



# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ



interroute обучение оптика

Вход

Всичко Карты Изображения Новини Видеоклипове Още Настройки Инструменти

Около 9 410 резултата (0,47 секунди)

### Interroute и Технически университет София обучават ... - Kaldata.com

<https://www.kaldata.com> > Прес съобщения  
29.01.2018 г. - Професионално воденото обучение е една от дългосрочните инициативи ... School with Interroute™, насочено към оптични комуникации.

### 32 студенти от ТУ – София са обучени от Interroute - Образование ...

[computerworld.bg/167820990\\_32\\_students\\_ot\\_tu\\_sofiya\\_sa\\_obucheni\\_ot\\_interoute](http://computerworld.bg/167820990_32_students_ot_tu_sofiya_sa_obucheni_ot_interoute)  
25.01.2018 г. - ... School with Interroute™, насочено към оптични комуникации, съобщиха от европейския ... Обучението на студентите е резултат на дългосрочен проект на Interroute съвместно с Факултет по телекомуникации към ТУ ...

### Interroute и Технически университет София обучават ... - Stroimedia

[stroimedia.bg/2018/01/29/interroute-и-технически-университет-софия-обуч/](http://stroimedia.bg/2018/01/29/interroute-и-технически-университет-софия-обуч/)  
29.01.2018 г. - Interroute и Технически университет София обучават повече от 100 ... гимназия по прецизна техника и оптика „М. В. Ломоносов“.

### Минало, настояще, бъдеще. Ние сме Завод за Оптика

[pfo-bg.com/bg/начало/](http://pfo-bg.com/bg/начало/)  
Завод за Оптика АД е производител на оптика и международно действаща компания, ... за обучение на бъдещи кадри в оптичното производство ...  
Липсващи: interroute

Начало > Прес съобщения > Interoute и Технически университет София обучават повече от 100 студенти в последните...

Прес съобщения

# Interoute и Технически университет София обучават повече от 100 студенти в последните IT иновации

от Светлин Желев - 29.01.2018, 13:53

👁 237    💬 0



9 SHARES

## ПОСЛЕДВАЙТЕ НИ



141,807  
Харесвания



1,825  
Последвали



1,534  
Последвали



644  
Абонирани

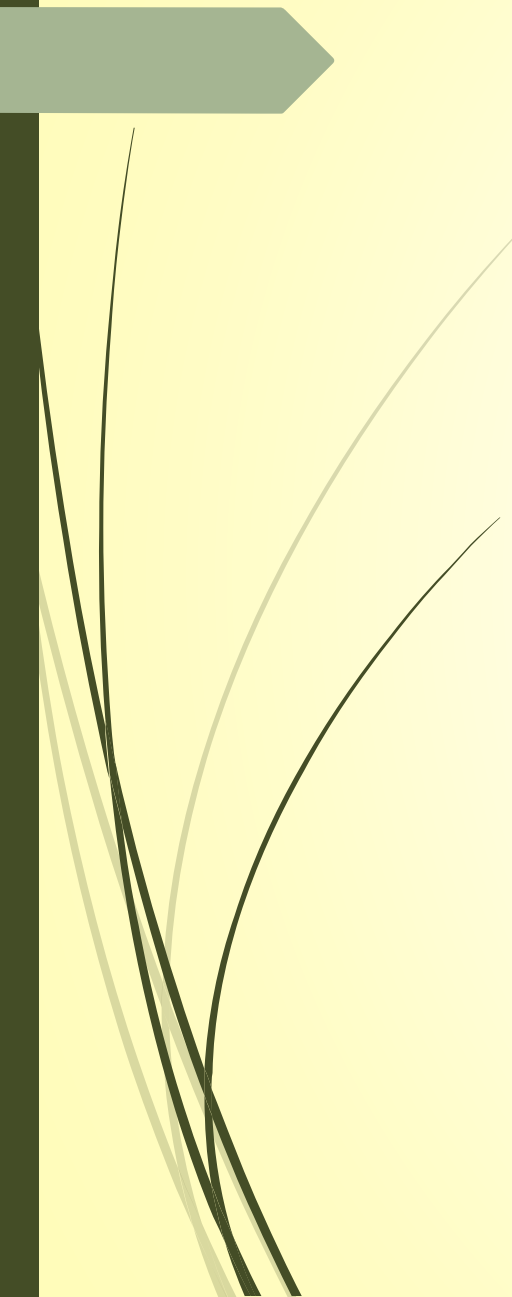
## НОВИ РЕВЮТА



Безжични (2G, 3G, WiFi)

Ревю на mesh-системата Tenda Nova MW6



A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing to the right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of green and grey sweep upwards and to the right, creating a dynamic, organic feel.

Характеристика на оптоелектрониката.  
Видове оптоелектронни системи (ОЕС),  
функционални предназначения,  
обобщена схема.  
Вълнова и квантова концепции за  
оптичното лъчение.





optical communications



Вход

[Всичко](#) [Изображения](#) [Новини](#) [Видеоклипове](#) [Карты](#) [Още](#) [Настройки](#) [Инструменти](#)

Около 127 000 000 резултата (0,32 секунди)

### Optical communication - Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_communication](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_communication) ▾ Превод на страницата

Optical communication, also known as optical telecommunication, is communication at a distance using light to carry information. It can be performed visually or ...

[Forms](#) · [Semaphore line](#) · [Optical fiber](#) · [Free-space optical](#) ...

### Fiber-optic communication - Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber-optic\\_communication](https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber-optic_communication) ▾ Превод на страницата

Fiber-optic communication is a method of transmitting information from one place to another by sending pulses of light through an optical fiber. The light forms an ...

### Optical wireless communications - Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_wireless\\_communications](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_wireless_communications) ▾ Превод на страницата

Optical wireless communications (OWC) is a form of optical communication in which unguided visible, infrared (IR), or ultraviolet (UV) light is used to carry a ...

[History](#) · [Current status](#) · [Applications](#) · [Recent trends](#)

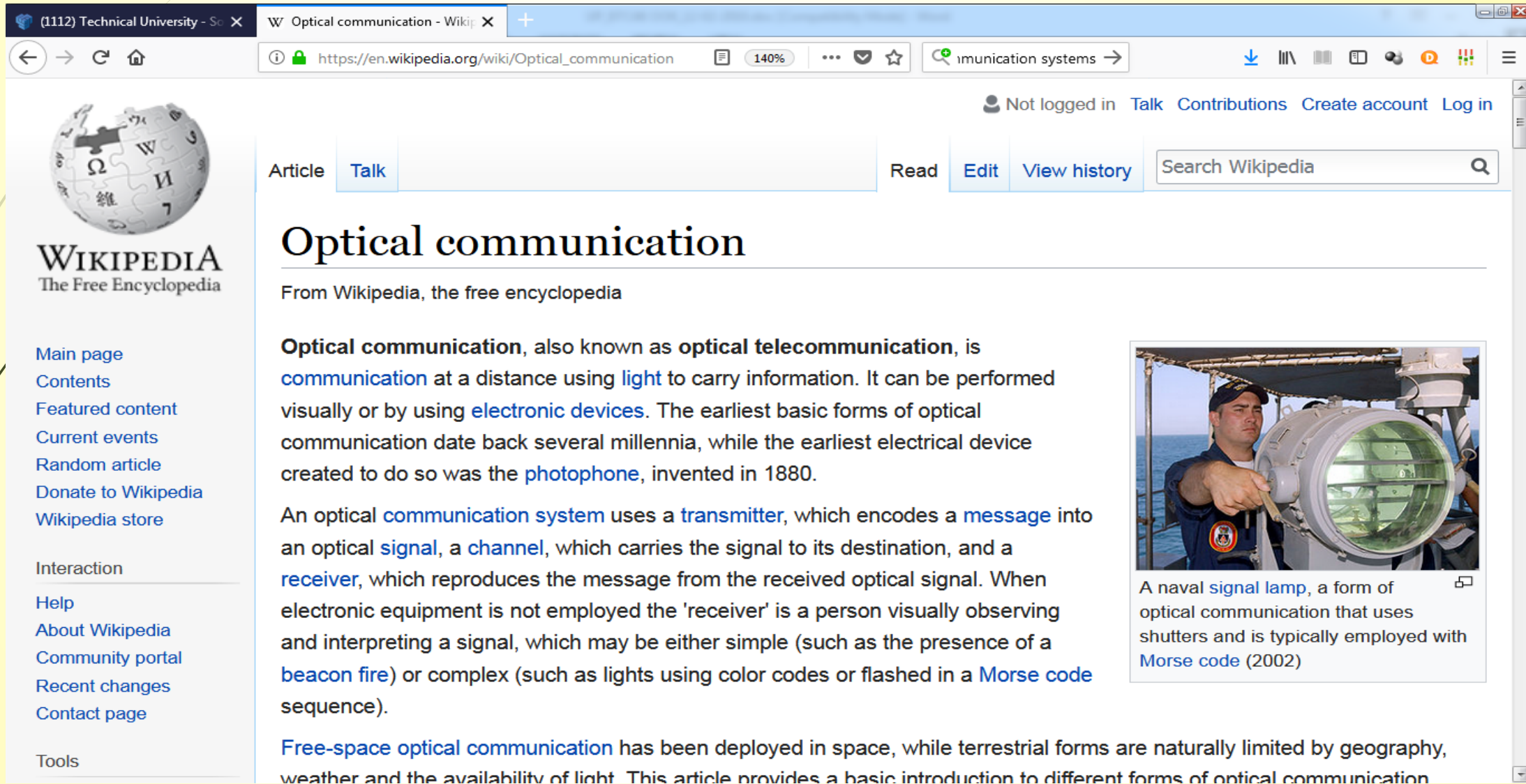
### Optics Communications - Journal - Elsevier

<https://www.journals.elsevier.com/optics-communications> ▾ Превод на страницата

Optics Communications invites original and timely contributions containing new results in various fields of optics and photonics. The journal...

[Recent Articles](#) · [Guide for authors](#) · [Call for Papers](#) · [Trends in Label-Free Imaging](#)

# https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\_communication



The image is a screenshot of a web browser displaying the Wikipedia article for "Optical communication". The browser's address bar shows the URL "https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\_communication". The page features the Wikipedia logo on the left, a navigation menu with options like "Main page", "Contents", and "Tools", and a search bar at the top right. The article title "Optical communication" is prominently displayed, followed by a sub-header "From Wikipedia, the free encyclopedia". The main text defines optical communication as using light to carry information and mentions the photophone. A photograph of a naval signal lamp is included with a caption. The browser's taskbar at the bottom shows the page is zoomed to 140%.

Wikipedia  
The Free Encyclopedia

Main page  
Contents  
Featured content  
Current events  
Random article  
Donate to Wikipedia  
Wikipedia store

Interaction

Help  
About Wikipedia  
Community portal  
Recent changes  
Contact page

Tools

Article Talk

Read Edit View history

Search Wikipedia


## Optical communication

From Wikipedia, the free encyclopedia

**Optical communication**, also known as **optical telecommunication**, is **communication** at a distance using **light** to carry information. It can be performed visually or by using **electronic devices**. The earliest basic forms of optical communication date back several millennia, while the earliest electrical device created to do so was the **photophone**, invented in 1880.

An optical **communication system** uses a **transmitter**, which encodes a **message** into an optical **signal**, a **channel**, which carries the signal to its destination, and a **receiver**, which reproduces the message from the received optical signal. When electronic equipment is not employed the 'receiver' is a person visually observing and interpreting a signal, which may be either simple (such as the presence of a **beacon fire**) or complex (such as lights using color codes or flashed in a **Morse code** sequence).

**Free-space optical communication** has been deployed in space, while terrestrial forms are naturally limited by geography, weather and the availability of light. This article provides a basic introduction to different forms of optical communication



A naval **signal lamp**, a form of optical communication that uses shutters and is typically employed with **Morse code** (2002)



WIKIPEDIA  
Die freie Enzyklopädie

- Hauptseite
- Themenportale
- Zufälliger Artikel
- Mitmachen
- Artikel verbessern
- Neuen Artikel anlegen
- Autorenportal
- Hilfe
- Letzte Änderungen
- Kontakt
- Spenden
- Werkzeuge
- Links auf diese Seite
- Änderungen an verlinkten Seiten
- Spezialseiten
- Permanenter Link
- Seiteninformationen
- Wikidata-Datenobjekt
- Artikel zitieren
- Drucken/exportieren
- Buch erstellen
- Als PDF herunterladen

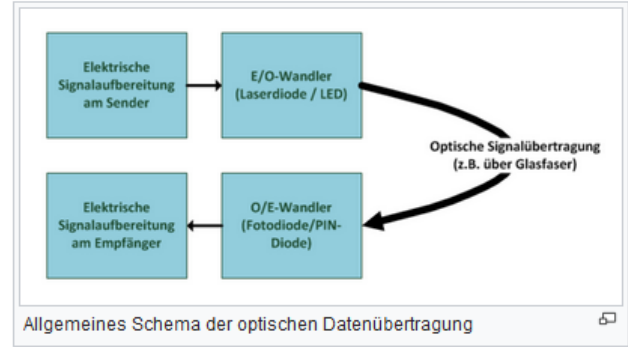
Artikel **Diskussion** Lesen Bearbeiten Quelltext bearbeiten Versionsgeschichte

# Optische Kommunikation

**Optische Kommunikation** ist die Übertragung von Daten mit Hilfe von Licht. Das Frequenzspektrum reicht vom **sichtbaren Licht** bis in das nahe und mittlere **Infrarot**. **Terrestrisch** werden die Daten mittels **Lichtwellenleitern** in **Glasfasernetzen** übertragen. Ein eher neuer Bereich der optischen Kommunikation ist die **optische Freiraumkommunikation**, bei der die Daten auf einen **Laserstrahl** aufmoduliert und über große Entfernungen durch den freien Raum, also nicht fasergebunden, übertragen werden.

**Inhaltsverzeichnis** [Verbergen]

- 1 Entdeckung von Licht als Nachrichtenübermittler
- 2 Optische Datenübertragungssysteme
- 3 Geschichte
  - 3.1 Motivation
  - 3.2 Sendetechnik
  - 3.3 Übertragungsmedium und Verstärker
  - 3.4 Empfangstechnik
- 4 Entwicklung der optischen Kommunikation
- 5 Stand der Technik in der optischen Freiraumkommunikation
  - 5.1 Optische Inter-Satelliten-Verbindungen
  - 5.2 Downlinks von Satelliten
- 6 Weblinks
- 7 Literatur
- 8 Belege



Allgemeines Schema der optischen Datenübertragung

## Entdeckung von Licht als Nachrichtenübermittler [ Bearbeiten | Quelltext bearbeiten ]

Schon früh erkannte der Physiker **Alexander Graham Bell** die Eigenschaften des Lichts für das von ihm entwickelte **Photophon**. Es gilt als erstes Prinzip zur optischen Kommunikation und verwendete ein Bündel von **Lichtstrahlen** zur Übertragung der menschlichen Sprache. Eine weitere Form die man zur optischen Datenübertragung bzw. zur


(1112) Technical University - So X optical communication system X +


← → ↻ 🏠 <https://www.google.com/search?q=optical+communication+system> 🔍 imunication systems →


Google optical communication systems Вход


Всичко Изображения Видеоклипове Новини **Книги** Още Настройки Инструменти

Около 1 860 000 резултата (1,59 секунди)

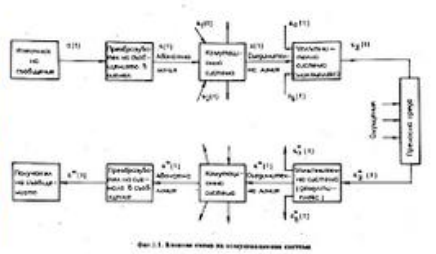
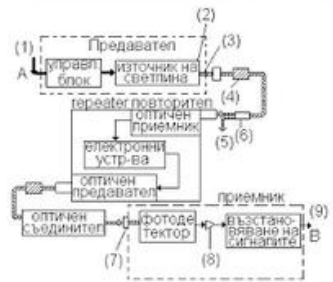
**Optical Communication Systems**  
 <https://books.google.bg/books?isbn=0136387276> - Превод на страницата  
John Gowar - 1993 - Фрагменти - Още издания  
This is the Second Edition of the widely acclaimed book on Optimal Communications - a well-balanced combination of optoelectronics and communication theory which will complement existing, more introductory texts in this field.

**Phase-Modulated Optical Communication Systems**  
 <https://books.google.bg/books?isbn=0387243925> - Превод на страницата  
Keang-Po Ho - 2005 - Визуализация - Още издания  
Phase-Modulated Optical Communication Systems surveys this newly popular area, covering the following topics: The transmitter and receiver for phase-modulated coherent lightwave systems Method for performance analysis of phase-modulated ...

**Fiber-optic Communication Systems:**  
 <https://books.google.bg/books?isbn=7302087490> - Превод на страницата  
Govind P. Agrawal - 2004 - Без визуализация - Още издания  
The Institute of Optics, University of Rochester \* ".readers searching for a wide ranging and up-date view of fibre optic communication systems would do well to purchase this book.

**Introduction to optical fiber communication systems**  
 [https://books.google.bg/books?id=u\\_hSAAAAMAAJ](https://books.google.bg/books?id=u_hSAAAAMAAJ) - Превод на страницата  
William B. Jones - 1988 - Фрагменти - Още издания  
For seniors or first-year graduate students, this text is a general introduction to optical electronics with a strong emphasis on underlying physical properties and on the design of optical communications systems.





Фиг. 21. Обобщена схема на цифрово предаване на информация



Fujitsu S936 с модулни аксесоари

Ервин Фердинандов  
Борниа Пачедржиба  
Калин Димитров

# ОПТИЧНИ КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ

ИЗДАТЕЛСТВО  
ТЕХНИКА



**Google** Understanding Optical Communications Вход

Всичко Изображения Новини Видеоклипове Карти Още Настройки Инструменти

Около 40 000 000 резултата (0,54 секунди)

### Научни статии за Understanding Optical Communications

- Understanding optical communications - Dutton - С позовавания в 545
- Design of integrated circuits for optical communications - Razavi - С позовавания в 1239
- OFDM for optical communications - Armstrong - С позовавания в 1630

### Understanding Optical Communications - The Free Information Society

[www.freeinfosociety.com/media/pdf/5475.pdf](http://www.freeinfosociety.com/media/pdf/5475.pdf)  
 от HJR Dutton - С позовавания в 545 - Сродни статии  
 Understanding Optical Communications. Harry J. R. Dutton. International Technical Support Organization <http://www.redbooks.ibm.com>. SG24-5230-00 ...

### Understanding Optical Communications: Harry Dutton - Amazon.com

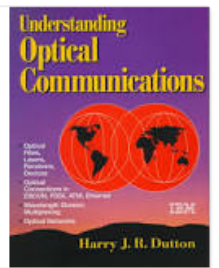
<https://www.amazon.com/Understanding-Optical-Communicati...> ▶ Превод на страницата  
 Understanding Optical Communications [Harry Dutton] on Amazon.com. \*FREE\* shipping on qualifying offers. Optical fibre's low cost, accuracy and enormous ...

### Understanding Optical Communications - eClass

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=D71&download=/...pdf>  
 Understanding Optical Communications. Harry J. R. Dutton. International Technical Support Organization <http://www.redbooks.ibm.com>. SG24-5230-00 ...

### Understanding Optical Communications: Table of Contents - Imedea

**Understanding Optical Communications**  
 Книга

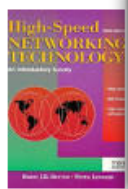



Хареса ли ви тази книга?

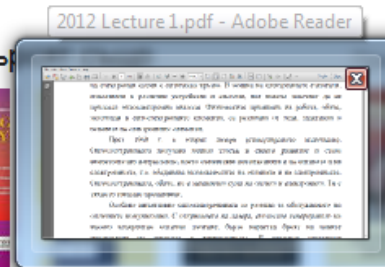
Първо издание: 1998 г.  
 Автор: Harry J. R. Dutton

Други твърдения

Пред на още над 10

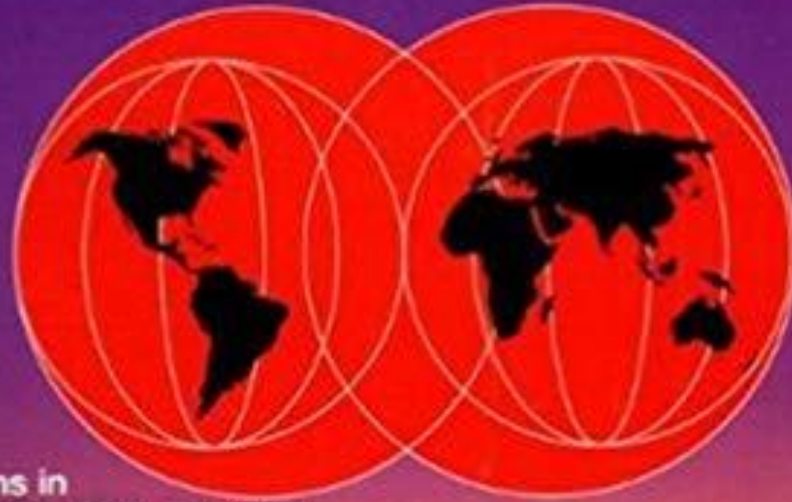



2012 Lecture 1.pdf - Adobe Reader



# Understanding Optical Communications

- Optical Fibre, Lasers, Receivers, Devices
- Optical Connections in ESCON, FDDI, ATM, Ethernet
- Wavelength Division Multiplexing
- Optical Networks



**IBM**

**Harry J. R. Dutton**



ScienceDirect

Journals & Books

Register

Sign in >



Search for peer-reviewed journals, articles, book chapters and [open access](#) content.

Keywords

Author name

Journal/book title

Volume

Issue

Page



Advanced search

# Discover more with ScienceDirect

📦 Receive personalized recommendations based on your recent signed-in activity

🔔 Create publication and search alerts

[Register for personalized features >](#)

Feedback

Keywords

Author name

Optics Communications

Volume

Issue

Pages



Advanced search

# Optics Communications

SUPPORTS OPEN ACCESS



## Latest articles

[A simple system of swept source optical coherence tomography for a large imagi...](#)

[Manipulation of the transverse energy flow of azimuthally polarized beam in tight focu...](#)

## Latest issues

[Volume 431](#)

*In progress* (15 January 2019)

[Volume 430](#)

*In progress* (1 January 2019)

[Volume 429](#)

pp. 1–194 (15 December 2018)

## Find out more

[About the journal](#)

[Submit your article](#)

[RSS | Open access RSS](#)

[Follow journal](#)

Feed 27 септември 2018 г. четвъртък

## Библиотечно-информационен център

[За библиотеката](#)

[Електронен каталог](#)

[Електронни ресурси](#)

[Контакти](#)

[Начало](#) » [Електронни ресурси](#) » [Бази данни](#)

[Бази данни](#)

[БДС](#)

[Патенти](#)

[Ел. книги и списания](#)

**Бази данни**

I. Пълнотекстови бази данни



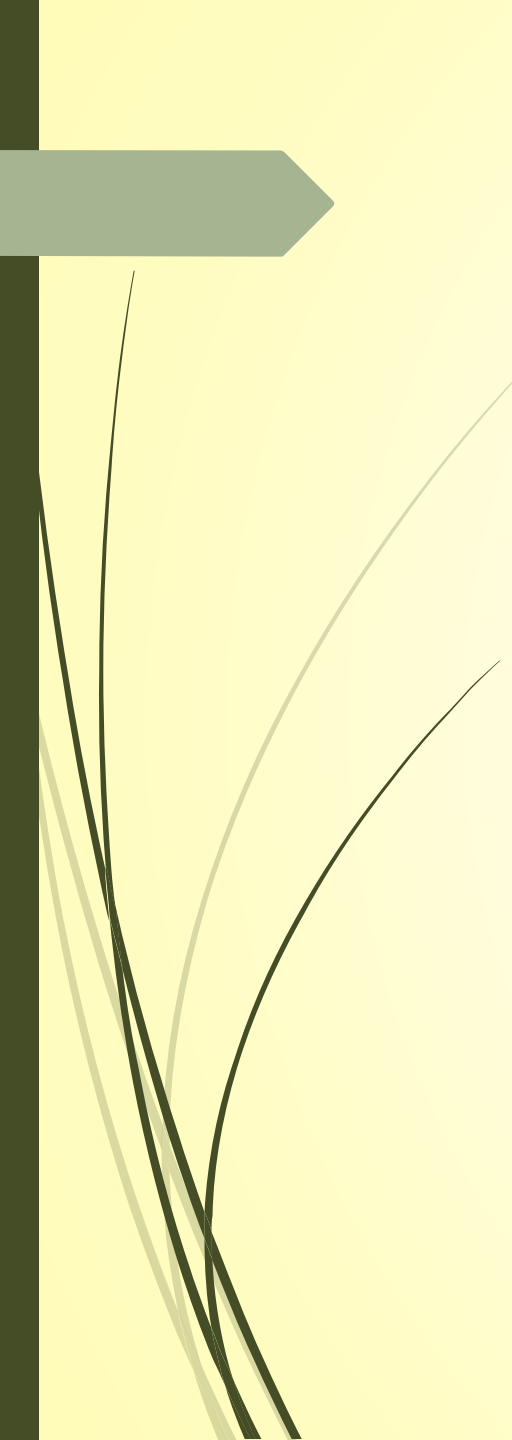
### EBSCOhost (Academic Search Complete)

Academic Search Complete е най-обширната, академична пълнотекстова база данни за мултидисциплинарна изследователска работа на света, съдържаща пълният текст на повече от 8 500 периодични издания, от които 7 300 рецензирани научно-изследователски списания. Освен документи с пълния текст, тази база данни предлага индексирани и анотирани на повече от 12 500 списания. Въпреки че EBSCOhost поддържа електронно съдържание от 1965 г. до сега, някои pdf архивни документи се простират до 1887 г., като по-голяма част от пълнотекстовите документи са в нейтив pdf формат позволяващ вътрешнодокументно търсене.

Разработена специално за академични институции, тази база с данни осигурява широко покритие на академични издания в различни дисциплини. Включва рецензирани пълнотекстови периодични издания, сборници от конференции, доклади, книги и др.

## ScienceDirect

**ScienceDirect** доставя пълнотекстов достъп до постоянно разширяващата се вселена на изд. Elsevier,



Какво е основното предимство на оптичните комуникационни системи ?

- ▶ Пример за дължини на вълната:
- ▶ От 0,4  $\mu\text{m}$  до 2  $\mu\text{m}$  имаме  $6 \times 10^{14} \text{ Hz}$  честотна лента
- ▶ От 1 mm до 100 km имаме  $3 \times 10^{11} \text{ Hz}$  честотна лента






## Какво следва от това?

- Голяма (много голяма) скорост на предаване на информацията
- 

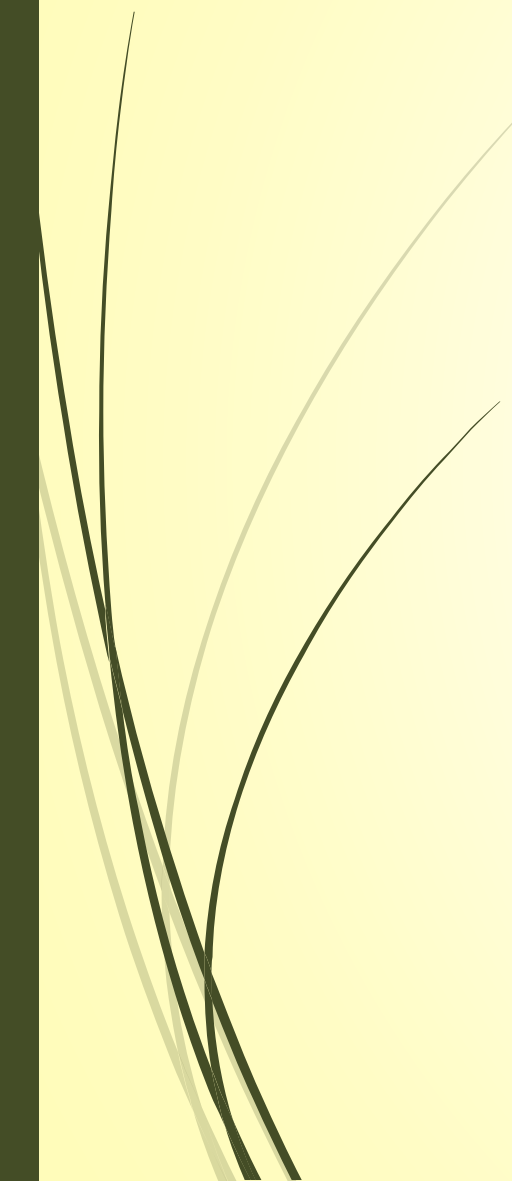


# Само това ли е причината за тяхното разпространение?

- Среди за разпространение с ниски енергийни загуби
- Налична елементна база – източници, приемници
- Ниски разходи за поддръжка



# Основни типове оптични комуникационни системи

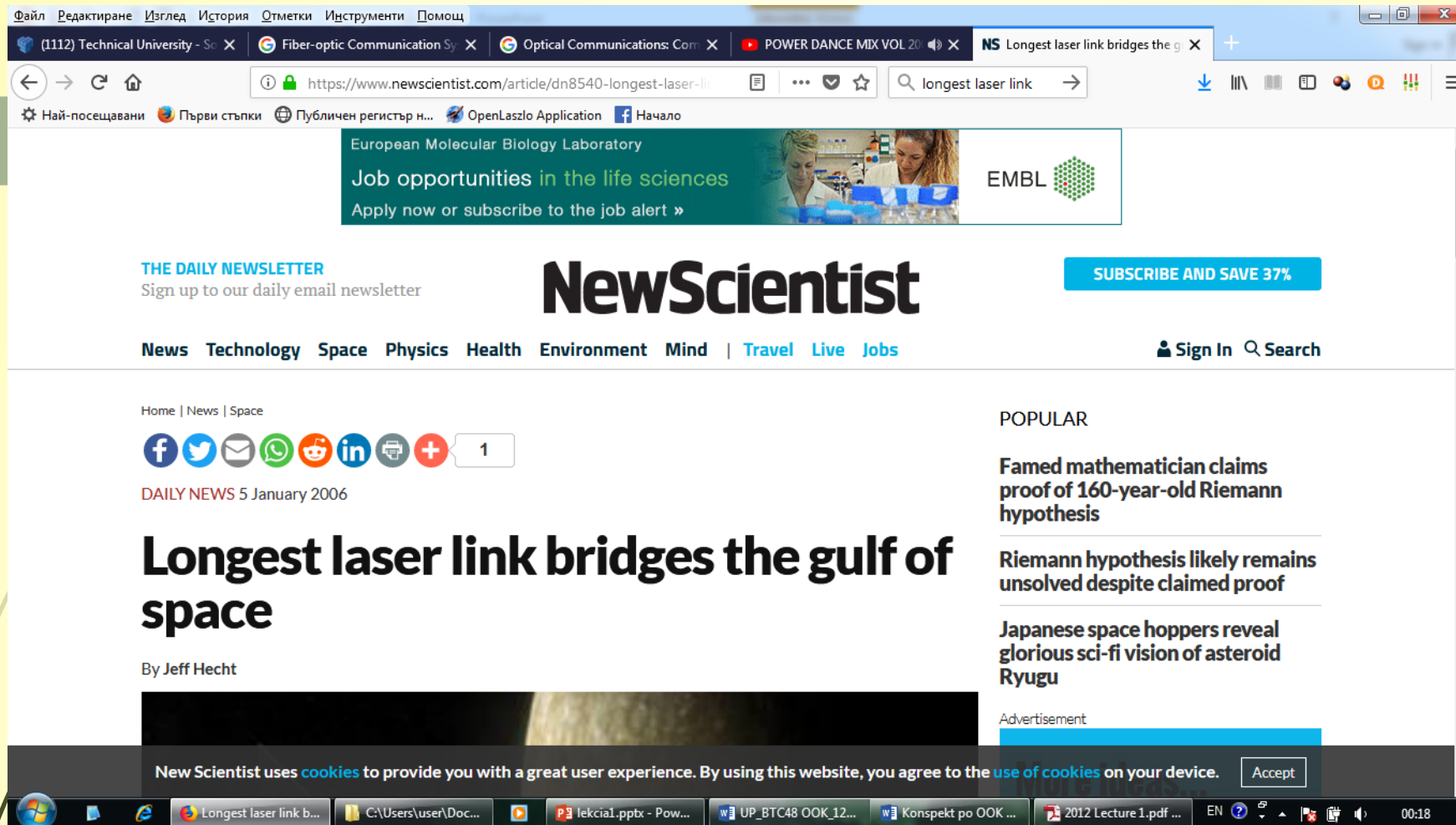
- Оптични безжични комуникационни системи (Free Space Optics)
  - Световодни комуникационни системи (Fiber Optics)
  - Радиометрични системи (Radiometry, Thermovision)
- 




# Оптични безжични комуникационни системи (Free Space Optics)

- Исторически най-старите
- Исторически най-дългите
- Бързо изграждане
- Случайно влияние на средата
- За момента без регулация при спазване на техника на безопасност





A laser communication link has been made across a record 24 million kilometres (15 million miles), between the Messenger spacecraft and instruments on Earth....



# Световодни комуникационни системи (Fiber Optics)

- Външни фактори почти не влияят, средата е значително по-предсказуема
- Бавно изграждане
- Много големи разстояния на Земята
- Много високи скорости и възможности за уплътнения



- Main page
- Contents
- Featured content
- Current events
- Random article
- Donate to Wikipedia
- Wikipedia store
- Interaction
- Help
- About Wikipedia
- Community portal

Article

Talk

Read

Edit

View history

Search Wikipedia

# Black Sea Fiber-Optic Cable System

From Wikipedia, the free encyclopedia  
(Redirected from [BSFOCS \(cable system\)](#))

The **Black Sea Fiber-Optic Cable System (BSFOCS)** is a 1,300 km (808 mi) **submarine telecommunications cable system** linking three countries bordering the **Black Sea**.<sup>[1]</sup> It went into operation in September 2001, and has a total capacity of 20 **Gbit/s** along 2 fiber pairs.<sup>[1]</sup>

It has landing points in:

1. [Varna, Bulgaria](#)
2. [Odessa, Ukraine](#)
3. [Novorossiysk, Russia](#)



## References [ edit ]



Article **Talk**

Read **Edit** View history

Search Wikipedia

# Fiber-Optic Link Around the Globe

From Wikipedia, the free encyclopedia

**Fiber-Optic Link Around the Globe (FLAG)** is a 28,000 kilometres (17,400 miles; 15,120 nautical miles) long fibre optic mostly-submarine communications cable that connects the United Kingdom, Japan, India, and many places in between. The cable is operated by Global Cloud Xchange.<sup>[1]</sup> The system runs from the eastern coast of North America to Japan.<sup>[2]</sup> Its Europe-Asia segment was the fourth longest cable in the world in 2008.<sup>[3]</sup>

The Europe-Asia segment was laid by Cable & Wireless Marine in the mid-1990s, and was the subject of an article in *Wired* magazine in December 1996 by Neal Stephenson.<sup>[2]</sup>

**Contents** [hide]

## Fiber-Optic Link Around the Globe



Logo from 2003

<b>Industry</b>	Telecommunication
<b>Founded</b>	1999
<b>Owner</b>	Global Cloud Xchange



# Провери наличието на интернет покритие на своя адрес

Оптично покритие

VIVACOM Net покритие

Mobix покритие

Град

Квартал

Улица

Номер

Блок

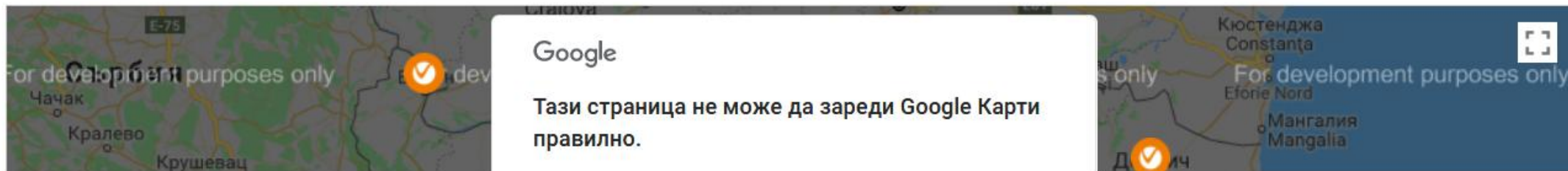
Вход

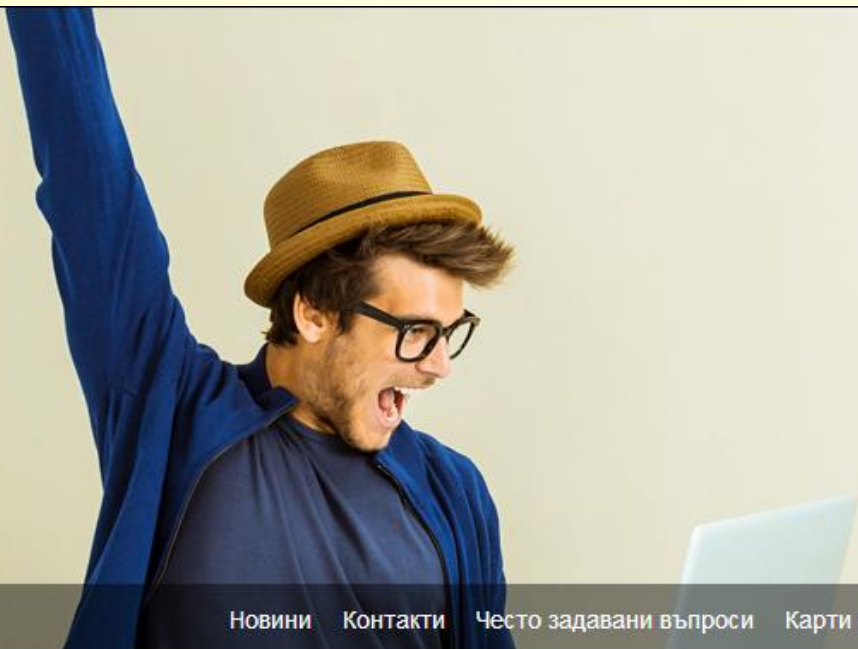
ТЪРСИ

ИЗЧИСТИ ТЪРСЕНЕТО



Принтирай





## ОПТИЧЕН ИНТЕРНЕТ

само за

**10.00 лв** Общи условия Интерфейси

БИЗНЕС КЛИЕНТИ

Новини

Контакти

Често задавани въпроси

Карти на покритието

ОПТИЧЕН ИНТЕРНЕТ

ДОМАШЕН ТЕЛЕФОН

### БУЛСАТКОМ ВИ ПРЕДЛАГА ВИСОКОСКОРОСТЕН ОПТИЧЕН ИНТЕРНЕТ ГАРАНТИРАЩ НАДЕЖДНА, СИГУРНА И ПОСТОЯННА ВРЪЗКА

Разнообразие от абонаментни планове, изключително конкурентни на пазара подходящи, както за домакинства/физически лица/, така и за малък и среден бизнес: **АБОНАМЕНТНИ ПЛАНОВЕ**

Високоскоростен оптичен интернет достъп без ограничение на трафика.

Получавате безплатен реален IP адрес, който Ви дава възможност за: конферентни разговори, видео наблюдение, охранителни камери и др.

Пакетни отстъпки - при ползване на две услуги - Оптичен интернет и Цифрова ТВ.

Възможност за временно спиране на достъпа до услугата.

Услугата Оптичен интернет от Булсатком е вече достъпна в домовете на 900 хиляди домакинства.

atla



Открояване на всички

Съвпадение на регистъра

Цели думи

12 от 26 съвпадения



Използвайки Jobs.bg, Вие се съгласявате с ["Политика за използване на Cookies/Бисквитки"](#), необходими за пълната функционалност на услугата. [✕](#)

**jobs.bg** [Вход и регистрация](#) [Фирми | Потребители](#) **EN**

← обратно Разглеждания: **154**

17.09.2018, Ref.#: 6881

★ **Инженер за оптична кабелна мрежа – гр. София, Българска Телекомуникационна Компания**  
*Месторабота София; Постоянна работа; Пълно работно време*

☆ Запази обявата в бележника 🔔 Известие за нови обяви 🖨️ Принтирай ❌ Проблем с обявата



## Инженер за оптична кабелна мрежа – гр. София

VIVACOM е лидер в предоставянето на съвременни телекомуникационни услуги, които отговарят на най-високите професионални стандарти - мобилни и фиксирани гласови услуги, оптичен интернет, цифрова телевизия, до индивидуални телекомуникационни решения, направени по поръчка на клиента.

## ИЗИСКВАНИЯ

- Висше техническо образование
- Опит на подобна позиция ще се счита за предимство
- Познание за типовете оптични мрежи и елементи (FTTB, FTTH – AON, PON и др.)
- Умения за работа с измервателна апаратура и специфична апаратура за изграждане и поддръжка на оптични трасета
- Шофьорска книжка, категория В
- Умения за работа в екип
- Отговорност и инициативност

## Ние Ви предлагаме

- Професионално развитие в най-голямата и високо технологична телекомуникационна компания в България
- Обучение за придобиване на специфични познания и умения, свързани с работата и бъдещото развитие в компанията
- Много добри възможности за възнаграждение спрямо приноса и постигнатите резултати
- Разнообразни и конкурентни допълнителни придобивки

## Начин на кандидатстване

Моля, натиснете бутон „Кандидатствай”, за да изпратите автобиография и мотивационно



A decorative graphic on the left side of the slide. It features a grey arrow pointing right at the top, and several thin, curved lines in shades of green and grey that sweep upwards and to the right, crossing the text area.

Имаме ли оптични влакна и кабели в лабораторията?

Ще проектираме ли примерни трасета в семинарните упражнения ?

На какво ниво ще ни е ясно проектирането?

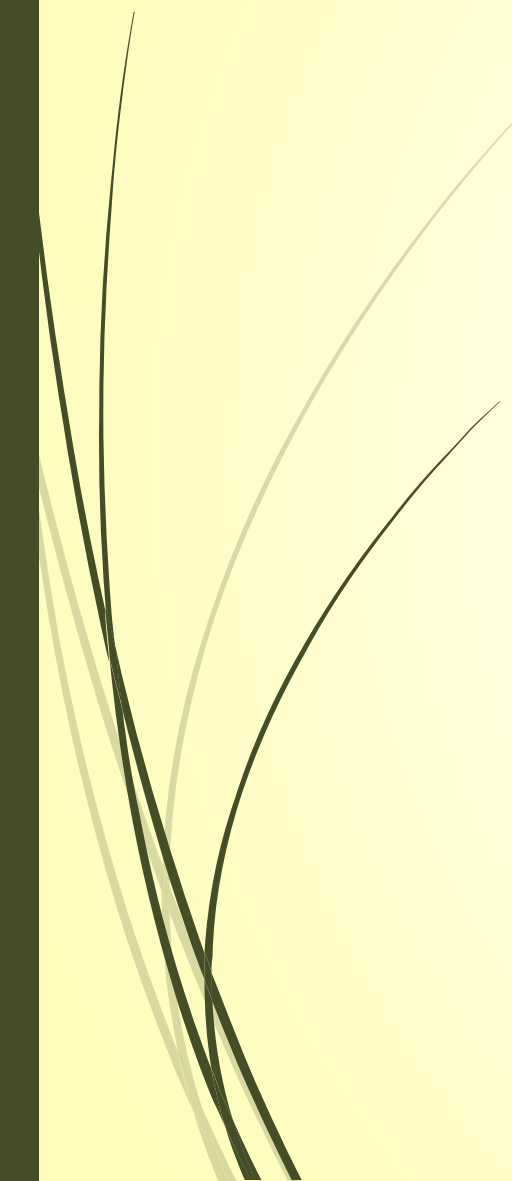
# Радиометрични системи


- Основна идея
- Основно приложение
- Имаме ли термокамера?





# Какво представлява светлината?

- Вълни?
  - Фотони?
  - ~~Или~~
  - Коментари и примери.
- 



В своето развитие познанието на хората за светлината е претърпяло невероятно развитие, а от тук и теориите и съответните закони, описващи наблюдаваните явления.

Първо са дефинирани законите на геометричната оптика. Впоследствие се появяват вълновата оптика и уравненията на електродинамиката. През 1900 година се появяват теорията за електронния строеж на материята и корпускулярната теория за светлината, а през 1926 година – квантовата механика, която описва всички явления в химията. Малко по-късно, през 1929 година се появява квантовата електродинамика, която с математическия апарат на теория на вероятностите обяснява наблюдаваните до момента проявления на оптичното лъчение.



Кои закони ще използваме ние?

Според специалната теория на относителността фотонът като частица има напълно определена маса, свързана с енергията му

$$m = \frac{W_F}{c^2},$$

$c$  – скорост на светлината.

Според корпускулярната теория на светлината енергията на фотона е свързана с честотата на оптичните трептения  $\nu$

$$W_F = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s – константа на Планк.

Тук се съдържа идеята за двуединството на светлината – вълново-корпускулярното двуединство.

От горните две формули може да се определи съответстващата на фотон с маса  $m$  вълна с дължина  $\lambda$

$$\lambda = \frac{h}{mc} = \frac{h}{p},$$

$p = m \cdot c$  – механичен импулс на движещата се частица.

Последната формула отразява реалното физично съответствие между дължината  $\lambda$  (характеристика на вълната) и масата  $m$  (характеристика на частицата (тялото)).

Или иначе казано:

електрон

фотон

според случая:

вълново

корпускулярно

описание

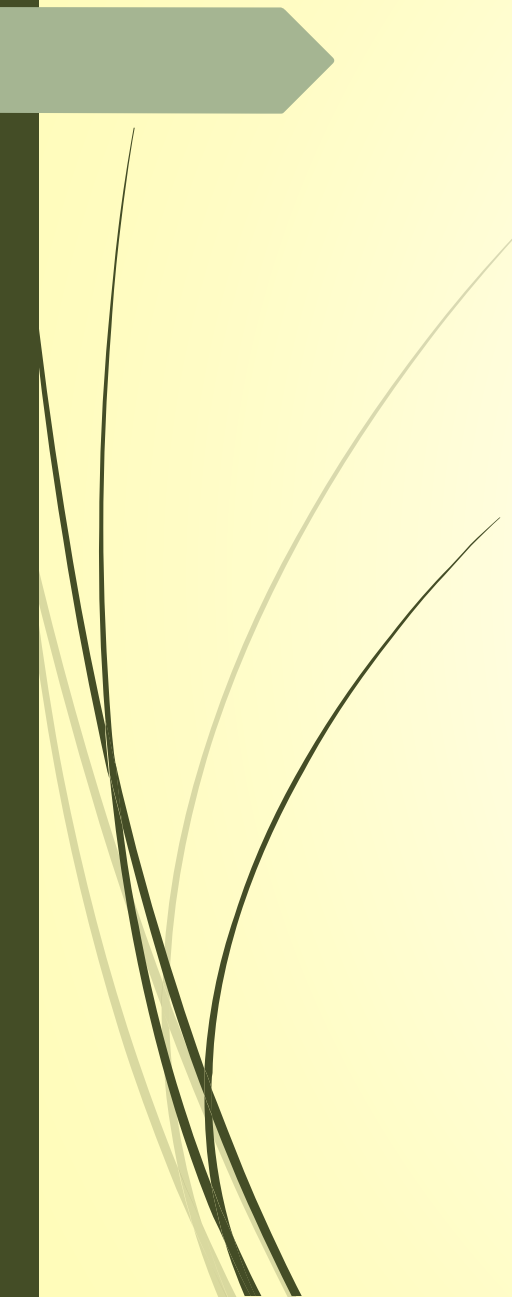
описание

В различните случаи преобладават различните проявления.

Например интерференцията и дифракцията на светлината, както и поляризационните ефекти имат типично вълнов характер – силно доминира проявата на вълновата страна на двуединството.

