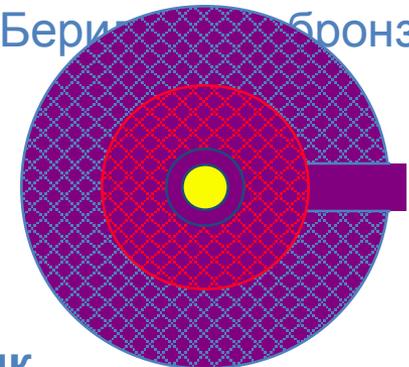
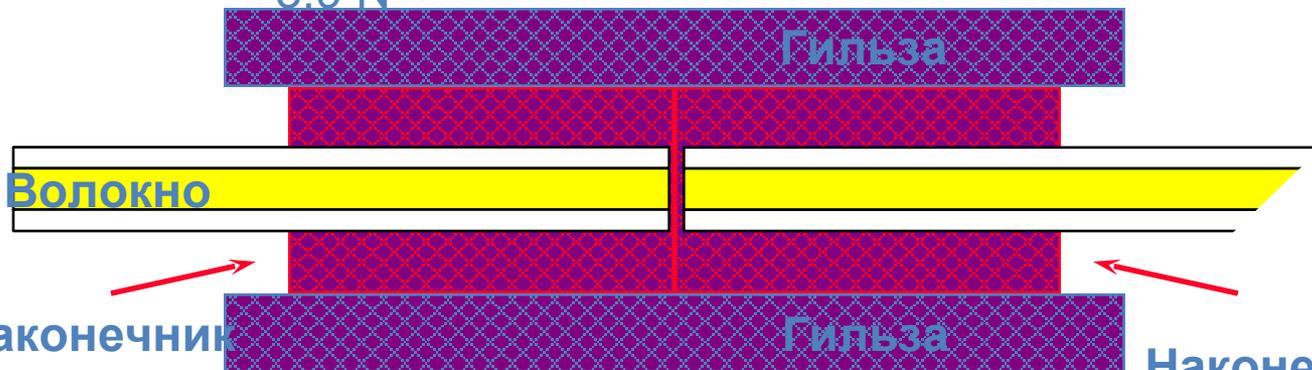
Наконечник Керамика (Circonia)

Карбид Вольфрама

Гильза

Керамика (Circonia)

Берил-бронза

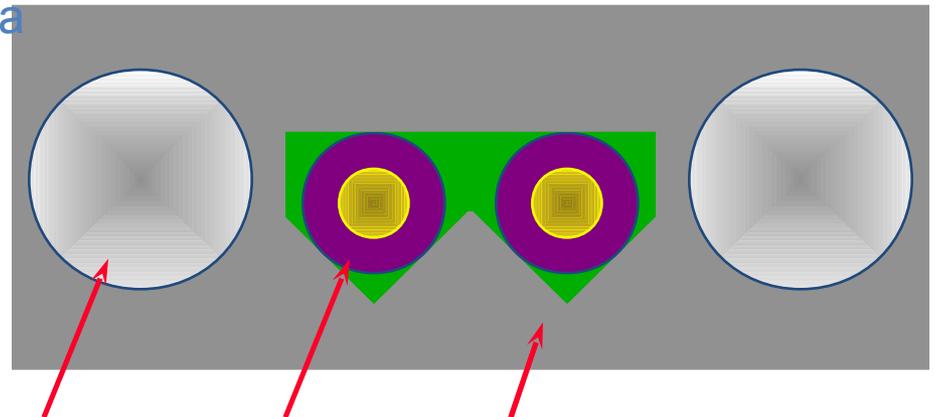


Новые технологии совмещения – V-образный канал

Материалы

V-обр. желоб
Силиконовая подложка

Центровщик
Карбид вольфрама



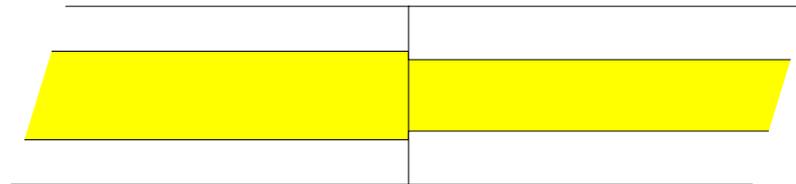
Центровщик Волокно V - обр. желоб

Вносимые потери - внутренние

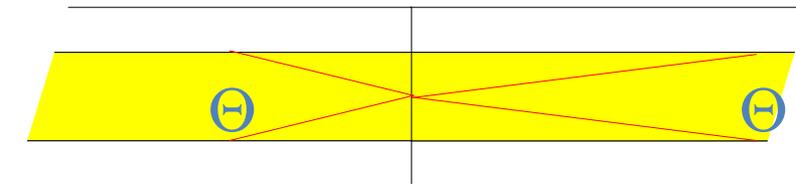
Разницей в:



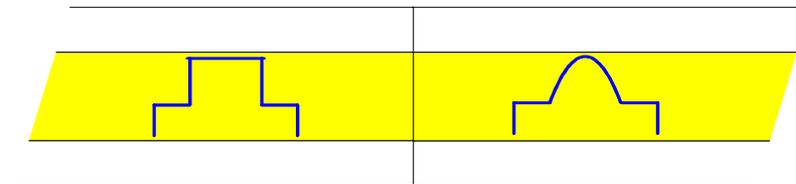
Диаметра ядер



Численных
Апертура



Профилей
показателя
преломления



Вносимые потери - Внешние

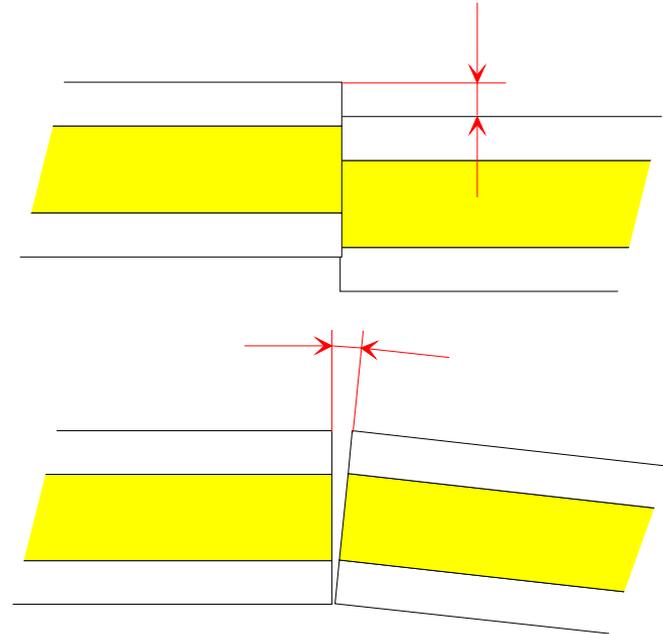
Относительное
позиционирование:



Горизонтальное
несовпадение
волокон



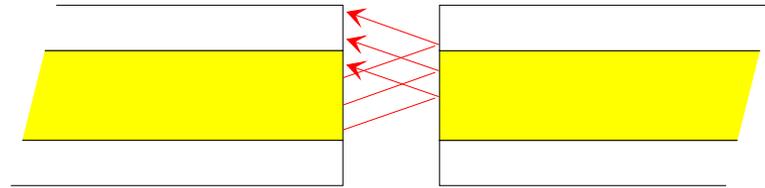
Осевой наклон



Вносимые потери - внешние



Неплотное прилегание



4% отражение на каждом конце = 0.36 dB потерь

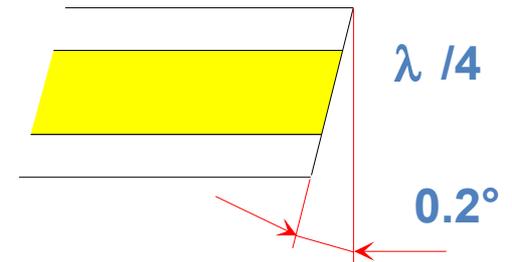
Подготовка поверхности волокна:



Шероховатость поверхности



Угол



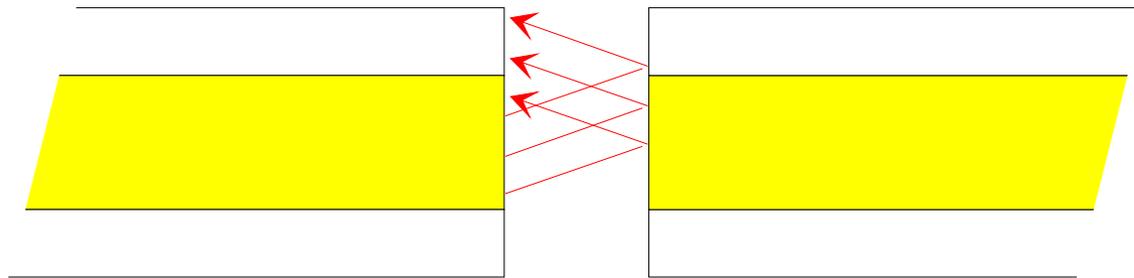
Зазор между сердцевинами

—

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*

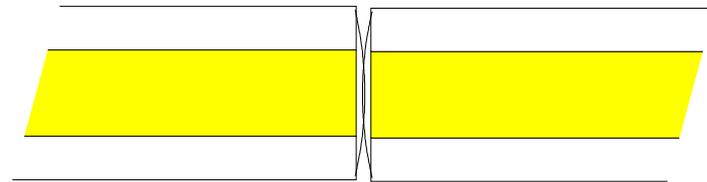
Торцы наконечников –

Сферический контакт

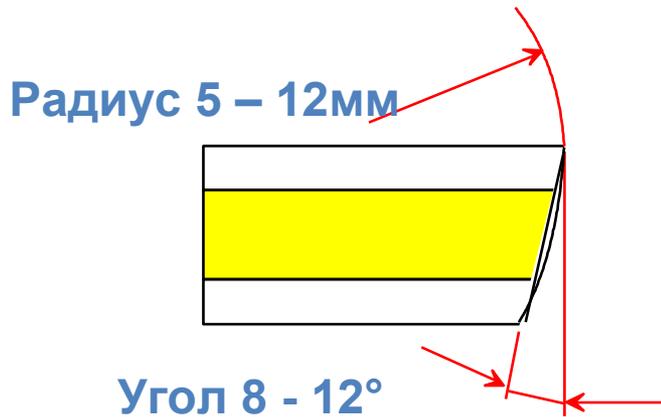


Параметры передачи

Вносимые потери	< 0.5 dB
Обратные потери	> 35 dB



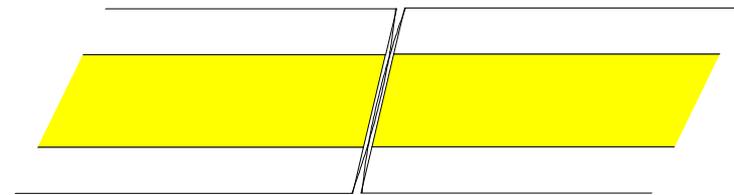
Угловой сферический физический КОНТАКТ



Передаточные характеристики

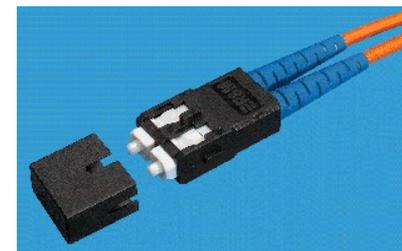
Вносимое затухание < 0.3 dB

Возвртные потери > 60 dB

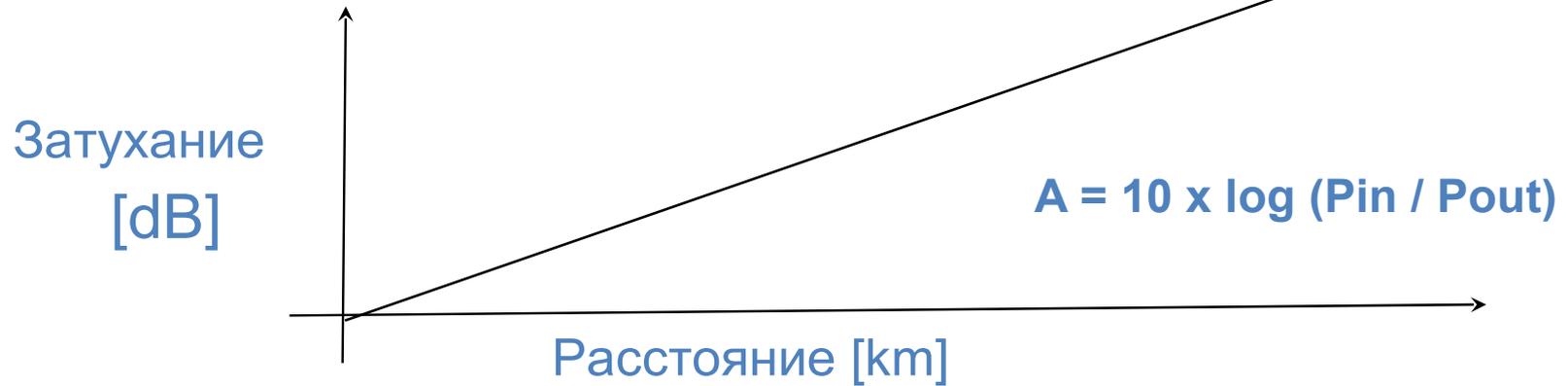
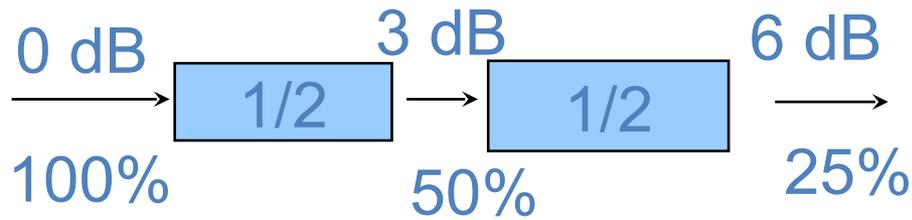


SC-RJ коннектор

- 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

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

α : Затухание кабеля [dB/km]

L : Длина кабеля [km]

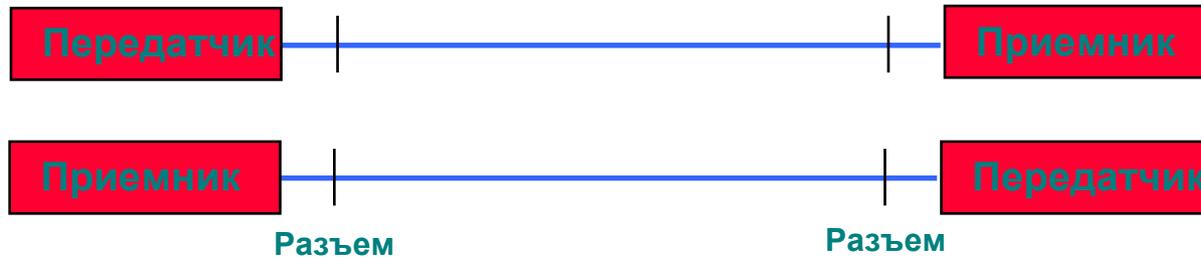
A_s : Затухание на соединении [dB]

N_s : Число соединений

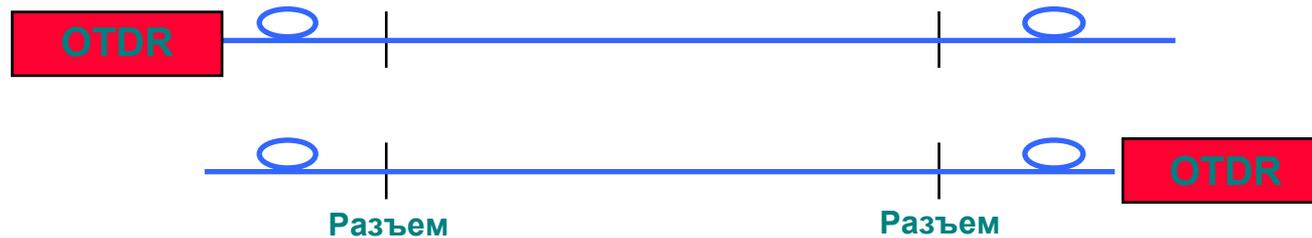
A_c : Вносимые потери коннектора [dB]

N_c : К-во коннекторов

Измерение затухания / принципы



Измерение обратных отражений (OTDR)