В излъчването и поглъщането на светлината се проявява корпускулярната страна на двуединството.

Съществуват явления, в които съществува баланс между проявите на вълновите и на корпускулярните свойства, например праволинейното разпространение на светлината.

A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and grey extending downwards and to the right from its base.

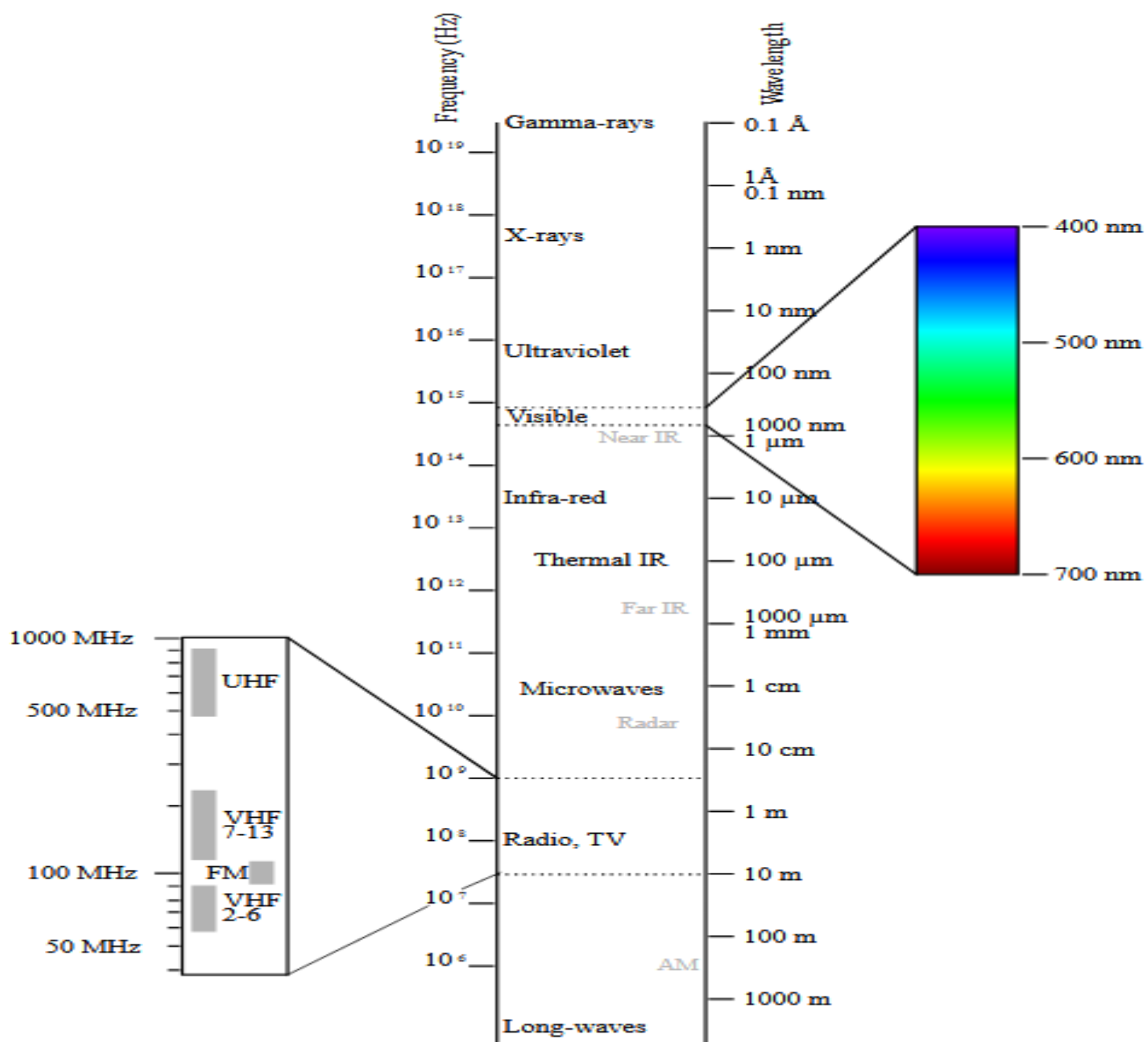
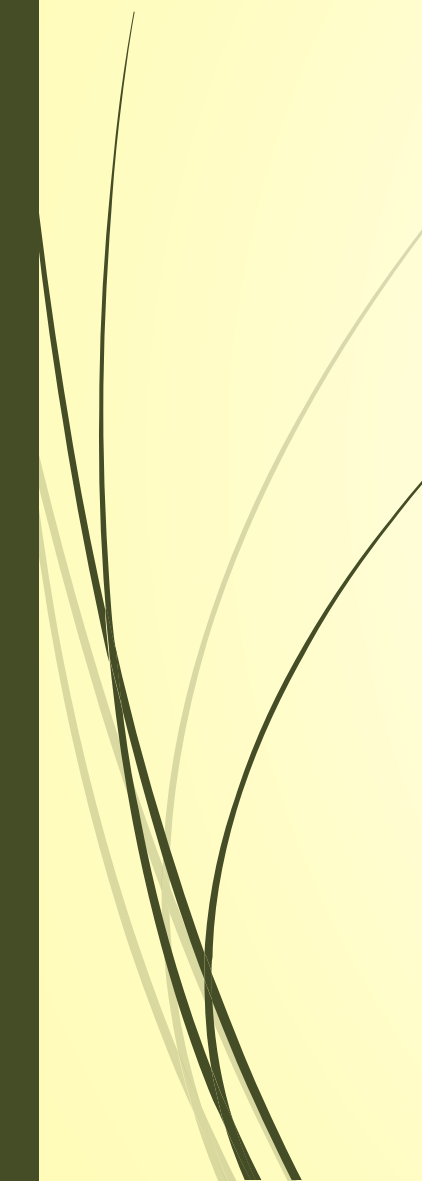
При разпространението от методична  
гледна точка е по-удобно да се  
разглежда вълновата природа

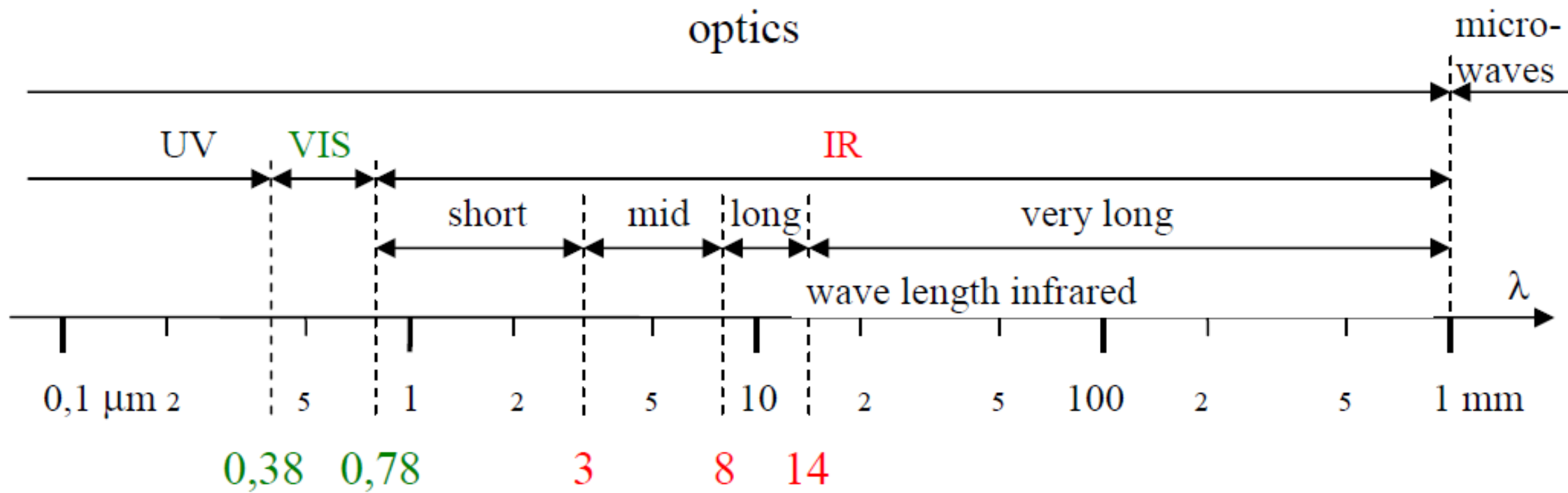
► Електромагнитна вълна ....

$$\lambda = c/v$$

$$\lambda = c/f$$



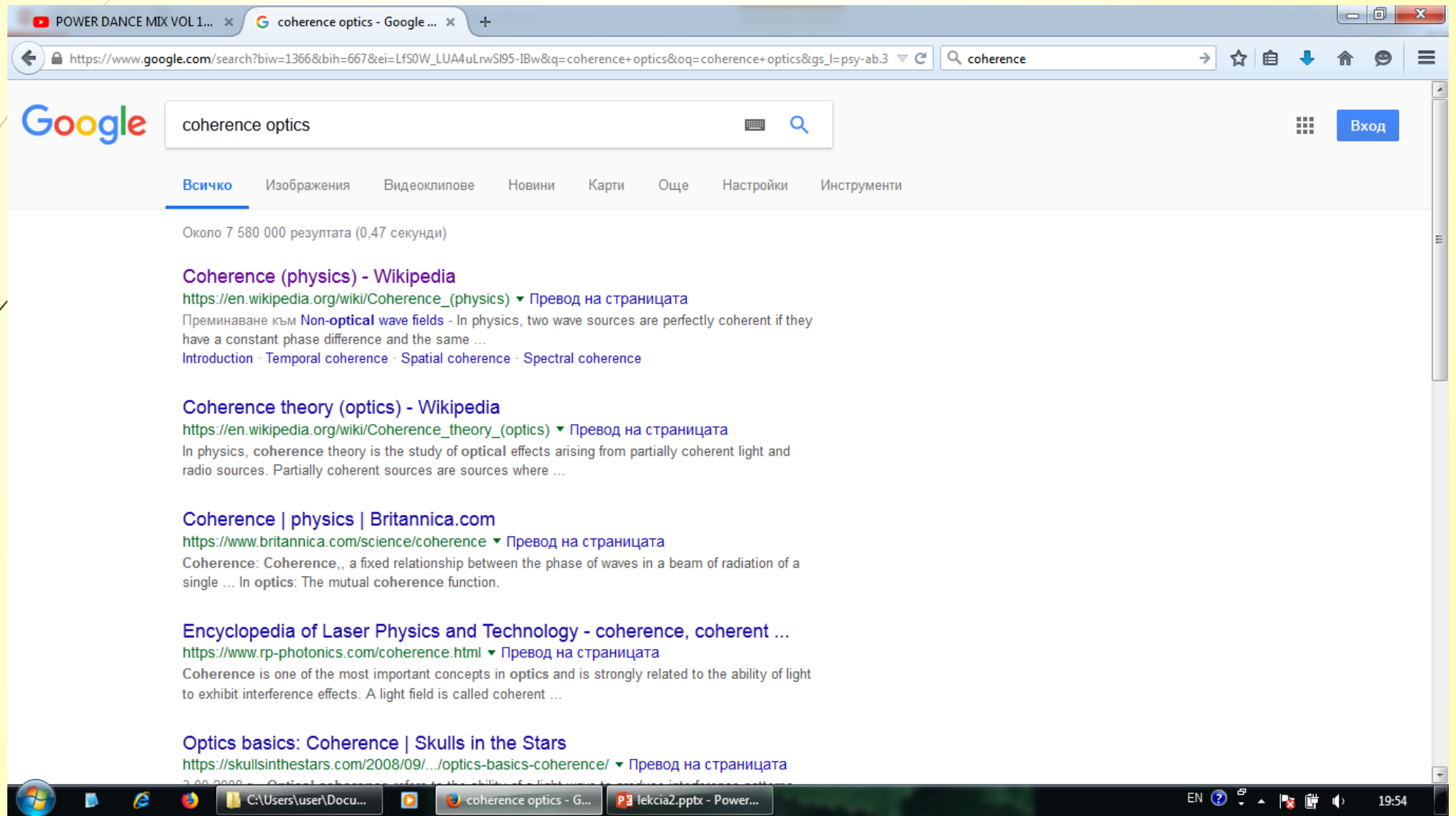






# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ

# Кохерентност на оптичните лъчения



POWER DANCE MIX VOL 1... x coherence optics - Google ... x +

https://www.google.com/search?biw=1366&bih=667&ei=LfS0W\_LUA4uLrwS195-1Bw&q=coherence+optics&oq=coherence+optics&gs\_l=psy-ab.3 coherence

Google coherence optics Вход

Всичко Изображения Видеоклипове Новини Карти Още Настройки Инструменти

Около 7 580 000 резултата (0,47 секунди)

**Coherence (physics) - Wikipedia**  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Coherence\\_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Coherence_(physics)) ▾ Превод на страницата  
Преминаване към **Non-optical wave fields** - In physics, two wave sources are perfectly coherent if they have a constant phase difference and the same ...  
[Introduction](#) · [Temporal coherence](#) · [Spatial coherence](#) · [Spectral coherence](#)

**Coherence theory (optics) - Wikipedia**  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Coherence\\_theory\\_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Coherence_theory_(optics)) ▾ Превод на страницата  
In physics, coherence theory is the study of optical effects arising from partially coherent light and radio sources. Partially coherent sources are sources where ...

**Coherence | physics | Britannica.com**  
<https://www.britannica.com/science/coherence> ▾ Превод на страницата  
Coherence: Coherence, a fixed relationship between the phase of waves in a beam of radiation of a single ... In optics: The mutual coherence function.

**Encyclopedia of Laser Physics and Technology - coherence, coherent ...**  
<https://www.rp-photonics.com/coherence.html> ▾ Превод на страницата  
Coherence is one of the most important concepts in optics and is strongly related to the ability of light to exhibit interference effects. A light field is called coherent ...

**Optics basics: Coherence | Skulls in the Stars**  
<https://skullsinthestars.com/2008/09/.../optics-basics-coherence/> ▾ Превод на страницата

Taskbar: C:\Users\user\Docu... coherence optics - G... лекция2.pptx - Power... EN 19:54



Всичко Изображения Видеоклипове Новини Книги Още Настройки Инструменти

Около 31 700 000 резултата (0,34 секунди)

### Coherence (2013) - IMDb

<https://www.imdb.com/title/tt2866360/> ▼ Превод на страницата  
★★★★☆ Оценка: 7,2/10 - 82 890 гласа  
Directed by James Ward Byrkit. With Emily Baldoni, Maury Sterling, Nicholas Brendon, Elizabeth Gracen. Strange things begin to happen when a group of ...  
[Full Cast & Crew](#) · [Trivia](#) · [Emily Baldoni](#) · [User Reviews](#)

#### Видеоклипове

<p>COHERENCE - Official Theatrical Trailer (HD)- Oscilloscope ... oscopelabs YouTube - 6.05.2014 г.</p>	<p>Speaking: Fluency and Coherence British Council Teacher... British Council   Belgium - 13.07.</p>	<p>What is Social Coherence? HeartMath Institute HeartMath Institute - 1.06.2016 г.</p>
---	--	---



## Coherence

2013 г. · Фентъзи филм/Mystery · 1 ч 29 мин

91% харесаха този филм  
Потребители на Google

Дата на премиерата: 20 юни 2014 г. (Ню Йорк)  
Режисьор: Джеймс Уорд Баркит  
Бюджет: 50 000 USD  
Продажба на билети: 102 617 USD  
Номинации: Gotham Independent Film Award for Breakthrough Director, Gotham Independent Film Audience Award



WIKIPEDIA  
The Free Encyclopedia

- Main page
- Contents
- Featured content
- Current events
- Random article
- Donate to Wikipedia
- Wikipedia store

Interaction

- Help
- About Wikipedia
- Community portal
- Recent changes
- Contact page

Tools

- What links here
- Related changes
- Upload file
- Special pages
- Permanent link
- Page information
- Wikidata item
- Cite this page

Not logged in Talk Contributions Create account Log in

Article **Talk**

Read **Edit** View history

Search Wikipedia

# Coherence theory (optics)

From Wikipedia, the free encyclopedia

In physics, **coherence theory** is the study of optical effects arising from partially coherent light and radio sources. Partially coherent sources are sources where the coherence time or coherence length are limited by bandwidth, by thermal noise, or by other effect. Many aspects of modern coherence theory are studied in quantum optics.

The theory of partial coherence was awoken in the 1930s due to work by Pieter Hendrik van Cittert and Frits Zernike.

## Topics in coherence theory [ edit ]

- Visibility
- Mutual coherence function
- Degree of coherence
- Self coherence function
- Coherence function
- Low frequency fluctuations
- General interference law
- Van Cittert–Zernike theorem
- Michelson stellar interferometer
- Correlation interferometry
- Hanbury–Brown and Twiss effect
- Phase-contrast microscope
- Pseudothermal light
- Englert–Greenberger duality relation
- Coherence Collapse



WIKIPEDIA  
The Free Encyclopedia

- Main page
- Contents
- Featured content
- Current events
- Random article
- Donate to Wikipedia
- Wikipedia store

Interaction

- Help
- About Wikipedia
- Community portal
- Recent changes
- Contact page

Tools

- What links here
- Related changes
- Upload file
- Special pages
- Permanent link
- Page information
- Wikidata item
- Cite this page

Not logged in Talk Contributions Create account Log in

Article Talk

Read Edit View history

Search Wikipedia

# Coherence (physics)

From Wikipedia, the free encyclopedia

In **physics**, two wave sources are perfectly coherent if they have a constant **phase difference** and the same **frequency**, and the same **waveform**. Coherence is an ideal property of **waves** that enables stationary (i.e. temporally and spatially constant) **interference**. It contains several distinct concepts, which are limiting cases that never quite occur in reality but allow an understanding of the physics of waves, and has become a very important concept in quantum physics. More generally, **coherence** describes all properties of the **correlation** between **physical quantities** of a single wave, or between several waves or wave packets.

Interference is the addition, in the mathematical sense, of wave functions. A single wave can interfere with itself, but this is still an addition of two waves (see **Young's slits experiment**). Constructive or destructive interferences are limit cases, and two waves always interfere, even if the result of the addition is complicated or not remarkable.

When interfering, two waves can add together to create a wave of greater amplitude than either one (**constructive interference**) or subtract from each other to create a wave of lesser amplitude than either one (**destructive interference**), depending on their relative **phase**. Two waves are said to be coherent if they have a constant relative phase. The amount of coherence can readily be measured by the **interference visibility**, which looks at the size of the interference fringes relative to the input waves (as the phase offset is varied); a precise mathematical definition of the **degree of coherence** is given by means of correlation functions.

Spatial coherence describes the correlation (or predictable relationship) between waves at different points in space, either lateral or longitudinal.<sup>[1]</sup> Temporal coherence describes the correlation between waves observed at different moments in time. Both are observed in the **Michelson–Morley experiment** and **Young's interference experiment**. Once the fringes are obtained in the **Michelson interferometer**, when one of the mirrors is moved away gradually, the time for the beam to travel increases and the fringes become dull and finally are lost, showing temporal coherence. Similarly, if in a **double-slit experiment**, the space between the two slits is increased, the coherence dies gradually and finally the fringes disappear, showing spatial coherence. In both cases, the fringe amplitude slowly disappears, as the path difference increases past the coherence length.

## Contents [hide]

- Introduction
- Mathematical definition
- Coherence and correlation
- Examples of wave-like states



# Coherence

PHYSICS

WRITTEN BY: The Editors of Encyclopaedia Britannica  
[See Article History](#)

**Coherence**, a fixed relationship between the [phase](#) of waves in a beam of [radiation](#) of a single [frequency](#). Two beams of [light](#) are [coherent](#) when the phase difference between their waves is constant; they are noncoherent if there is a random or changing phase relationship. Stable [interference](#) patterns are formed only by radiation emitted by coherent sources, ordinarily produced by splitting a single beam into two or more beams. A [laser](#), unlike an incandescent source, produces a beam in which all the components bear a fixed relationship to each other.

**LEARN MORE** in these related Britannica articles:

CUI INC  
**INTERCONNECT SOLUTIONS**  
Quality Audio, Power & Signal Connectors  
LEARN MORE

**Coherence**  
PHYSICS





# RP PHOTONICS ENCYCLOPEDIA

... combined with a great **BUYER'S GUIDE!**



HOME

SPOTLIGHT

QUIZ

BUYER'S GUIDE

SEARCH

CATEGORIES

GLOSSARY

ADVERTISING

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

Article keyword:

Note: this box searches only for keywords in the titles. For full-text searches, use our [search page](#).

## Coherence

<<< | >>>

**Definition:** a fixed phase relationship between the electric field values at different locations or at different times

**German:** Kohärenz

**Category:** [general optics](#)

[How to cite the article; suggest additional literature](#)

Coherence is one of the most important concepts in optics and is strongly related to the ability of light to exhibit [interference](#) effects. A light field is called *coherent* when there is a fixed [phase](#) relationship between the electric field values at different locations or at different times. *Partial coherence* means that there is some (although not perfect) correlation between phase values. There are various ways of quantifying the degree of coherence, as described below.

It is also common to call certain processes or techniques coherent or incoherent. In that case

### SUPPLIERS FOR EQUIPMENT FOR COHERENCE MEASUREMENTS

The [RP Photonics Buyer's Guide](#) contains 2 suppliers for equipment for coherence measurements.

Find more supplier details at the end of the encyclopedia article.

You are not yet listed? [Get your entry!](#)

Ask [RP Photonics](#) for advice concerning the measurement and the effects of coherence


### Photonics Newsletters -- get high quality information, not the usual advertisements!

You have too little time for reading all kinds of newsletters? You are tired of the common ad distribution? Sure – but what we offer is different:

- The **Photonics Spotlight** presents high-quality information on technical and scientific aspects of laser technology and general photonics.
- The **RP Photonics Software News** present news and useful hints on software – for example, about the use and application of our software products, new features, updates and upgrades, and on algorithms.



We won't flood you with e-mails!



Какво всъщност е кохерентност и  
защо ни интересува?



- Пространствена кохерентност

Силна връзка между ел.полета в различни пространствени точки

- Времева кохерентност

Силна връзка между ел.полета в една точка по различно време

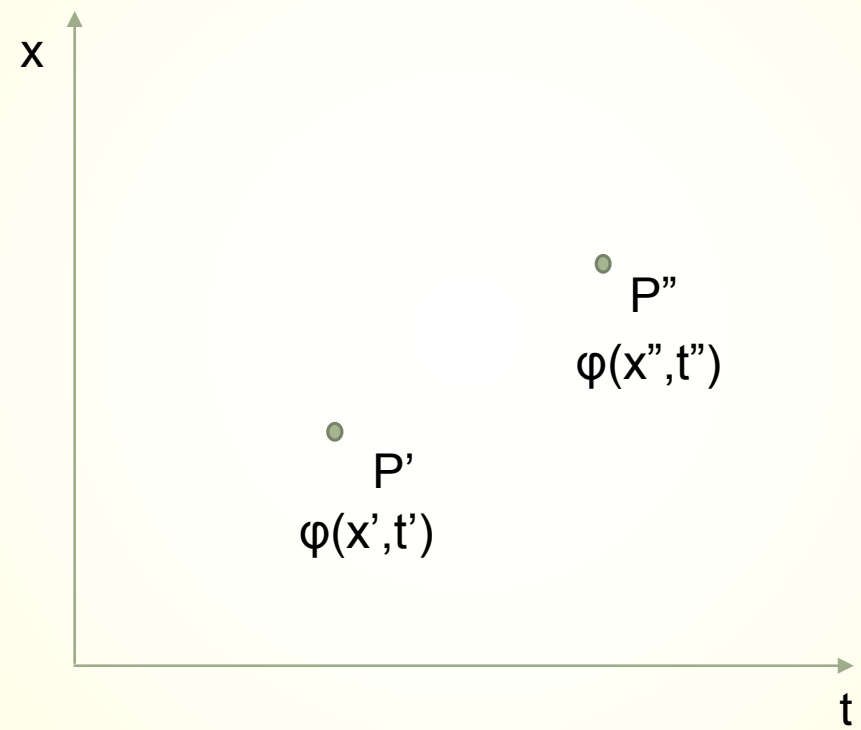
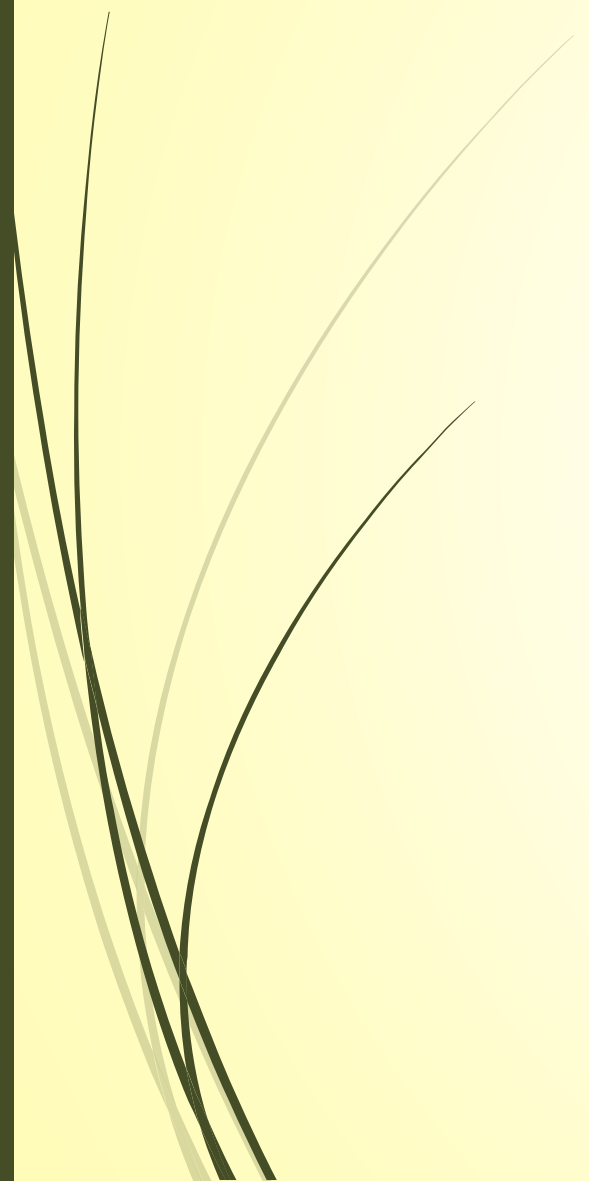


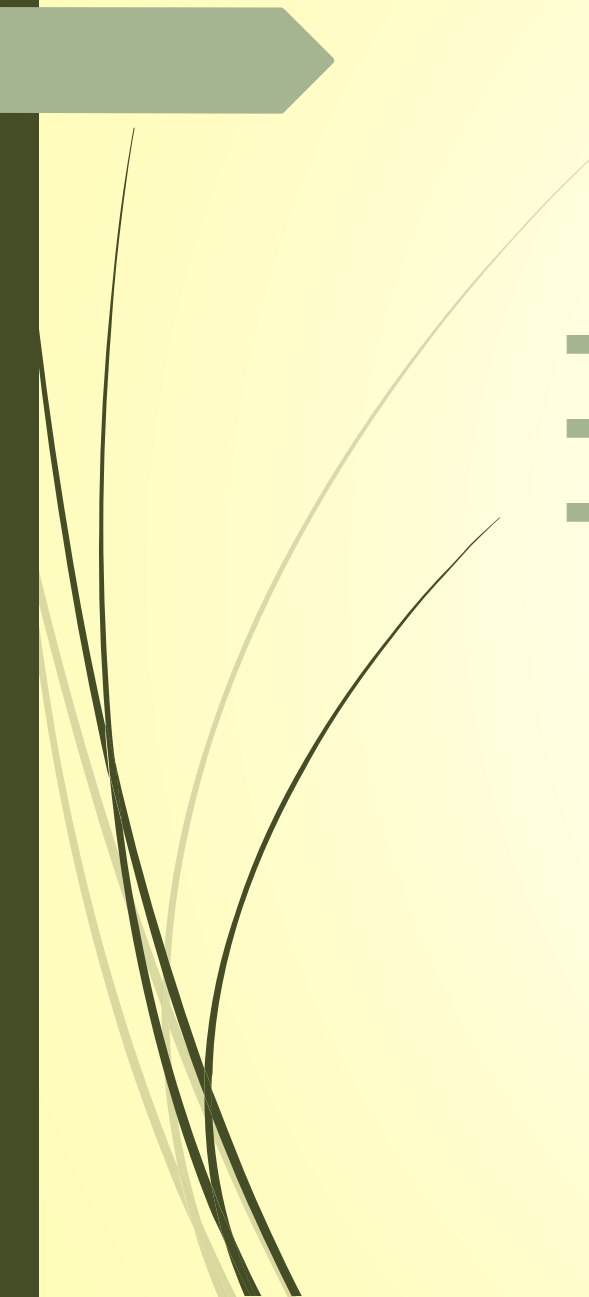
# Елементи

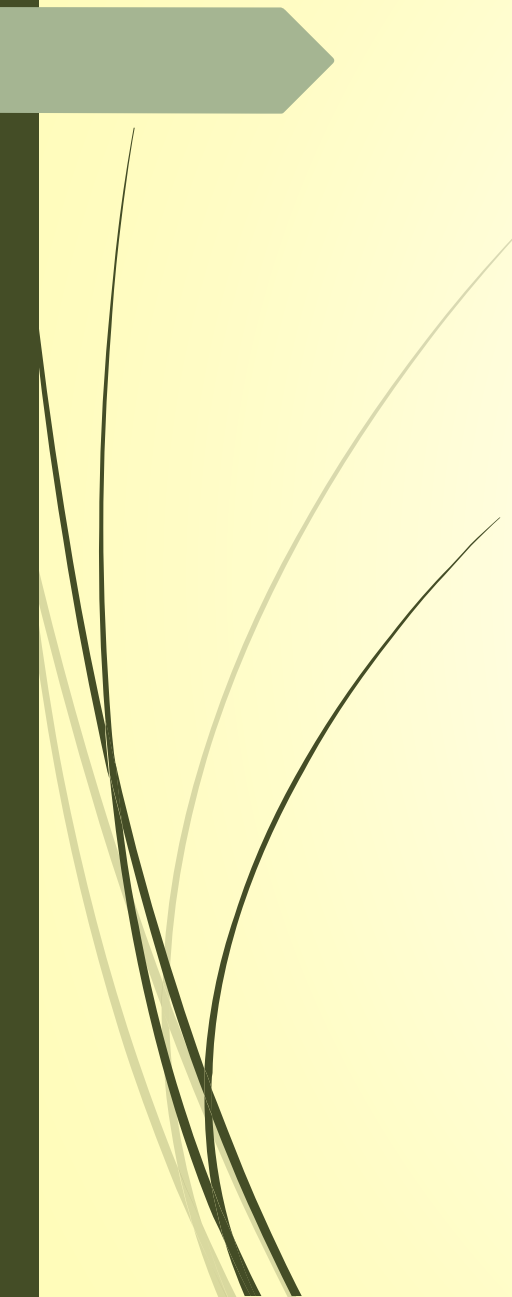


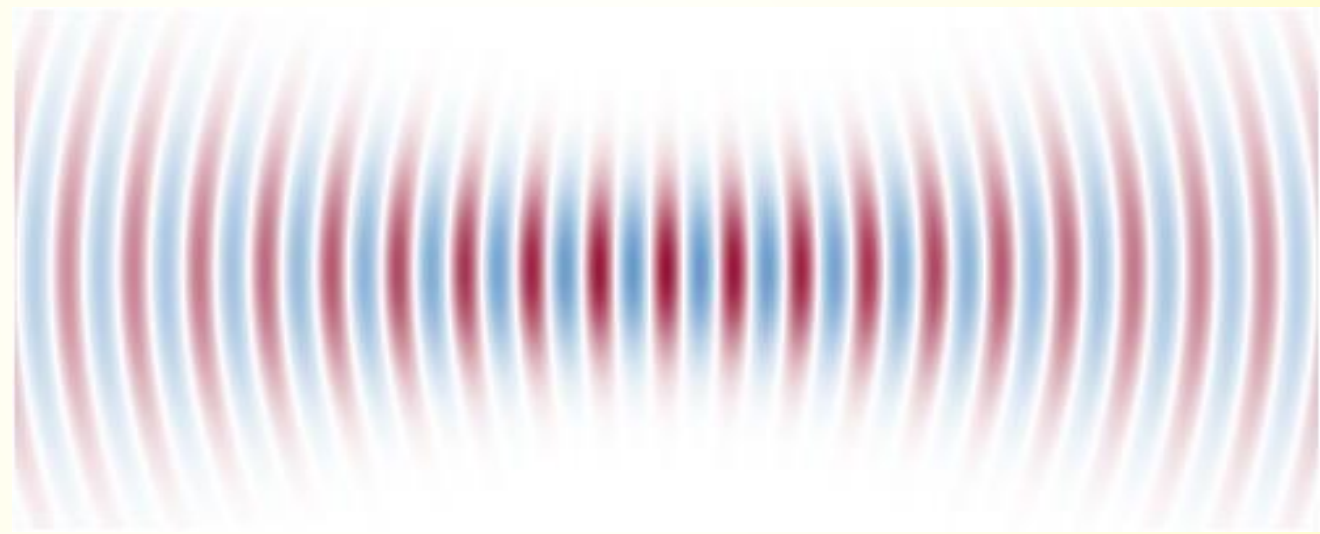
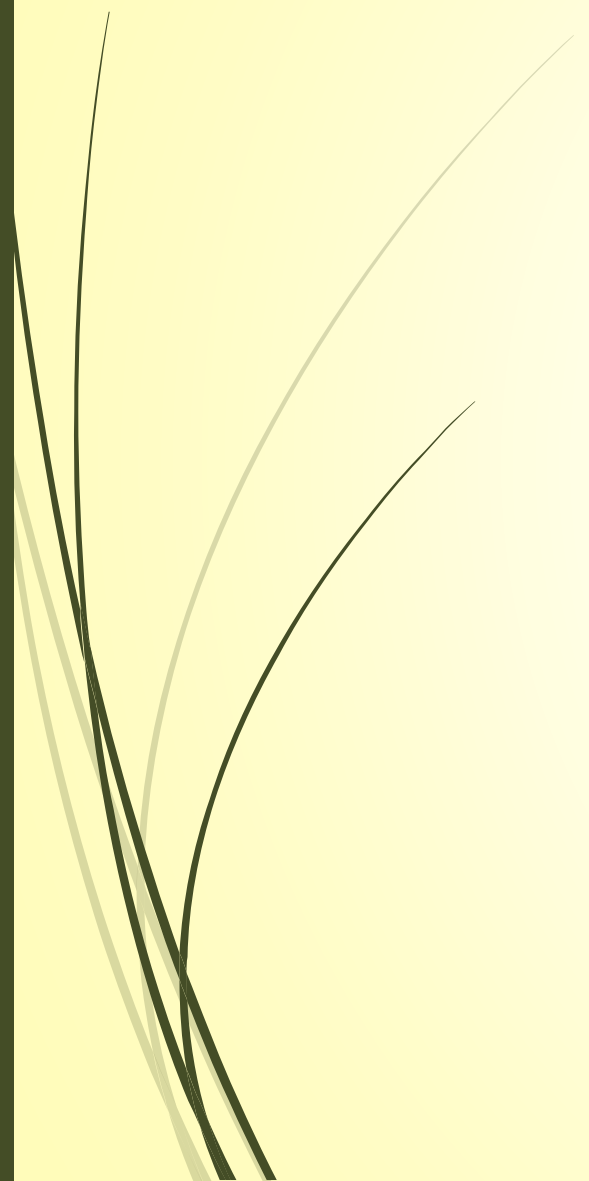
- Случайна функция
- Корелационна функция
- Нормирана корелационна функция
- Кохерентност (нормирана корелационна функция на фазите на оптичните трептения)





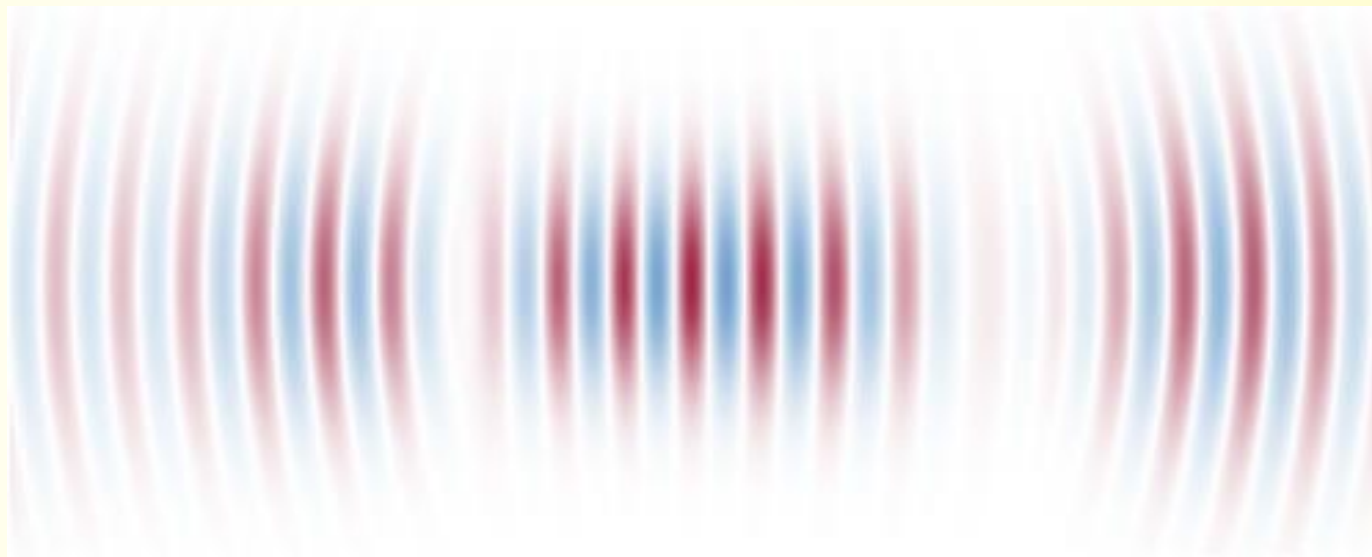
- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and black extending downwards and to the right from its base.
- Писане на дъската и дискусия.
  - $C_{\varphi} = 1/N(\varphi(t,x) \varphi(t+\tau, x+\xi) + \varphi \varphi + \varphi \varphi \dots)$
  - Коментари за корелационната функция.

- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing to the right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of green and black sweep upwards and to the right, creating a sense of movement and flow.
- Пространствена кохерентност – коментари за функцията
  - Времева кохерентност – коментари за функцията
  - Обем на кохерентност – коментари за фигурата
  - Коментар от гледна точка фотони
  - Спонтанно излъчване
  - Стимулирано излъчване
  - Лазер
  - Графични примери

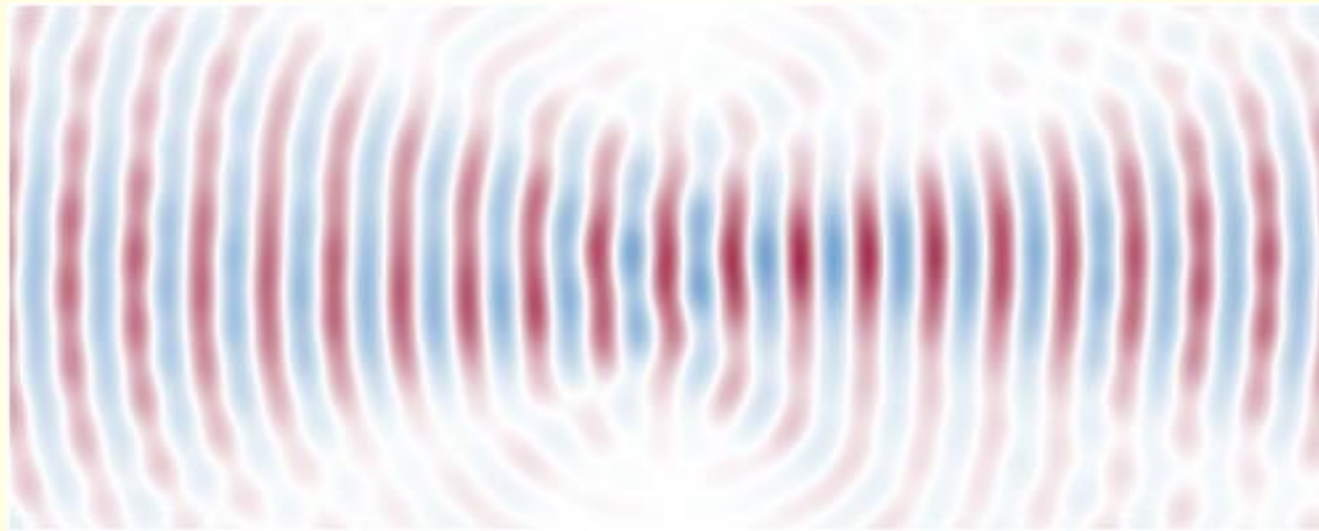




Висока пространствена  
кохерентност, ниска времева



Висока времева  
кохерентност, ниска пространствена



## 2.1.3.1 Young's Experiment

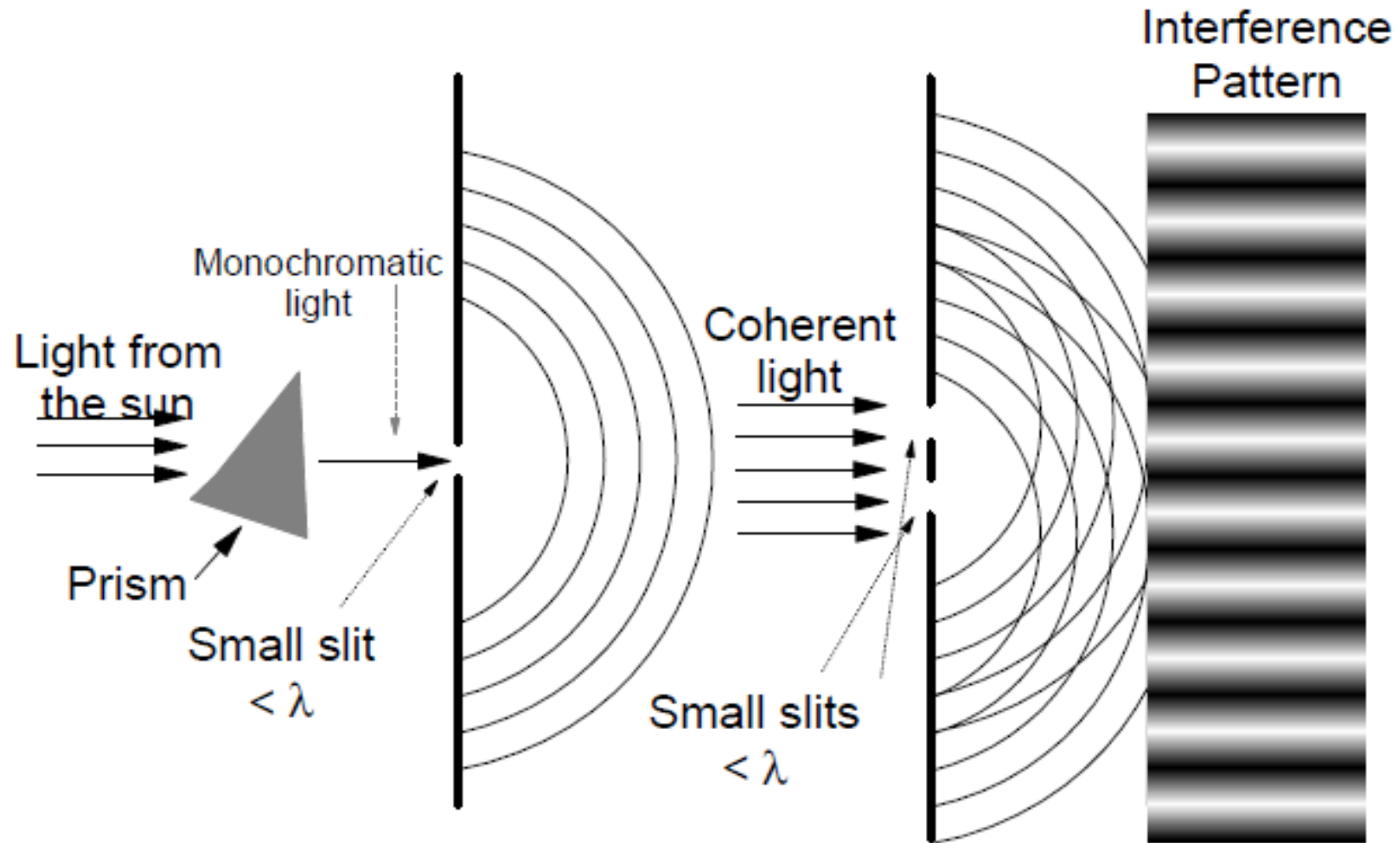
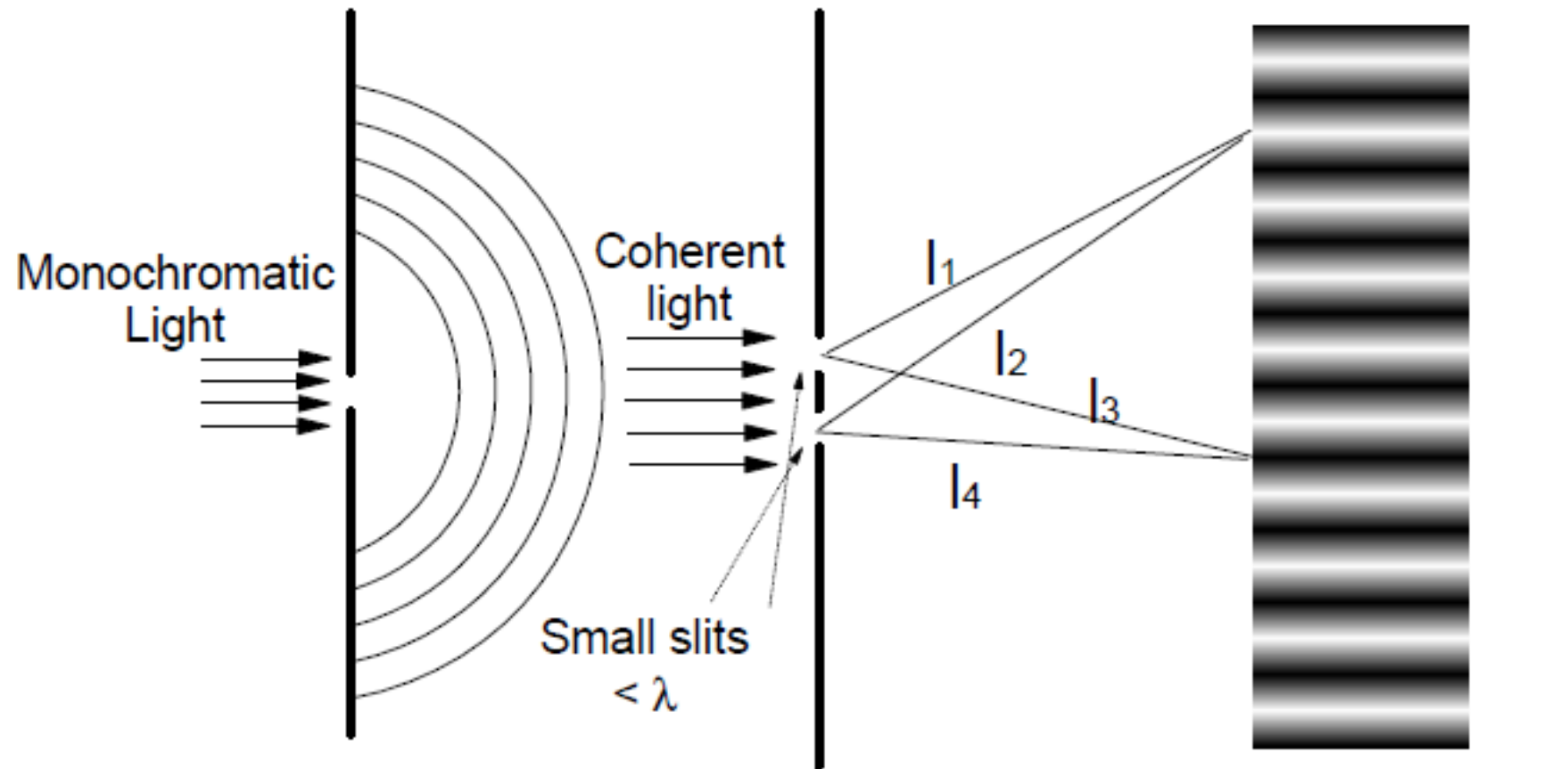
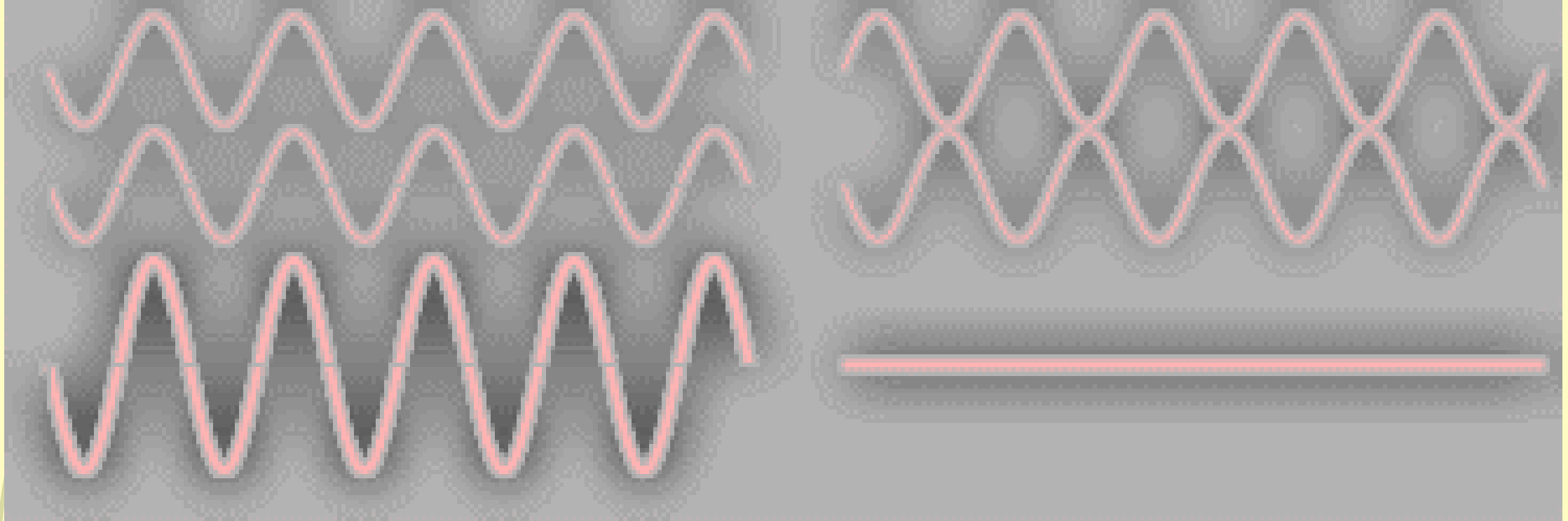


Figure 6. Young's Experiment



*Figure 7. Interference Effects*





## ► МОЩНОСТ (ПОТОК) НА ИЗЛЪЧВАНЕТО

[https://www.rp-photonics.com/optical\\_power.html](https://www.rp-photonics.com/optical_power.html)

Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

Encyclopedia of Laser Physics X Wave interference - Wikipedia X

← → ↻ 🏠 [https://www.rp-photonics.com/optical\\_power.html](https://www.rp-photonics.com/optical_power.html) 🔍 interference

Най-посещавани 🔗 Първи стъпки 🌐 Публичен регистър н... 🚀 OpenLaszlo Application 📘 Начало

Note: this box searches only for keywords in the titles. For full-text searches, use our [search page](#).

### Optical Power

<<< | >>>

**Definition:** the energy per unit time, e.g. transported by a laser beam, or a focusing power

**German:** optische Leistung

**Category:** [general optics](#)

**Formula symbol:**  $P$  (for energy per time),  $1/f$  (for focusing power)

[How to cite the article; suggest additional literature](#)

**BUYER'S GUIDE**

Use the [RP Photonics Buyer's Guide](#) to find suppliers for photonics products! You will hardly find a more convenient resource.

**Stand up for Science!**

It is acceptable that some don't know much about photons, biological evolution or global warming.

**But we don't want bigot ignorants to make political decisions and educate our children!**

For example, **global warming** is not a matter of political opinion, but a fact. Ruthless profiteers are leading astray uneducated people, seducing them to take utterly irresponsible positions.

**But we cannot risk catastrophic climate changes!** Science tells us it is high time to act. Read, for example, the **IPCC Synthesis Report 2014**.

**Stand up for science (per-**

The term *optical power* occurs in the literature with two totally different meanings:

- It can be the energy per unit time, as is delivered by a [laser beam](#), for example.
- It can be a focusing power, also called [dioptric power](#), for example of a [lens](#) or objective.


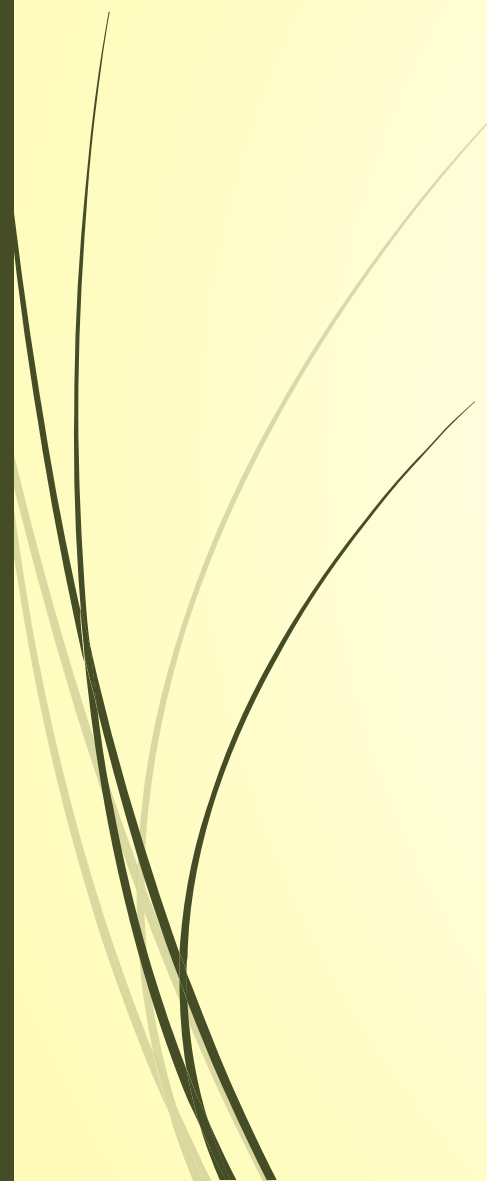
In the following, both meanings are discussed.

#### – Power as Energy per Time

A power with that meaning is usually specified in watts = joules per second. Particularly in the area of [optical fiber communications](#), optical powers are also often specified in dBm, which means [decibels](#) relative to the reference power 1 mW. For example, a power of 100  $\mu\text{W}$  = 0.01 mW corresponds to -20 dBm (= 20 dB less than 1 mW).

Optical powers of [laser beams](#) are often measured with so-called optical [powermeters](#). Some of these devices can handle multiple kilowatts of laser power from a [high-power laser](#); they are usually water-cooled. Other powermeters, often based on [photodiodes](#), can be used for measuring very low optical powers of microwatts, nanowatts or even less. [Optical power monitors](#) are widely used as permanent parts of optical systems, e.g. in [optical fiber communications](#).

The optical power of light which is radiated in a wide range of directions cannot easily be measured with a powermeter, as it is difficult to collect it. In such cases, an [integrating sphere](#) can be used.

- 
- Интензивност
  - Графично представяне
  - Връзка с кохерентността
- 

- Хроматична ширина на оптичното лъчение
- <https://www.rp-photonics.com/linewidth.html>

Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

Encyclopedia of Laser Physics x Encyclopedia of Laser Physics x The Photonics Spotlight - The Wave interference - Wikipedia x

← → ↻ 🏠 <https://www.rp-photonics.com/linewidth.html> 🔍 Ine

Най-посещавани Първи стъпки Публичен регистър н... OpenLaszlo Application Начало

Note: this box searches only for keywords in the titles. For full-text searches, use our [search page](#).

## Linewidth

Definition: width of the spectrum of a light beam or an absorption feature  
 German: Linienbreite  
 Categories: fluctuations and noise, lasers, physical foundations  
 Formula symbol:  $\Delta\nu$ ,  $\Delta\lambda$   
 Units: Hz, nm  
[How to cite the article; suggest additional literature](#)

The linewidth (or line width) of a [laser](#), typically a [single-frequency laser](#), is the width (typically the full width at half-maximum, FWHM) of its [optical spectrum](#). More precisely, it is the width of the [power spectral density](#) of the emitted electric field in terms of frequency, [wavenumber](#) or [wavelength](#).

The linewidth of a laser is strongly (but non-trivially) related to the temporal [coherence](#), characterized by the [coherence time](#) or [coherence length](#). A finite linewidth arises from [phase noise](#) if the [optical phase](#) undergoes unbounded drifts, as is the case for free-running oscillators. (Phase fluctuations which are restricted to a small interval of phase values lead to a zero linewidth and some noise sidebands.) Drifts of the [resonator](#) length can further contribute to the linewidth and can make it dependent on the measurement time. This shows that the linewidth alone, or even the linewidth complemented with a spectral shape (line shape), does by far not provide full information on the spectral purity of laser light. (This is particularly the case for lasers with dominating low-frequency phase noise.) More data are required for full [noise specifications](#).

The r.m.s. linewidth can be defined as the root-mean-square value of the [instantaneous optical frequency](#):

$$\Delta\nu_{\text{rms}} = \sqrt{\int |S_{\nu}(f)|^2 df}$$

**SUPPLIERS FOR NARROW-LINEWIDTH LASERS OR EQUIPMENT FOR LINEWIDTH MEASUREMENTS**

The [RP Photonics Buyer's Guide](#) contains 16 suppliers for narrow-linewidth lasers or equipment for linewidth measurements.

Among them:

**NKT Photonics**

Find more supplier details at the end of the encyclopedia article.

You are not yet listed? [Get your entry!](#)

Ask [RP Photonics](#) for advice on linewidth measurement and specification, optimization, laser design, etc.

### Field Guide on Fiber Optics

A quick introduction to fiber optics:

- basics of optical fibers
- fiber nonlinearities and their effects
- passive fibers for data transmission
- photonic crystal fibers
- large mode area fibers
- passive fiber-optic components
- active fiber devices: fiber amplifiers and lasers

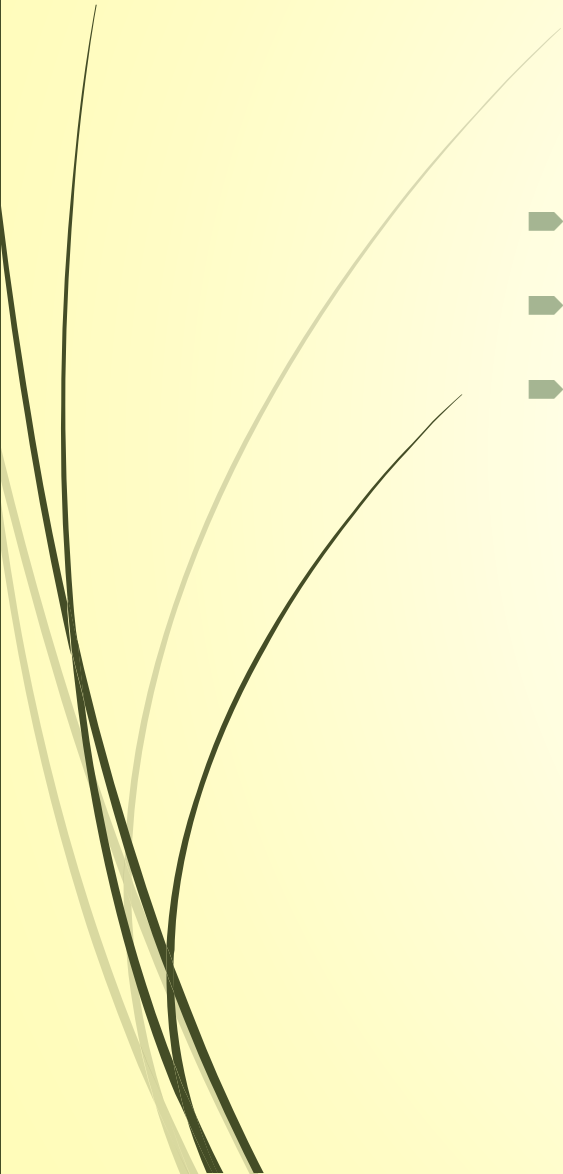
Field Guide to  
**Optical Fiber Technology**  
Rüdiger Paschotta



# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ



# Насоченост на оптичното лъчение

- Защо ни интересува
  - Разходимост
  - Голяма насоченост при голяма кохерентност, защо? (графичен пример)
- 



# ОПТИЧНИ ИЗТОЧНИЦИ

Предимства на оптичното лъчение

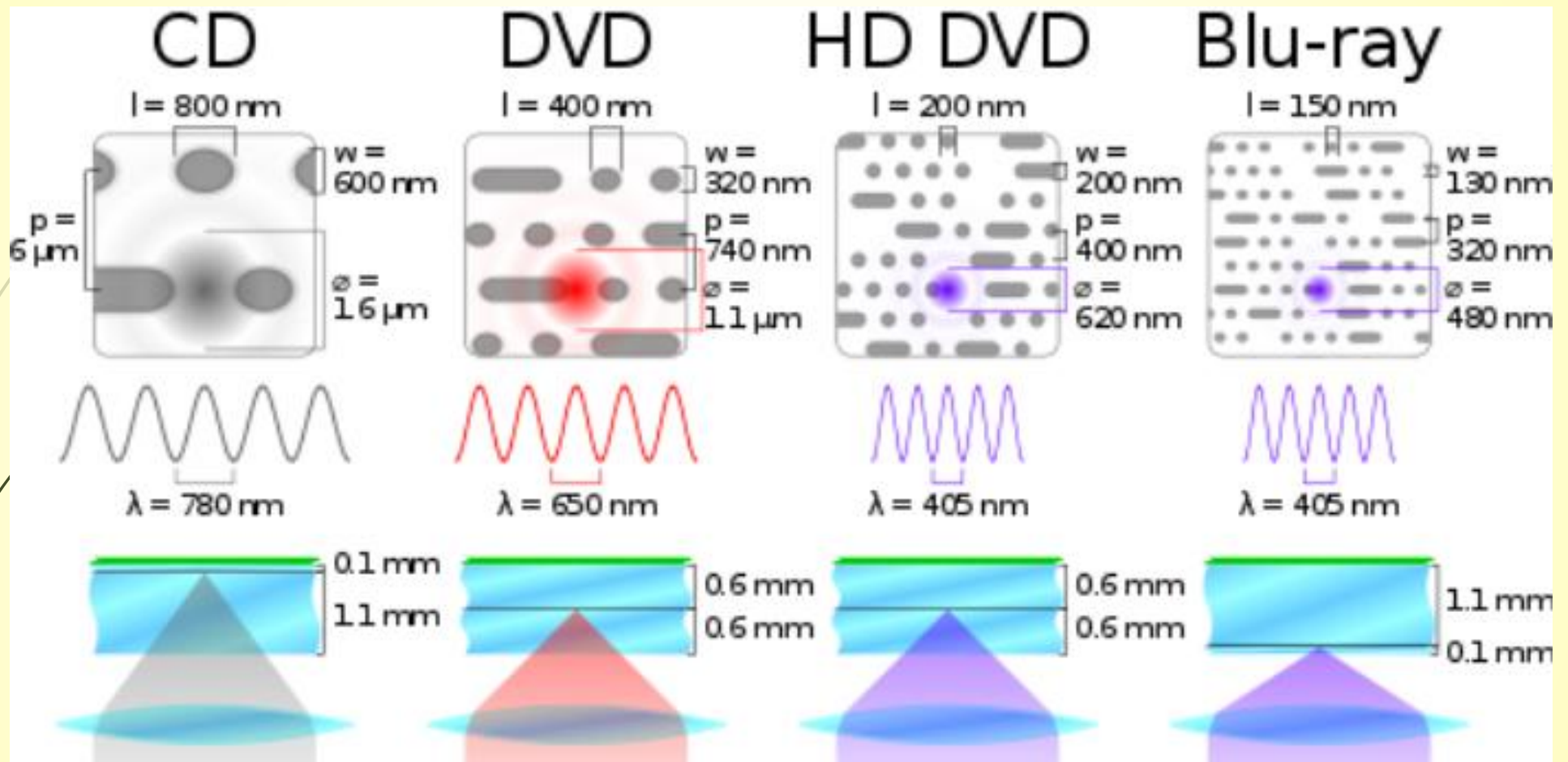
- ▶ примери от природата

  - собствено излъчване

  - звезди, вулкани, пожари и др.

- ▶ Голям набор от параметри, които могат да се модулират

  - $S(t)$ ,  $S(x,y,z)$ ,  $S(t,x,y,z)$ ,  $S(x,y)$



- Честотна лента (вече сме го разглеждали)
- Дифракционна разходимост

теоретично  $\theta \sim \lambda/D$

D – диаметър на излъчващата антена

пример D=10cm,  $\lambda=1\mu\text{m}$   $\theta \sim 10\text{e-}5 \text{ rad}$

сравнение с  $\lambda=1\text{mm}$  (300GHz)  $\theta \sim 10\text{e-}5 \text{ rad}$  D ~  
100m !!!

- Относително малки антени

# Източници на лъчение в оптичните комуникационни системи

## ► Изисквания

- Линейно модулиране на лъчението
- Динамичен модулационен режим
- Енергиен ресурс
- Ефективно въвеждане на лъчението в преносната среда
- Избор на централна дължина на вълната/вълните
- Лента на излъчване
- Едномодов режим (по-нататък ще се разглежда)
- Монтажни, технологични и икономически показатели



# Инжекционни полупроводникови светодиоди и лазери

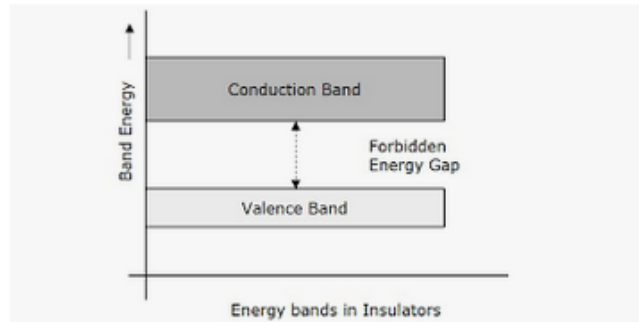
- Защо точно лазери и светодиоди?
- Черни кутии или кратко разглеждане?



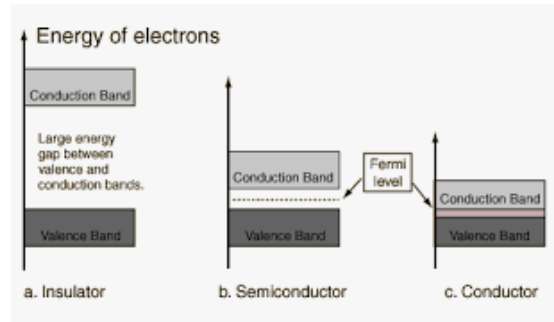
## .....кратко разглеждане

- Зонна енергийна диаграма
  - Разрешени енергийни нива
  - Графично представяне
  - $Z_v$  – валентна зона ,  $Z_G$  – забранена зона,  $Z_c$  – зона на проводимост,  $E_v$  – горна граница на валентната зона ,  $E_c$  – долна граница на  $Z_c$
  - При металите  $Z_c$  и  $Z_v$  се припокриват – добри проводници
  - При диелектриците  $Z_G$  е твърде широка 10-15eV
  - При  $Z_G$  по-малко от 3eV – полупроводници

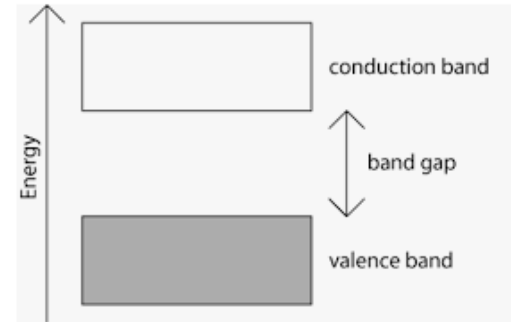
theory valence conduction solids diagram conductor band diagram conduction band insulator semiconductor silicon germanium band structure



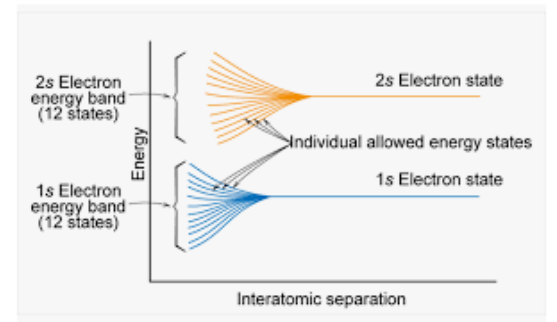
Basic Electronics Energy Bands tutorialspoint.com



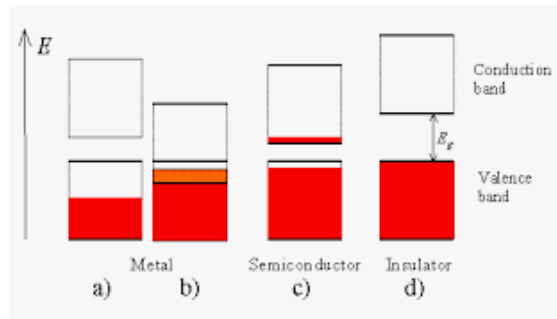
Band Theory for Solids hyperphysics.phy-astr.gsu.edu



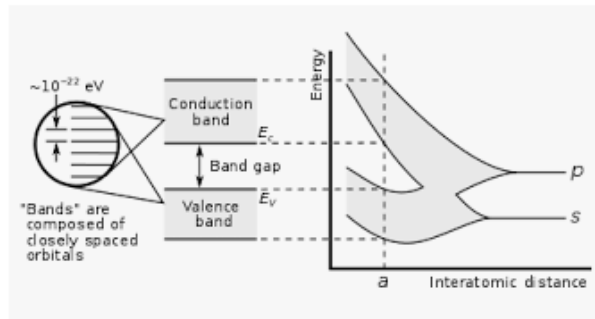
DoITPoMS - TLP Library Introduction to Semiconductors doitpoms.ac.uk



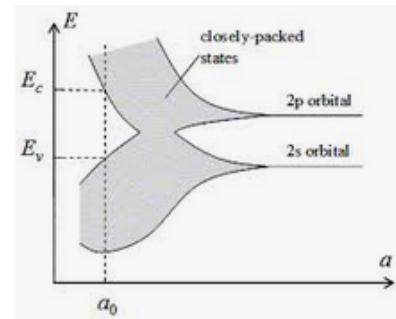
Energy Bands | MATSE 081: Materials In Today's ... e-education.psu.edu



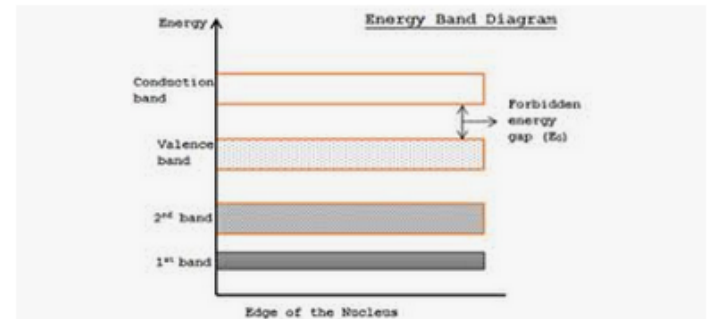
Energy bands ecee.colorado.edu



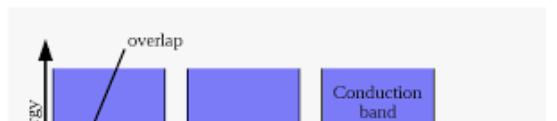
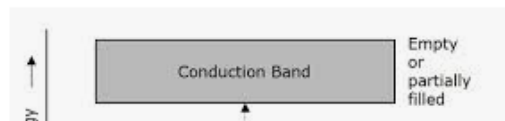
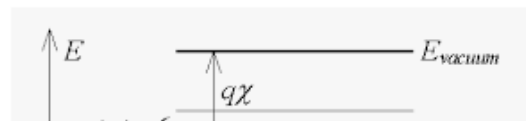
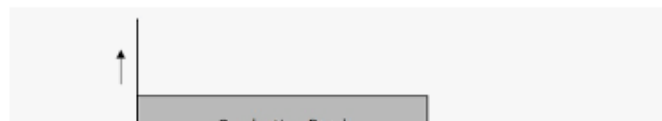
Electronic band structure - Wikipedia en.wikipedia.org

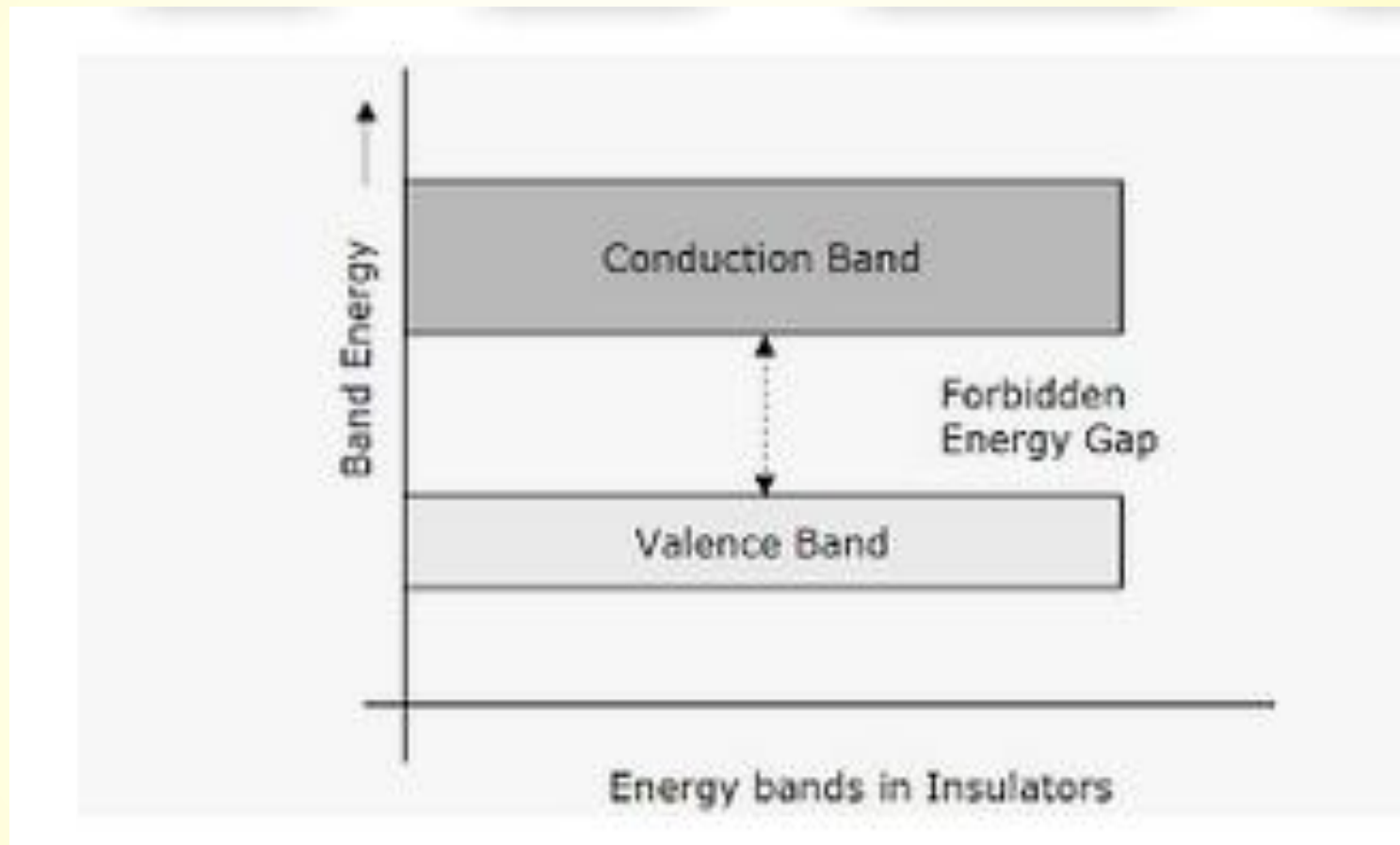


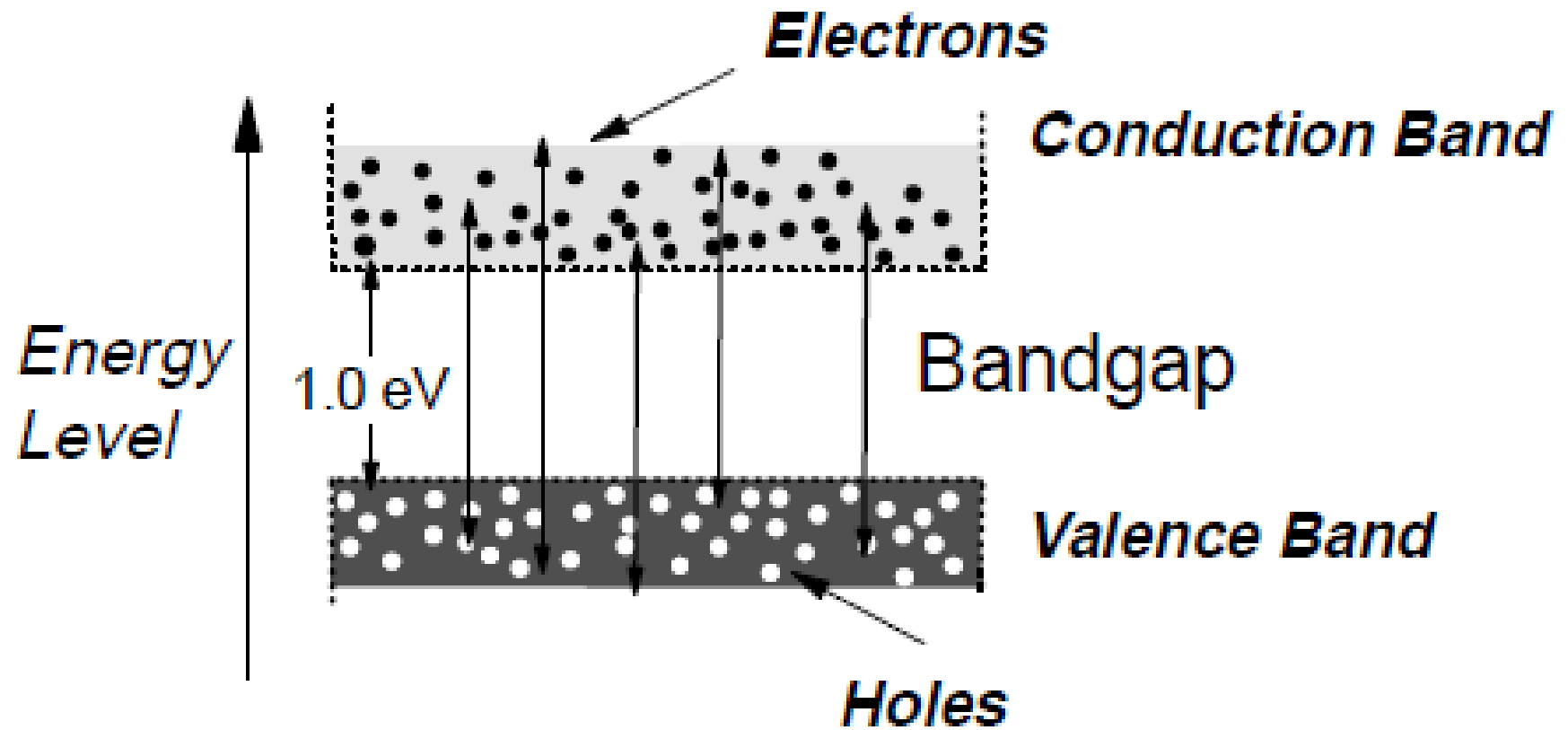
Energy bands ecee.colorado.edu



ENERGY BANDS IN SOLIDS - My Tech Info mytech-info.com









## ■ Генерации и рекомбинации

- Топлинни преходи  $Z_v - Z_c$ , електрони и дупки (виж курса по ППЕ)
- При прилагане на поле се наблюдава движение, т.е. ток
- Преход от по-високо към по-ниско ниво
  - Излъчвателен - фотон
  - Безизлъчвателен – топлина



- 
- Енергията на фотона е

$$h\nu \geq \Delta E_G$$

- Съответно дължината на вълната (като имаме предвид константата на Планк)

$$\lambda[\mu\text{m}] \leq 1.24/\Delta E_G$$

*Table 1. Bandgap Energy and Possible Wavelength Ranges in Various Materials*

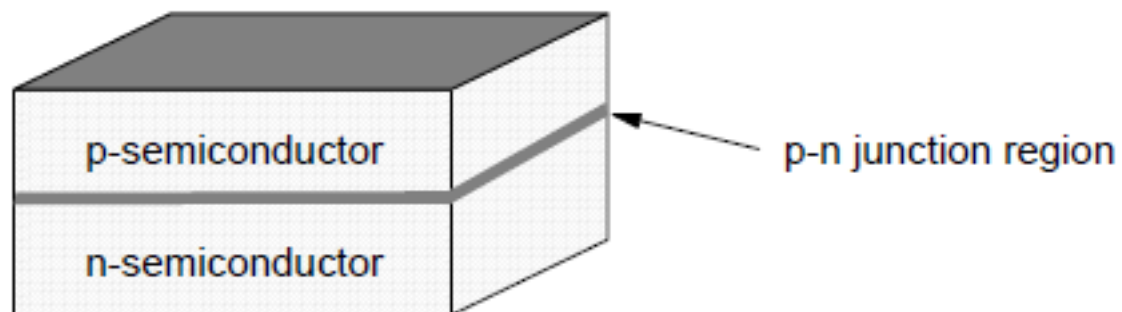
<b>Material</b>	<b>Formula</b>	<b>Wavelength Range <math>\lambda</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Bandgap Energy <math>W_g</math> (eV)</b>
Indium Phosphide	InP	0.92	1.35
Indium Arsenide	InAs	3.6	0.34
Gallium Phosphide	GaP	0.55	2.24
Gallium Arsenide	GaAs	0.87	1.42
Aluminium Arsenide	AlAs	0.59	2.09
Gallium Indium Phosphide	GaInP	0.64-0.68	1.82-1.94
Aluminium Gallium Arsenide	AlGaAs	0.8-0.9	1.4-1.55
Indium Gallium Arsenide	InGaAs	1.0-1.3	0.95-1.24
Indium Gallium Arsenide Phosphide	InGaAsP	0.9-1.7	0.73-1.35

## ➤ Легиране

- Донорно, n
- Акцепторно, p

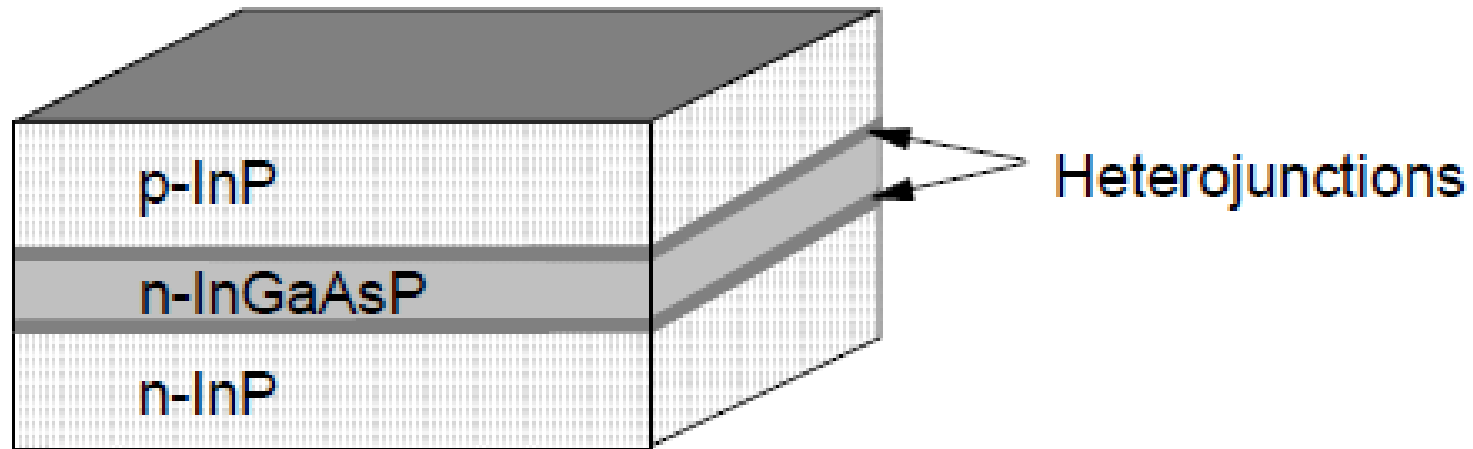
## ➤ P-N преход

- Принудителното въвеждане на токоносителите – инжектиране
- Проблем с дебелината на рекомбинационния слой по отношение на излъчването

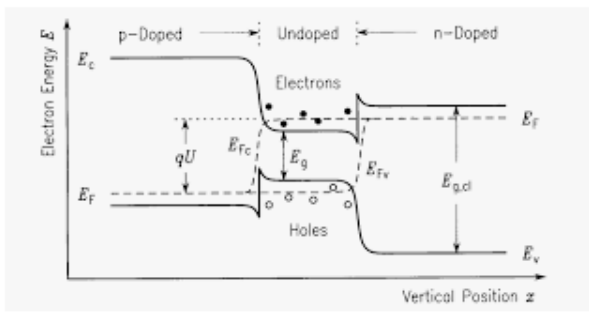


- Двойна хетероструктура

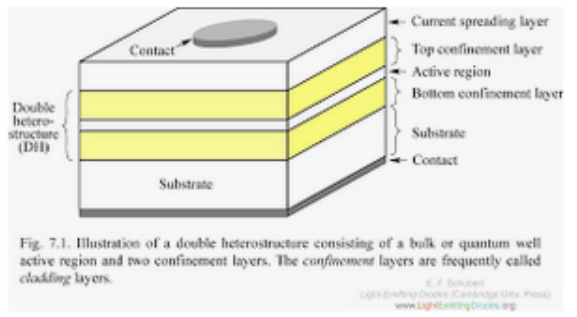
- Два успоредни хетеропрехода
- Различни ширини на забранените зони
- „сандвич“ две широкозонни области (донорна и акцепторна) заграждат една тяснозонна област (донорна или акцепторна)



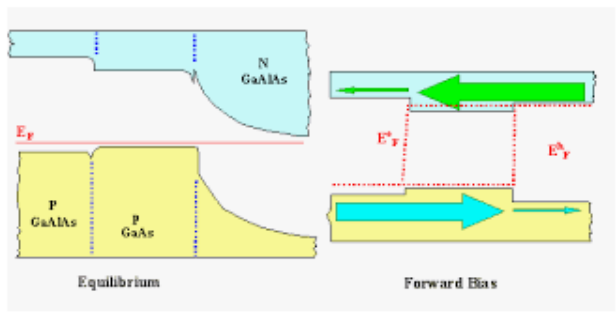
semiconductor laser band diagram forward bias homojunction gaas laser diode heterostructure laser hemt gan heterostructure cavities heterostructure



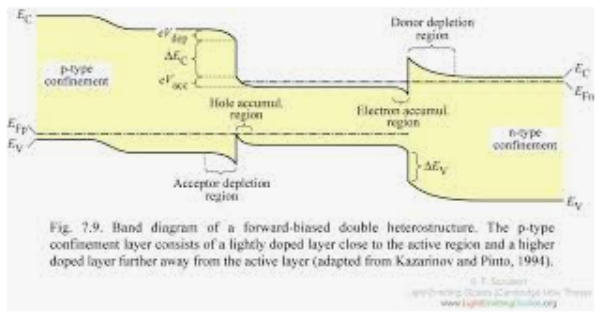
Picture of the energy structure in a double heterostr... research gate.net



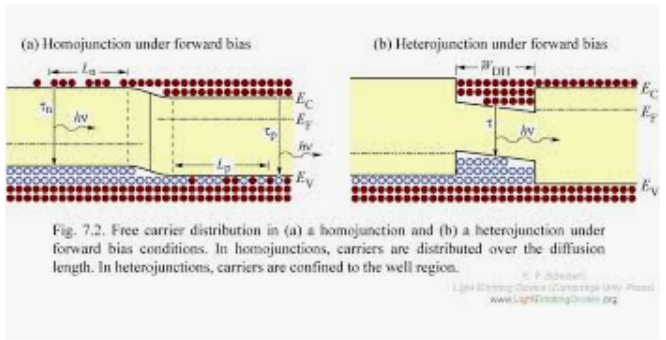
LightEmittingDiodes.org Chapter 7 ecs.e.rpi.edu



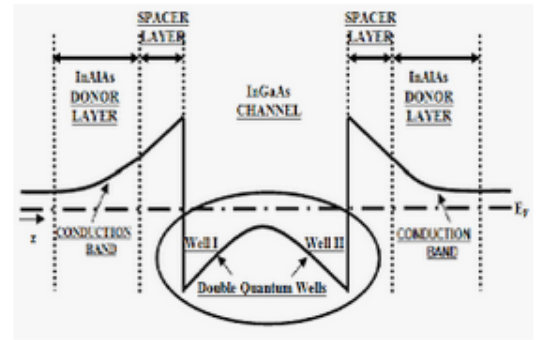
7.1.4 Double Heterojunctions tf.uni-kiel.de



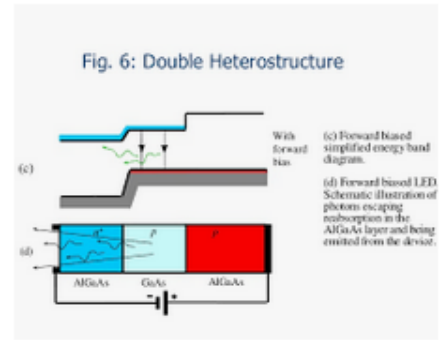
LightEmittingDiodes.org Chapter 7 ecs.e.rpi.edu



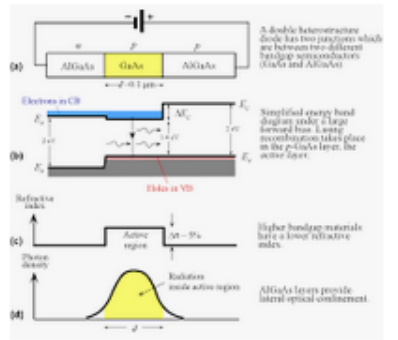
LightEmittingDiodes.org Chapter 7 ecs.e.rpi.edu



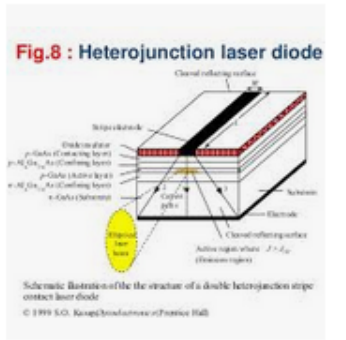
Energy Band diagram for double heterostr... research gate.net



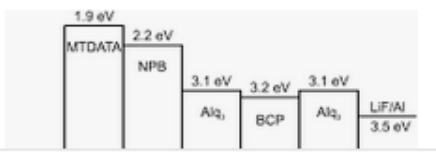
Chapter 4b slideshare.net



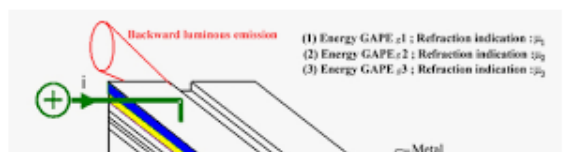
Lecture 19 courses.soe.ucsc.edu



Chapter 5b slideshare.net



https://www.slideshare.net/chinkitkit/chapter-5b-36657208



Backward luminescence



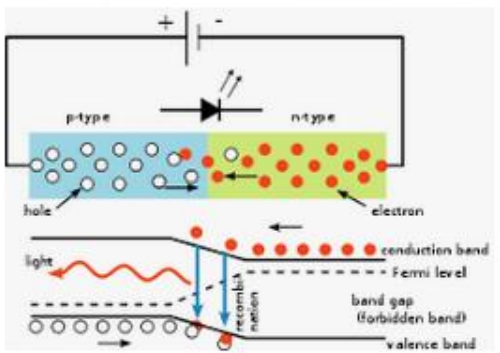
MARCH MEETING 2018 LOS ANGELES MARCH 5-9



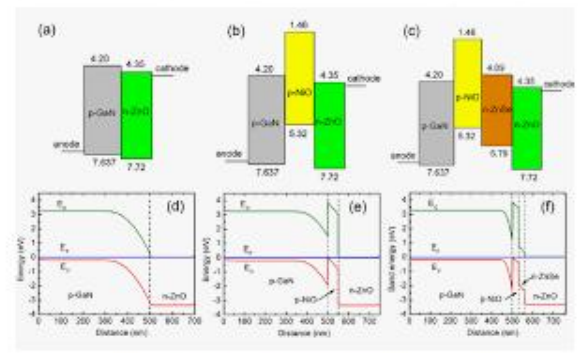
Field Plate Length



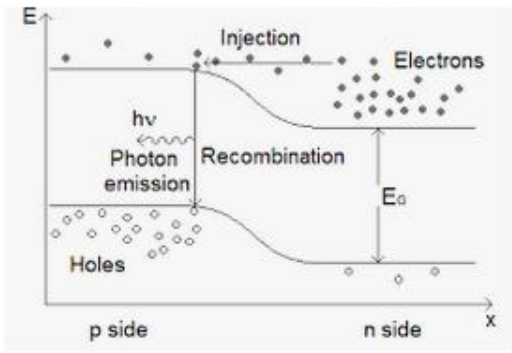
- diode
- pn junction
- gan led
- quantum well
- conduction band
- light emitting
- emitting diode
- zno
- structure
- electron
- ingan gan
- bias
- heterostructure



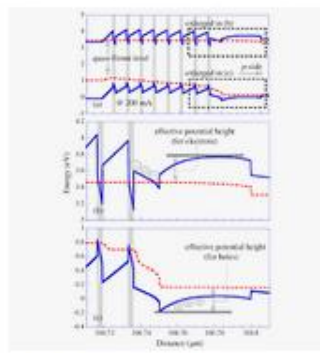
Light-emitting diode - Wikipedia en.wikipedia.org



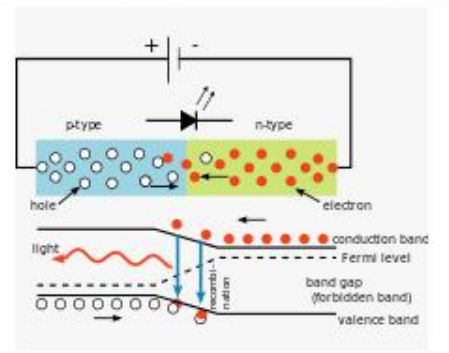
The schematic structure and energy band diagram... researchgate.net