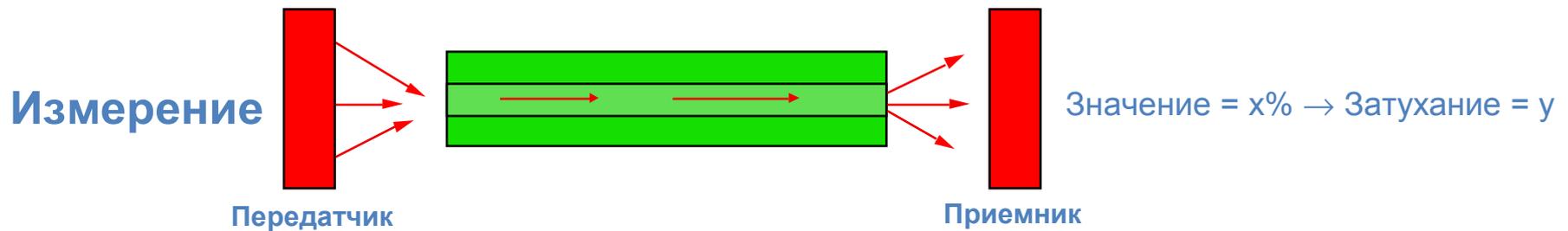


Какой метод

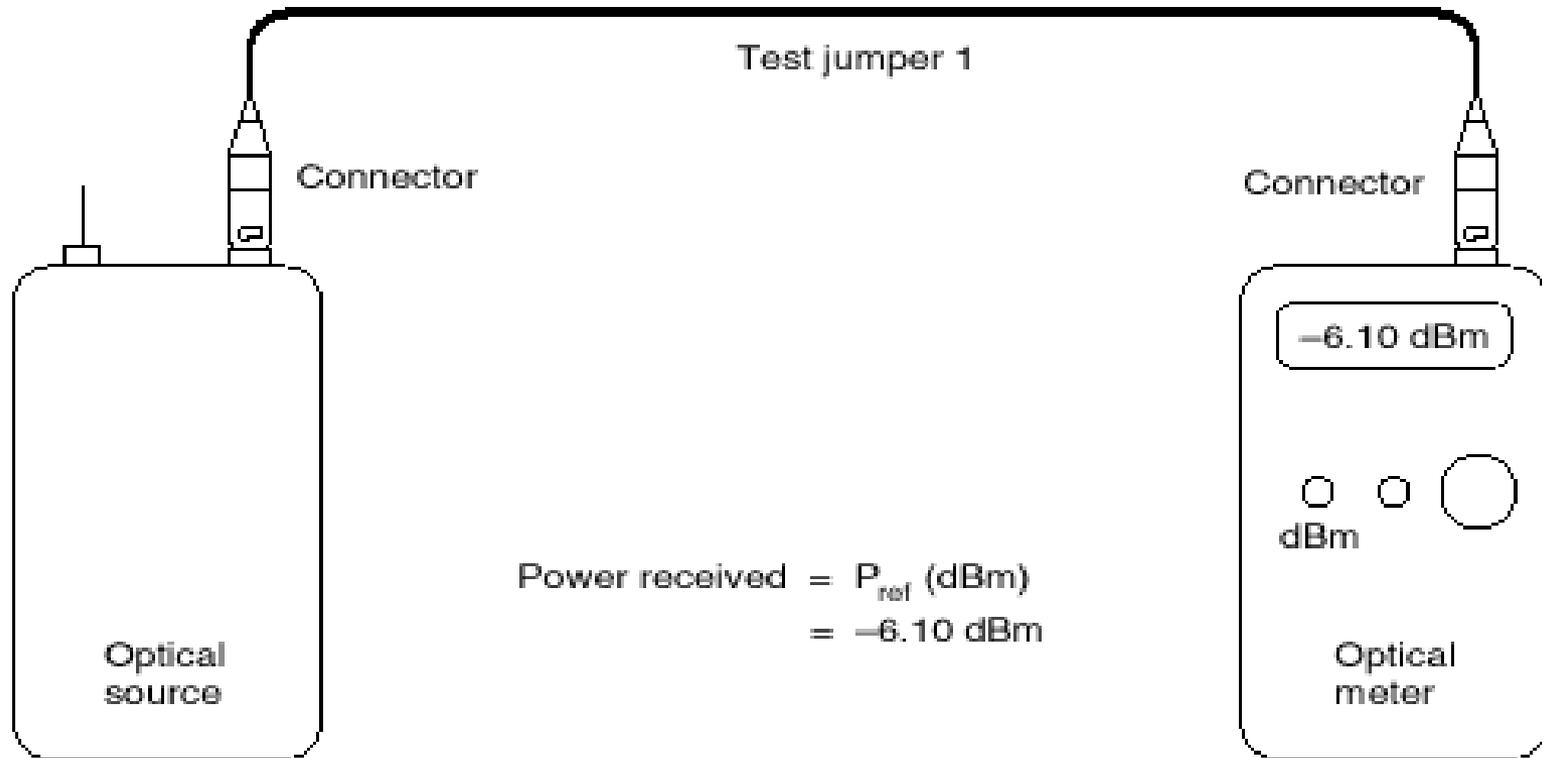
ИСПОЛЬЗОВАТЬ?