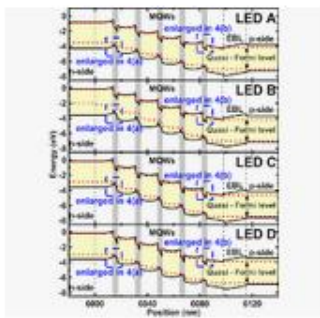
Light Emitting Diodes warwick.ac.uk



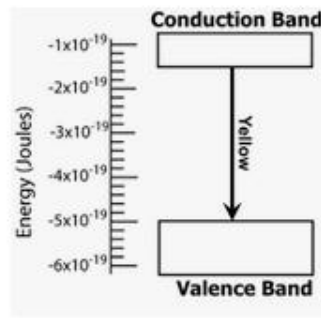
a) Energy band diagram of... researchgate.net



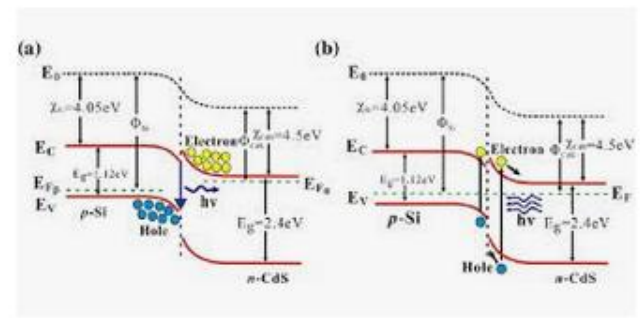
Band diagram - Wikipedia en.wikipedia.org



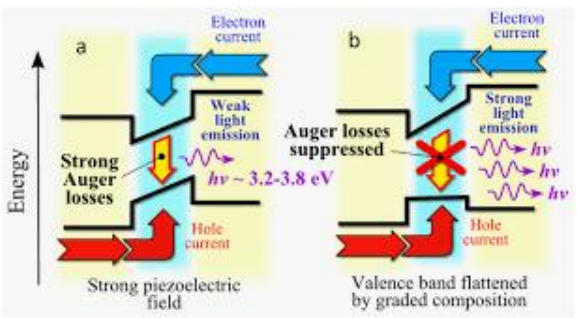
Energy band diagram of L... researchgate.net



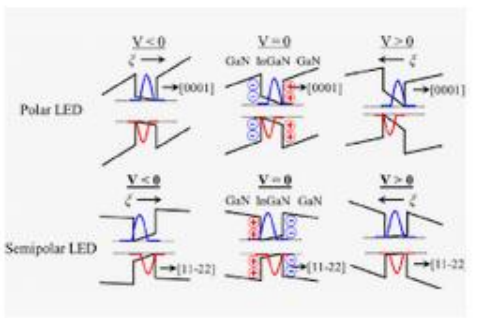
Solved: 1. If You Consider ... chegg.com



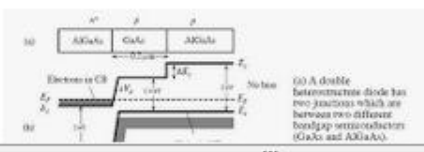
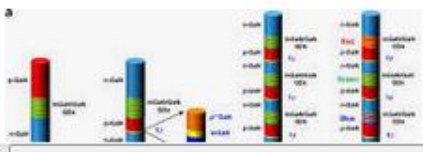
a) Energy band diagram of the CdS NR/Si LED under t... researchgate.net

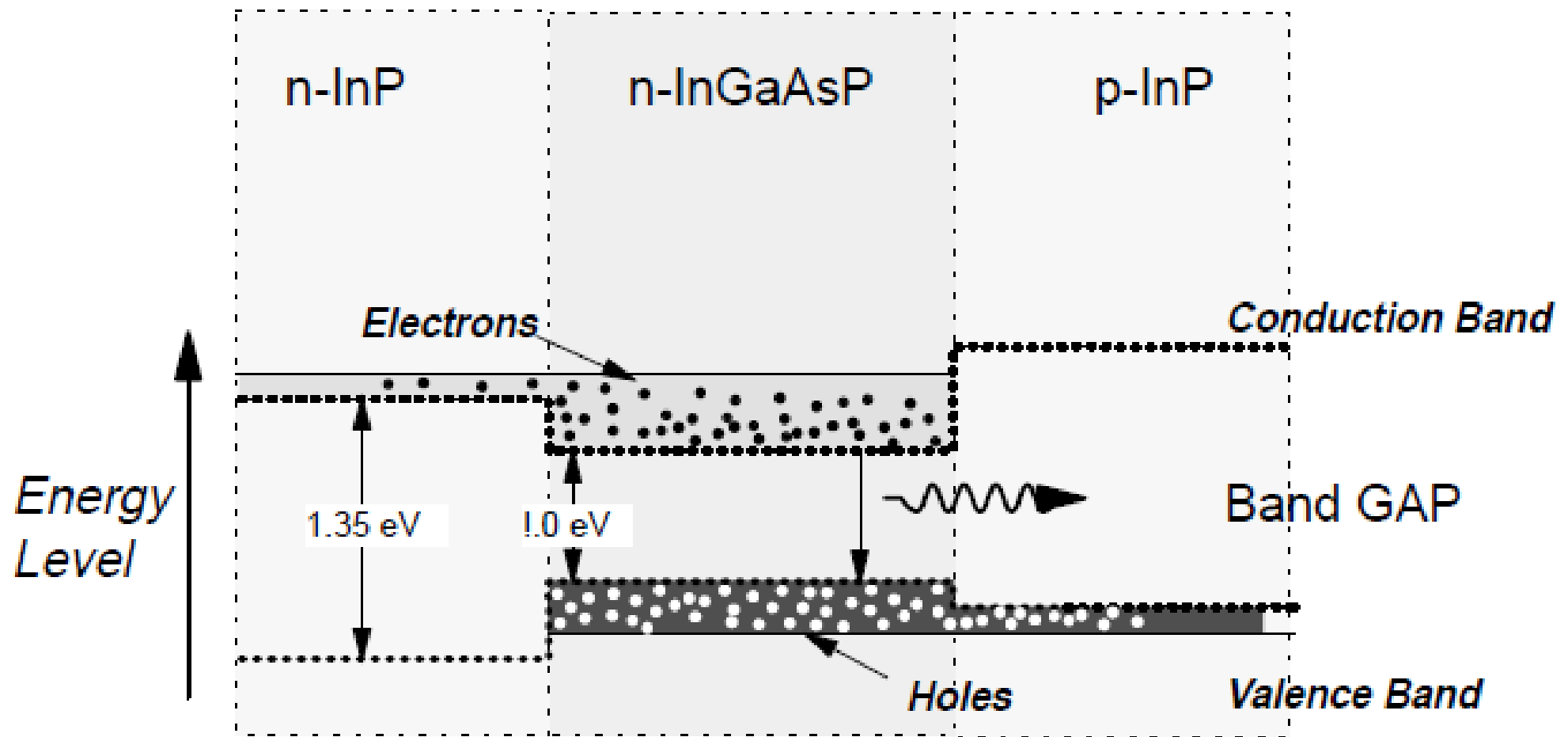


A roadmap to efficient green-blue-ultraviolet light-e... phys.org

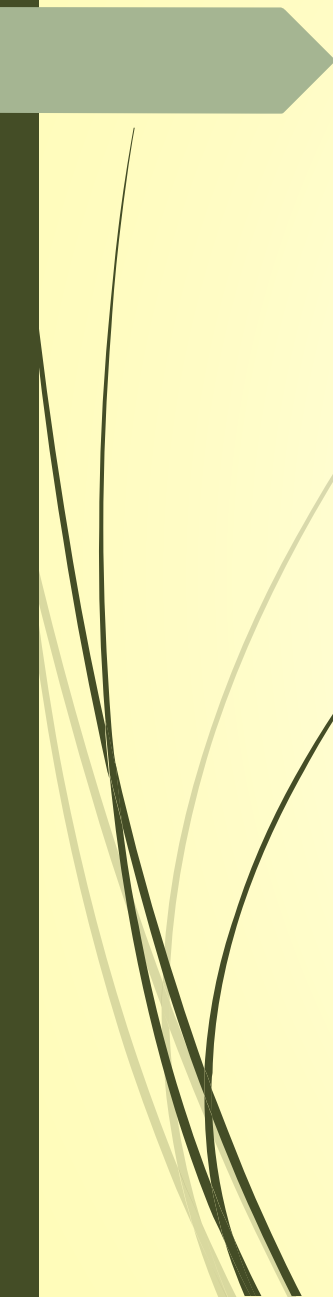


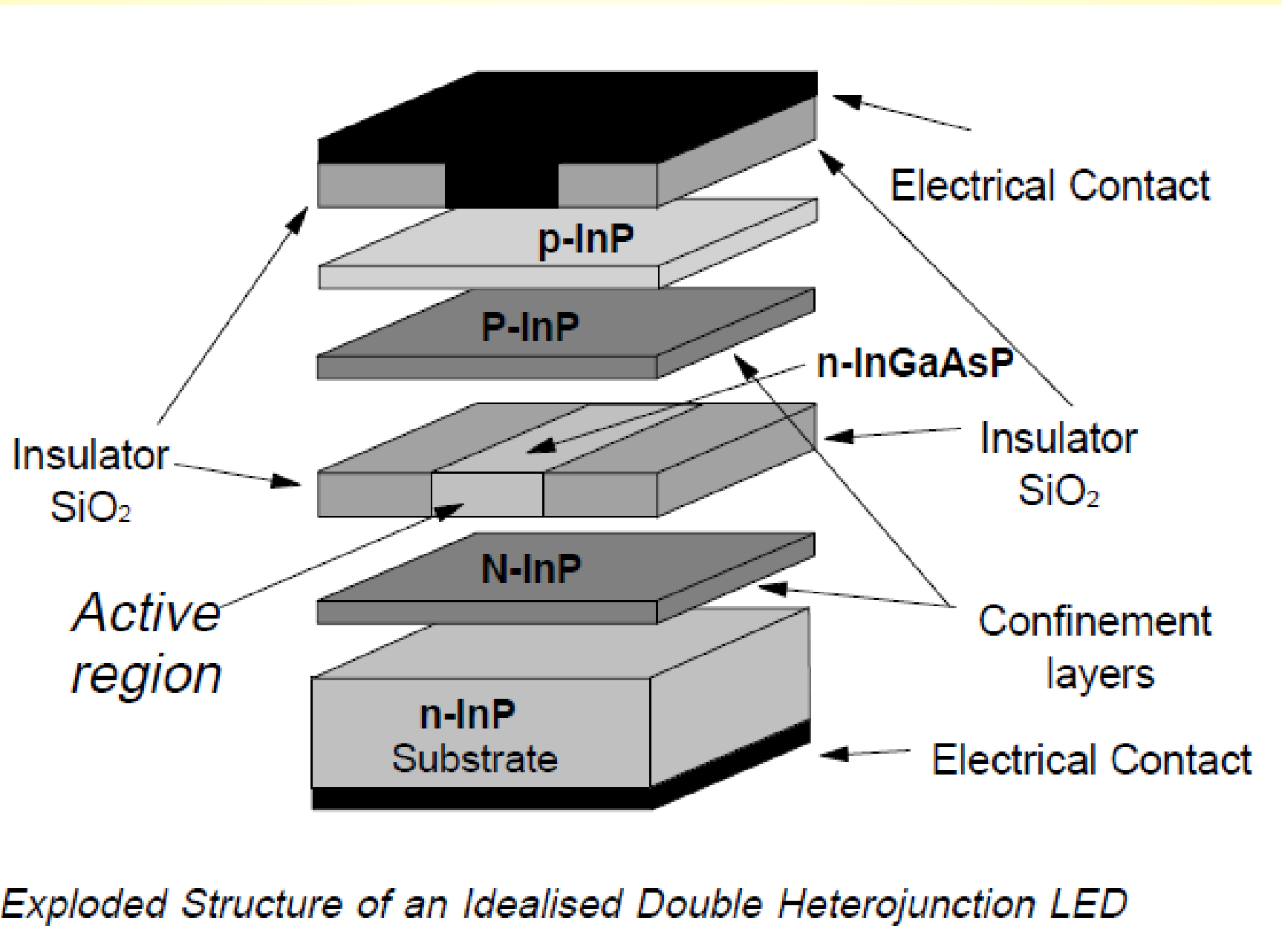
Schematic energy band diagrams for p... researchgate.net

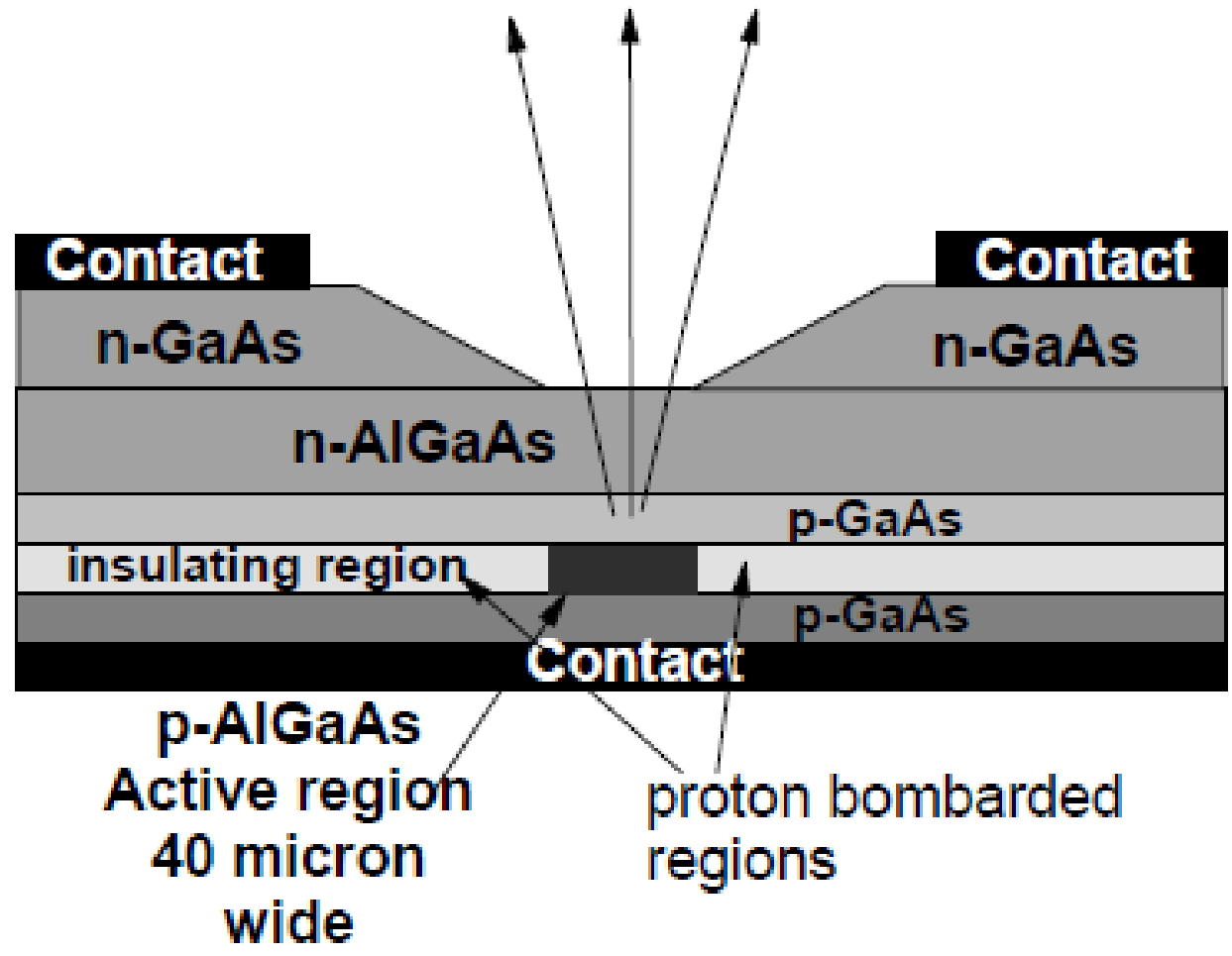




*Bandgap boundaries are denoted by dotted lines*

- 
- Коефициентът на пречупване в активната област е по-голям от тези на останалите области
  - Коментар относно коефициентите на пречупване на областите (по-късно ще разглеждаме подобен казус при анализа на разпространението в оптични влакна)
  - Технологично изискване за съгласуване на кристалните решетки на областите (цел малък брой неизлъчвателни преходи)
  - Охлаждане









# Light-Emitting Diodes

## 3rd edition

E. Fred Schubert  
Rensselaer Polytechnic Institute  
Troy, New York, USA

ISBN: 978-0-9 863826-6-6

Publisher: E. Fred Schubert

Year: 2018

© E. Fred Schubert, all rights reserved

## LED Based Indoor Visible Light Communications: State of the Art

**4 Author(s)** Dilukshan Karunatilaka ; Fahad Zafar ; Vineetha Kalavally ; Rajendran Parthiban [View All Authors](#)

164  
Paper  
Citations

5934  
Full  
Text Views



### Abstract

#### Document Sections

- I. Introduction
- II. Motivation
- III. Background
- IV. Visible Light Communication (VLC) System

### Abstract:

Visible Light Communication (VLC) is an emerging field in Optical Wireless Communication (OWC) which utilizes the superior modulation bandwidth of Light Emitting Diodes (LEDs) to transmit data. In modern day communication systems, the most popular frequency band is Radio Frequency (RF) mainly due to little interference and good coverage. However, the rapidly dwindling RF spectrum along with increasing wireless network traffic has substantiated the need for greater bandwidth and spectral relief. By combining illumination and communication, VLC provides ubiquitous communication while addressing the shortfalls and limitations of RF communication. This paper provides a comprehensive survey on VLC with an emphasis on challenges faced in indoor applications over the period 1979-2014. VLC is compared with infrared (IR) and RF systems and the necessity for using this beneficial technology in communication systems is justified. The advantages of LEDs compared to traditional lighting technologies are discussed and comparison is done between different types of LEDs currently available. Modulation schemes and dimming techniques for indoor VLC are discussed in detail.

### Related Articles

Measurement of Electron Mobility in Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As From Optical Modulation Measurements in Multilayer Organic Light-Emitting Diodes  
Journal of Display Technology  
Published: 2006

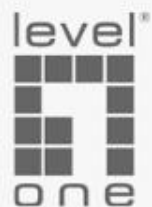
Wavelength demodulation of ultrabright green light-emitting diodes for electrical current sensing  
IEEE Sensors Journal  
Published: 2005

[View More](#)

Advertisement

Need  
**Full-Text**  
access to IEEE Xplore  
for your organization?

**REQUEST A FREE TRIAL** >



## 155Mbps transceiver 1310nm LED, (MMF 2km), Duplex LC

H/W Version: 1

LevelOne SFP-1101 is a high performance and cost-effective multi-mode SFP transceiver. Intended for use with 100BASE-FX, it provides up to 155 Mbps bi-directional data transfer rate on a single duplex fiber core. For use with 50 and 62.5 micron fiber cables, it can reach a distance of up to 2km.



SFP-1101

The SFP-1101 transceiver operates using a wavelength of 1310nm with an LED light source and has a LC connector.

LC Connector





## Multimode 155Mbps 850nm LED Optical Transceiver

### Features

- 850nm LED Transmitter / GaAs PIN receiver
- Industrial standard 1x9 pin footprint
- Duplex SC/ST/FC single mode connector interface
- Receiver signal detect function
- PECL/LVPECL logic interface, DC or AC coupling
- Single supply 5V/3.3V
- RoHS available



### Specifications

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
<b>Transmitter</b>						
Data Rate (NRZ)	B	2	100	190	Mb/s	
Optical Output Power (avg.) <sup>(1)(2)(4)</sup>	$P_o$	-18	-	-	dBm	
Extinction Ratio	ER	8.3	-	-	dB	
Optical Wavelength	$\lambda_c$	820	850	880	nm	
Spectral Width	$\Delta\lambda$	-	-	60	nm	
Output Rise Time (10-90%)	$t_r$	-	-	8	ns	
Output Fall Time (10-90%)	$t_f$	-	-	10	ns	
Data Input <sup>(5)</sup>	DC Coupled	$V_{IL}$	$V_{CC} - 1.810$	-	$V_{CC} - 1.475$	V
		$V_{IH}$	$V_{CC} - 1.165$	-	$V_{CC} - 0.880$	V
	AC Coupled (Differential)	$V_I$	0.25	-	1.6	V
Supply Voltage		$V_{CC}$	3.10	3.3	3.50	V
			4.75	5.0	5.25	



[Home](#) / [Products Home](#) / [Incoherent Sources](#) / [Light Emitting Diodes \(LED\)](#) / [Fiber-Coupled LEDs](#)

## Fiber-Coupled LEDs



### Related Items

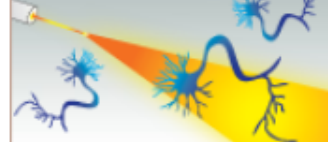
LED Controllers



Multimode Patch Cables



Optogenetics



Halogen Light Source with Fiber Bundle



- ▶ UV, Visible, and NIR Versions
- ▶ Optimized Heat Management Results in Stable Output
- ▶ Integrated Chip Stores LED Operating Parameters
- ▶ Accepts SMA Fiber Connector

**M625F2**  
625 nm Fiber-Coupled LED



Integrated Power Cable

Ø400 µm Core Patch Cable  
(Not Included)

Large Heat Sink for  
Optimized Heat Dissipation



**M385FP1**  
385 nm Fiber-Coupled LED

**Overview**

[Specs](#)

[Stability](#)

[Wavelength Shift](#)

[Pin Diagram](#)

[LED Drivers](#)

[Feedback](#)

[LED Selection Guide](#)

### Features

- Nominal Wavelengths Ranging from 285 nm to 1050 nm
- Warm White (4000 K), Cold White (6200 K), and Broadband (470 - 850 nm) LEDs Also Available
- Integrated Identification Chip (EEPROM) Stores LED Operating Parameters
- Optimized Thermal Properties Lead to Stable Output Power

### Legend

LED Mounted to a 50 mm Long Heat Sink

LED Mounted to a 34 mm Long Heat Sink

Item #	Color (Click for Spectrum) <sup>a</sup>	Nominal Wavelength <sup>b</sup>	Ø200 µm Core Fiber Output (Typ.) <sup>c</sup>	Ø400 µm Core Fiber Output (Typ.) <sup>d</sup>
--------	--	---------------------------------	--	--



# Single Bidirectional Infrared LED Communication Port Reference Design

(ACTIVE) TIDA-01212

[Description & Features](#)
[Technical Documents](#)
[Support & Training](#)
[Order Now](#)

**i** View the [Important Notice for TI Designs](#) covering authorized use, intellectual property matters and disclaimers.

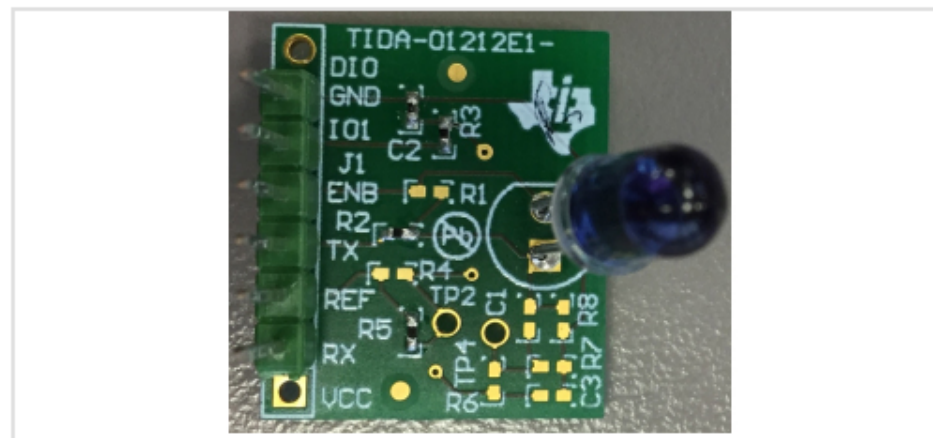
## Key Document

[Single Bidirectional Infrared LED Communication Port Reference Design](#) (PDF 2908 KB)  
28 Nov 2016 27 views

» [View All Technical Documents \(7\)](#)

## Description

The TIDA-01212 reference design provides a ultra-low power yet simple and low-cost solution for adding a bi-directional IrDA PHY link at 9600 bps to any Smart Metering or sub-metering device. Using a single IR LED, a resistor and internal 1.27 V reference, controlled by an optimized software inside the Sensor Controller engine, both transmitter and receiver for IrDA PHY @ 9600 bps is implemented. This design approach can be used with the TI CC13xx and CC26xx SimpleLink™ Wireless MCUs to reduce cost by replacing legacy optical IrDA PHY modules with two separate LEDs.



TIDA-01212 Single Bidirectional Infrared LED Communication Port Reference Design Board Image

**i** Fully assembled board (shown above) developed for testing and performance validation only, not available for sale.

# IrDA Infrared Communication Module

## RPM972-H14

RPM972-H14 is an infrared communication module for IrDA Ver. 1.4 (Low Power). The infrared LED, PIN photo diode, and waveform shaping LSI are all integrated into one single package. This module is designed for low power consumption. The very small package makes it a perfect fit for mobile devices.

Also it provides the capability of IR remote control transmission for universal remote control applications.

### ●Features

- 1) Infrared LED, PIN photo diode, LED driver and receiver frequency formation circuit built in.  
Improvement of EMI noise protection by Shield Case.
- 2) Applied to SIR (9.6k to 115.2kbps), MIR (0.576M, 1.152Mbps) and FIR(4Mbps).
- 3) Surface mount type.
- 4) Power down function built in.
- 5) Adjustable communication distance by LED load resistance value.
- 6) Infrared remote control transmission driver built-in.

### ●Applications

Cellular phone, PDA, DVC, Digital still camera, Printer, Handy terminal etc.

### ●Absolute maximum ratings (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Limits	Unit
Supply voltage	V <sub>CC</sub> /V <sub>LEDA</sub> /V <sub>IO</sub>	6.5 *1	V
Input voltage	V <sub>in</sub> (3,4,5pin)	-0.3 to V <sub>IO</sub> +0.3	V



## Трифазен Електромер МТ17Х

### За Продукта

Напрежение	3 x 230/400 V, 3 x 400 V
Токов обхват	3 x 5(120) A, 3 x5 (85) A /директно свързан електромер
Клас на точност	2 или 1
Честота	50 Hz или 60 Hz

Опции

Код:МТ17Х

Категории: Елек

Етикети: МТ17Х, с

управление на товара с Optomos реле

– Вход за аларма (ниско напрежение)

– До два импулсни входаи/изхода

– IR интерфейс за отчитане и програмиране на електромера на място

– CS сериен интерфейс (20 mA токов контур) за дистанционно отчитане на данни

– Вграден GSM/GPRS модем с място за поставяне на SIM карта (опция)

– Вграден RS485 комуникационен интерфейс (опция)





# Светодиодно осветление

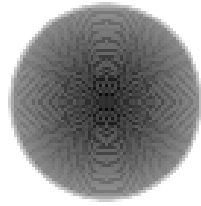
## Solid-state lighting

- [https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE\\_%D0%BE%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE_%D0%BE%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

# Инжекционни полупроводникови лазери

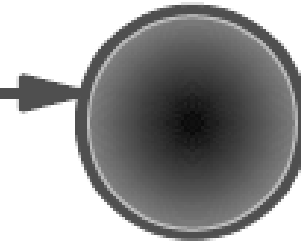
- Условия за лазерна генерация
  - Инверсна населеност (има го и при СД)
  - Положителна обратна връзка в работната област
  - Стимулирано излъчване





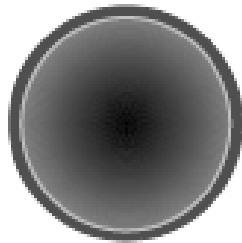
1. Atom in "ground" (low energy) state

Energy

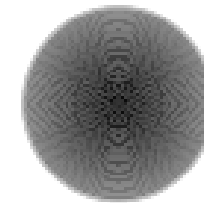


2. Energy is supplied from outside and atom enters excited state

Arriving Photon



3. Photon arrives and interacts with excited atom.



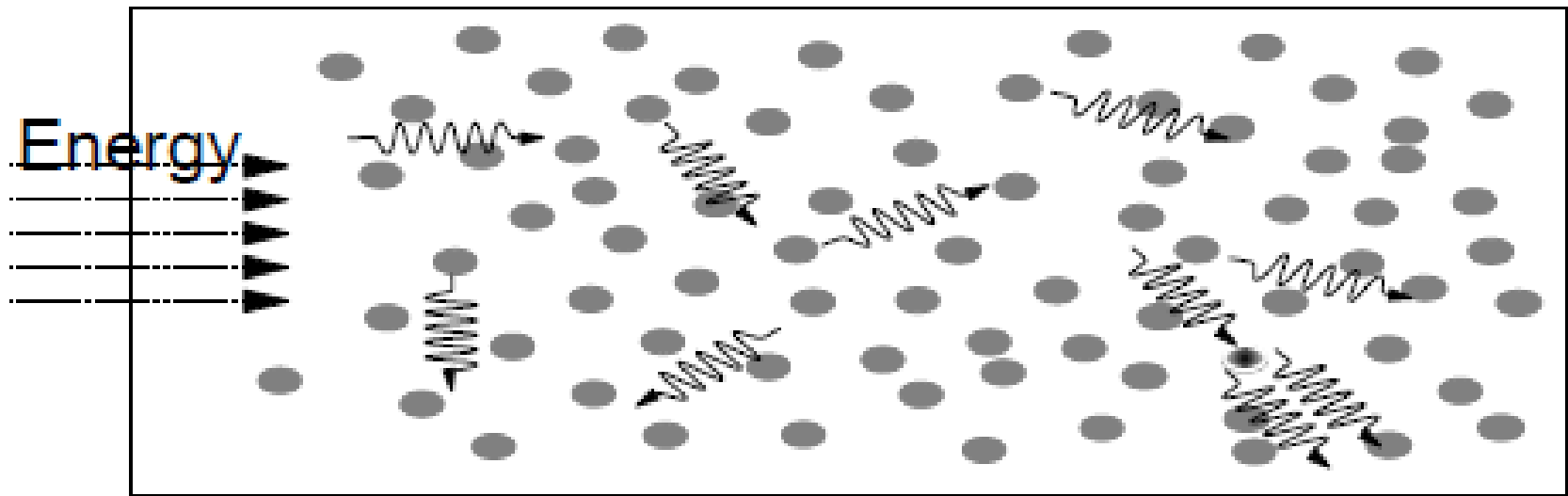
Original Photon



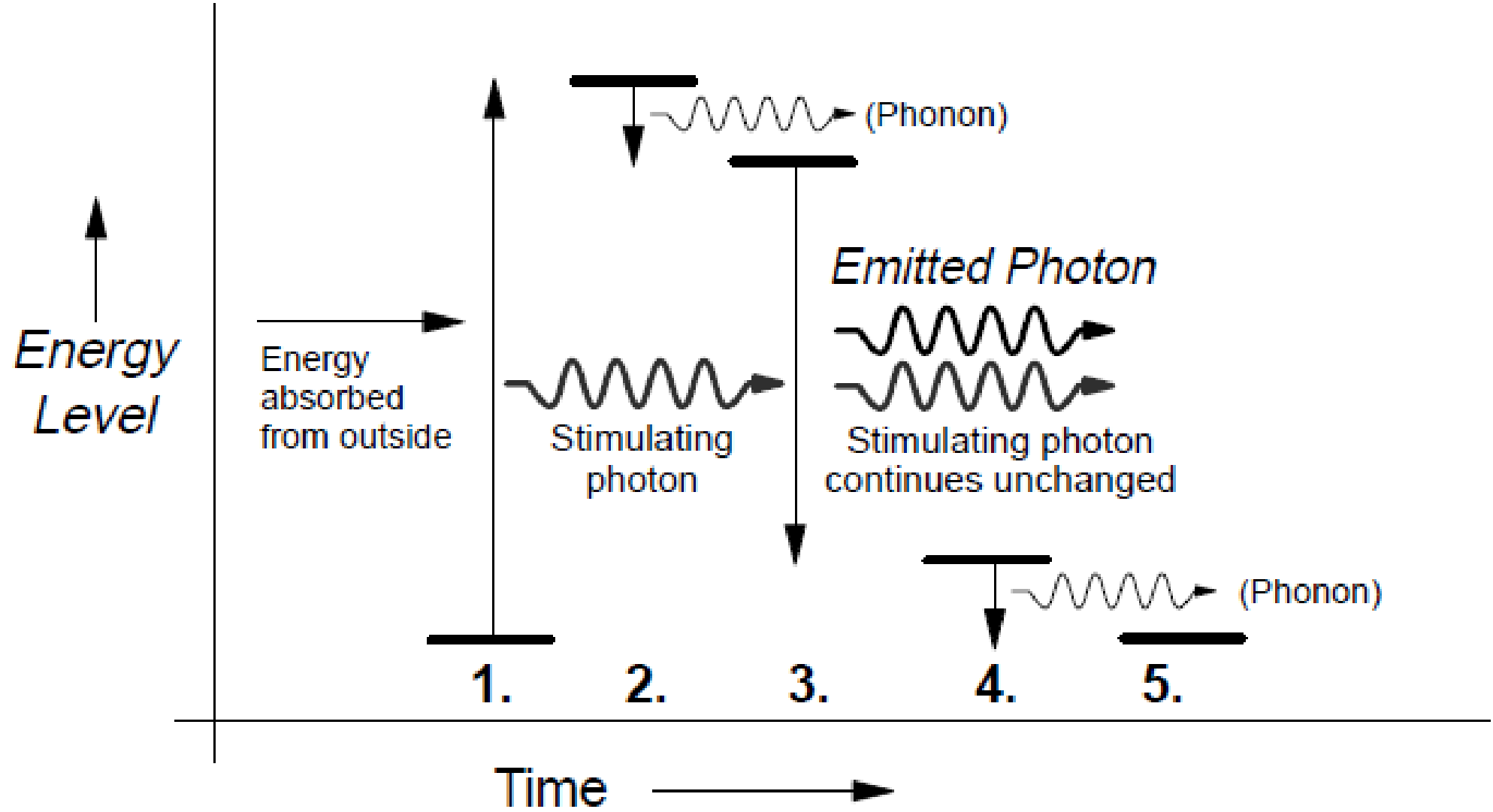
Emitted Photon

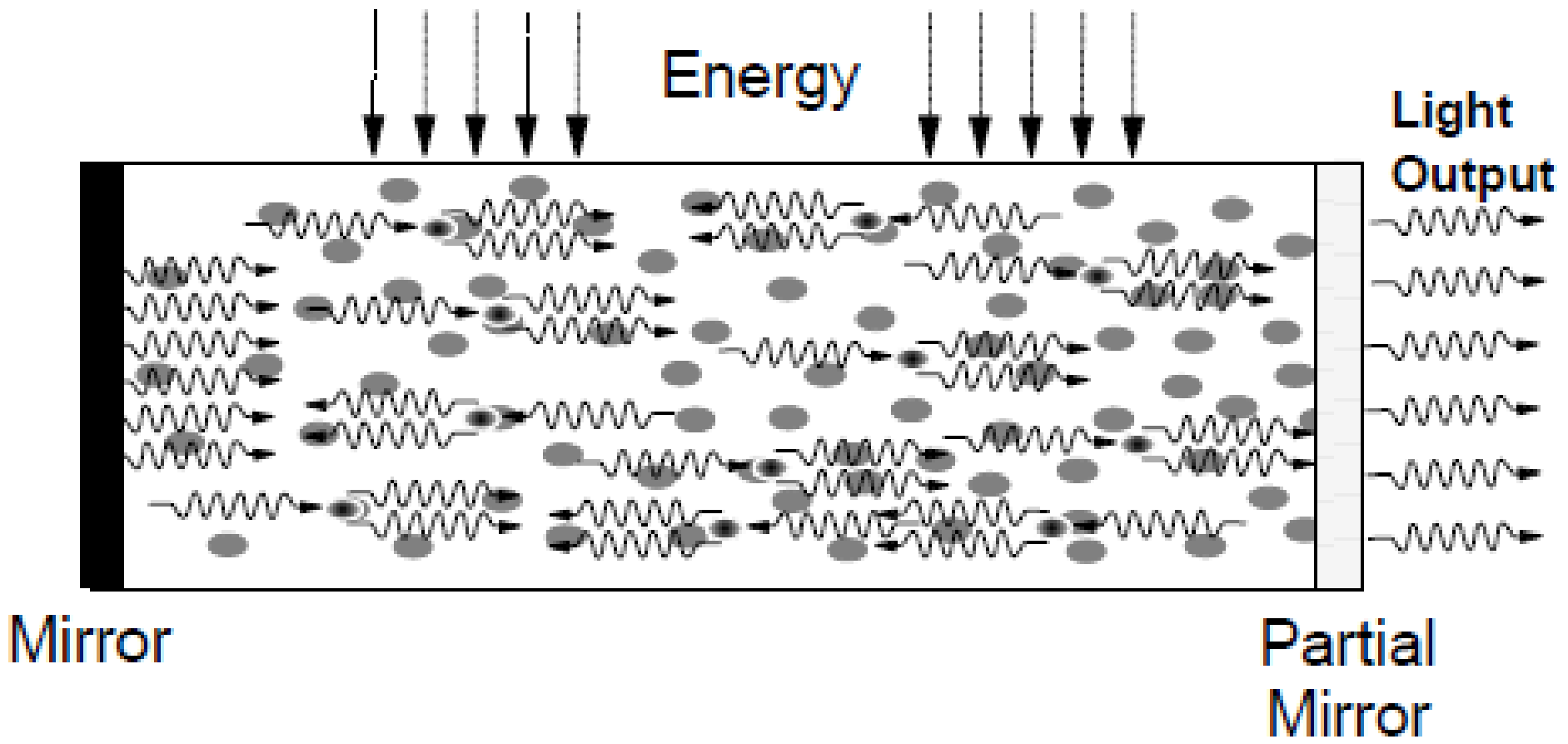
4. Atom emits additional photon and returns to the ground state

Energy



*Spontaneous Emission*





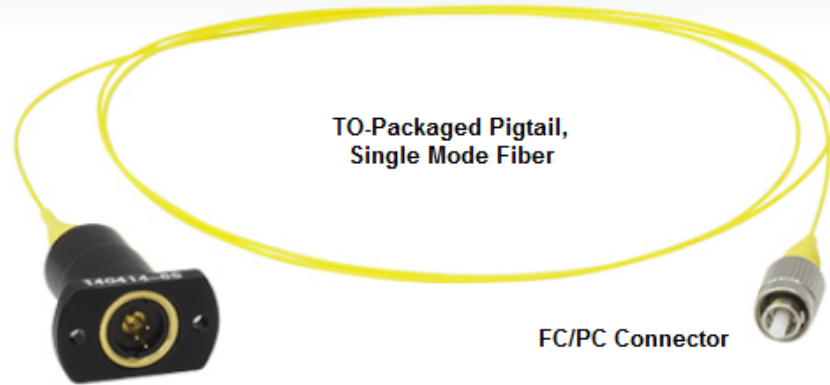
Mirror

Partial  
Mirror

[Home](#) / [Coherent Sources](#) / [Laser Diodes by Package & Type](#) / Pigtailed Laser Diodes, Single Mode Fiber

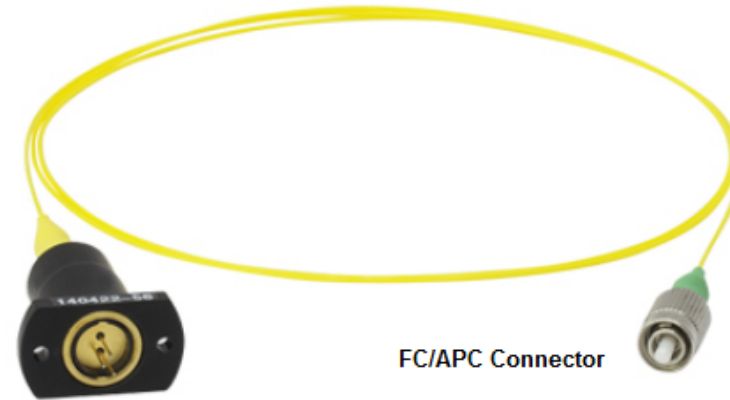
## Pigtailed Laser Diodes, Single Mode Fiber

- ▶ Wavelengths from 405 to 1625 nm
- ▶ FC/PC or FC/APC Connector
- ▶ Custom Pigtailed Available



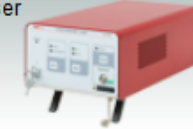
**LASER RADIATION**  
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE  
CLASS 3R LASER PRODUCT

**LASER RADIATION**  
AVOID EXPOSURE TO BEAM  
CLASS 3B LASER PRODUCT



### Related Items

1.533  $\mu$ m Frequency-Locked Laser



Other Pigtailed Lasers



Compact LD / TEC Driver



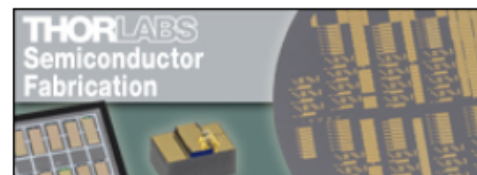
Fiber-Coupled Laser Sources



[Overview](#) [Design](#) [LD Operation](#) [Laser Safety](#) [Feedback](#) [LD Selection Guide](#)

### Features

- Single Mode Pigtailed from 405 nm to 1625 nm
- Internal 8°-Angle-Cleaved Fiber (See the *Design* Tab)
- Connector: FC/PC or FC/APC (2.0 mm Narrow Key)
- 1 m of SM Fiber
- Custom Pigtailed Available Upon Request



### Laser Diode Selection Guide<sup>a</sup>

Shop by Package / Type

[TO Can \(Ø3.8, Ø5.6, Ø9, and Ø9.5 mm\)](#)

[TO Can Pigtail \(SM\)](#)

[TO Can Pigtail \(PM\)](#)





[Home](#) / [Laser Diodes](#)

## LASER DIODES

### STANDARD DEVICES



### PULSED



### FIBER COUPLED



### ARRAYS



### CHIP DIES

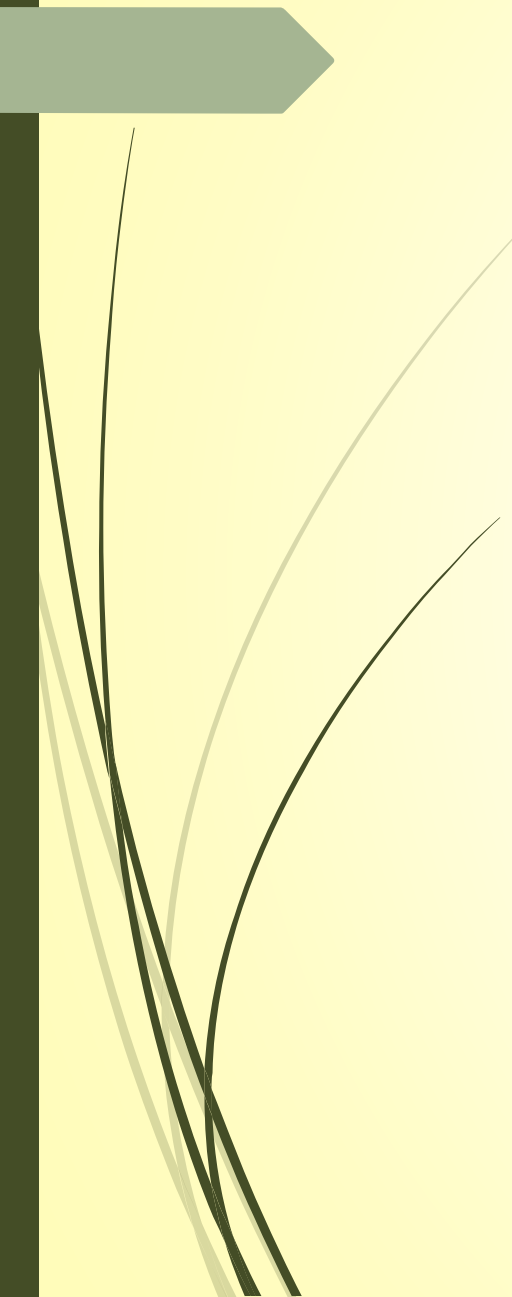


### VCSELS



### ACCESSORIES



A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of green and grey sweep upwards and to the right, crossing the text area.

optical transceiver  
optical transceiver sc  
optical transceiver lc  
optical transceiver ...

sfp sc sc connector 1000base sx fibre channel gbic fiber sfp bidi optical media converter transceiver module gbic transceiver cisco 1.25 >



6COM Optical BIDI SFP Tra...  
aliexpress.com



LC / SC Fiber Channel BIDI SFP Tran...  
sfp.fibermodule.com



10Km 1Core SFP SC Optica...  
tinout.com



155M~2.67G SFP Single Fiber SC Conn...  
willsym.com



Optical Media Converter Tra...  
lelong.com.my



Allied Telesis AT-MMC200/S...  
ebay.com



HP ProCurve 100-FX SC Transceiver Module...  
itinstock.com



SFP BiDi Transceiver 1.25Gb/s DDMI SC/L...  
fttx01merry.en.ec21.com



1.25G GBIC Transceiver Module 120...  
opticaltransceiver.sell.everychina.com



Hot SC Transceiver Fiber Optical Transc...  
aliexpress.com



SC SFP MODULE  
itbazar.net

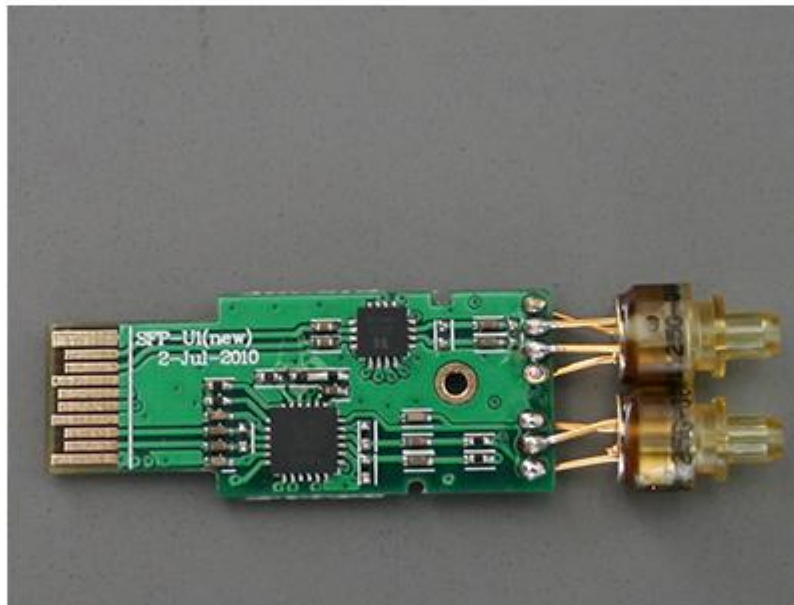


<http://www.fiber-optic-transceiver-module.com/brief-introduction-to-tosa-rosa-and-bosa.html>

## Brief Introduction to TOSA, ROSA and BOSA

Posted on [December 7, 2015](#) by [Admin](#)

Fiber optic transceivers are key components of fiber optic transmission network. They are designed in small form-factor with some integrated optical sub-assemblies which can be suitable for high-density network. The major cost components of a transceiver module are the transmitter optical sub-assembly (TOSA), which converts an electrical and the receiver optical sub-assembly (ROSA). However, inside a BiDi (Bi-Directional) transceiver (for example, a [BiDi SFP](#)), there is a component with called "BOSA" (Bidirectional Optical Sub-Assemblies) which acts the role of TOSA and ROSA but with different principle.