- **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



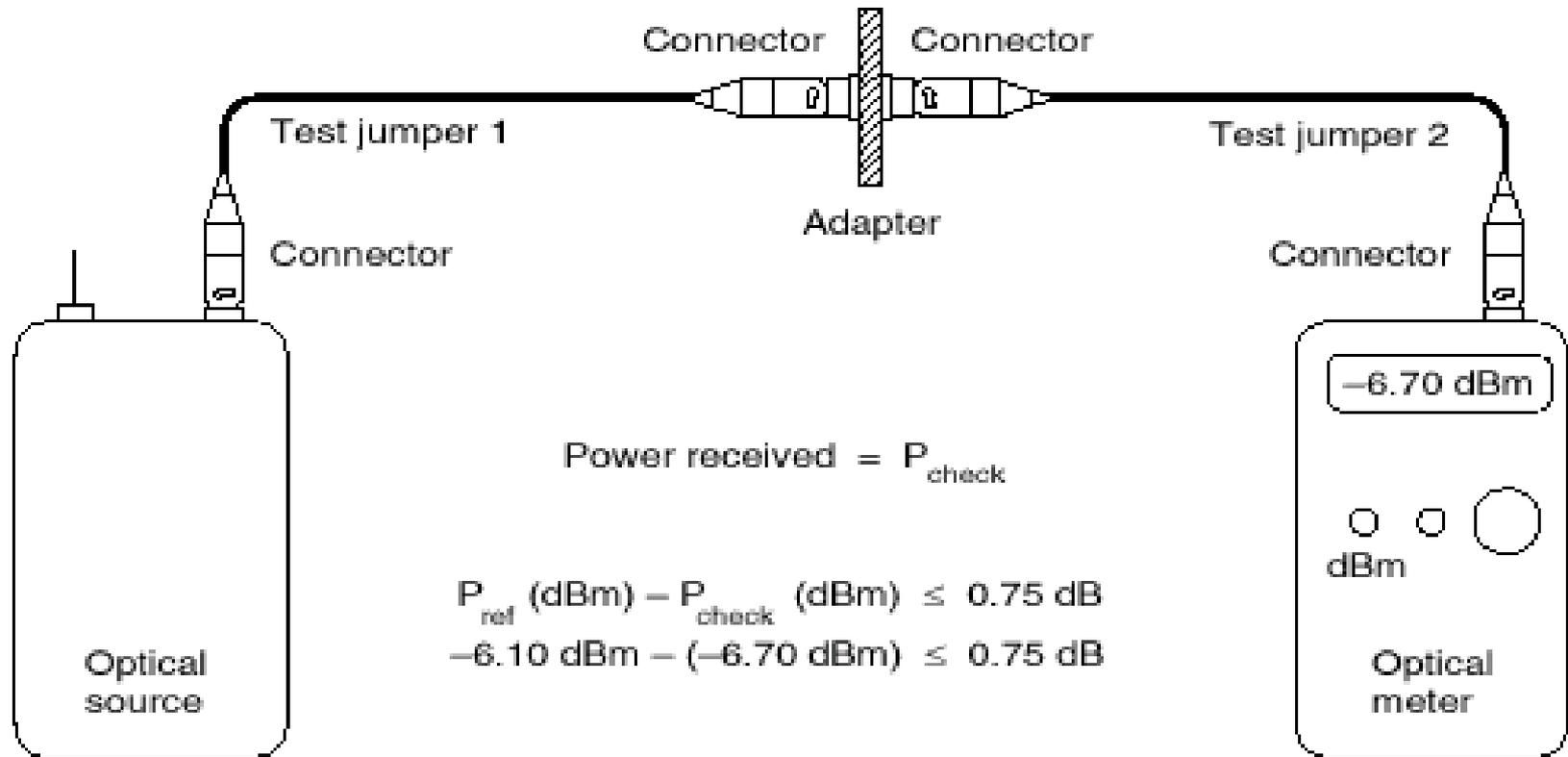
Принцип измерения затухания МОЩНОСТИ



dBm = Decibel milliwatt

Принцип измерения затухания

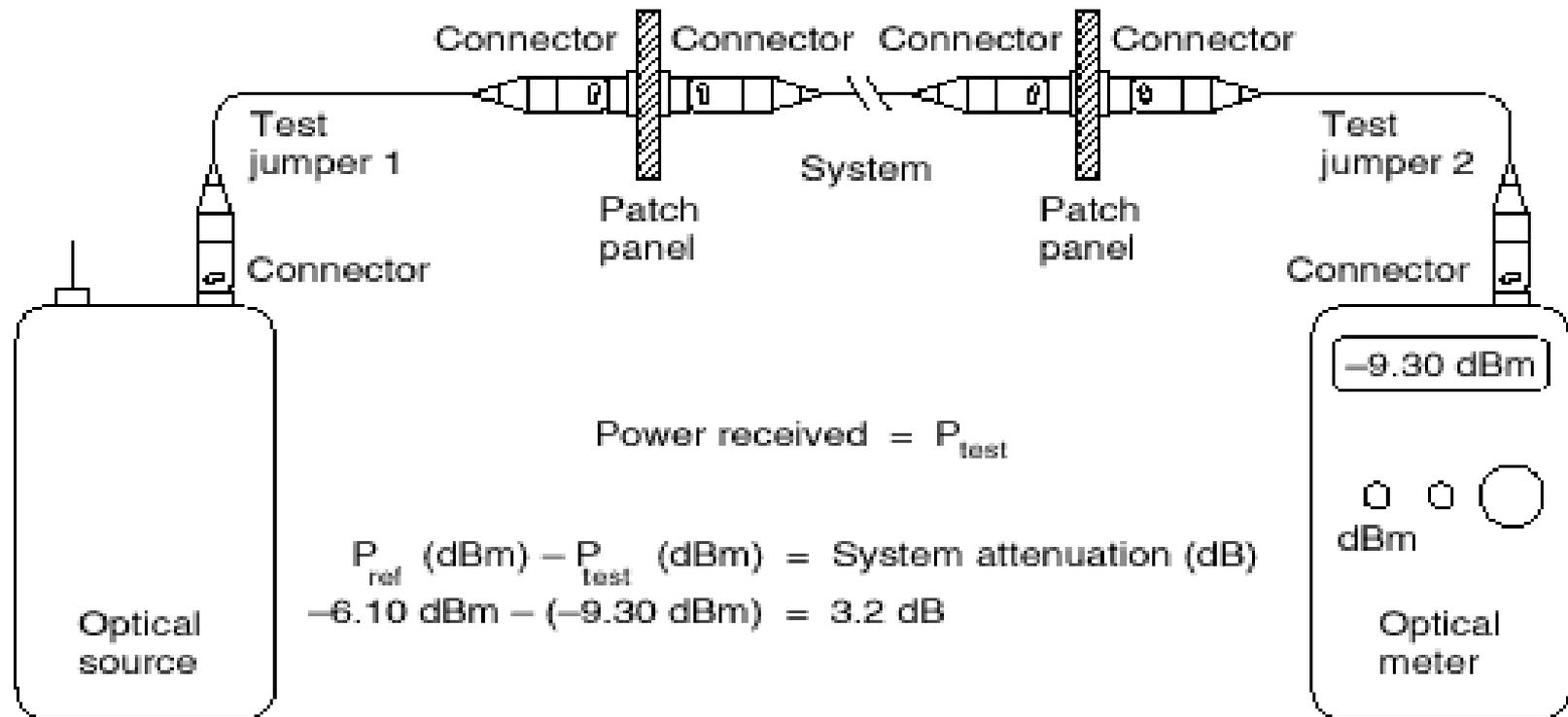
МОШНОСТИ