**S5800&S5850**  
**10G/40G/100G Switch**

Cost-effective Data  
Center Solution

[Learn More](#)



**40G QSFP+ Series  
Transceivers**

SR4 US\$ 49

PLRL4 US\$ 220

LR4 US\$ 340

ER4 US\$ 1500



A decorative graphic on the left side of the slide. It features a grey arrow pointing right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of green and grey sweep upwards and to the right, crossing the text area.

Optical transceivers

Optical transceivers **SC**

Optical transceivers **LC**

Optical transceivers ...

## What Is TOSA?

The TOSA consists of a laser diode, optical interface, monitor photodiode, metal and/or plastic housing, and electrical interface. Depending upon the required functionality and application, other components may be present as well including filter elements and isolators. It is used to convert signal into an optical signal coupled into an [optical fiber cable](#).



## What Is ROSA?

The ROSA consists of a photodiode, optical interface, metal and/or plastic housing, and electrical interface. Depending upon the required functionality and application, other components may be present as well including amplifiers. It is used to receive an optical signal from a fiber and convert it back into an electrical signal.



## What Is BOSA?



### Recent Posts

- [What Is Structured Cabling And Why Use It?](#)
- [SFP Compatibility Guide and How to Use a Compatible SFP Module?](#)
- [How to Use the Home Patch Panel ?](#)
- [Network Patch Panel Wiki: What's It? Why Use It? How to Buy It?](#)
- [Gigabit Ethernet Switch: Is It Needed for Your Home Network?](#)

### Categories

Select Category ▼

### Tags

10GbE 10G SFP+ 40GBASE-LR4 40GBASE-SR4 40GbE 40G QSFP+ 40G QSFP+ transceiver 100GbE 1000BASE-SX cable management CFP Cisco SFP Cisco SFP-10G-SR DAC cable data center DWDM Ethernet patch panel fiber optic cable fiber optic cables fiber optic cable supplier fiber optic network fiber optic patch cable Fiber optic transceiver fiber patch cables fiber patch panel figure of 8 cable FTTH Mode conditioning patch cable optical add-drop multiplexer optical amplifier optical fiber cable optical patch cords optical splitter optical transceiver OTDR plastic fiber plastic optical fiber PLC splitter PLC splitters POF cable QSFP+ QSFP28 SFP



## What Is BOSA?

The BOSA consists of a TOSA, a ROSA and a WDM filter so that it can use bidirectional technology to support two wavelengths on each fiber. The most valuable advantage of BiDi transceivers is saving much cost on fibers.



After reading the brief introduction of TOSA, ROSA and BOSA above, I hope you could have a simple concept of these optical sub-assemblies. To purchase [fiber optic transceiver](#) modules, no matter what form factors, what data rates and what brands compatibility, I always recommend FS.COM as they can offer the most cost-effective products with a fast delivery service.

### Related Articles:

[Common Fiber Optic Transceiver Vs Bidi Fiber Optic Transceiver](#)

[Isn't Compatible Transceivers Better Than OEM Modules?](#)

This entry was posted in [Fiber Optic Transceivers](#) and tagged [BOSA](#), [Fiber optic transceiver](#), [ROSA](#), [TOSA](#). Bookmark the [permalink](#).

[PLC splitter](#) [PLC splitters](#) [POF cable](#) [QSFP+](#) [QSFP28](#) [SFP module](#) [SFP Transceivers](#) [variable optical attenuator](#)





2U Managed Chassis



Plug OEO



SFP+ to SFP+




SFP+ to XFP



XFP to XFP








# Параметри и характеристики на инжекционните полупроводникови светодиоди и лазери

- Излъчен поток
- Модулиране на потока с инжекционния ток
- Централна дължина на вълната
- Модов състав
- Хроматична ширина
- Динамично едномодови лазери
- Максимална модулационна честота
- Диаграма на насочено излъчване
- Експлоатационен срок



# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ



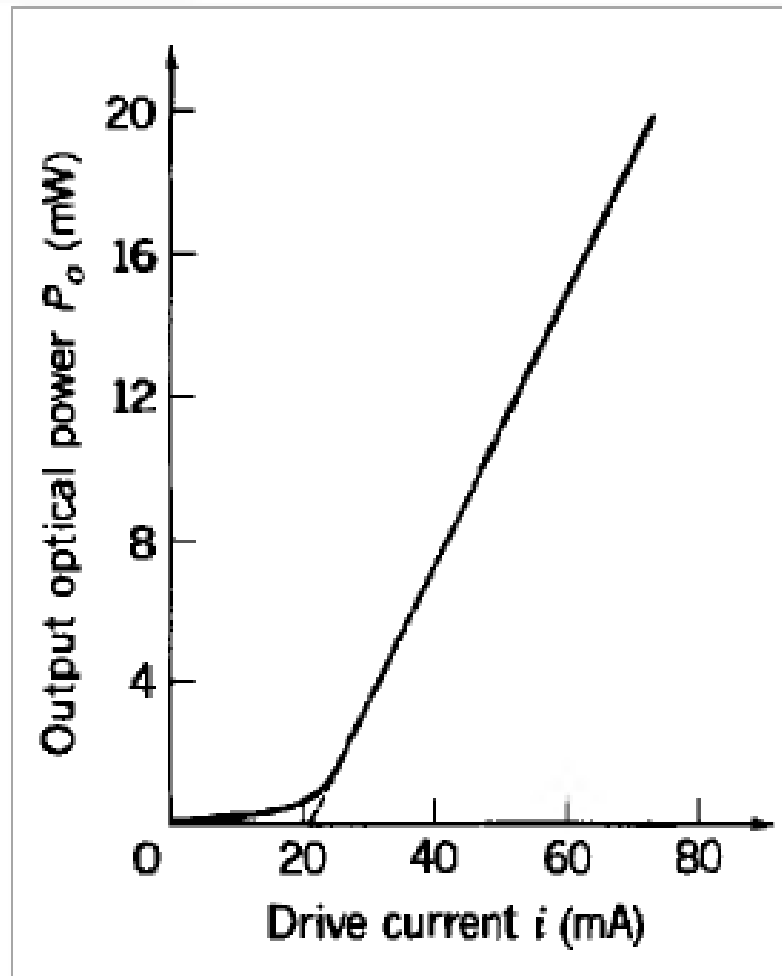


# Параметри и характеристики на инжекционните полупроводникови светодиоди и лазери

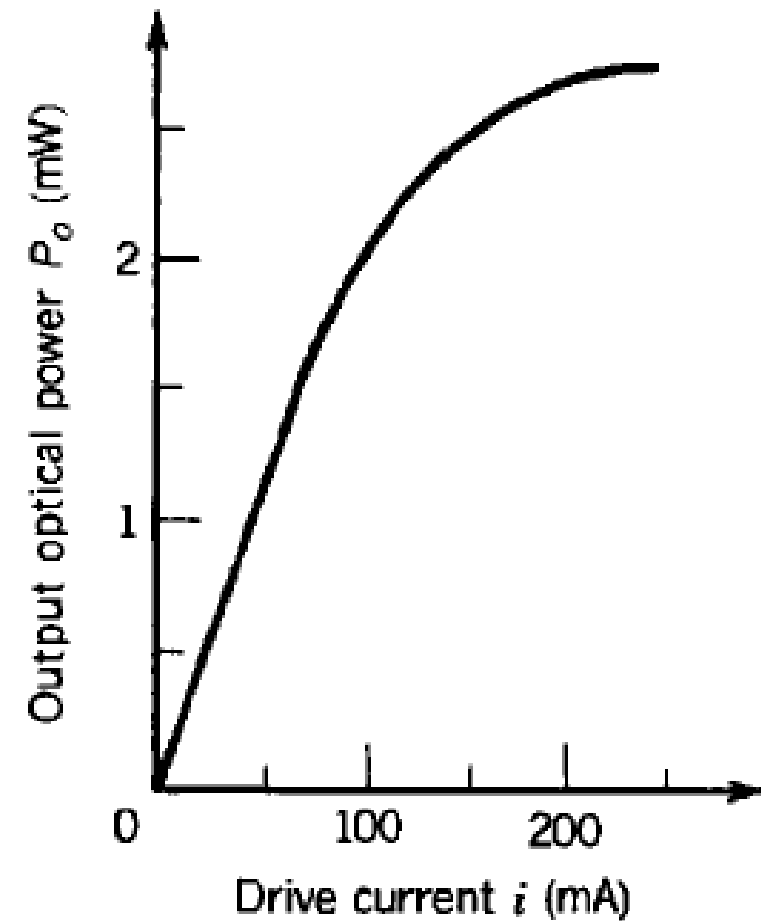
- Излъчен поток
- Модулиране на потока с инжекционния ток
- Централна дължина на вълната
- Модов състав
- Хроматична ширина
- Динамично едномодови лазери
- Максимална модулационна честота
- Диаграма на насочено излъчване
- Експлоатационен срок

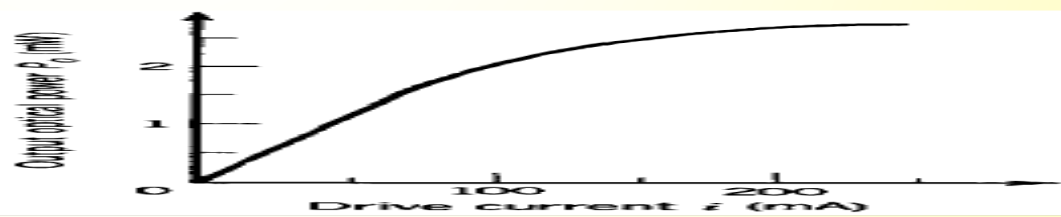
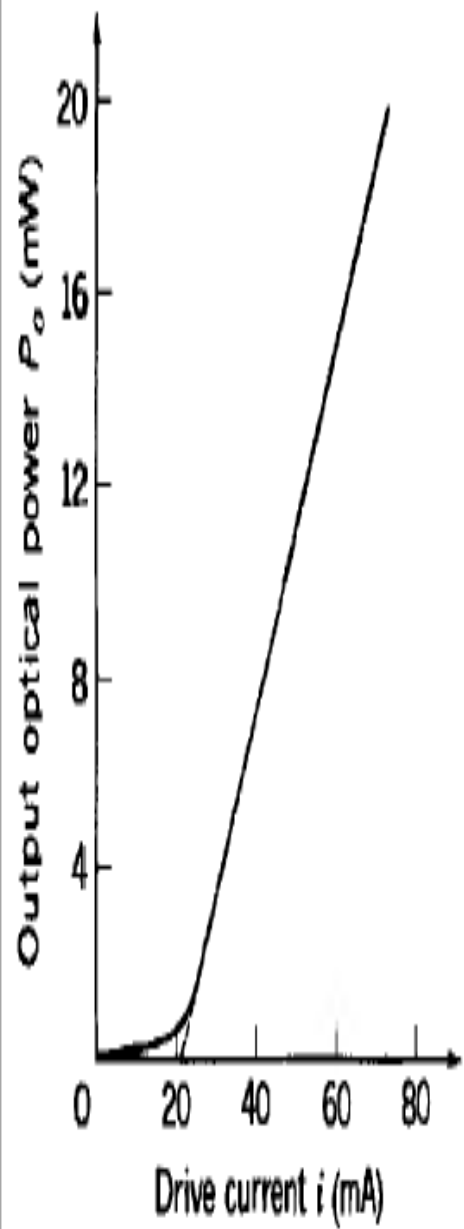
# Излъчен поток, Модулиране на потока с инжекционния ток, Коментари

## Diode laser



## LED







# ROITHNER LASERTECHNIK

Wiedner Hauptstraße 76, A-1040 Vienna, Austria  
Tel.: ++43 1 586 52 43-0, Fax -44, office@roithner-laser.com



## Description:

---

**LFO-14-ip** - optical module on the base of uncooled 1310 nm MQW InGaAsP/InP Fabry-Perot laser diode, coupled with singlemode optical fiber. Hermetically sealed modules are performed in standard package with built-in monitor photodiode and collimator microlens. Modules operate in wide temperature range, have stable output power and lifetime more than  $5 \cdot 10^6$  hours.

**LFO-14-ip** - the best source for analog and digital (up to 622 Mb/s) telecommunication lines, optical testers and other metrology devices, local optical networks and many other applications.



## Absolute maximum ratings:

### Laser diode

Max. output power (mW)	1.5
------------------------	-----

Reverse voltage (V)	2.0
---------------------	-----

### Monitor photodiode

Reverse voltage (V)	10
---------------------	----

Forward current (mA)	1.0
----------------------	-----

### Environment

Operating temperature range (°C)	-30..+60
----------------------------------	----------

Storage temperature range (°C)	-40..+75
--------------------------------	----------

### Assembly

Pin soldering temperature (°C)	200
--------------------------------	-----


Pin soldering time (sec)	5.0
--------------------------	-----



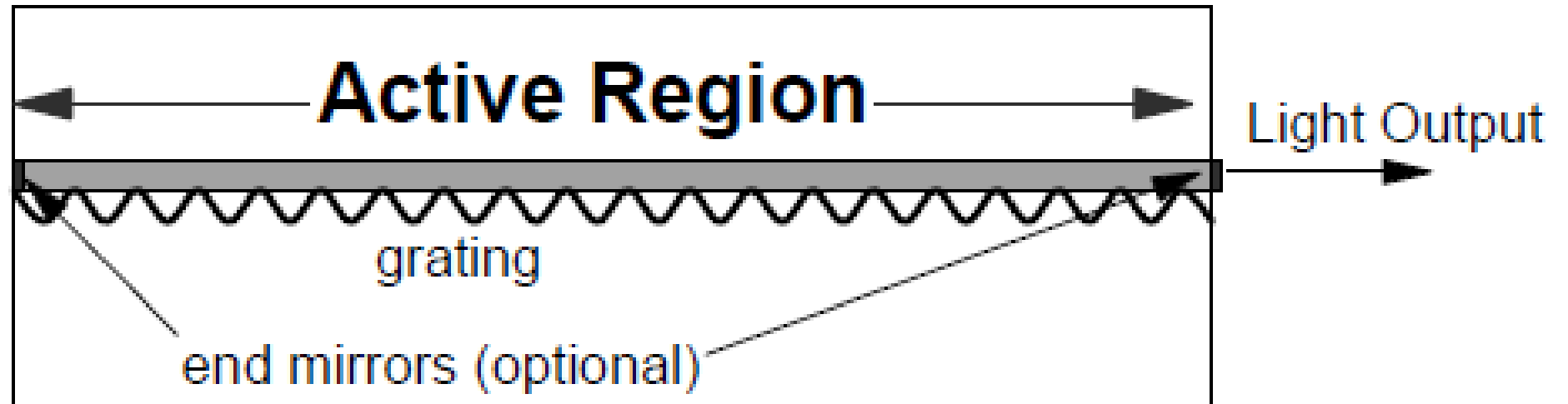
**Optical and electrical characteristics (T=25°C):**

Characteristics	Symbol	Test condition	Rating	Units
<b>Laser diode</b>				
Output power from fiber end	$P_{OP}$	$I_{OP}$	1.0	mW
Wavelength	$\lambda_{OP}$	$P_{OP}$	1.280..1.340	$\mu\text{m}$
Spectral width FWHM	$\Delta\lambda$	$P_{OP}$	<5.0	nm
Threshold current	$I_{TH}$	CW	<15	mA
Forward current	$I_F$	$P_{OP}$	<40	mA
Forward voltage	$U_{OP}$	$P_{OP}$	<1.6	V
Rise time/fall time	$\tau_R/\tau_F$	$P_{OP}$	<0.5	ns
<b>Monitor photodiode</b>				
Monitor current	$I_{PD}$	$U_{REV}=5.0\text{ V}, P_{OP}$	>100	$\mu\text{A}$
Dark current	$I_D$	$U_{REV}=5.0\text{ V}$	<0.1	$\mu\text{A}$
Capacitance	$C_{PD}$	$U_{REV}=5.0\text{ V}, f=1\text{ MHz}$	<15	pF
<b>Optical fiber</b>				
Fiber core/cladding diameter	$D_C/D_{CL}$		9/125	$\mu\text{m}$
Fiber length	L		400..1500	mm
Optical connector type			«FC» or «ST»	

Characteristics	Symbol	Test condition	Rating	Units
<b>Laser diode</b>				
Output power from fiber end	$P_{OP}$	$I_{OP}$	1.0	mW
Wavelength	$\lambda_{OP}$	$P_{OP}$	1.280..1.340	$\mu\text{m}$
Spectral width FWHM	$\Delta\lambda$	$P_{OP}$	<5.0	nm
Threshold current	$I_{TH}$	CW	<15	mA
Forward current	$I_F$	$P_{OP}$	<40	mA
Forward voltage	$U_{OP}$	$P_{OP}$	<1.6	V
Rise time/fall time	$\tau_R/\tau_F$	$P_{OP}$	<0.5	ns

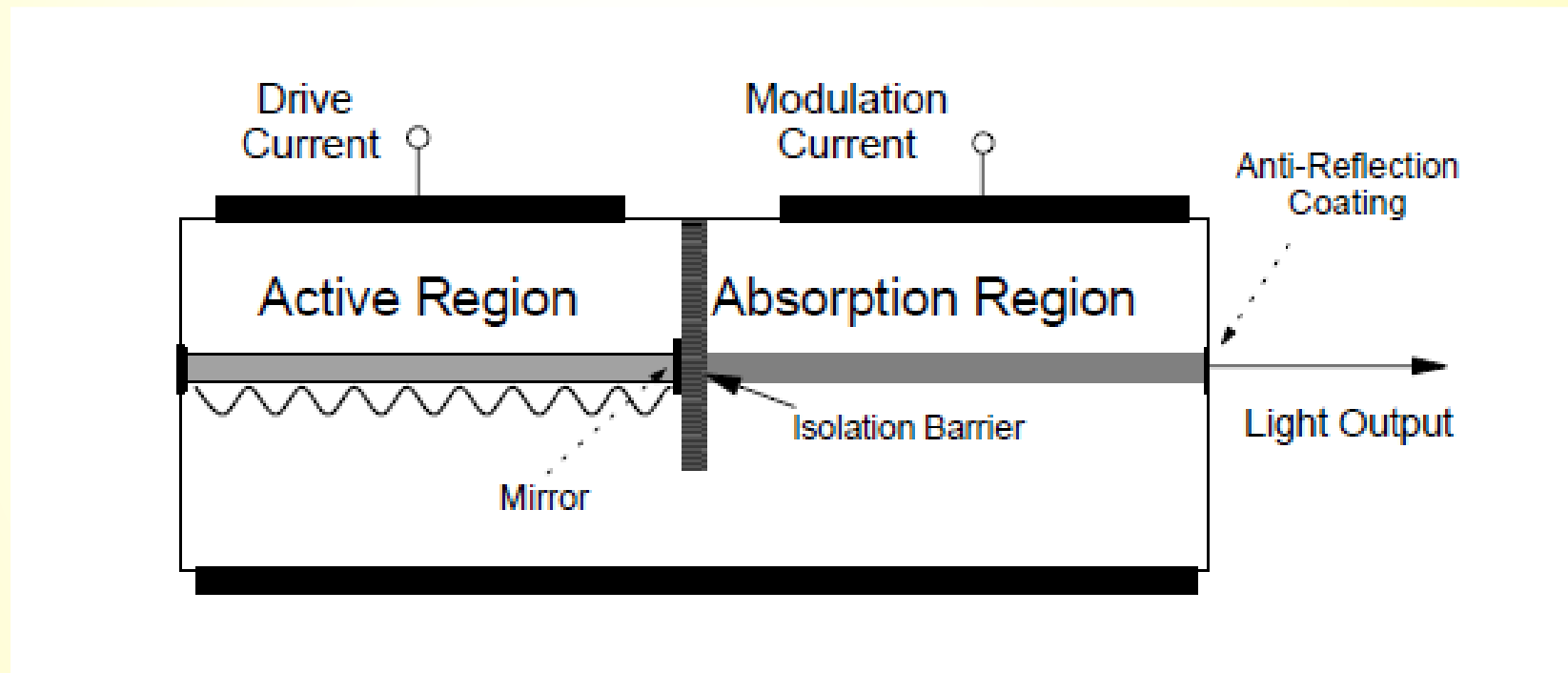
- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and black extending downwards from its base.
- При по-високи модулационни честоти хроматичната ширина нараства
  - Броят на модите се увеличава
  - Fabry-Perot Lasers, защо ни притесняват горните две забележки? (WDM ...)
  - DFB, DBR – коментари

# Distributed Feedback (DFB) Lasers



- Bragg grating - [https://www.rp-photonics.com/bragg\\_gratings.html](https://www.rp-photonics.com/bragg_gratings.html)
- При промяна на коефициента на пречупване се променят и свиствата на решетката

# Вариант за модулация





# SPL1370-2-9-PD

## TECHNICAL DATA



## Pigtailed Coaxial Laser Diode

### Features

- 1370 nm, DFB
- SM Fiber
- Coaxial package
- Built-in PD

### Applications

- Optical Bidi Module and Optical Receiver
- Optical Transmitter

### Electrical Connection



Pin Configuration		Bottom View										
	<table border="1"><thead><tr><th>PIN</th><th>Function</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>PD Cathode</td></tr><tr><td>2</td><td>PD Anode</td></tr><tr><td>3</td><td>LD Anode, GND</td></tr><tr><td>4</td><td>LD Cathode</td></tr></tbody></table>	PIN	Function	1	PD Cathode	2	PD Anode	3	LD Anode, GND	4	LD Cathode	A schematic diagram of the bottom view of the laser diode package. It shows a circular package with four pins labeled 1, 2, 3, and 4. Pin 1 is at the top, Pin 2 is on the right, Pin 3 is at the bottom, and Pin 4 is on the left. A central circular area is labeled 'WELD'. A diagonal line is labeled 'PCB MOUNTING POINT'.
PIN	Function											
1	PD Cathode											
2	PD Anode											
3	LD Anode, GND											
4	LD Cathode											

Type	Min.	Typ.	Max.	Unit
<b>Optical Specification</b>				
Output Power $P_F$	-	2	-	mW
Center Wavelength $\lambda_c$	$\pm 2$	1370	$\pm 3$	nm
Spectral Width $\Delta\lambda$	-	0.3	-	nm
<b>Fiber Characteristics</b>				
Fiber Core Size	-	9	-	$\mu\text{m}$
Fiber Length	-	0.8	1.0	m
Connector	FC			
<b>Electrical Specification</b>				
Slope Efficiency $E_s$	-	-	-	mW/mA
Threshold Current $I_{th}$	5	11	15	mA
Operation Current $I_o$	-	30	35	mA
Operation Voltage $V_f$	-	1.1	1.6	V
Monitor Current $I_m$	0.1	-	-	mA
PD Capacitance	-	10	15	pF
PD Dark Current	-	-	0.1	$\mu\text{A}$
Side Mode Suppression Ration	30	35	-	dB
Data Rate	1.25			Gb/s
Package Style	Coaxial			
<b>Absolute Maximum Ratings</b>				
Reverse Voltage $V_r$	2.0			V
Operating Temperature $T_{Op}$	-10 ... +85			$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature $T_{stg}$	-40 ... +85			$^{\circ}\text{C}$
Lead Soldering Temperature (10 sec.)	260			$^{\circ}\text{C}$

### Categories

Smart Home - smart living (14)

IP, HD-TVI and AHD Cameras (82)

Fiber Optic components (247)

Wireless Networks (46)

LAN Equipment (74)

PON - Passive Optical Network (21)

PoE adapters (26)

Sale (33)

TV и Set-top-box (2)

### Recently Viewed



SFP Module @irLAN-1000BASE-ZX-SM DDM SM SFP LC Connector DFB Laser

Home > Fiber Optic components > 40G QSFP/10G SFP+ / XFP / Xenpak / GBIC / SFP BIDI / 1000BASE-T, CW DWDM > SFP Modules over Two Fibers > SFP Module @irLAN-1000BASE-ZX-SM DDM SM SFP LC Connector DFB Laser (1550 nm) 80 km. Cisco Compatible

## SFP Module @irLAN-1000BASE-ZX-SM DDM SM SFP LC Connector DFB Laser (1550 nm) 80 km. Cisco Compatible

Code: 6



### Description

Price excl. tax: **\$135.00**

Price inc. tax: \$162.00

**The product is supplied on request.**

### Detailed Description

## Product Specifications

**10Gb/s, 1310nm 40km, Single Mode, Multi-Rate SFP+ Transceiver**

**FTLX1772M3BCL**

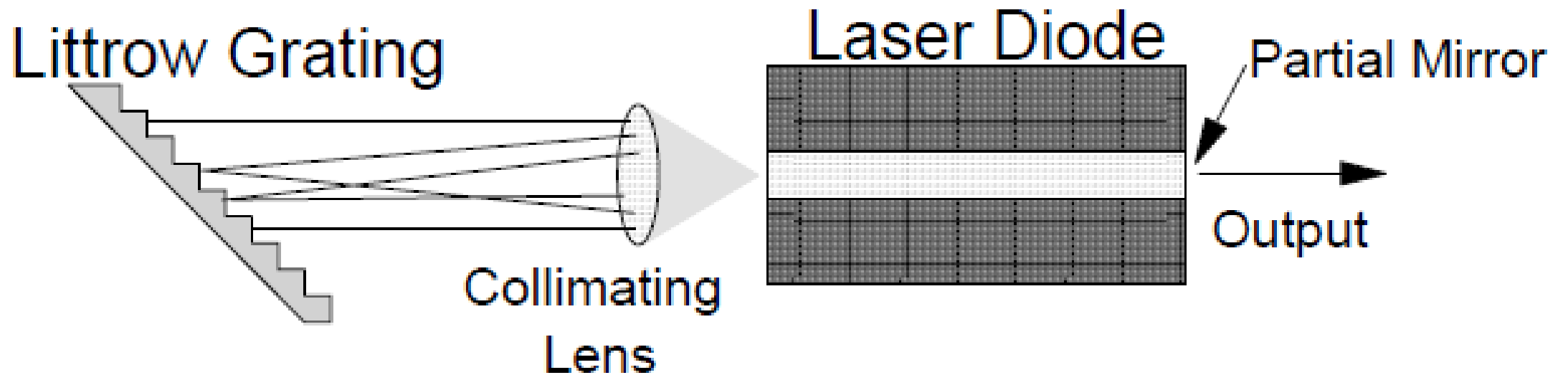
### PRODUCT FEATURES

- Hot-pluggable SFP+ footprint
- 17dB optical link budget for up to 40km<sup>(1)</sup> over G.652 single mode fiber
- Supports 6.144, 8.5G and from 9.83 to 11.3 Gb/s bit rates
- Un-cooled 1310nm **DFB** laser
- Receiver limiting electrical interface



### APPLICATIONS

# Distributed Bragg reflector (DBR) laser



- Основная идея – решетката се влияе слабо от работата на лазера



[Products Home](#) / [Coherent Sources](#) / [Laser Diodes by Package & Type](#) / Pigtailed Distributed Bragg Reflector (DBR) Single-Frequency Lasers, Butterfly Package



## Pigtailed Distributed Bragg Reflector (DBR) Single-Frequency Lasers, Butterfly Package

- ▶ 785 nm, 976 nm, or 1064 nm DBR Laser Diodes
- ▶ Narrowband, Tunable, Single-Frequency Operation
- ▶ Integrated TEC Element
- ▶ Versions with SM or PM Fiber Pigtail

### Application Idea

DBR Laser Diode Mounted in a CLD1015 Laser Diode Controller/Mount



**DBR785S**  
Fiber-Coupled Laser  
with Internal Isolator



### Related Items

Compact LD / TEC Driver



LD and TEC Controllers



Butterfly Mounts



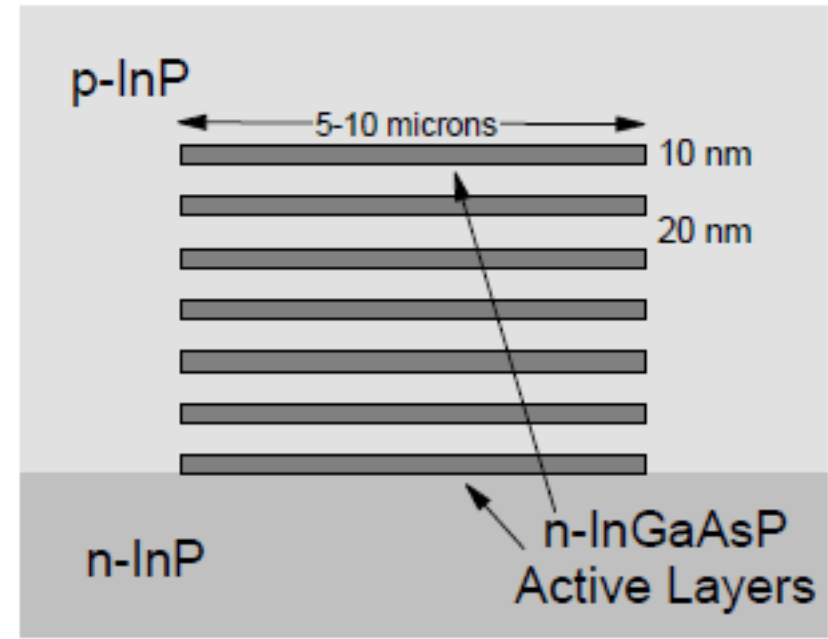
Power and Energy Meters

[Overview](#)[Pin Diagram](#)[SFL Guide](#)[Laser Safety](#)[LD Operation](#)[Feedback](#)[LD Selection Guide](#)

Type 1 Butterfly Package Pin Diagram

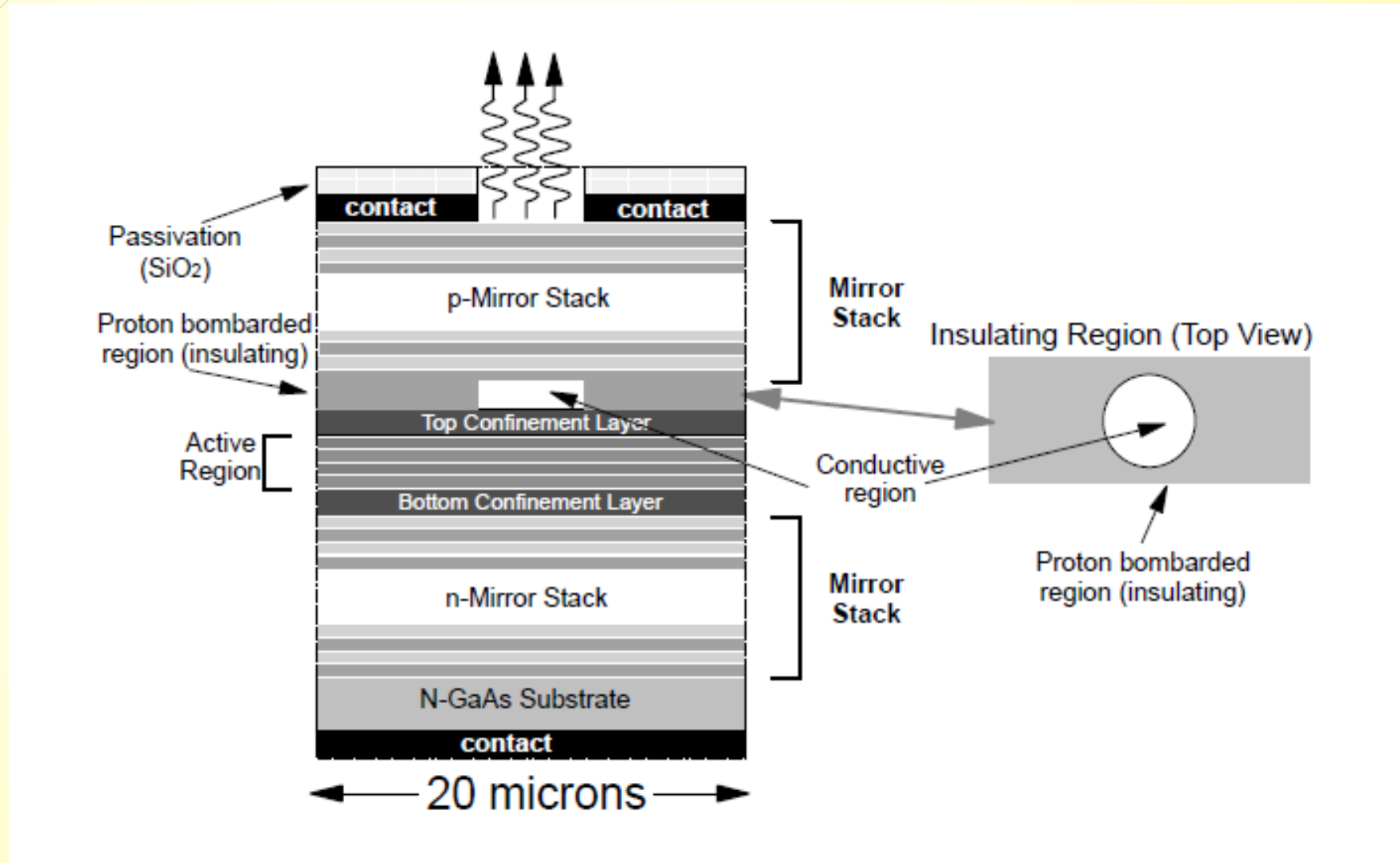


# Quantum well



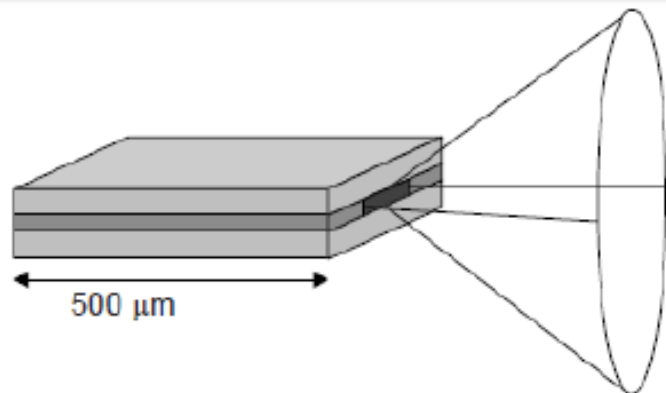
- Основная идея – геометрични размери съизмерими с дължината на вълната; по-малка необходима енергия;

# Vertical-cavity surface-emitting laser (VCSEL)



# EEL vs VCSEL

## Edge-Emitting Laser (EEL)



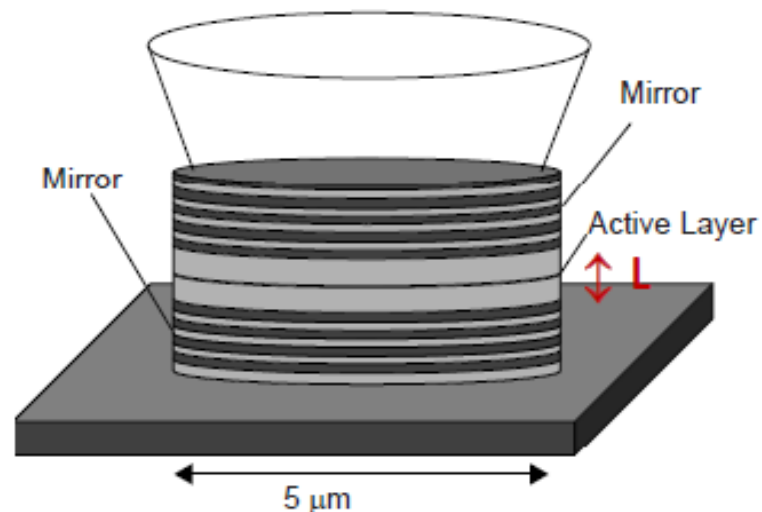
Wide divergent output

**$L \approx 300-500 \mu\text{m}$**

The semiconductor facets serve as mirrors

EELs and VCSELs have very different cavity lengths and mirror reflectivities (~30%, 99%), but **similar photon lifetimes**.

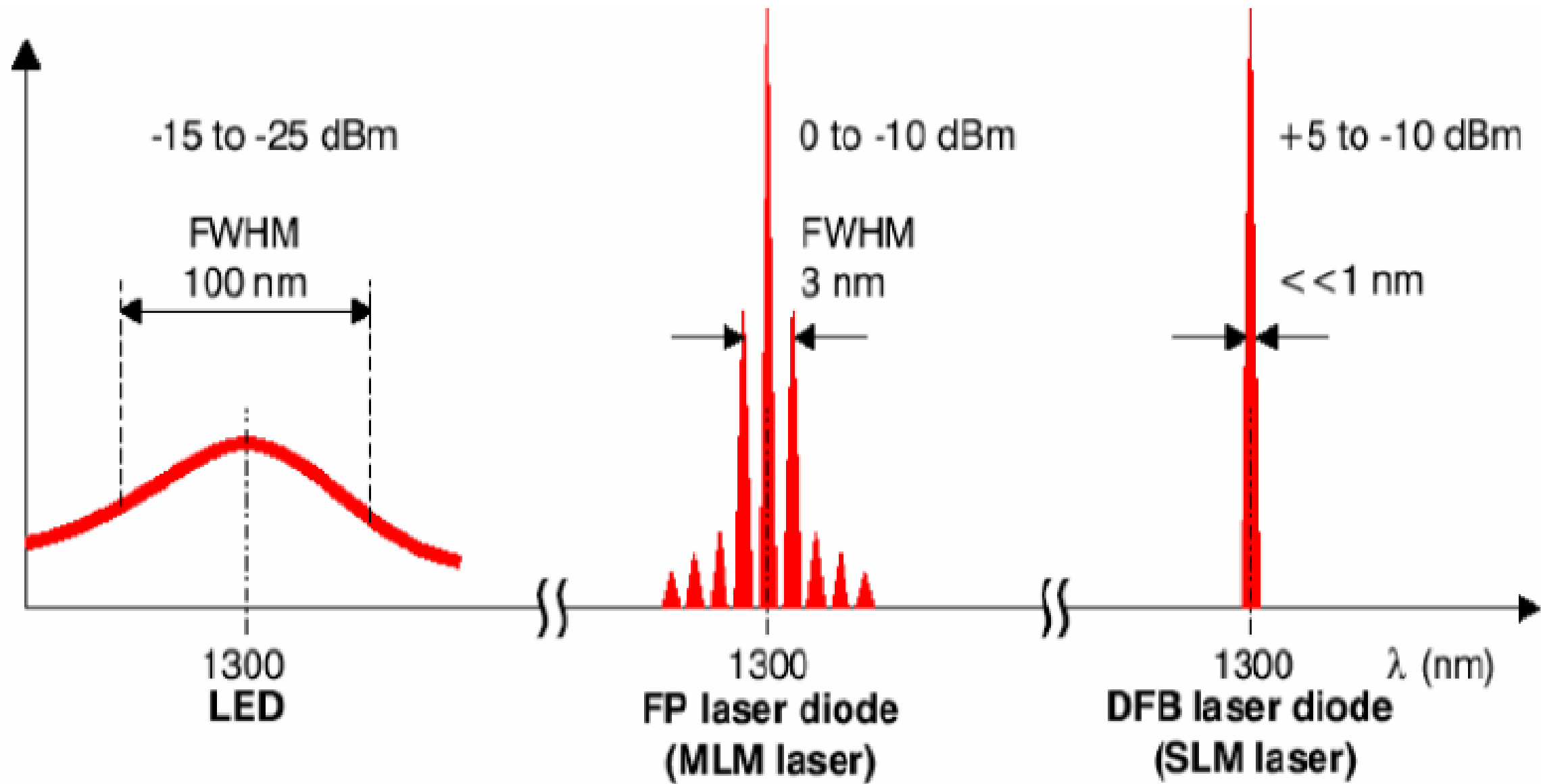
## VCSEL



Two DBRs serve as mirrors

**$L=1-10 \mu\text{m}$**   $\Delta\lambda = (\lambda_0)^2/(2nL)$

$\Rightarrow$  **single-longitudinal-mode**.





# VCSEL

- ▶ 850 и 980nm
- ▶ ММ
- ▶ Проблеми ?

Други лазери

...



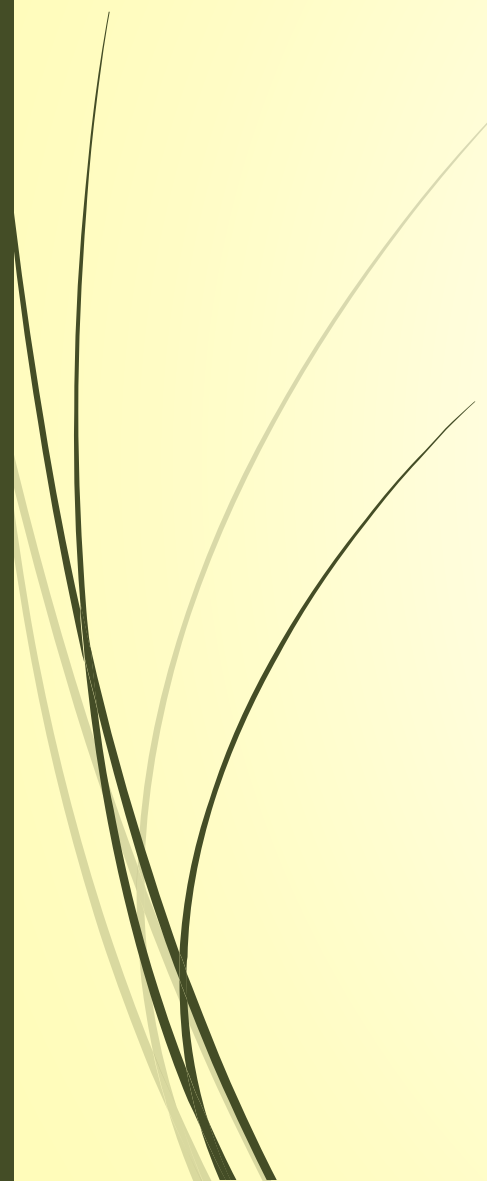


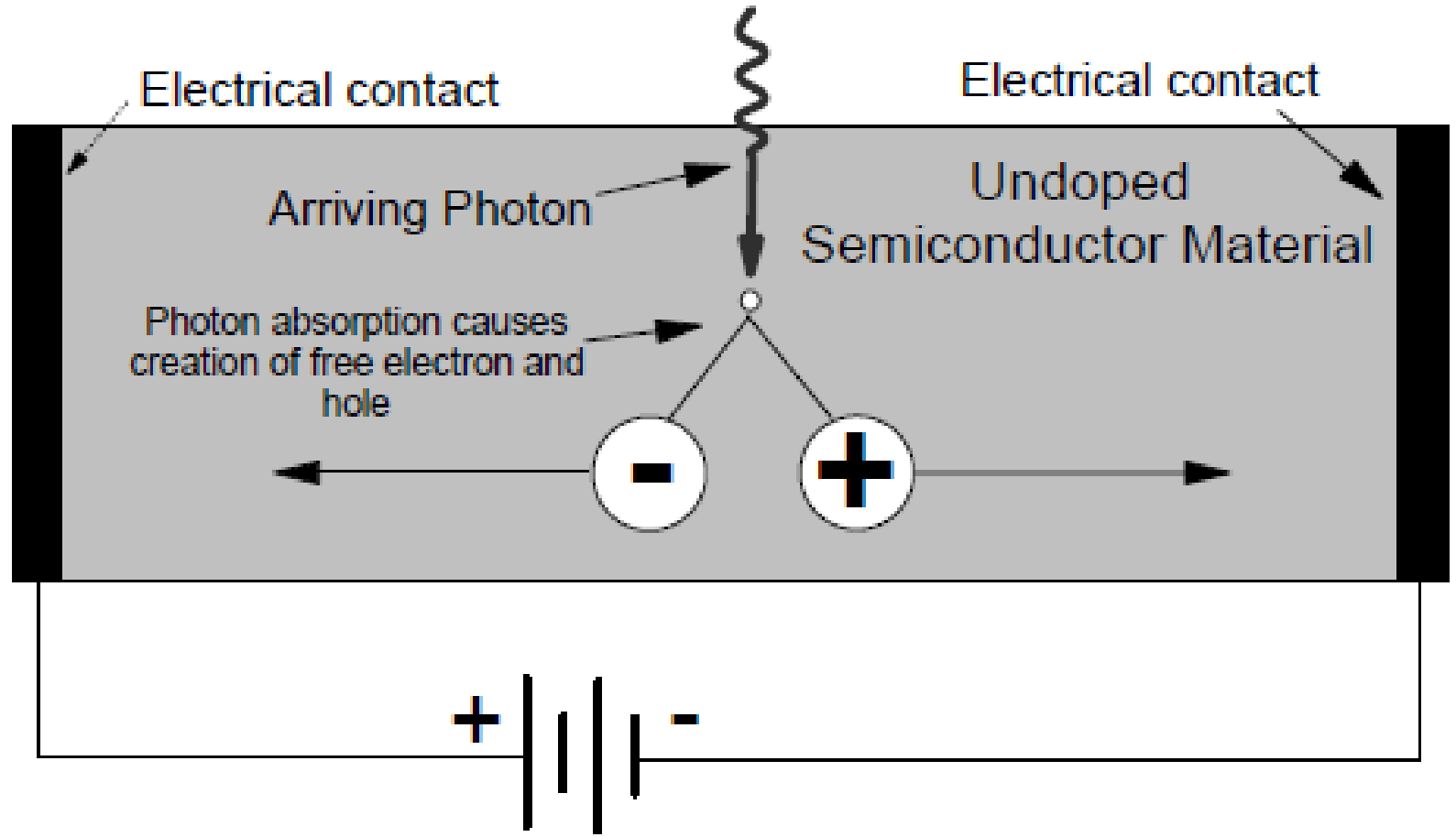
# Оптични приемници

- Висока чувствителност
  - Висока линейност
  - Голямо бързодействие
  - Минимални шумове
  - Висока надеждност, малки размери, ниска цена
- 
- PIN
  - APD



# Действие

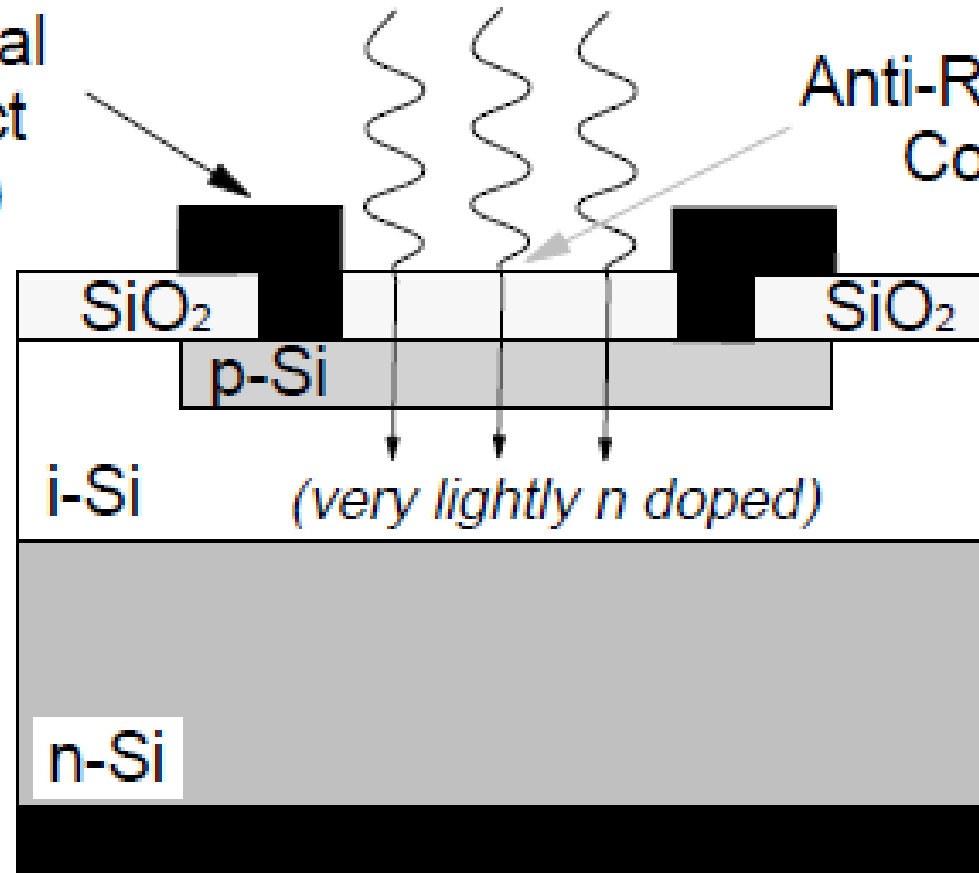
- Обратно външно напрежение
  - Обратно действие в сравнение с ИПСД и ИПЛ
  - Фотоните се поглъщат и възникват токоносители
  - Протича ток във външната верига
- 



Electrical Contact (Ring)

Anti-Reflection Coating

Electrical Contact





## PT410

### TECHNICAL DATA

**TO-Can PIN Photodiode**

**Flat Window**

PT410 is an InGaAs pin structure based photodiode on InP by MOCVD method and planar diffusing technology. The sensitive area is  $\varnothing 75\mu\text{m}$  respectively. TO-46 package with flat window.



#### **Absolute Maximum Ratings ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	-10	V
Optical Current	$I_{OP}$	10	mA
Forward Current	$I_F$	10	mA
Power Dissipation	$P_D$	50	mW
Operating Temperature	$T_{opr}$	-40 ... +80	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 ... +80	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (max. 10 s)	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$

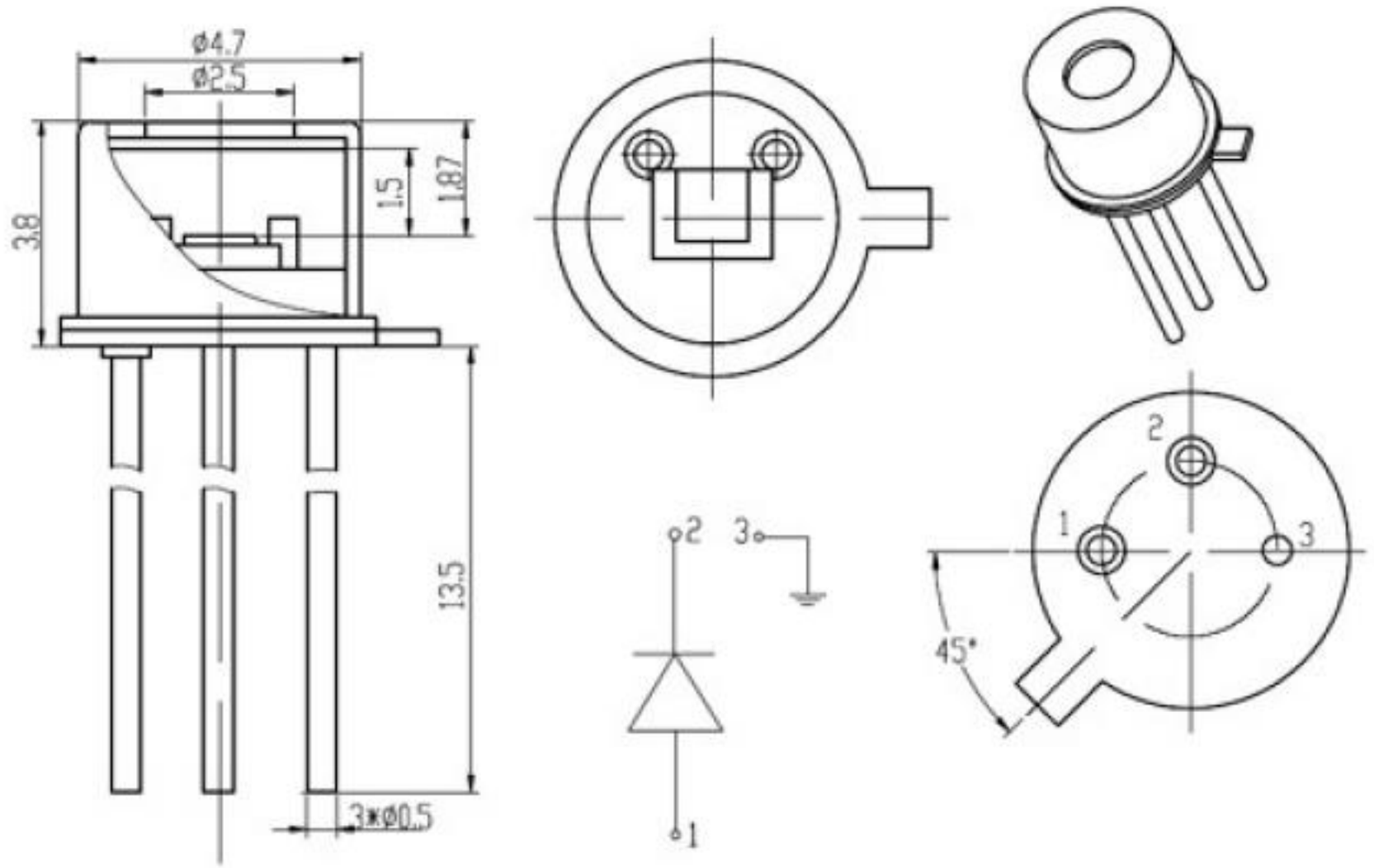
## Specifications ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )

Item		Value	Unit
Sensitive Area		$\varnothing 75$	$\mu\text{m}$
Spectral Response Range		900 .. 1650	nm
Responsivity	$\lambda=1310\text{ nm}$	$\geq 0.8$	A/W
	$\lambda=1550\text{ nm}$	$\geq 0.85$	A/W
Linear Range (0 V)	-	-70 .. +10	dBm
Capacitance (-5 V)		$\leq 1$	pF
Dark Current (-5 V)		$\leq 1$	nA
Operating Voltage		0 .. -5	V
Linearity		$\pm 0.2$	dB



## Outline Dimensions

TO-46 (flat window):

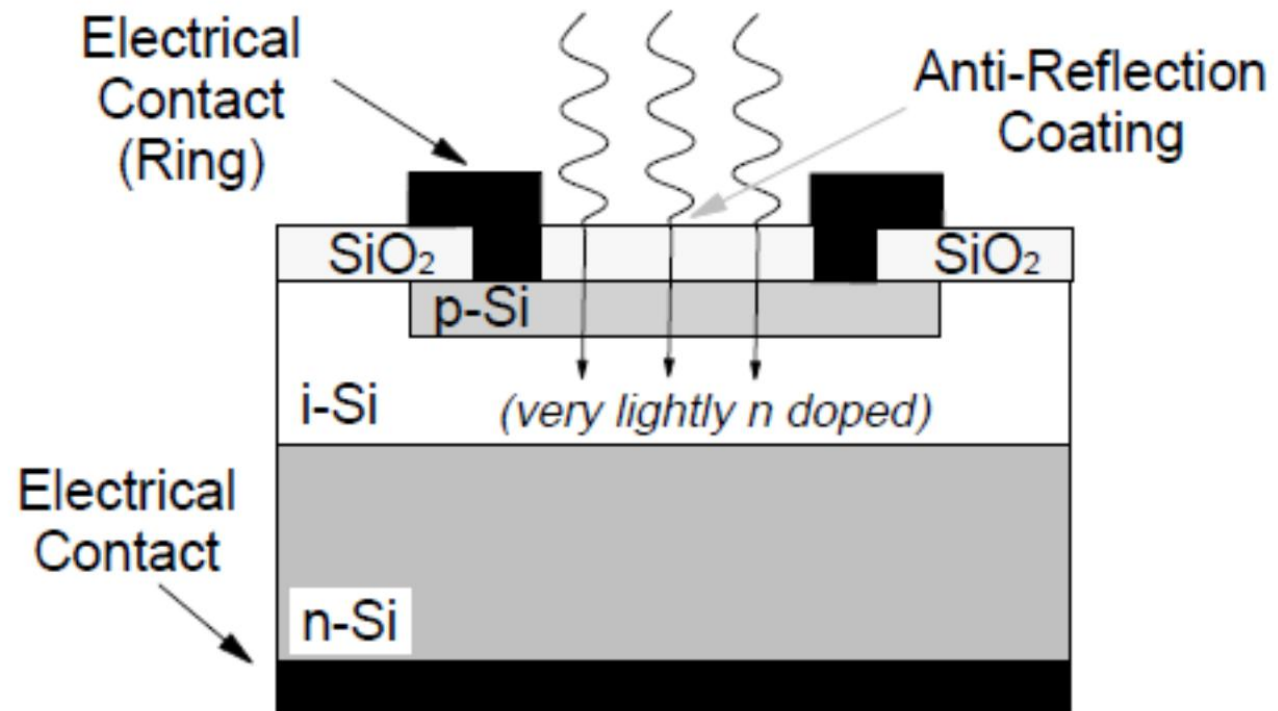




# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ

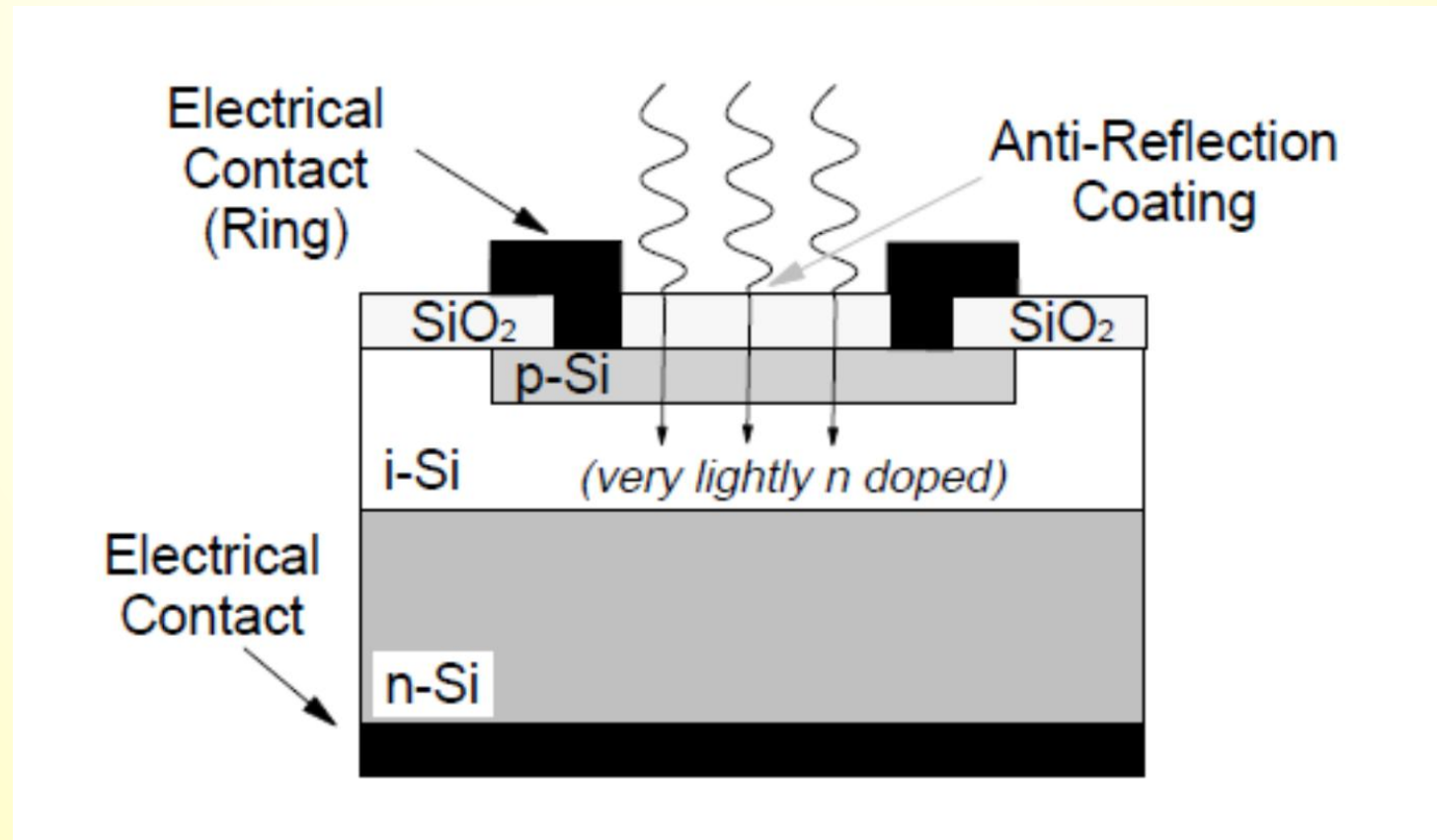
# PIN фотодиоди

- Добавя се между p и n областите допълнителна слабо легирана област с относително голям размер/обем
- “i” – intrinsic, вътрешен
- Основното поглъщане на фотоните се осъществява в “i” слоя
- По-бързи от класическата pn структура, защото капацитетът е по-малък (защо?); дифузията е по-слабо изразена;



# PIN фотодиоди (продължение)

- Необходима е относително висока енергия на фотоните за да доведат до появяване на токоносител
- Т.е. зависимост от дължината на вълната
- Ако са твърде лесни за задействане имат и повече шум
- Използване на различни материали - 500-1000nm силиций; 1250-1400nm (InGaAsP); 1500-1600 nm InGaAs;





## PT410

### TECHNICAL DATA

**TO-Can PIN Photodiode**

**Flat Window**

PT410 is an InGaAs pin structure based photodiode on InP by MOCVD method and planar diffusing technology. The sensitive area is  $\varnothing 75\mu\text{m}$  respectively. TO-46 package with flat window.



#### **Absolute Maximum Ratings ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	-10	V
Optical Current	$I_{OP}$	10	mA
Forward Current	$I_F$	10	mA
Power Dissipation	$P_D$	50	mW
Operating Temperature	$T_{opr}$	-40 ... +80	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 ... +80	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (max. 10 s)	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$

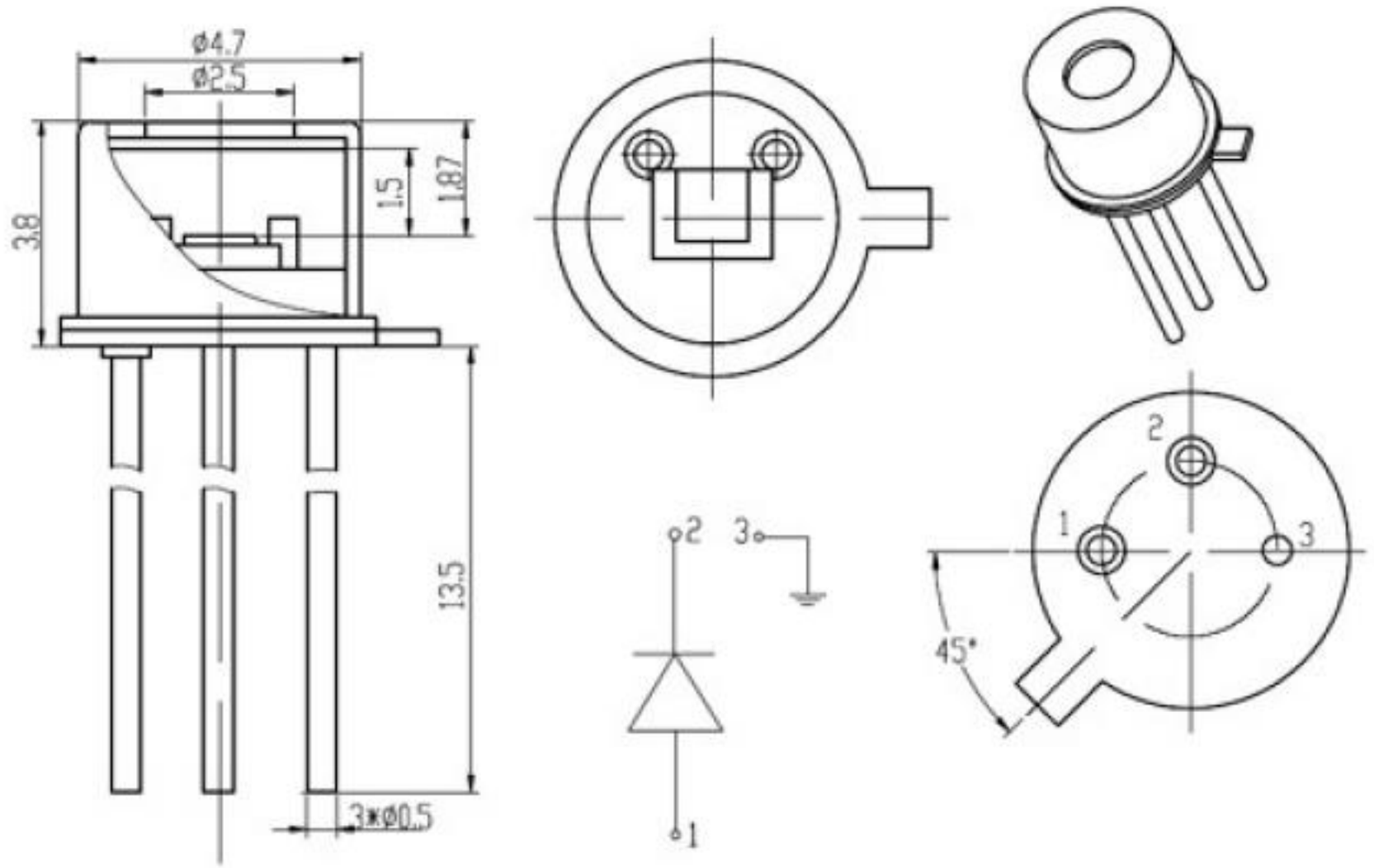
## Specifications ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )

Item		Value	Unit
Sensitive Area		$\varnothing 75$	$\mu\text{m}$
Spectral Response Range		900 .. 1650	nm
Responsivity	$\lambda=1310\text{ nm}$	$\geq 0.8$	A/W
	$\lambda=1550\text{ nm}$	$\geq 0.85$	A/W
Linear Range (0 V)	-	-70 .. +10	dBm
Capacitance (-5 V)		$\leq 1$	pF
Dark Current (-5 V)		$\leq 1$	nA
Operating Voltage		0 .. -5	V
Linearity		$\pm 0.2$	dB



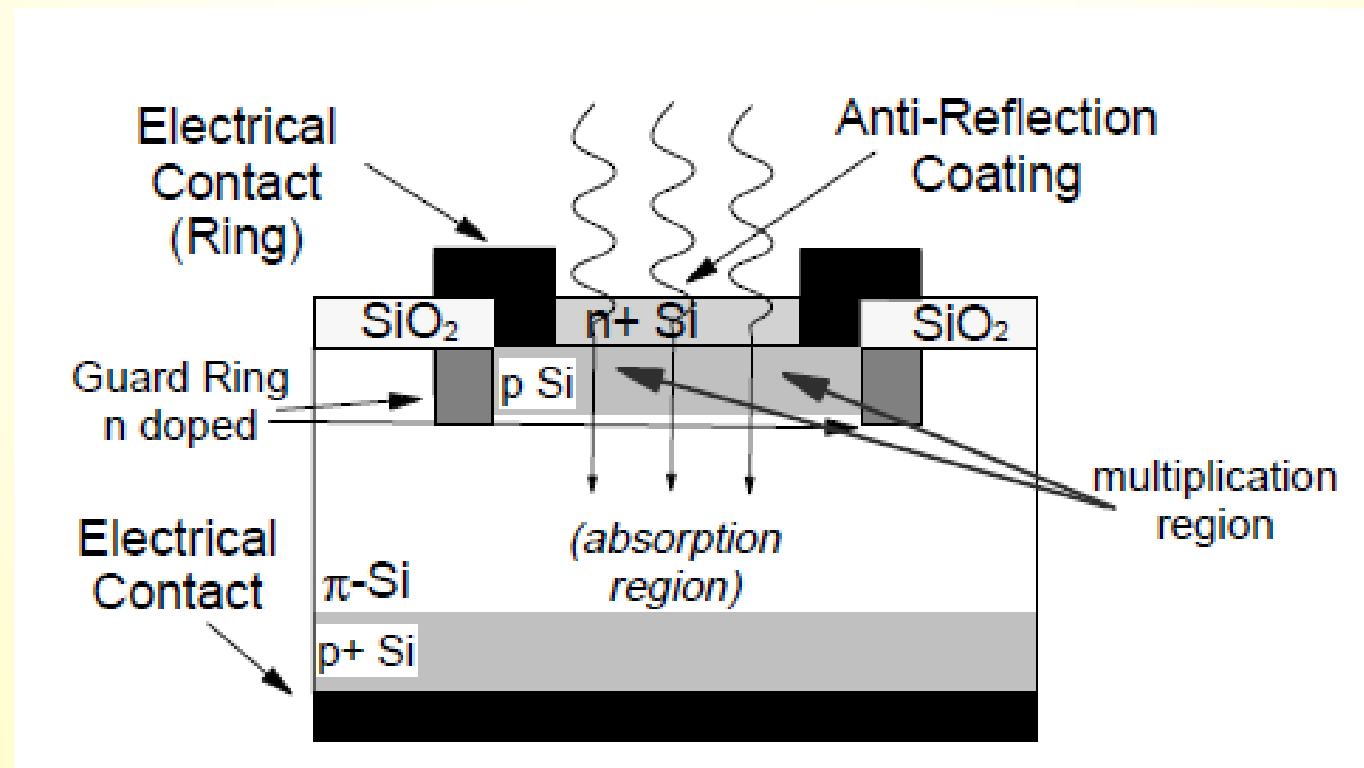
## Outline Dimensions

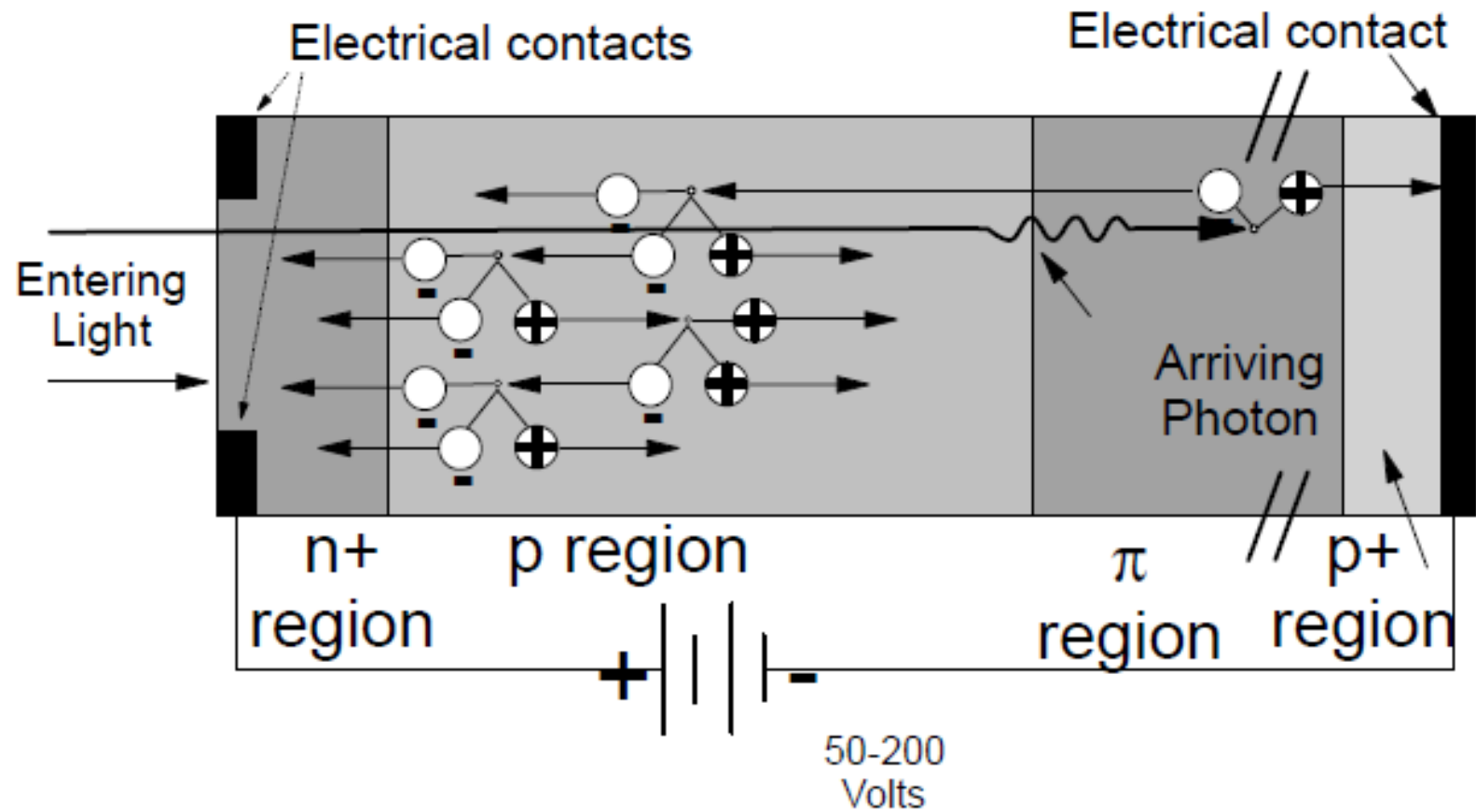
TO-46 (flat window):

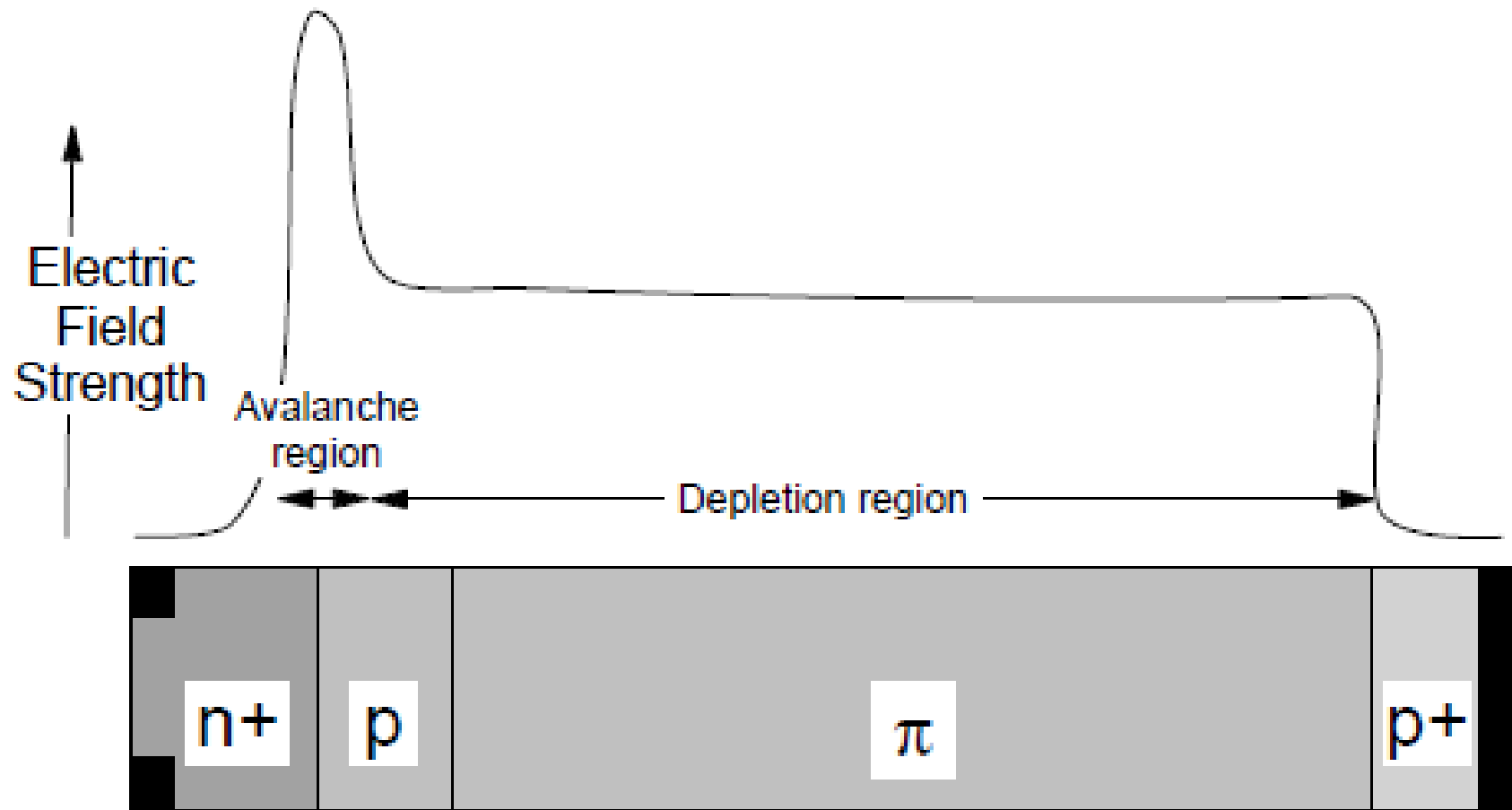


# APD (avalanche photodiodes, лавинни фотодиоди)

- Добавя се още една полупроводникова област за да се получи ускоряване и умножаване на токоносителите
- n-p-i-p структура
- Ударна йонизация
- Фотоумножение, област на лавинно умножение







# *Finisar*

## Product Specification

---

### WDM SFP Transceiver with APD Receiver

---

### **FWLF16197Dxx**

#### PRODUCT FEATURES

- Up to 1.25 Gb/s data links
- Hot-pluggable SFP footprint
- Built-in digital diagnostic functions
- Uncooled DFB laser transmitter in 8 CWDM wavelengths
- APD Receiver
- Very low jitter
- Metal enclosure, for lower EMI
- Single 3.3V power supply





## Si Avalanche Photodetectors

- ▶ High-Speed Response up to 1 GHz
- ▶ Ultra-High Sensitivity up to  $26.5 \times 10^6$  V/W
- ▶ Wavelength Range of 200 - 1000 nm or 400 - 1000 nm
- ▶ Temperature-Compensated and Variable-Gain Versions Available



APD120A2



APD130A2  
Temperature-Compensated APD



APD430A  
Variable-Gain, Temperature-Compensated APD



APD210  
High-Speed APD



### Related Items



- [Overview](#)
- [APD120 and APD130](#)
- [APD410 and APD430](#)
- [APD210 Specs](#)
- [Pin Diagrams](#)
- [Fiber Coupling](#)
- [Feedback](#)
- [Selection Guide](#)



# APD фотодиоди

- По-чувствителни
- По-бавни
- По-високоволтово захранване
- По-шумни

# PIN vs APD

➔ <https://electronics360.globalspec.com/article/10397/pin-vs-apd-different-sensitivity-different-applications>

Powered by IEEE GlobalSpec  
**Electronics360**

IEEE.org | About | Advertise

Search Electronics360

Sponsored By  
**M**  
mouser.com

Home Industries Supply Chain Product Watch Teardowns Hot Topics Calendar Multimedia

HOME ▶ INDUSTRIES ▶ INDUSTRIAL & MEDICAL TECHNOLOGY ▶ INDUSTRIAL ELECTRONICS ▶ ARTICLE

Share

## Industrial Electronics

Sponsored Content

# PIN vs. APD: Different Sensitivity, Different Applications

21 November 2017

Share Tweet Email

Sponsored content

PIN and APD receivers are used to facilitate fiber optic networks. Often, they provide extremely high-speed internet access or receive telephone and digital television signals. The chief overall advantage of optical technology is its high data transfer rate; PIN and APD receivers are both designed for such applications. However, there are distinct differences in the technologies.

Avalanche photodiodes (APDs) are widely used in laser-based fiber optic systems to convert optical data into electrical form. They are high-sensitivity, high-speed semiconductor light sensors.

The main advantage of the APD is that it has a greater level of sensitivity compared to PIN. The avalanche action increases the gain of the diode many times, providing much higher sensitivity.

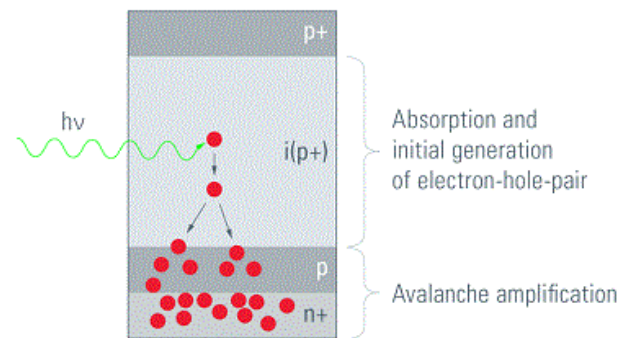


Figure 1. Operation of an APD. Source: Shahriarh91 / CC BY-SA 4.0

Advertisement

**Electronics360**  
**Weekly Newsletter**

Get news, research, and analysis on the Electronics industry in your inbox every week - for FREE

Sign up for our FREE eNewsletter

Engineering Newsletter Signup



# Кави приемници се използват масово в момента?

➤ <https://www.finisar.com/optical-transceivers>





**Form Factor:** QSFP28 **Distance:** 100 m **Data Rate (max):** 103.1 Gb/s **Wavelength:** 850nm Band  
**Protocol:** 100G Ethernet Compliant



### 100GBASE-SR4 100m QSFP28 Optical Transceiver FTLC9551REPM

**Form Factor:** QSFP28 **Distance:** 100 m **Data Rate (max):** 103.1 Gb/s **Wavelength:** 850nm Band  
**Protocol:** 25G Ethernet Compliant, 100G Ethernet Compliant



### 100GBASE-SR4, OTU4 & 128G Fibre Channel Multirate 100m QSFP28 Optical Transceiver FTLC9551SEPM

**Form Factor:** QSFP28 **Distance:** 100 m **Data Rate (max):** 112 Gb/s **Wavelength:** 850nm Band  
**Protocol:** OTN OTU4 Compliant, 25G Ethernet Compliant, 100G Ethernet Compliant



### 100GBASE-SR4 with Low Latency/Limited or No FEC QSFP28 Optical Transceiver FTLC9554REPM

**Form Factor:** QSFP28 **Distance:** 40 m **Data Rate (max):** 103.1 Gb/s **Wavelength:** 850nm Band  
**Protocol:** 25G Ethernet Compliant, 100G Ethernet Compliant, IB EDR Compliant



### 100G CWDM4 2 km QSFP28 Optical Transceiver FTLC1152RGPL

**Form Factor:** QSFP28 **Distance:** 2 km **Data Rate (max):** 103.1 Gb/s **Wavelength:** 1310nm Band  
**Protocol:** 100G Ethernet Compliant

Select options below to narrow results

#### Filter by Max Data Rate

- ≤ 8G (59)
- 10G (58)
- 16G-32G (19)
- 40G-56G (22)
- ≥100G (28)

#### Filter by Protocol

- Ethernet (163)
- Fibre Channel (114)
- InfiniBand (14)
- PCIe (3)
- SONET/SDH (52)
- OTN OTU3 or OTU4 (11)
- FTTx (PON/BiDi) (7)
- CPRI (65)

#### Filter by Form Factor

- CFP/CFP2/CFP4/CFP8 (14)
- QSFP+/QSFP28 (32)
- CXP (4)
- Coherent (1)
- SFP+/SFP28 (62)
- SFP (41)
- XFP (16)
- Y2 (2)

**Form Factor:** QSFP28

Finisar's FTLC1152RGPL QSFP28 transceiver modules are designed for use in 100 Gigabit Ethernet links on up to 2 km of single mode fiber. They are compliant with the QSFP28 MSA, CWDM4 MSA, and relevant portions of IEEE P802.3bm. Digital diagnostics functions are available via the I2C interface, as specified by the QSFP28 MSA. The optical transceiver is compliant per the RoHS Directive 2011/65/EU. See Finisar Application Note AN-2038 for more details.

[SUBMIT PRODUCT INQUIRY](#)[Key Features](#)[Applications](#)[Specifications](#)

<b>Distance:</b>	2 km
<b>Data Rate (max):</b>	103.1 Gb/s
<b>Protocol:</b>	100G Ethernet Compliant
<b>Low End Case Temperature (°C):</b>	0
<b>High End Case Temperature (°C):</b>	70
<b>Diagnostics:</b>	Digital
<b>Transmitter:</b>	4x CWDM DFB Laser
<b>Receiver:</b>	PIN
<b>Voltage Supply:</b>	3.3
<b>Connector:</b>	LC
<b>Wavelength:</b>	1310nm Band

[Optical Engines](#)[Communication Components](#)[Sensing Components](#)[Wavelength Mgmt/ROADMs/Amps](#)[RF-over-Fiber](#)[Optical Instrumentation](#)[Product Search](#)

## Additional Information

[Transceivers, Transponders, and Active Optical Cables Product Guide](#)[Flexitone Product Brief](#)[Datacom/Telecom Network Diagram](#)[Pluggable Optics for the Data Center](#)[Fiber Optics for Military Applications Solutions Guide](#)[Fiber Optics for Industrial Applications Solutions Guide](#)[CPRI Reference Guide](#)[Wavelength Mgmt/ROADMs/Amps](#)





**Form Factor:** SFP+

Finisar's FTLX1871D3BxL optical transceivers are Enhanced Small Form Factor Pluggable SFP+ transceivers designed for use in 10-Gigabit multi-rate links up to 80km of G.652 single mode fiber. They are compliant with SFF-8431, SFF-8432 and support 10G Ethernet ZR and 10G Fibre Channel.

Digital diagnostics functions are available via a 2-wire serial interface, as specified in SFF-8472. Finisar's FTLX1871D3BNL transceivers are RoHS compliant as per Directive 2011/65/EU and Finisar Application Note AN-2038.

**BUY NOW**

- Key Features
- Applications
- Downloads
- Specifications**

<b>Distance:</b>	80 km
<b>Data Rate (max):</b>	11.3 Gb/s
<b>Protocol:</b>	8x Fibre Channel Compliant, 10x Fibre Channel Compliant, 10 Gigabit Ethernet Compliant, Wireless CPRI Compliant
<b>Low End Case Temperature (°C):</b>	-5
<b>High End Case Temperature (°C):</b>	85
<b>Diagnostics:</b>	Digital
<b>Transmitter:</b>	EML
<b>Receiver:</b>	APD
<b>Voltage Supply:</b>	3.3
<b>Connector:</b>	LC
<b>Wavelength:</b>	1550nm

- Optical Engines
- Communication Components
- Sensing Components
- Wavelength Mgmt/ROADMs/Amps
- RF-over-Fiber
- Optical Instrumentation

Product Search

**Go**

### Additional Information

- [Transceivers, Transponders, and Active Optical Cables Product Guide](#)
- [Flexitone Product Brief](#)
- [Datacom/Telecom Network Diagram](#)
- [Pluggable Optics for the Data Center](#)
- [Fiber Optics for Military Applications Solutions Guide](#)
- [Fiber Optics for Industrial Applications Solutions Guide](#)
- [CPRI Reference Guide](#)
- [White Paper: CWDM Technology](#)



# Technical Documents

Beyond 100 Gb/s | 40 Gb/s & 100 Gb/s Technology | Optics - General | Optical Amplifiers | Optical Instrumentation  
Tunable Laser Technology | Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) | WSS, ROADMs and Optical Switching | Optical Switching and Monitoring

## Beyond 100 Gb/s

- [52 Gbps PAM4 receiver sensitivity study for 400GBase-LR8 system using directly modulated laser \(OSA, 2016\)](#)
- [104 Gbps PAM4 Transmission over OM3 and OM4 Fibers using 850 and 880 nm VCSELs \(OSA, 2016\)](#)
- [Four 45 Gbps PAM4 VCSEL based transmission through 300 m wideband OM4 fiber over SWDM4 wavelength grid \(OSA, 2016\)](#)
- [📄 180Gbps PAM4 VCSEL Transmission over 300m Wideband OM4 Fibre \(OFC 2016\)](#)
- [400Gb/s Single Carrier Transmission With Integrated Coherent Optics \(OSA, 2016\)](#)
- [DAC-free Ultra-Low-Power Dual-Polarization 64-QAM Transmission with InP IQ Segmented MZM Module \(OSA, 2016\)](#)
- [400Gb/s Single Carrier Transmission With Integrated Coherent Optics \(OSA, 2016\)](#)
- [Indium Phosphide Based IQ-Modulators for Coherent Pluggable Optical Transceivers \(IEEE, 2015\)](#)
- [Fiber Optics Packaging \(OSA, 2015\)](#)
- [Taking Optics to the Chip: From Board-mounted Optical Assemblies to Chip-level Optical Interconnects \(OSA, 2014\)](#)
- [A low insertion loss and low  \$V\_{\pi}\$  InP IQ modulator for advanced modulation formats \(IEEE, 2014\)](#)
- [📄 100G/400G SMF O/E Roadmap \(Ethernet Workshop 2014\)](#)
- [📄 400Gb/s 2km and 10km duplex SMF NRZ PMD Nominal Specifications \(Plenary Session 2014\)](#)
- [📄 400Gb/s 2km and 10km duplex SMF PAM-4 PMD Nominal Specifications 2014](#)
- [📄 400Gb/s 500m PMD Alternatives \(IEEE 802.3 Interim Meeting 2014\)](#)
- [📄 400Gb/s SMF PMD Technical Feasibility \(Ethernet Study Group 2014\)](#)
- [📄 400G and 4x100G SMF PMD \(Alternatives Study 2014\)](#)
- [PIC-to-PIC experiment at 130Gb/s based on a monolithic transmitter using switching of prefixed optical phases and a monolithic coherent receiver \(IEEE, 2014\)](#)
- [Integrated Polarization Beam Splitter for 100/400 GE Polarization Multiplexed Coherent Optical Communications \(IEEE, 2014\)](#)
- [Taking optics to the chip: From board-mounted optical assemblies to chip-level optical interconnects \(IEEE, 2014\)](#)

[https://www.finisar.com/sites/default/files/resources/400gbs\\_2km\\_and\\_10km\\_duplex\\_smf\\_nrz\\_pmd\\_nominal\\_specifications\\_plenary\\_session\\_2014.pdf](https://www.finisar.com/sites/default/files/resources/400gbs_2km_and_10km_duplex_smf_nrz_pmd_nominal_specifications_plenary_session_2014.pdf) array (2013)

## Technology

Technical Documents

Videos

Industry Resources

Educational Resources

Product Search

Go

## Follow Finisar



Subscribe to Email Alerts

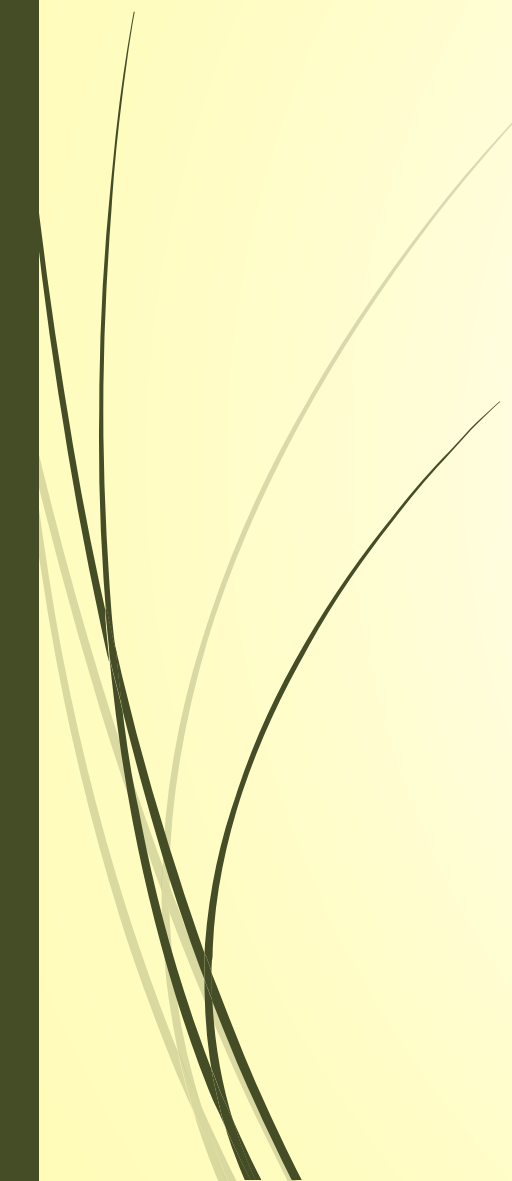
## Lightspeed Blog

**Finisar Wins Lightwave Award for 10G Tunable BiDi SFP+ Transceiver with T<sup>2</sup>DOC™ Technology**

Posted on March 22, 2018

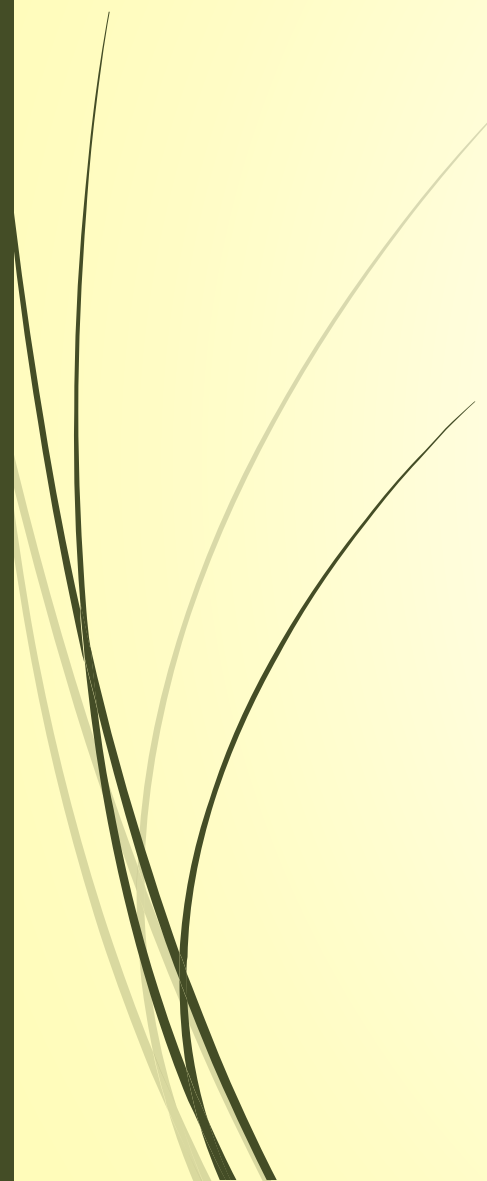


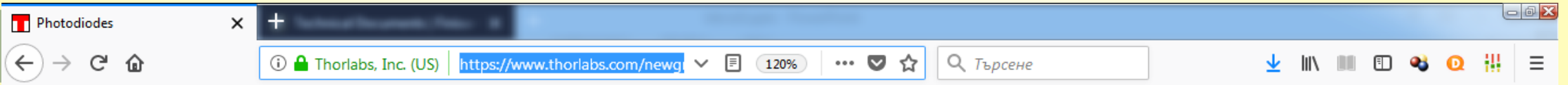
# Други фотоприемници

- Resonant cavity p-i-n
  - Traveling wave photodetector
  - Фототранзистор
  - Други
- 



# Моделиране на фотодетектор

- Електрическо
  - Обобщено
- 



### Theory of Operation

A junction photodiode is an intrinsic device that behaves similarly to an ordinary signal diode, but it generates a photocurrent when light is absorbed in the depleted region of the junction semiconductor. A photodiode is a fast, highly linear device that exhibits high quantum efficiency based upon the application and may be used in a variety of different applications.