dB = Decibel
dBm = Decibel milliwatt

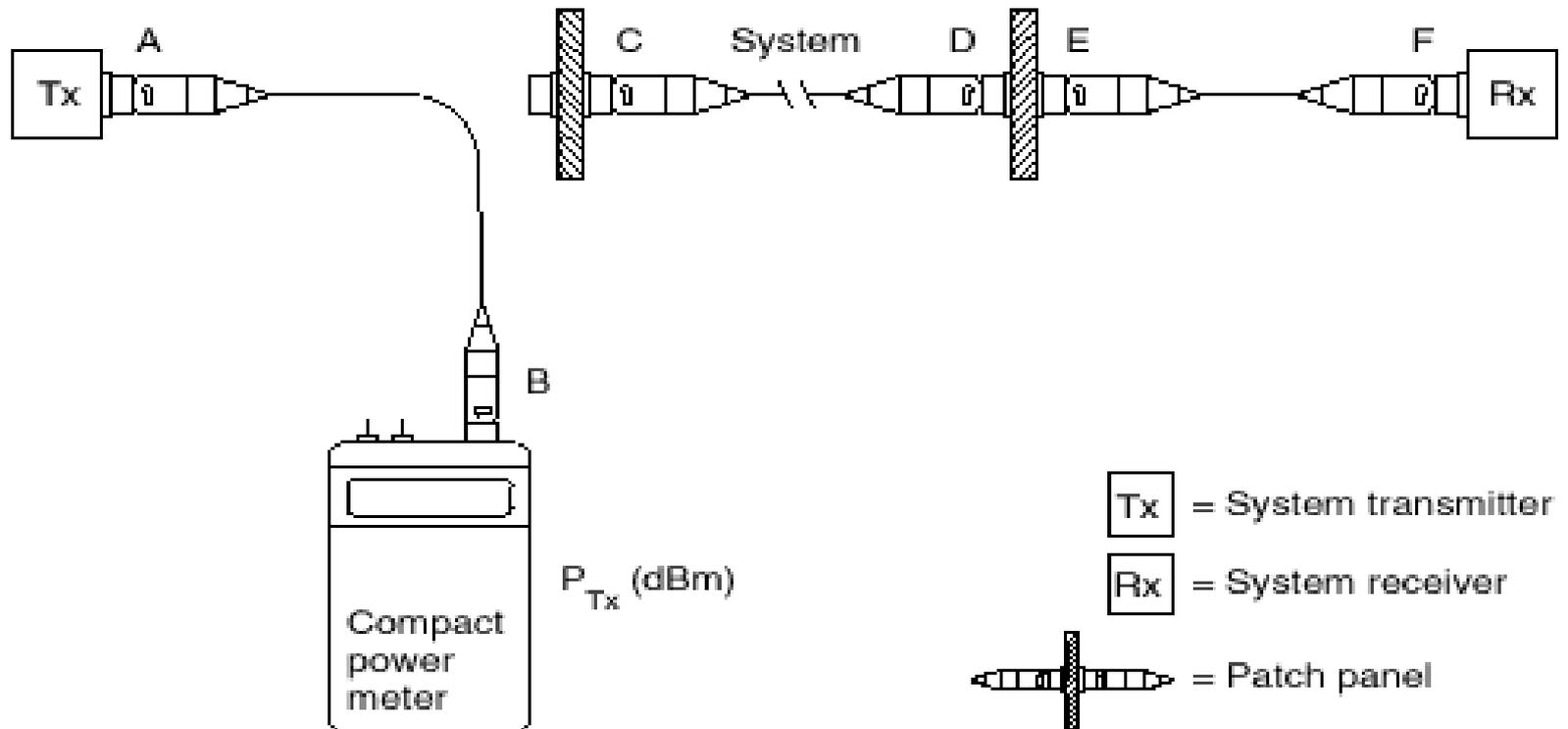
Принцип измерения затухания

МОЩНОСТИ



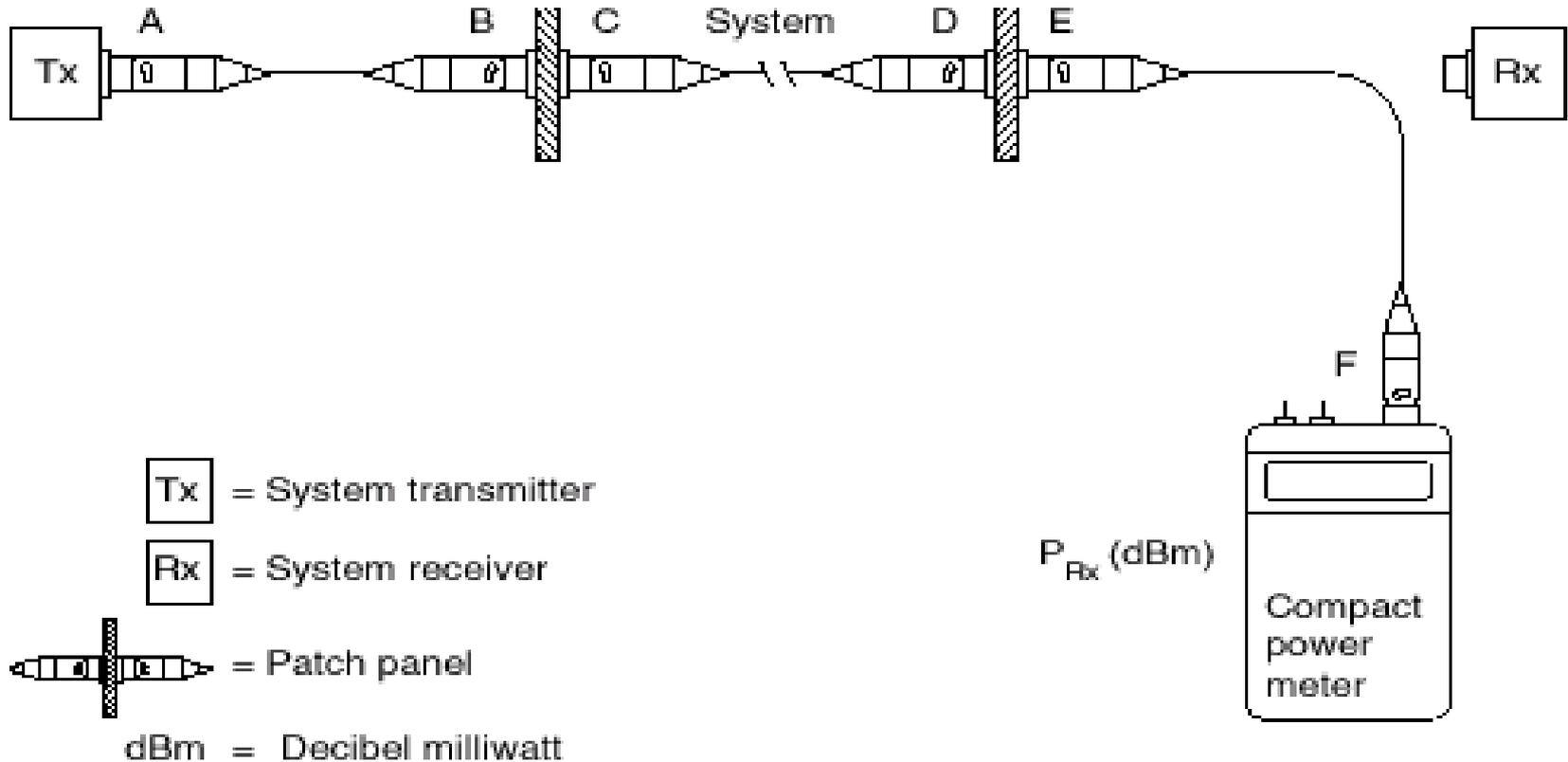
dB = Decibel
dBm = Decibel milliwatt

Принцип измерения мощности передатчика

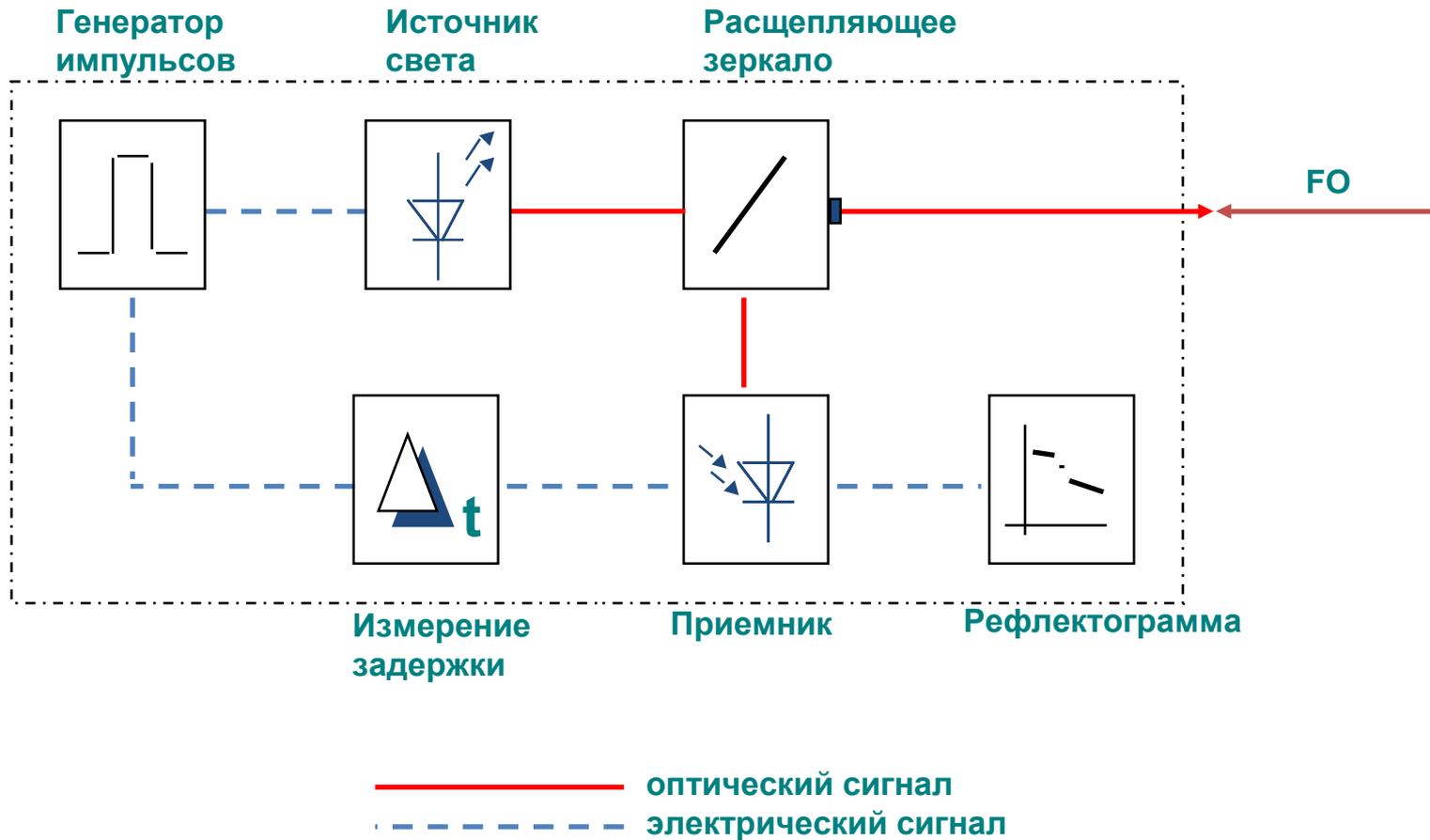


dBm = Decibel milliwatt

Принцип измерения принимаемой мощности

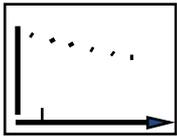


Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

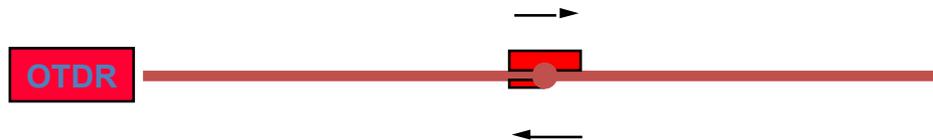


OTDR измерительная процедура

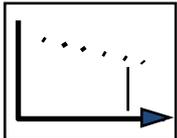
Импульс света распространяется по оптическому волноводу.



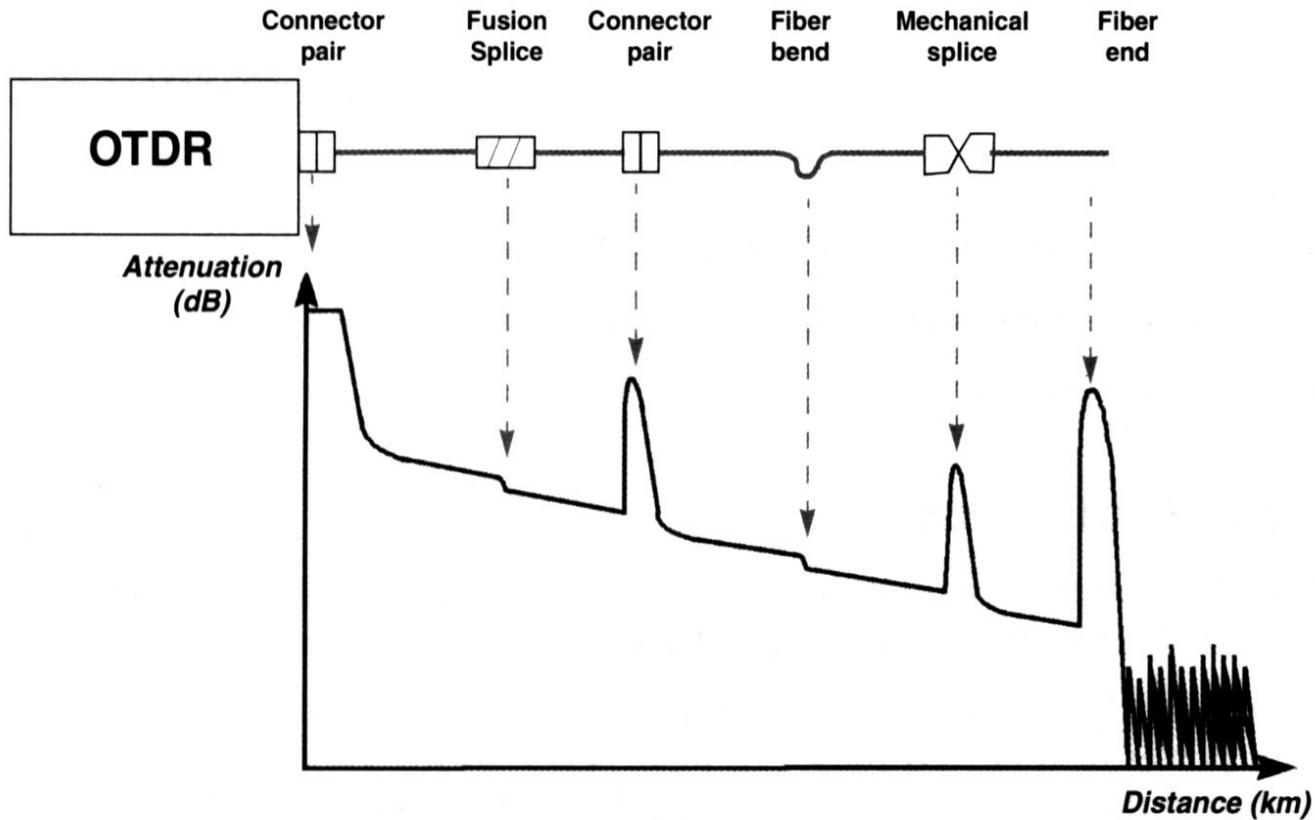
Импульс света частично отражается на неоднородностях.



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