It is necessary to be able to correctly determine the level of the output current to expect and the responsivity based upon the incident light. Depicted in Figure 1 is a junction photodiode model with basic discrete components to help visualize the main characteristics and gain a better understanding of the operation of Thorlabs' photodiodes.

$$I_{OUT} = I_{DARK} + I_{PD}$$

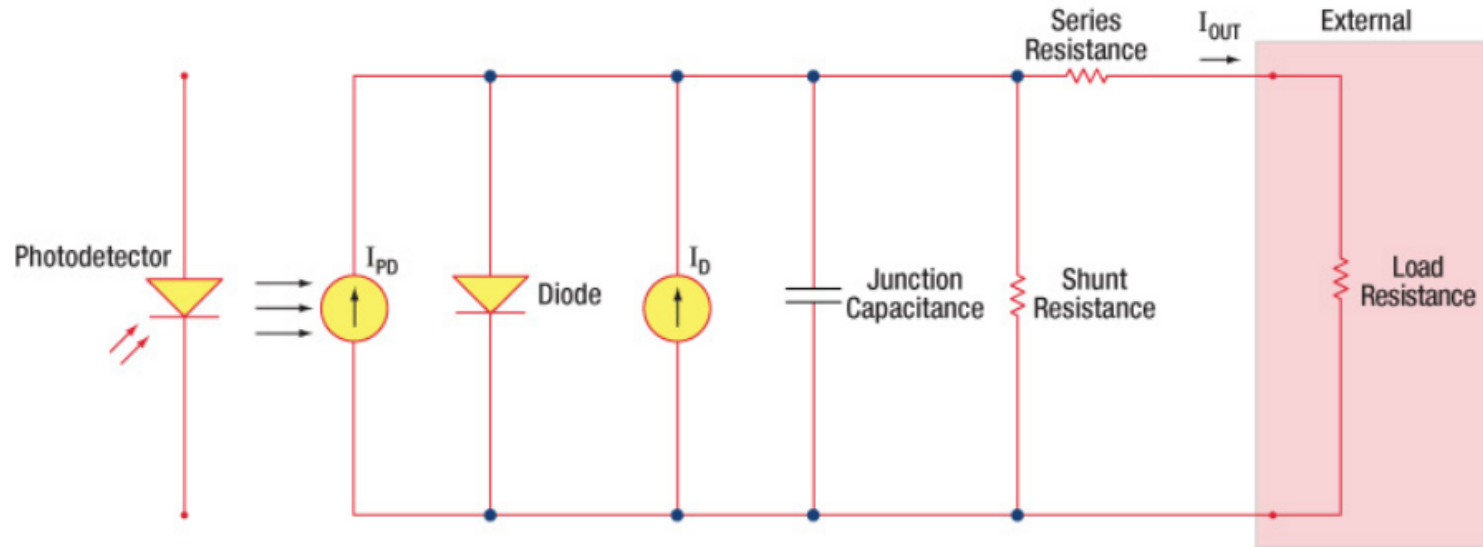
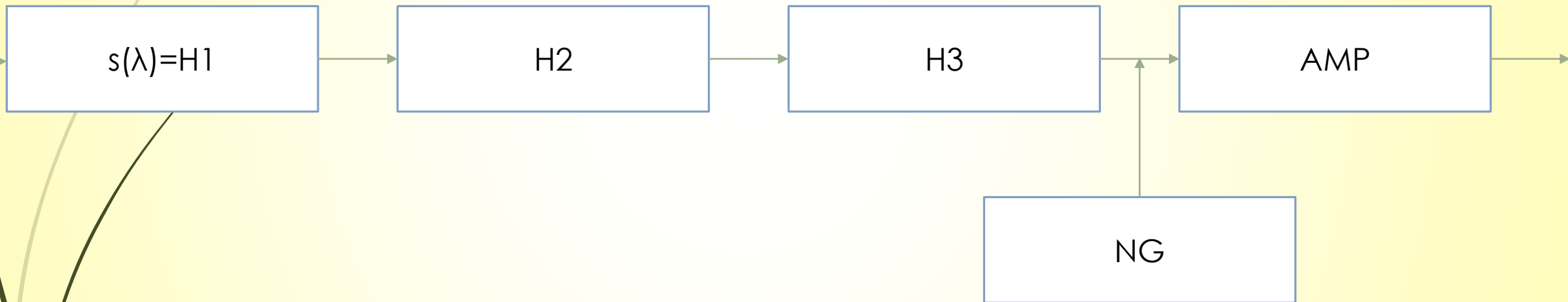


Figure 1: Photodiode Model

### Photodiode Terminology

# Еквивалентна схема на оптичен приемник



- Оптична предавателна функция
- Интегрална чувствителност
- Инерционност
- Предусилване
- Шумове

# Оптичесна предавателна функция

- Аналогия с филтър
- Коментар на измерителя от лабораторните упр.
- Графичен пример с входящ поток и изходящ поток



# Интегрална чувствителност

- Оптиелектронно преобразуване  $\Phi_{rs} \rightarrow I_o$
- Преобразуването зависи от  $\lambda$

**THORLABS**

Search

[Create an Account](#) | [Log In](#)

[Products Home](#)

[Rapid Order](#)

[Services](#)

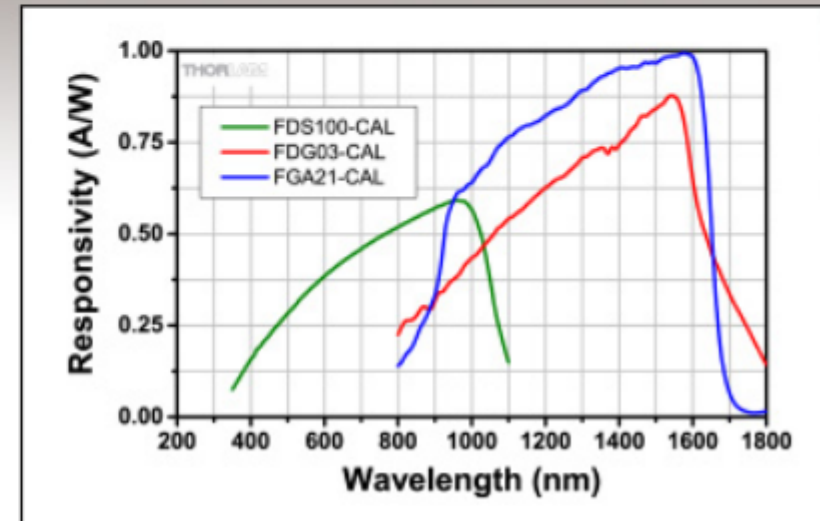
[The Company](#)

[Contact Us](#)

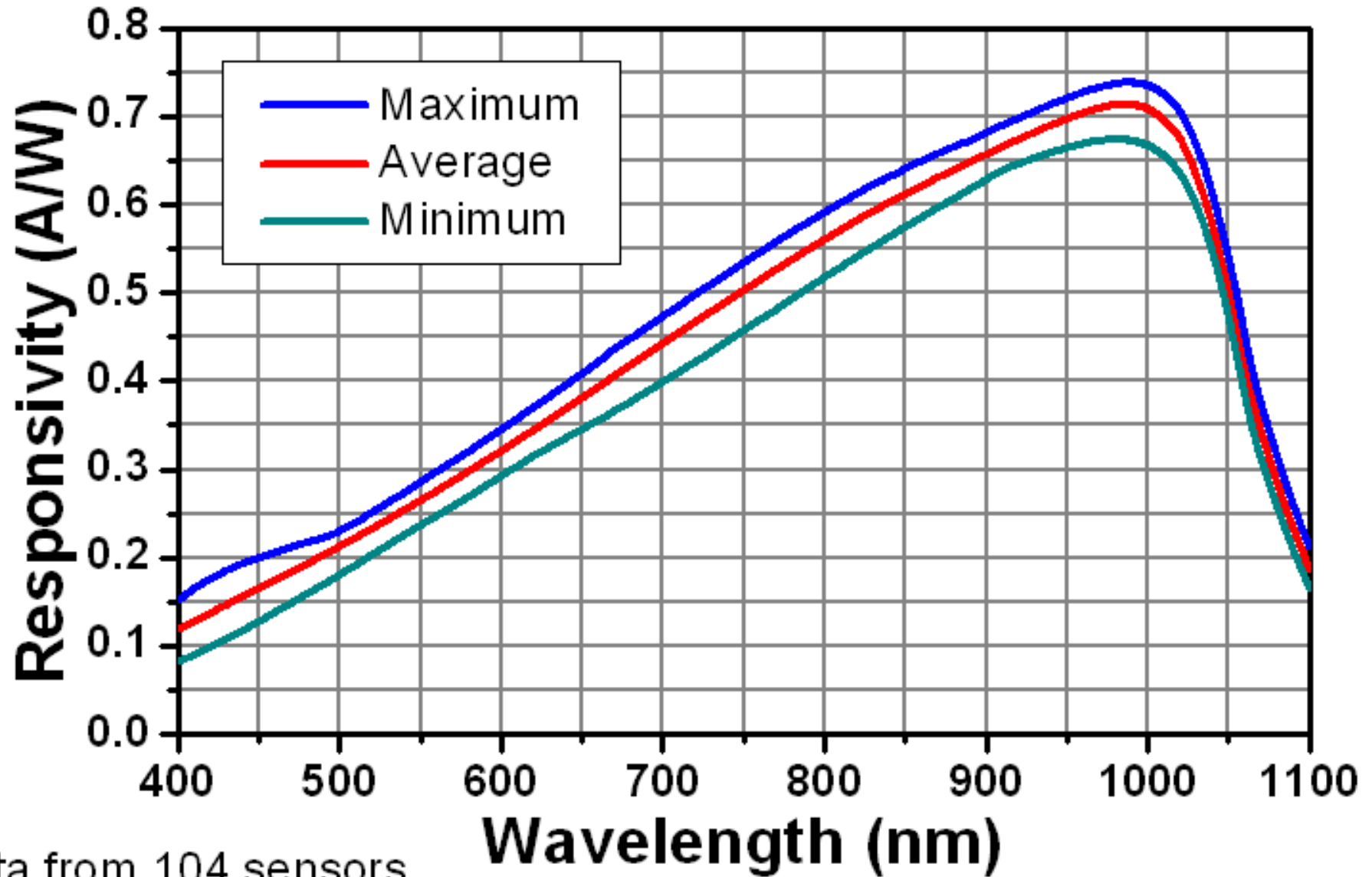
[Products Home](#) / [Photodetectors](#) / [Photodiodes & Photoconductors](#) / [Calibrated Photodiodes](#)

## Calibrated Photodiodes

- ▶ Si, Ge, and InGaAs Photodiodes Available
- ▶ NIST Traceable
- ▶ Photodiodes Shipped with Calibration Curves



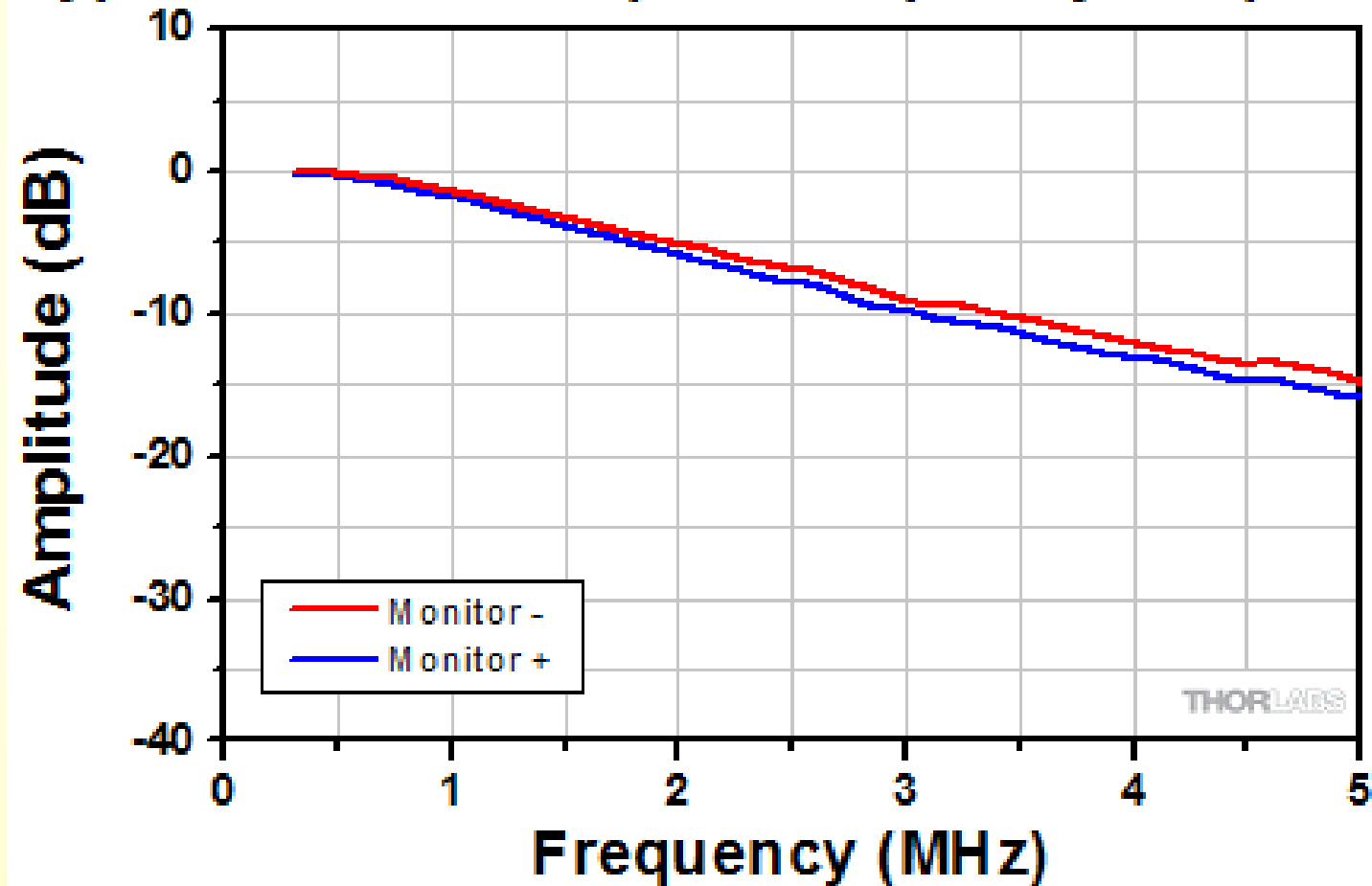
# FDS 1010 Responsivity\*



\*Data from 104 sensors

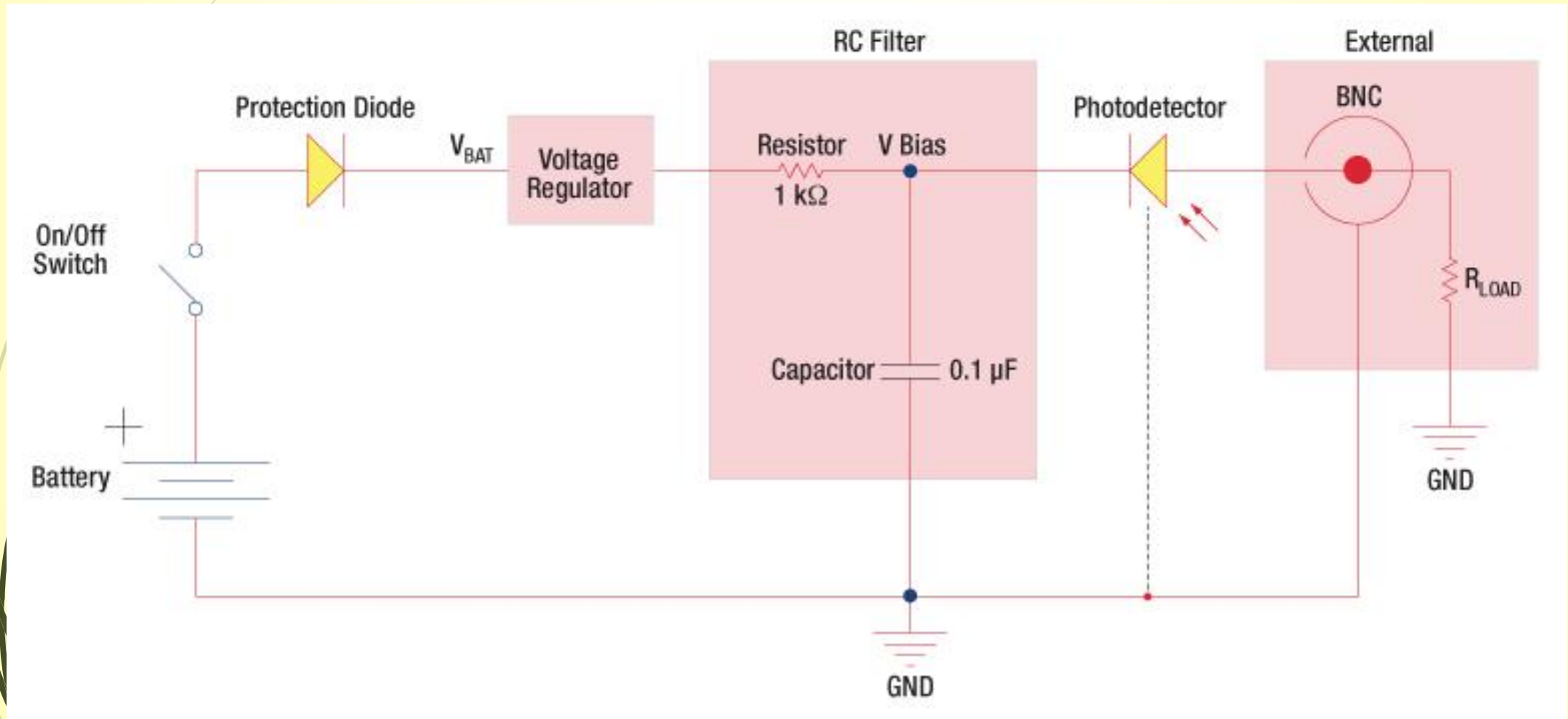
# Инерционность

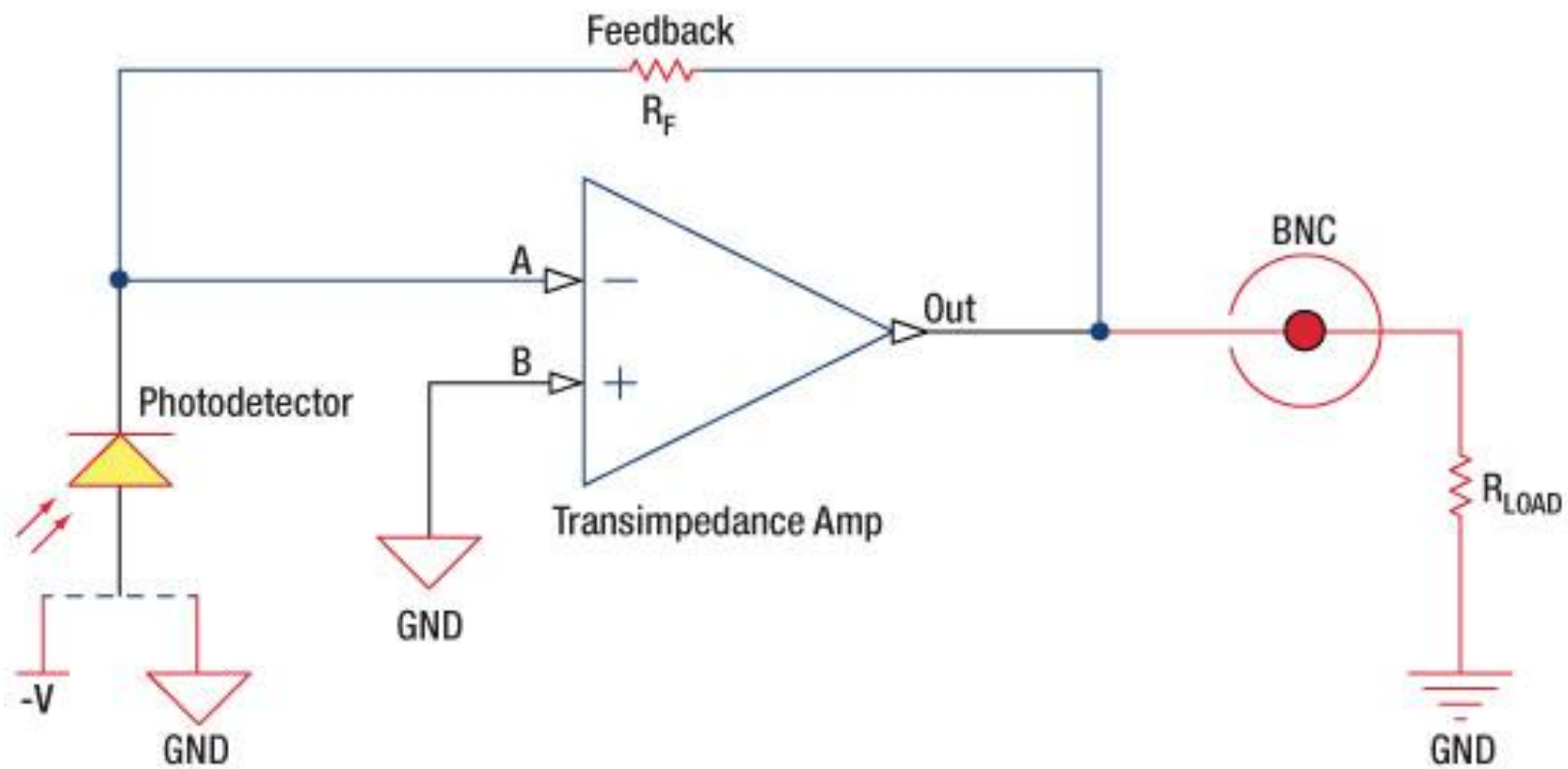
## Typical Monitor Outputs Frequency Response



# Предусилване

- Дискусия, коментар на лаб.упр 3







# 11.3 Gbps Optical Receiver

## Data Sheet

## ADN3010-11

### FEATURES

**Integrated SiGe PIN photodiode, transimpedance amplifier (TIA), and limiting amplifier (LA)**

**Power monitor output: 1.0 A/W at O band wavelengths  
50  $\mu\text{m}$  diameter germanium photodiode**

**Input sensitivity**

$$P_{OMA} = -16.5 \text{ dBm}$$

$$P_{AVE} = -17.3 \text{ dBm (ER = 6 dB)}$$

**PRBS31 at 10.52 Gbps, BER =  $10^{-12}$ ,  $\lambda = 1270 \text{ nm}$ , 1290 nm, 1300 nm, 1310 nm, and 1330 nm**

**Antireflective coating (ARC) optimized to 1310 nm**

**Single 3.3 V supply**

**Power dissipation: 102 mW**

**Differential output swing: 460 mV p-p**

**On-chip power monitor function**

**Die size: 0.835 mm  $\times$  0.675 mm**

### APPLICATIONS

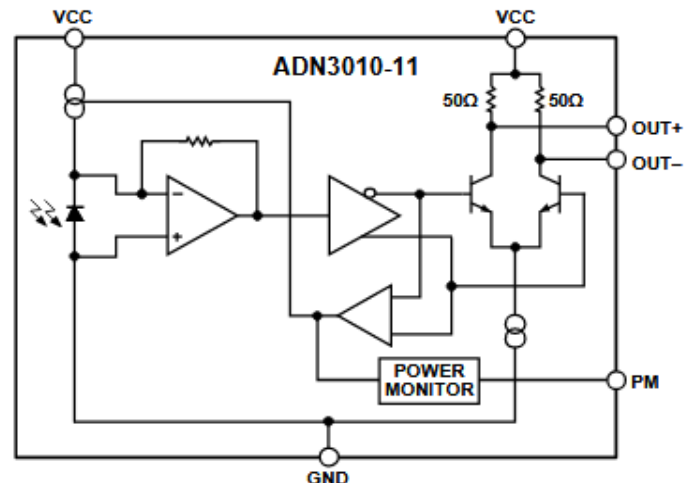
**Optical module receivers up to 11.3 Gbps**

**Short range 10 Gb SONET, FC, Ethernet, CPRI, OBSAI, and LTE optical receivers**

**Capable to be in ROSA, BOSA, or MCM packages**

### GENERAL DESCRIPTION

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

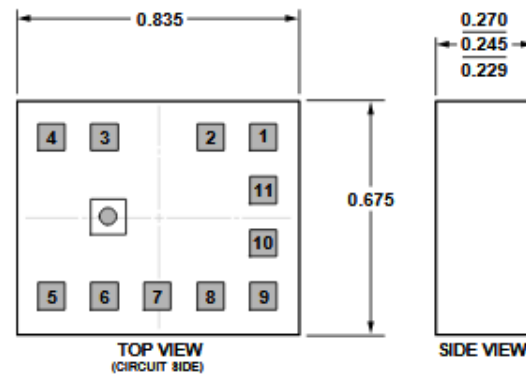




## Data Sheet

ADN3010-11

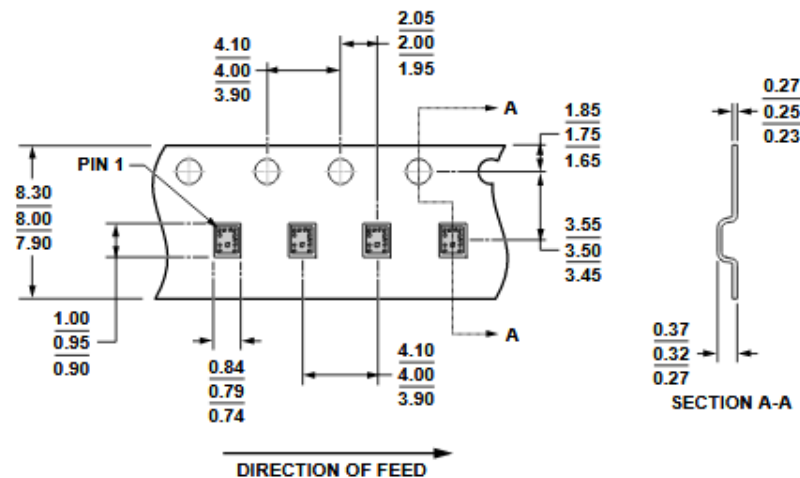
## OUTLINE DIMENSIONS



12-08-20 10-A

Figure 11. 11-Pad Bare Die [CHIP]  
(C-11-1)

Dimensions shown in millimeters



12-08-20 10-A

FEATURES

APPLICATIONS

FUNCTIONAL BLOCK  
DIAGRAM

GENERAL DESCRIPTION

REVISION HISTORY

SPECIFICATIONS

- ABSOLUTE MAXIMUM  
RATINGS

ESD CAUTION

PIN CONFIGURATION AND  
FUNCTION DESCRIPTIONSTYPICAL PERFORMANCE  
CHARACTERISTICS

THEORY OF OPERATION

- APPLICATIONS  
INFORMATION

BONDING

POWER MONITOR (PM)  
OUTPUT APPLICATIONSPOWER MONITOR  
OUTPUT ESTIMATION

- OUTLINE DIMENSIONS

DIE SPECIFICATIONS AND  
ASSEMBLY  
RECOMMENDATIONS

ORDERING GUIDE

### Photodiode

### Circuit Design

### Next Steps

#### Output Signal

Peak Voltage ( $V_P$ )  V

Target Speed  
 Bandwidth  s  
 Pulse Width

Peaking  
low  high

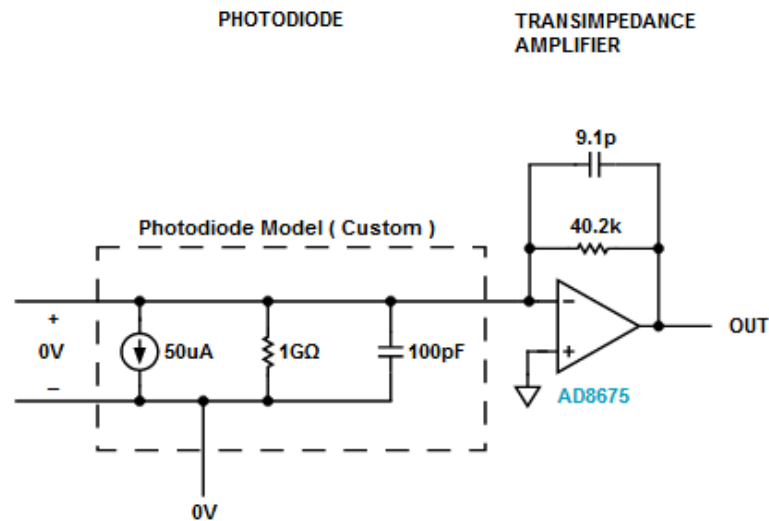
#### Stages

One  
  Two

#### Op Amp


AD8675 [Change](#)

Circuit Pulse Resp. Frequency Resp. Spectral Noise Noise Gain SNR

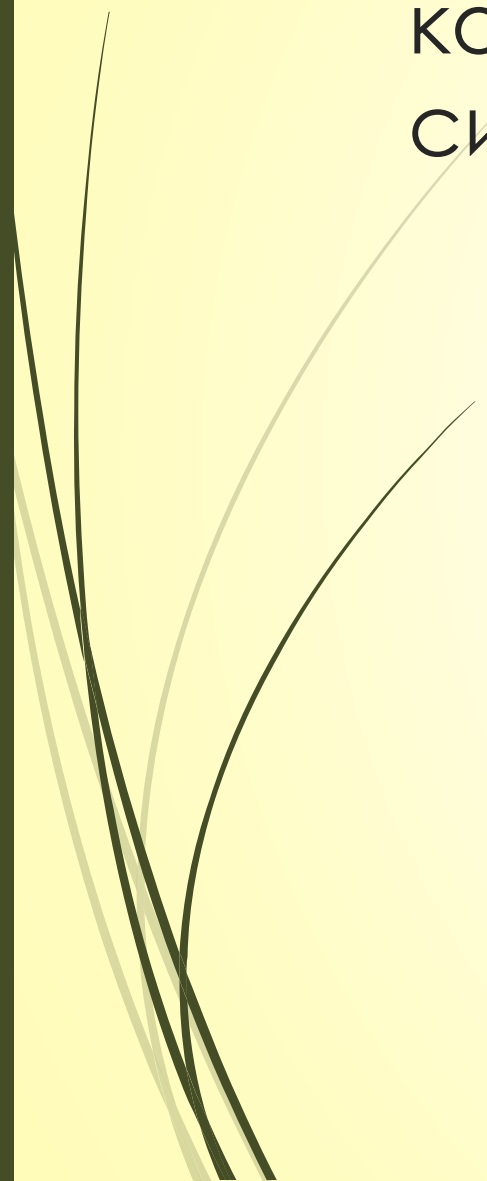


# Шумове

- Термичен
- Квантов
- Дисперсии на шумовете. Модели.
- Приемане в токов режим или в режим на броене на фотоните

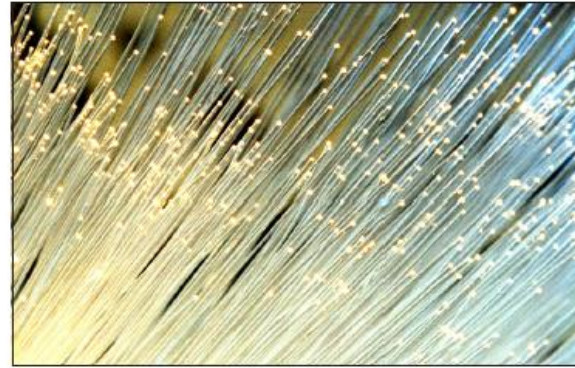


Оптично лъчение в световодния канал на  
комуникационна оптоелектронна  
система





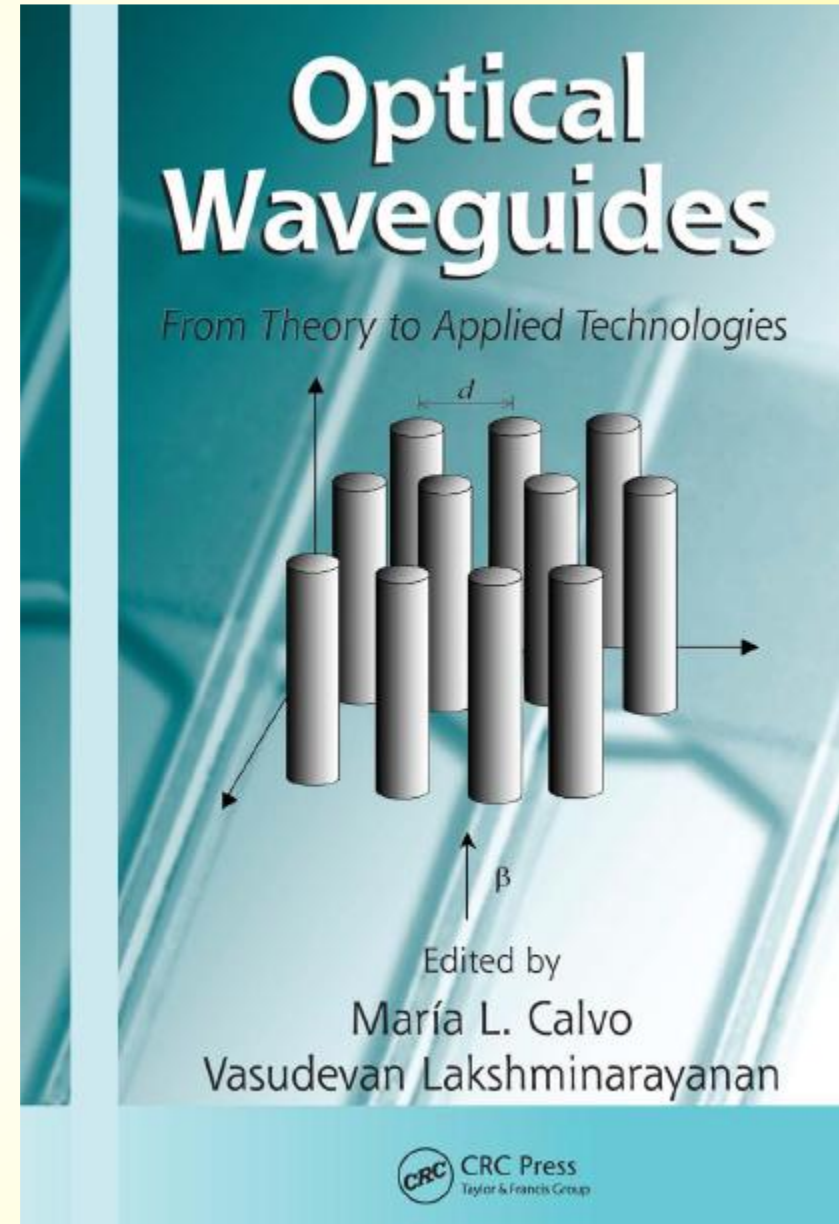
## Optical Fiber Theory




for  
Communication Networks  
second edition

ERICSSON 

ENLZT199210/R1



➔ <https://www.rp-photonics.com/waveguides.html>

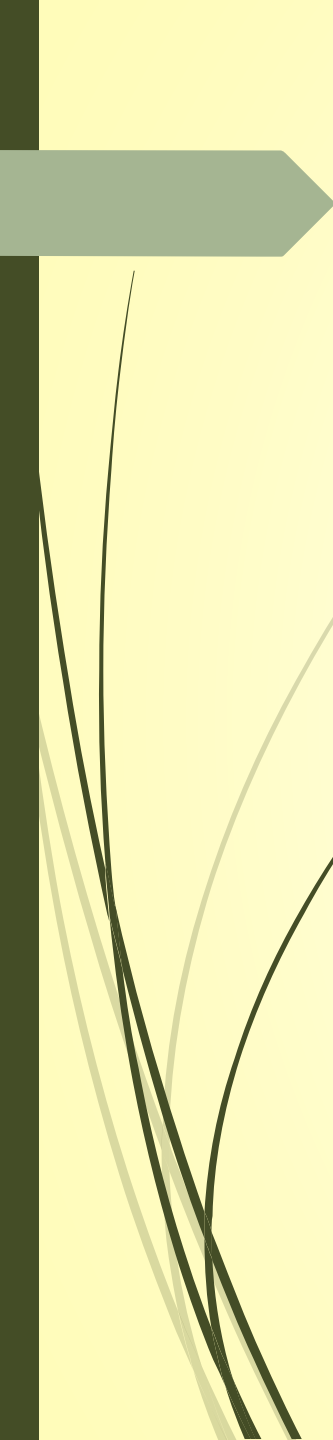


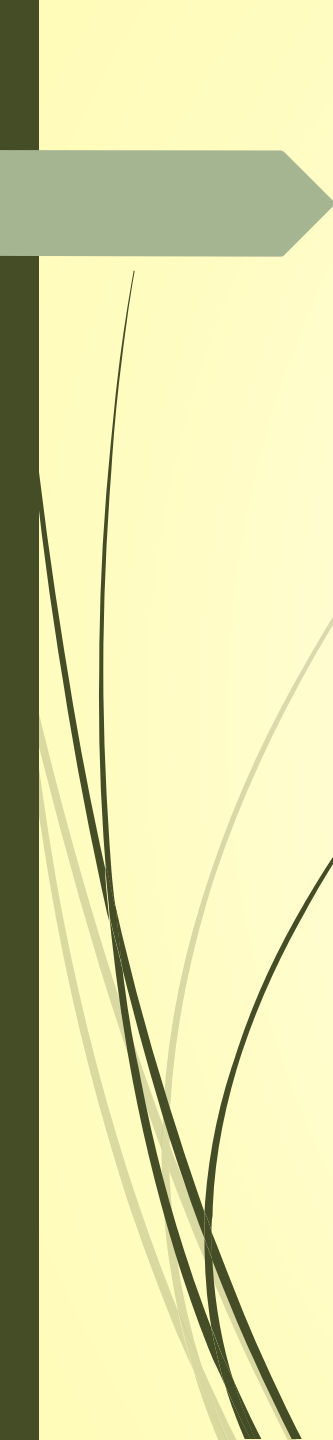
► Определение: пространствено нехомогенни прозрачни структури за направляване на светлина

По-конкретни термини: планарни вълноводи, канални вълноводи, оптични влакна

Автор: д-р Рюдигер Пашота ([Dr. Rüdiger Paschotta](#))



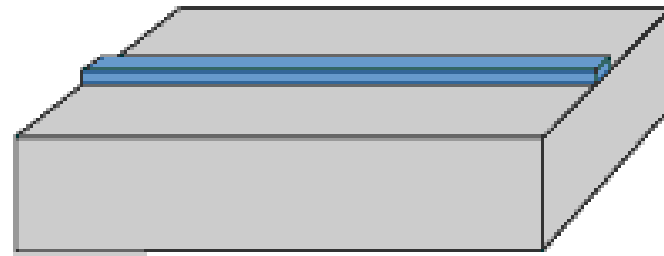
- 
- Оптичният вълновод е пространствено нехомогенна структура за направляване на светлина, т.е. за ограничаване на пространствената област, в която светлината може да се разпространява.
  - Обикновено вълноводът съдържа област с повишен коефициент на пречупване в сравнение с околната среда (наречена обвивка).
  - Възможни са обаче и напътствия, например чрез използване на отражения, напр. на метални интерфейси.
  - Някои вълноводи също включват плазмоници ефекти ([https://en.wikipedia.org/wiki/Plasmonic\\_metamaterial](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasmonic_metamaterial)).

- 
- Оптичният вълновод е пространствено нехомогенна структура за направляване на светлина, т.е. за ограничаване на пространствената област, в която светлината може да се разпространява.
  - Обикновено вълноводът съдържа област с повишен коефициент на пречупване в сравнение с околната среда (наречена обвивка).
  - Възможни са обаче и напътствия, например чрез използване на отражения, напр. на метални интерфейси.
  - Някои вълноводи също включват плазмоници ефекти ([https://en.wikipedia.org/wiki/Plasmonic\\_metamaterial](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasmonic_metamaterial)  
<https://www.nature.com/articles/s41524-019-0184-1>  
<https://nanocomposix.com/pages/the-science-of-plasmonics#target>).

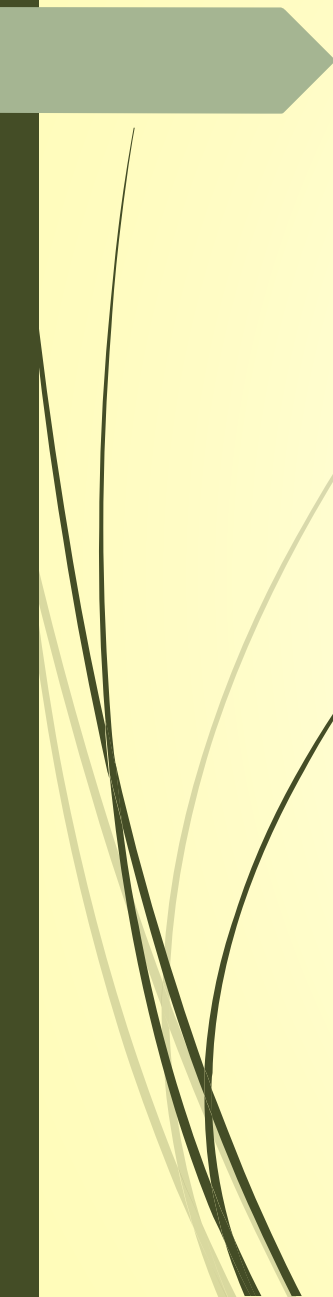
- Два различни вида вълноводи. Планарните вълноводи водят светлината само във вертикална посока, докато каналните вълноводи водят в две измерения.



planar waveguide



channel waveguide

- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, and several thin, curved lines in shades of green and black that sweep upwards and to the right, creating a dynamic, organic feel.
- Повечето вълноводи показват двуизмерно насочване, като по този начин ограничават удължаването на направляваната светлина в две измерения и позволяват разпространението по същество само в едно измерение.
  - Пример е вълноводът на канала, показан на фигура 1.
  - Най-важният тип двуизмерен вълновод е оптичното влакно.
  - Съществуват и едномерни вълноводи, често наричани планарни вълноводи.

- Производство на световоди

- Има много различни техники за изработване на диелектрични вълноводи.

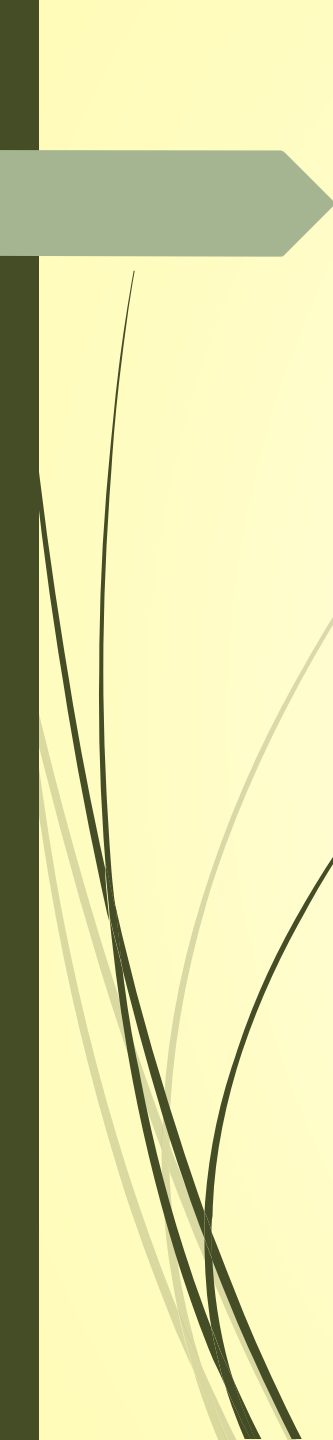
Някои примери са:

- Планарните вълноводи могат да бъдат произведени върху различни кристални и стъклени материали с епитаксия или с методи за полиране.

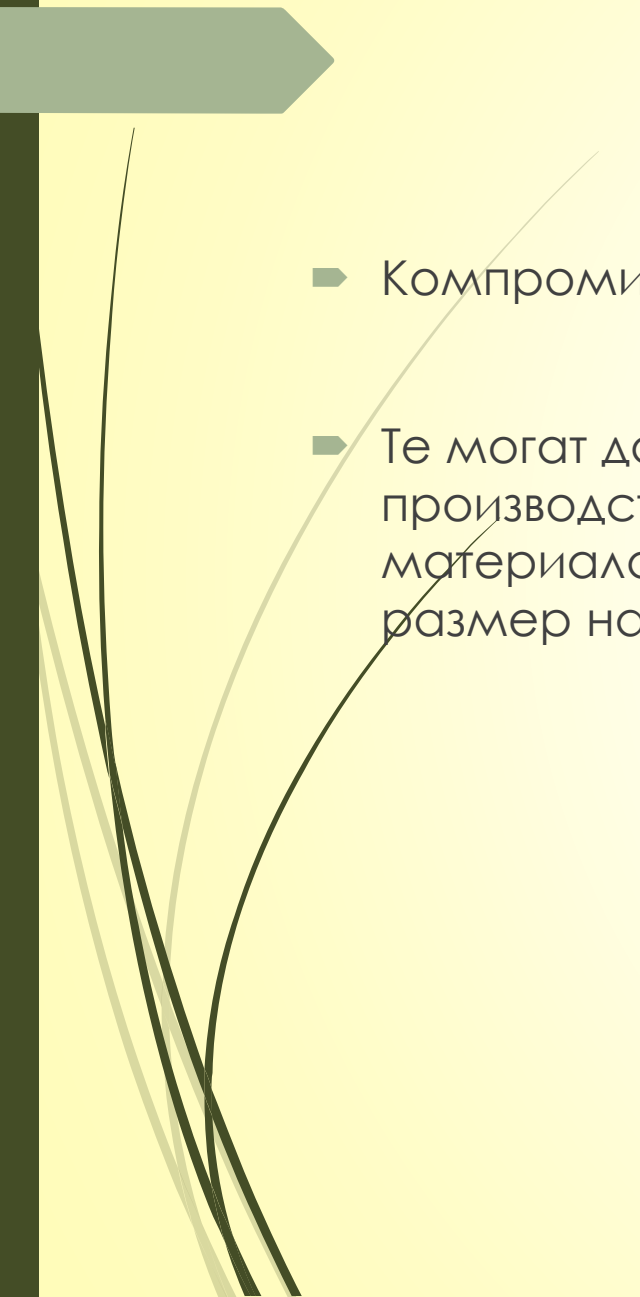
- Вълноводът може да бъде направен в горната част на устройството (както е показано в лявата страна на фигурата), но може да бъде поставен и между други твърди слоеве.

- Каналните вълноводи върху полупроводникови, кристални и стъклени материали могат да бъдат направени с литографски методи в комбинация с, например, епитаксия, йонообмен или термична инфузия.

- Възможно е да се направи «заровен» вълновод чрез нарастване на допълнителен слой отгоре на вълновода. Това може да доведе до по-ниски загуби от разпространение и по-симетричен профил на режима.

- 
- Оптичните влакна могат да бъдат произведени чрез изтегляне от заготовка, която представлява голяма стъклена пръчка с вграден профил на показателя на пречупване.
  - Влакната отново могат да бъдат изтеглени във вълноводи с допълнителни намалени размери, може да се достигне до екстремален резултат на нановолакна.
  - Вълноводите могат да се «изписват» в прозрачна среда (например стъкла или кристали) с фокусирани и импулсни лазерни лъчи, използвайки лазерно индуцирано разрушаване и свързани явления.
  - В стъклото засегнатият обем често показва донякъде увеличен показател на пречупване, който може директно да се използва за направляване на светлина.
  - В кристалите индексът на пречупване може да бъде намален; след това трябва да се третира някаква област около желаната зона на вълновод.



- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and black extending downwards and outwards from its base.
- Компромисите между различните техники на производство могат да бъдат сложни.
  - Те могат да включват аспекти като разходи, гъвкавост и възпроизводимост на производството, загуби от разпространение, възможни странични ефекти върху материала (например чрез нагряване или безразлични материали), оптимален размер на режима и симетрия за свързване към други вълноводи и др.



- Моди

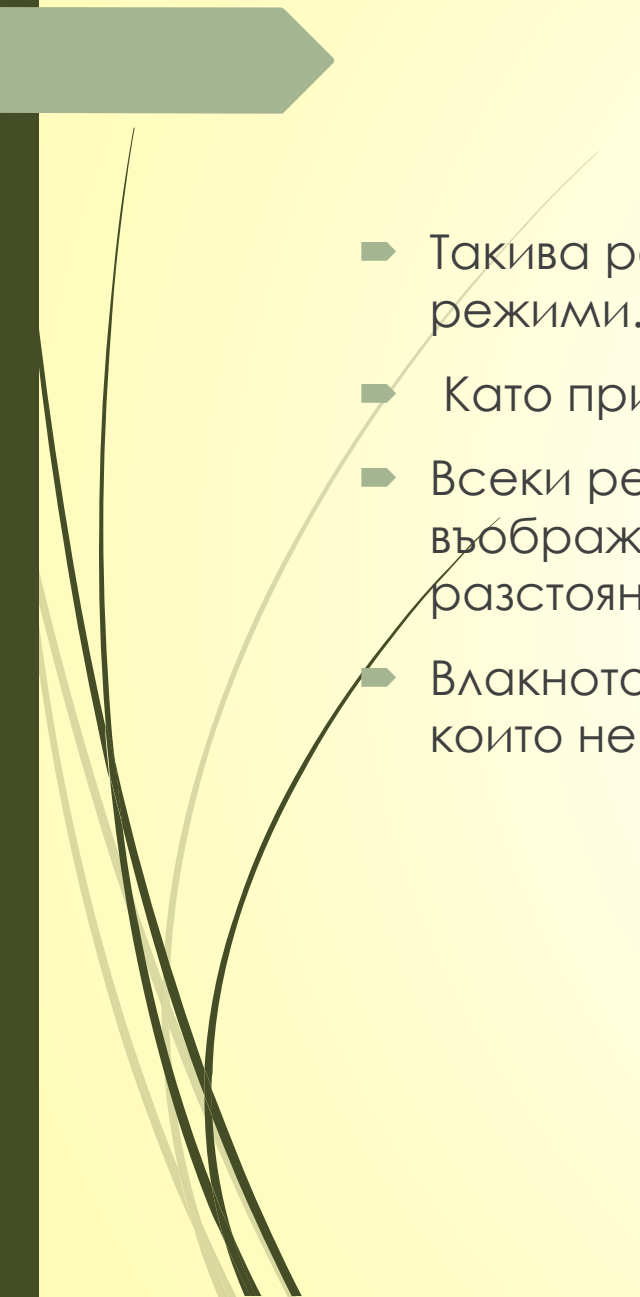
- Лъчевата оптика често се използва за описание на разпространението на инжектираната светлина.

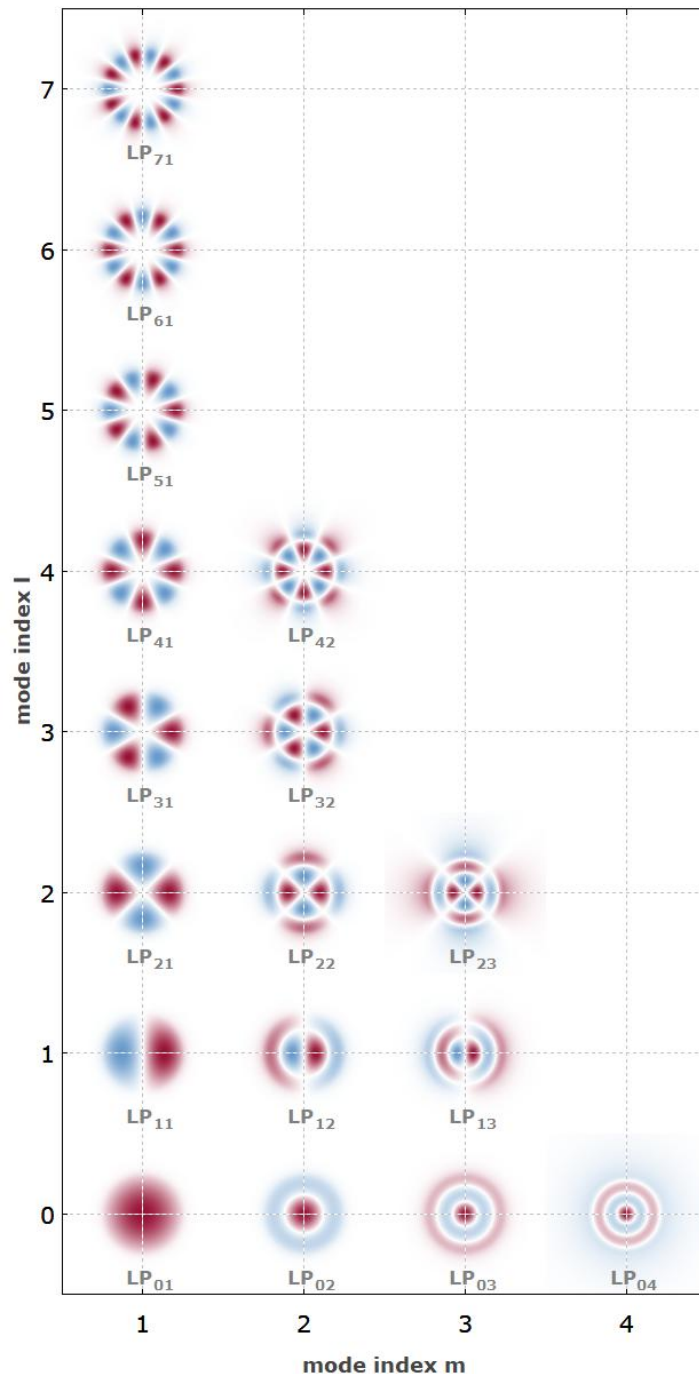
- Такова описание обаче става невалидно, когато възникнат смущаващи ефекти, и това е особено валидно за много малки размери на вълноводните линии.

- В този случай се изисква вълново описание на светлината - обикновено въз основа на уравненията на Максвел, често опростени с приблизителни предположения.

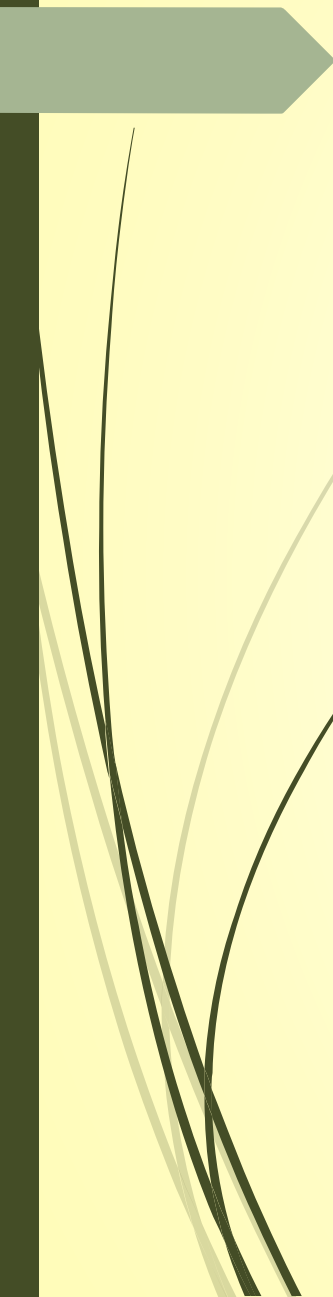
- Обикновено се разглежда разпределението на полето за дадена оптична честота и поляризация в равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение.

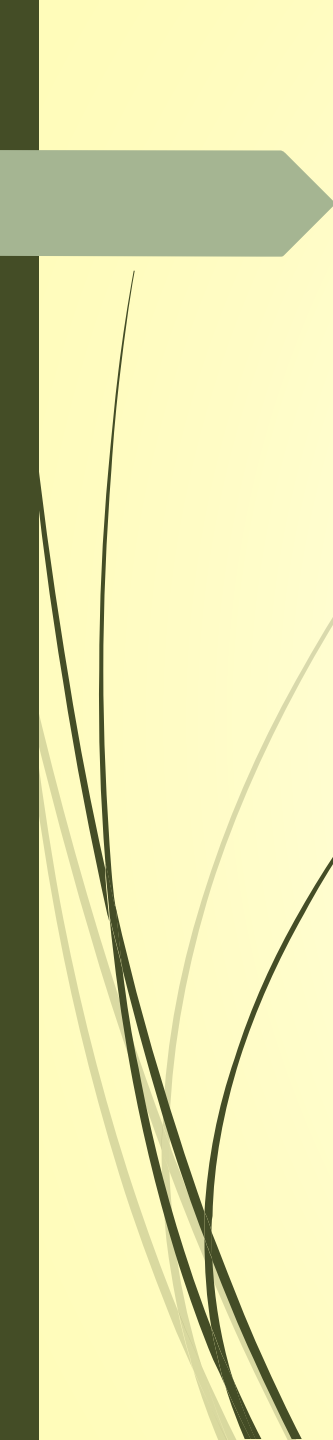
- От особен интерес са тези разпределения, които не се променят по време на разпространението, освен обща фазова промяна.

- 
- Такива разпределения на полето са свързани с така наречените вълноводни режими.
  - Като пример, Фигура 2 показва управляваните режими на многомодовото влакно.
  - Всеки режим има така наречената константа на разпространение, чиято въображаема част количествено определя фазовото забавяне на единица разстояние на разпространение.
  - Влакното също има голям брой неуправляеми режими (режими на обвивката), които не са ограничени до околността на сърцевината на влакното.



- Фигура 2: Профили на амплитудата на електрическото поле за всички направлявани моди в оптично влакно.
- Двата цвята показват различни знаци на стойности на електрическото поле.
- Режимът от най-ниския ред ( $l = 1$ ,  $m = 0$ , наречен  $LP_{01}$  режим) има профил на интензитет, подобен на този на гаусов лъч.
- Като цяло светлината, въведена в многомодово влакно, ще възбуди суперпозиция от различни моди.

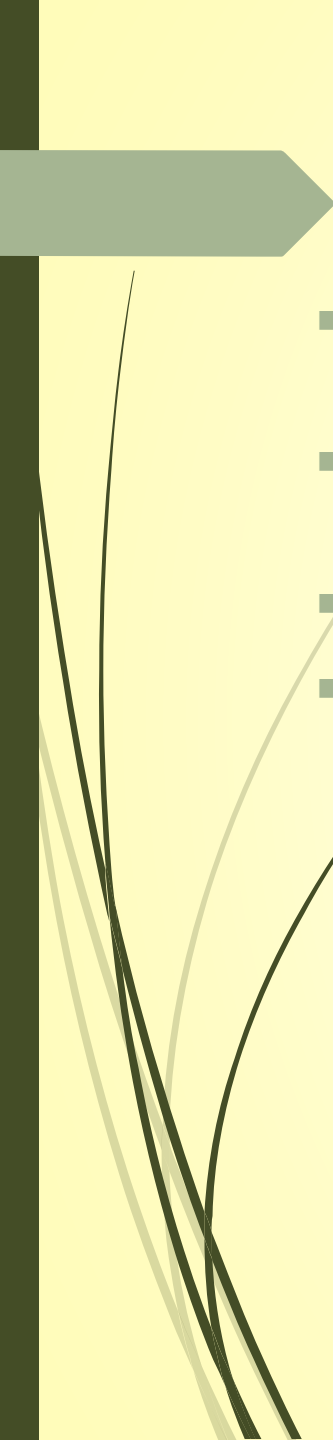
- 
- Всяко първоначално разпределение на полето, което може да се генерира в началото на вълновода, може да бъде разложено на линейна комбинация от разпределенията на полето на режимите на направлявания вълновод, плюс някаква функция, която не може да бъде изразена като такава комбинация.
  - Последната част съответства на светлина, която не може да бъде направлявана.
  - В зависимост от вида на вълновода, ненаправляваната светлина може да се разпространи в обвивката или да се отрази.
  - Разпространението на направляваната част се изчислява лесно, като се използва линейна комбинация от вълноводните режими с локални коефициенти, изчислени от константите на разпространение на режимите.

- 
- Вълновод с малко напречно пространствено сечение и / или малка разлика в показателя на пречупване (малка числена апертура) може да бъде в състояние да насочва само един напречен режим (за дадена оптична честота и поляризация) и без режими от по-висок ред.
  - Нарича се едномодов вълновод (→ едномодови влакна).
  - Тогава разпределението на полето след определено разстояние на разпространение винаги прилича на разпределението на полето с постоянен режим, независимо от първоначалното разпределение на полето, при условие, че неуправляваните режими са загубени (например в обвивката).
  - Многомодовите вълноводи са тези, които поддържат няколко или дори много направлявани режими (понякога много хиляди).



## Плазмонични вълноводи за нано оптика

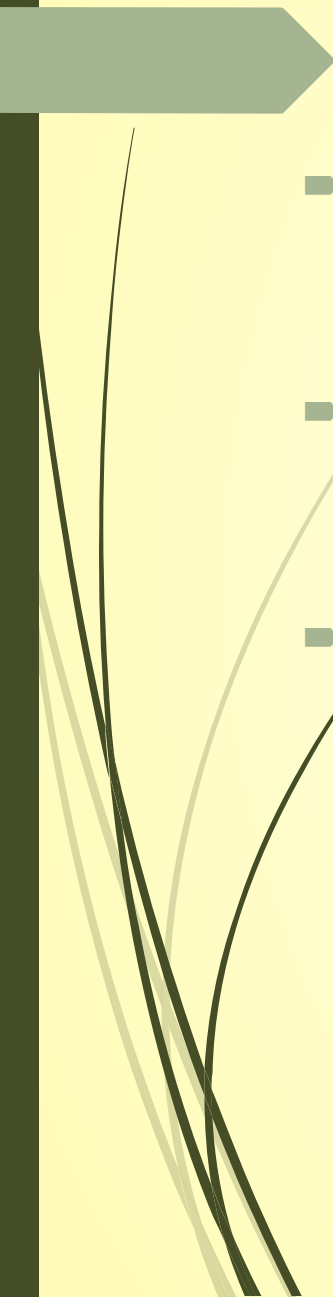
- За различни приложения, например в контекста на фотонните интегрални схеми, е от голям интерес силно да се локализира светлината във вълноводите до размери далеч под оптичната дължина на вълната.
- Тук диелектричните вълноводи показват сериозни ограничения.
- Например, въпреки че нано влакната могат да имат диаметър далеч под дължината на вълната, разпределението на електрическото поле на светлината, направлявано в нанометрови влакна, се простира далеч отвъд диелектричната структура.
- Следователно се изследват нови вълноводни технологии, базирани на други физически направляващи механизми.


- 
- Обещаващо е областта на наноплазмониката, където се използват метални структури от нанометрови мащаби, вградени в диелектрични материали.
  - По този начин е възможно да се получат много по-локализирани разпределения на полето, отколкото е възможно само с диелектрични структури.
  - Въпреки това загубите от разпространение обикновено са много високи.
  - Допълнителни предизвикателства са ефективно свързване на светлината в такива структури и реализиране на различни пасивни и активни фотонни компоненти като силни завои, съединители, филтри, усилватели и детектори.

## ► Приложения

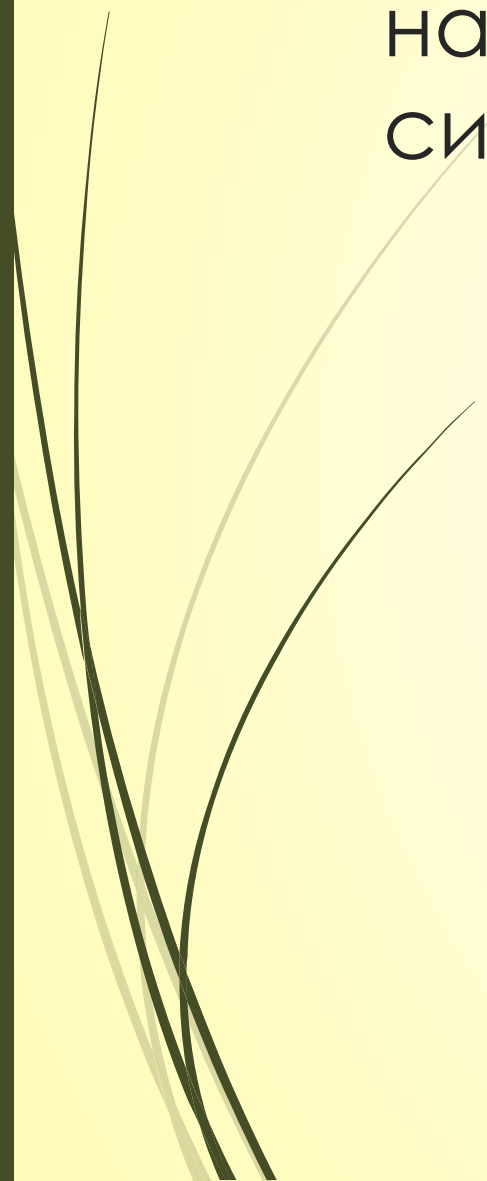
Приложенията на вълноводите са многобройни. Някои примери са:

- Оптичните влакна позволяват предаването на светлина на големи разстояния, напр. за комуникации с оптични влакна.
- На фотонни интегрални схеми, както се използва напр. в силициевата фотоника вълноводите насочват светлината между различни оптични компоненти.
- В бъдеще силициевите вълноводи на цифрови процесорни чипове и полимерните вълноводи в платките могат да се използват за бързо оптично предаване на данни между компонентите на компютрите.
- Някои вълноводи се използват за поддържане на високи оптични интензитети на значителни дължини, напр. в нелинейни устройства като удвоители на честота и комбинационни лазери.
- Активни (усилващи) вълноводи се използват във вълноводни лазери и усилватели. Важни примери са влакнести лазери и усилватели на влакна.

- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing to the right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of green and black sweep downwards and to the right, creating a dynamic, organic feel.
- Вълновод може да се използва за отстраняване на напречни режими от по-висок ред, като по този начин действа като почистващ режим.
  - В някои случаи се използва взаимодействие на направляваната светлина с материал, напр. в определени вълноводни сензори.
  - Вълноводи също могат да се използват за разделяне и комбиниране на светлинни лъчи, напр. в интегрирани оптични интерферометри.



Оптично лъчение в атмосферния канал  
на комуникационна оптоелектронна  
система





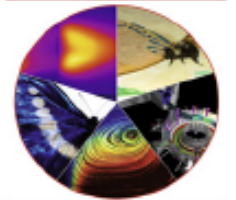
ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

## Optics and Laser Technology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/optlastec](http://www.elsevier.com/locate/optlastec)

Optics & Laser  
Technology



Review


### A review on channel models in free space optical communication systems

K. Anbarasi, C. Hemanth\*, R.G. Sangeetha

*School of Electronics Engineering, VIT University, Chennai, India*

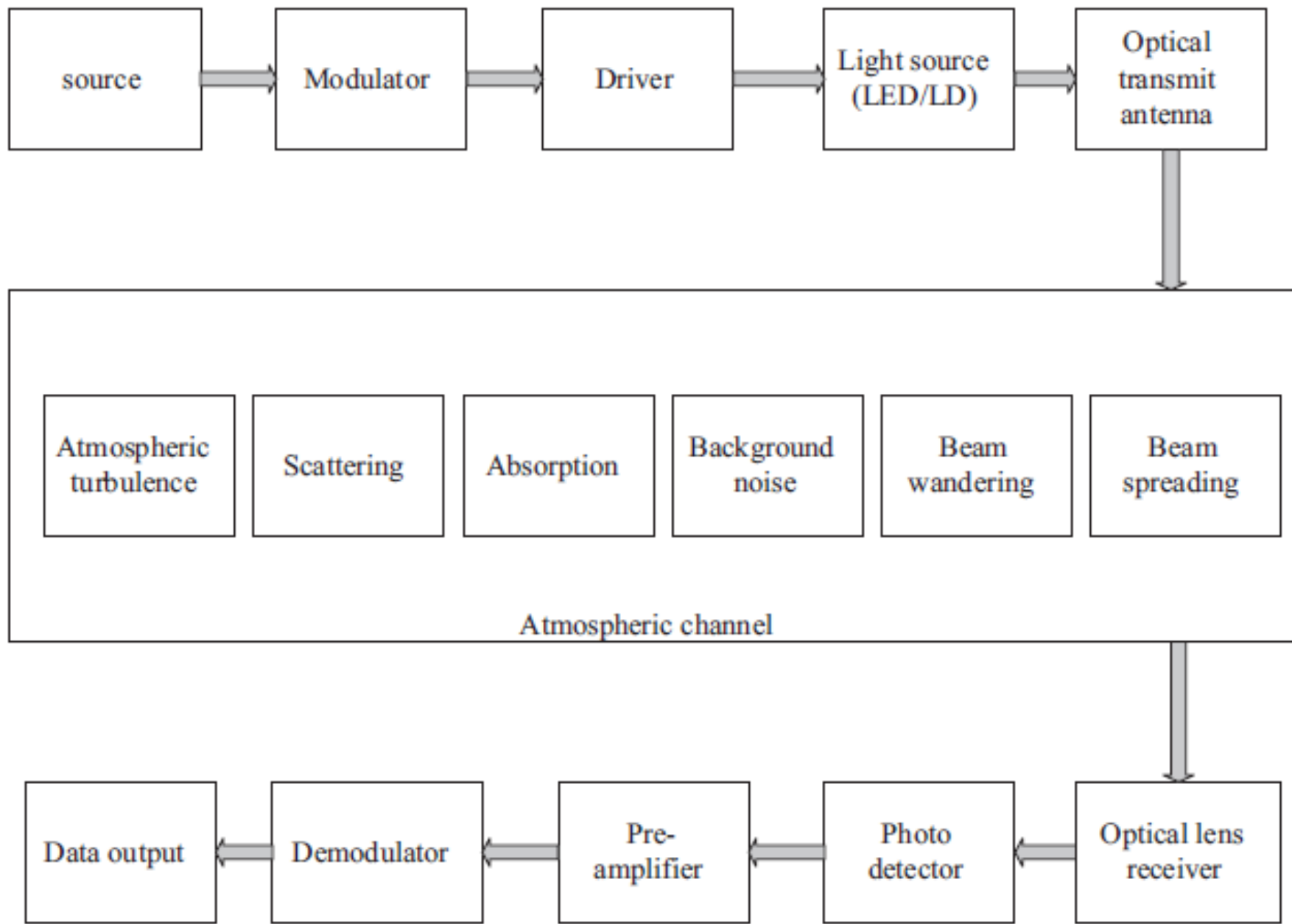




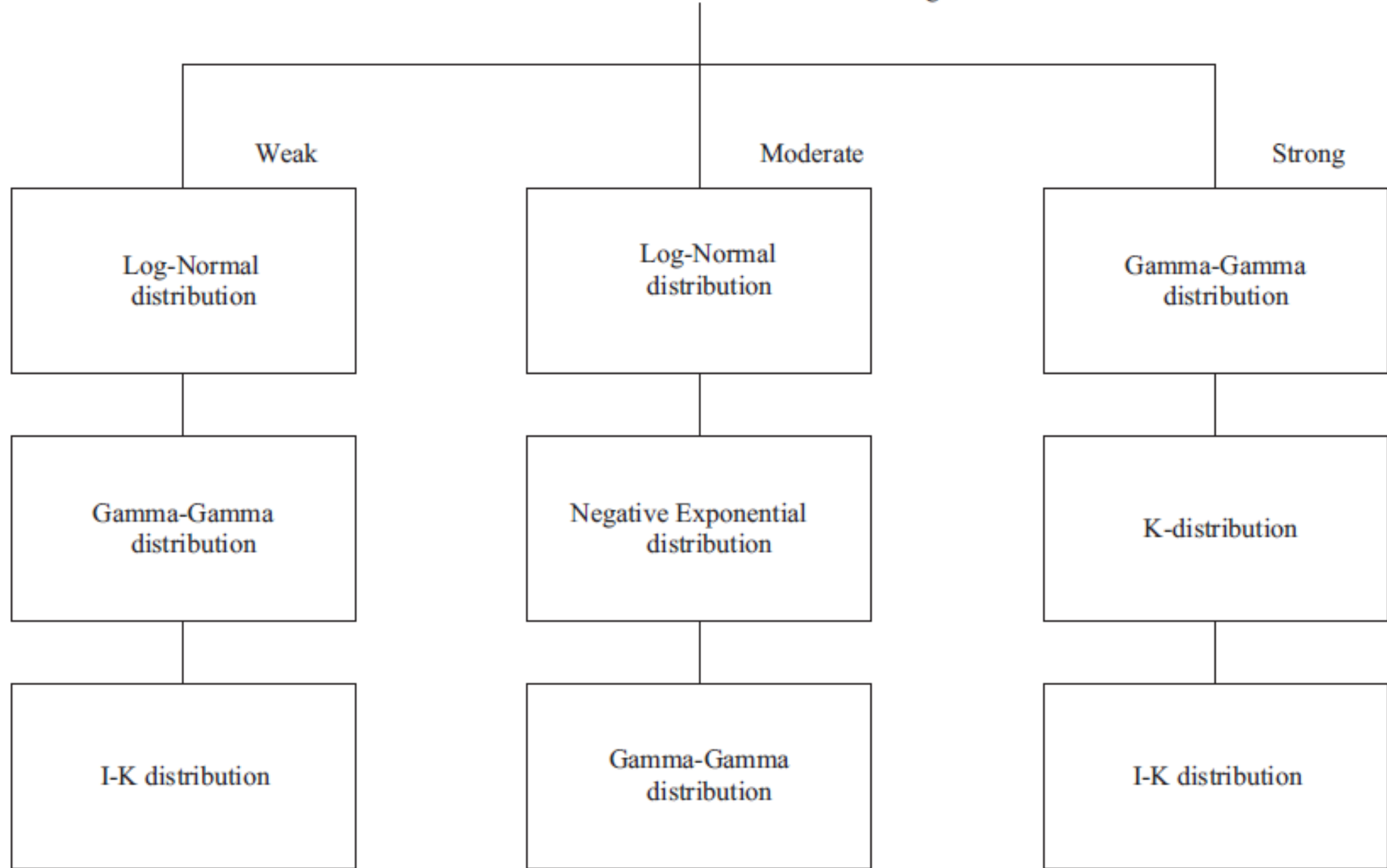


Free Space Optical communication (FSO) е безжична комуникационна технология, която използва светлина за предаване на данните в свободно пространство.

- FSO има предимства като нелицензиран спектър и по-висока честотна лента.
- FSO системите имат недостатъци и предизвикателства при различни модели канали.
- За смекчаване на ефектите на турбулентността във FSO се използват разнообразни техники.
- Във FSO се обсъждат различни техники на модулация, използвани в различни канали.



# Channel Classification based on turbulence strength



IG distribution

Exponentiated Weibull distribution

Double Generalized distribution

Double-Weibull distribution

Exponentiated Weibull distribution

Double Generalized distribution

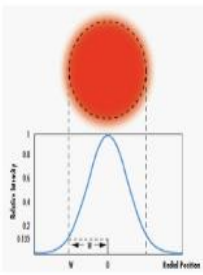
Double-Weibull distribution

Exponentiated Weibull distribution

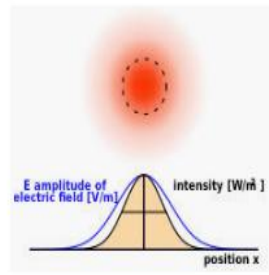
Double Generalized distribution

Лазерно лъчение, обусловено от еквифазно и гаусово амплитудно възбудена кръгова апертура – гаусов лазерен сноп

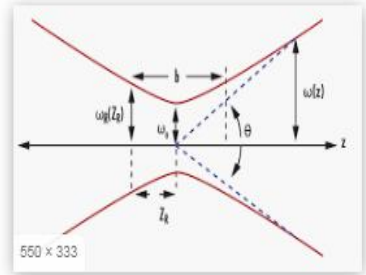
hermite focused flat top gauss depth focus spot size elliptical optics light bessel collimated



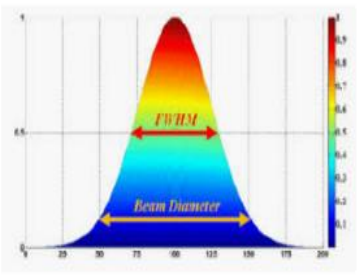
Gaussian Beam Propagatio... edmundoptics.com



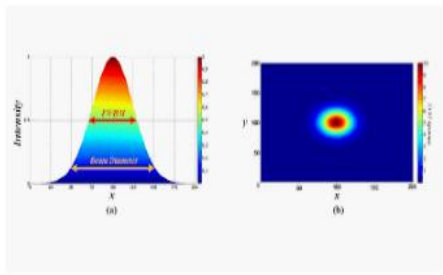
Gaussian beam - Wikipedia en.wikipedia.org



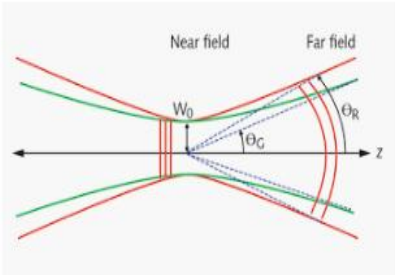
Gaussian Beams Calculator | Edmund Optics edmundoptics.com



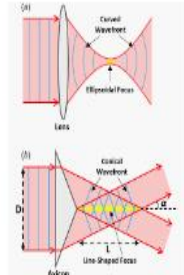
Gaussian beam - Wikipedia en.wikipedia.org



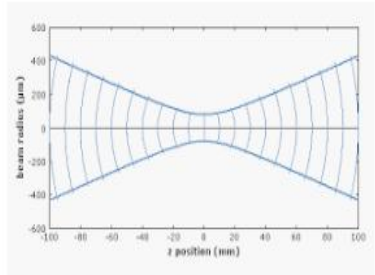
Gaussian Laser Beam.png - Wikimedia Commons commons.wikimedia.org



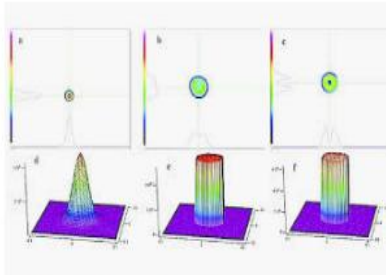
Beam propagation and quality factors: A... laserfocusworld.com



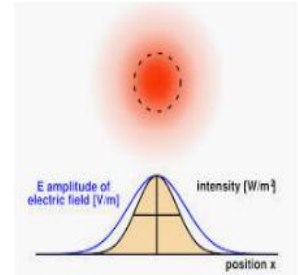
comparing Gaussian an... researchgate.net



Gaussian beams, laser beam... rp-photonics.com



Laser beam profile analysis by the CCD... researchgate.net



Gaussian beam enacademic.com



# Въведение

- През последните няколко десетилетия използването на лазерни лъчи придоби широко разпространение.
- Вече говорихме за приложението на лазерни източници във влакнестата оптика.
- Лазери се използват както в науката, така и в медицинските технологии, а също и за комуникации през свободното пространство.
- Целесъобразно да проучим свойствата на лазерните лъчи с някои детайли.
- Вече говорихме за явлениято кохерентност и споменахме, че светлинната енергия е ограничена в образуван тесен лъч.

# Коментар на наблюденията от лабораторните упражнения

- Въпреки че виждаме, че лъчът е колимиран, ние също наблюдавахме, че лъчът се разширява, докато се разпространява.
- Ще използваме оста  $z$  като посока на разпространение на лазерния лъч, оставяйки  $x$  и  $y$  осите за описание на напречното състояние.
- Плоска вълна, разпространяваща се по посоката  $z$  се представя от вълновата функция

$$\Psi(x, y, z, t) = Ae^{i(kz - \omega t)}$$

<https://www.colgate.edu/media/5371/download>  
72 страници

# Gaussian Beams

Enrique J. Galvez

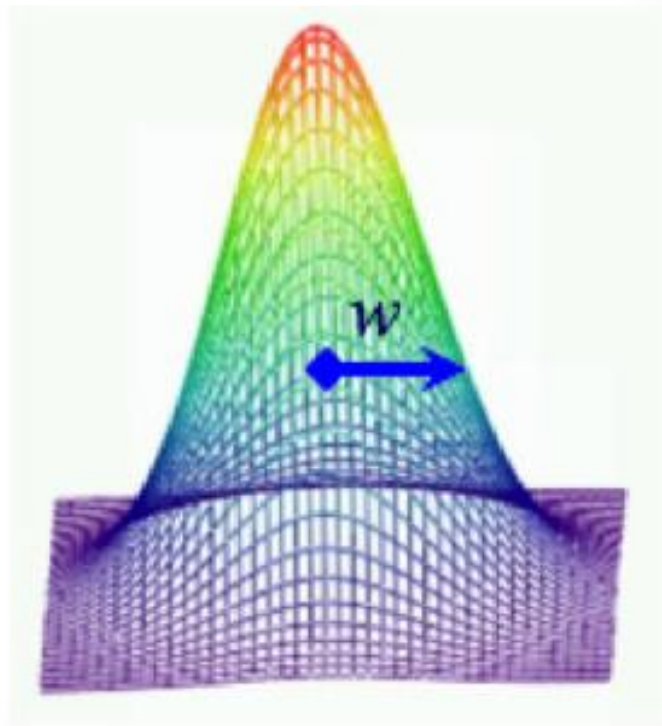
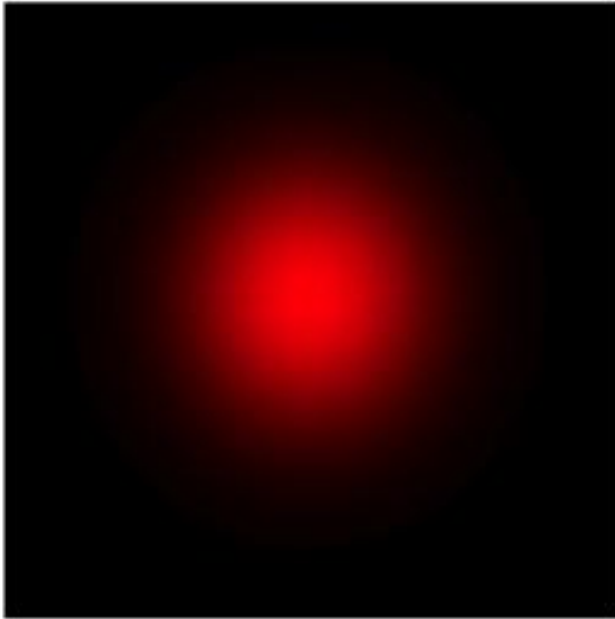
Department of Physics and Astronomy  
Colgate University

Copyright 2014

$$\Psi(x, y, z, t) = Ae^{i(kz - \omega t)}$$

- Амплитудата  $A$  е постоянна. Това уравнение не може да опише лазерен лъч тъй като амплитудата е безкрайно разширена в напречните посоки.
- По-подходяща амплитуда би била тази, която намалява за точки, отдалечени от оста  $z$ .
- Може да използваме
- Гаусовата функция:

$$A = A(x, y) = e^{-(x^2 + y^2)/w^2}$$



- Разширяването снопа може да се отчита от петното, което се увеличава със  $z$ , въпреки че точната зависимост тепърва ще се определя.
- Ако лъчът се разширява тогава вълновият му фронт трябва да има сферична форма.
- Това е така, защото вълната винаги се разпространява в посока, перпендикулярна на вълноия фронт.
- Вълновия фронт се определя като повърхността, която съдържа всички точки с една и съща фаза.

- Сферичния фронт не се описва добре с  $e^{ikz}$
- Затова се използва

$$e^{ikr},$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

- Ако  $x \ll z$  и  $y \ll z$ , то горният израз може да се апроксимира

$$r = z \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{z^2} + 1} \simeq z \left( 1 + \frac{x^2 + y^2}{2z^2} \right)$$



- Използвайки горните апроксимации можем да запишем

$$\Psi(x, y, z) \sim e^{-(x^2+y^2)/w^2} e^{i(kz-\omega t)} e^{ik(x^2+y^2)/2z}$$

- Първият термин съдържа гаусовия елемент, вторият множител определя еднопосочното вълново разпространение, а третият множител отчита кривината на фронта.

# Решение на вълновото уравнение

$$\nabla^2 \Psi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}$$

$$\Psi(x, y, z, t) = U(x, y, z)e^{-i\omega t}$$

*Helmholtz equation:*

$$\nabla^2 U + k^2 U = 0$$

■ ■ ■ ■

$$U_0(x, y, z) = A e^{\frac{ik(x^2+y^2)}{2q(z)}} e^{ip(z)}$$

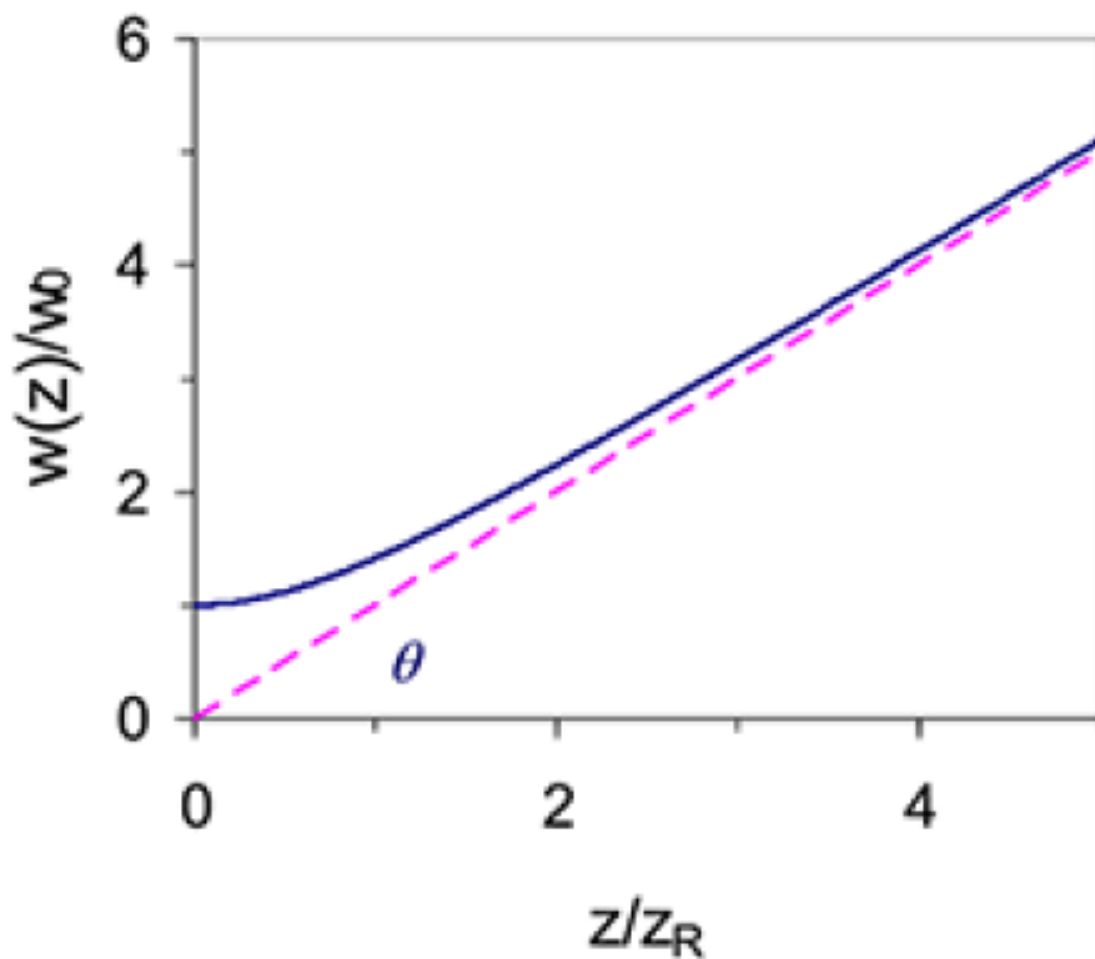
$$q(z) = z - iz_R \quad z_R \text{ константа (Релей)}$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_R^2}}$$

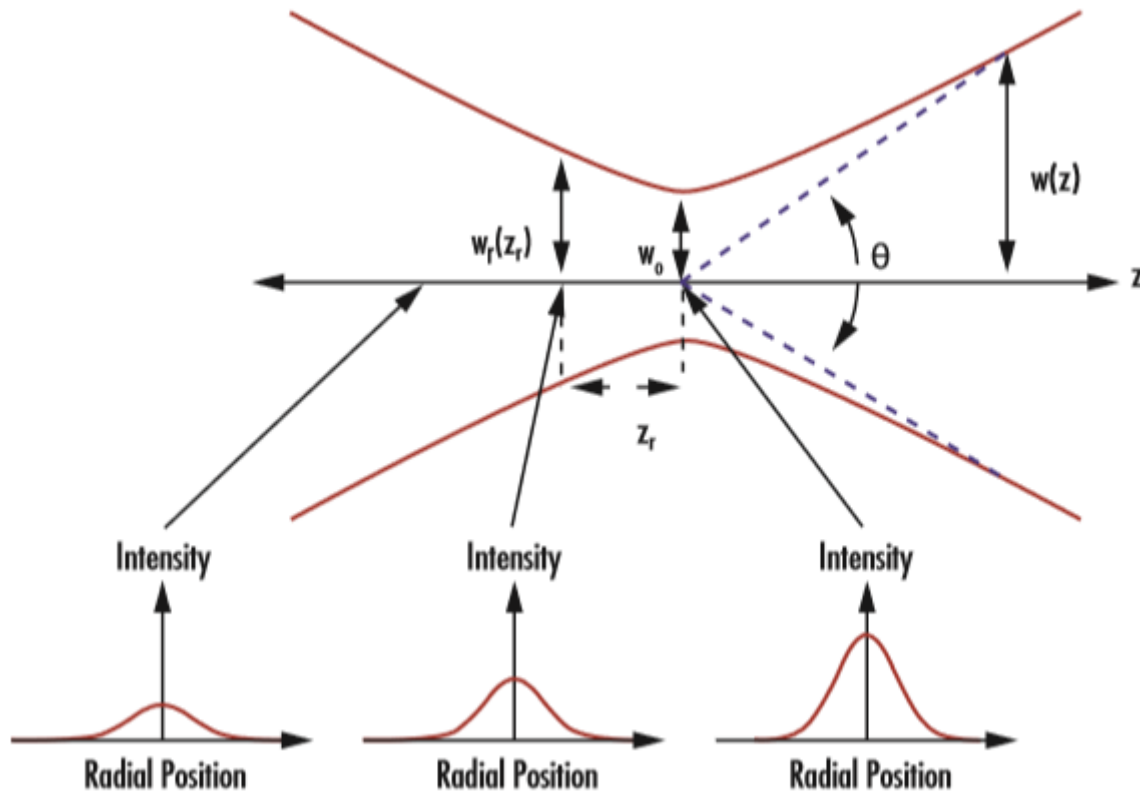
$$w_0 = \sqrt{\frac{z_R \lambda}{\pi}} \quad e^{ip(z)} = \frac{w_0}{w(z)} e^{-i\varphi(z)}$$

$$\Psi(x, y, z, t) = A \frac{w_0}{w(z)} e^{-\frac{x^2+y^2}{w(z)^2}} e^{i(kz-\omega t)} e^{\frac{ik(x^2+y^2)}{2R(z)}} e^{-i\varphi(z)}$$

Размери на петното във функция от разстоянието (нормирани)



<https://www.edmundoptics.eu/knowledge-center/application-notes/lasers/gaussian-beam-propagation/>





# Други връзки с варианти на обяснения на Гаусов лазерен сноп

- <https://www.newport.com/n/gaussian-beam-optics>
- [\*Anthony E. Siegman\*](#) Lasers (Revised)

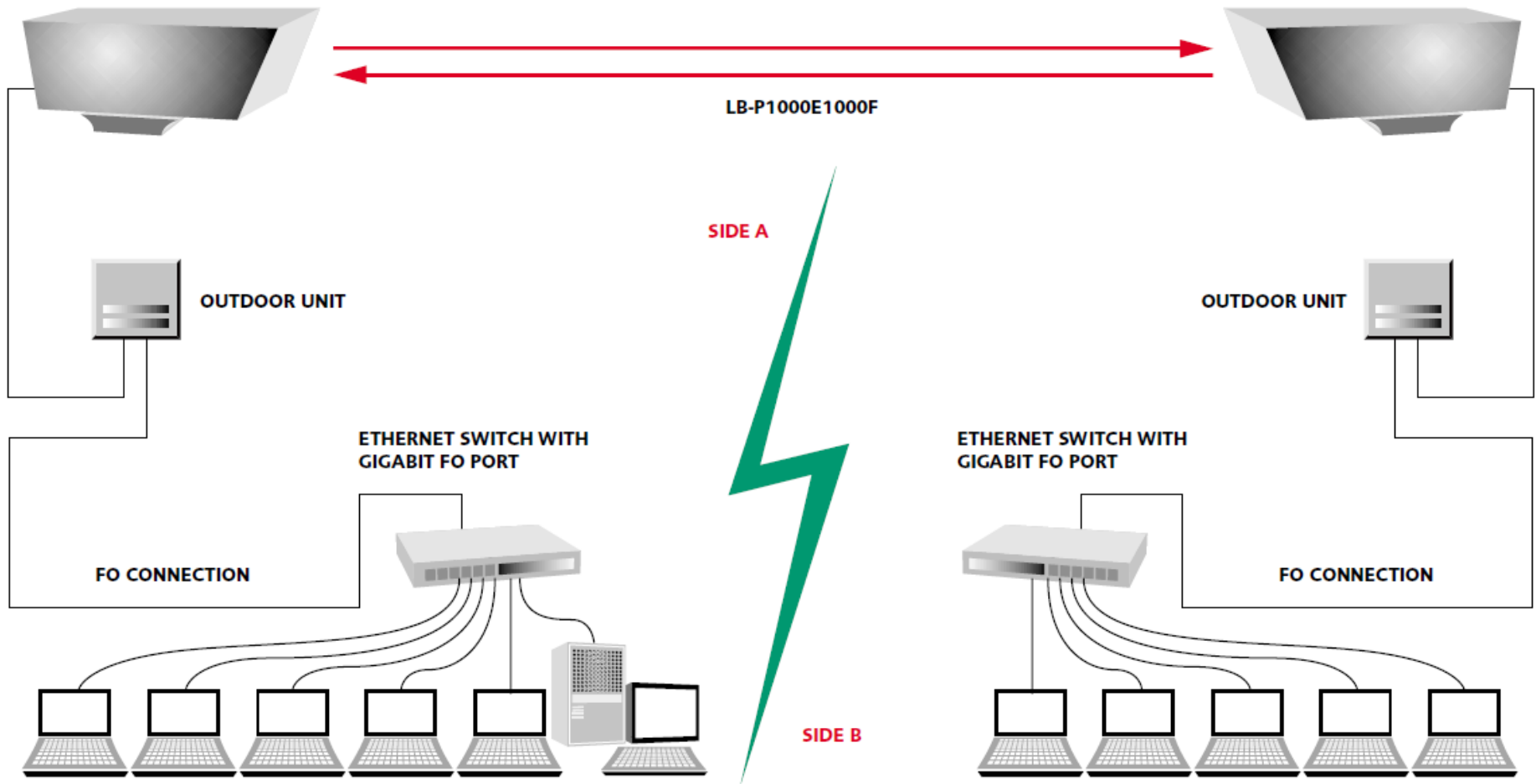
This is both a textbook and general reference on the subject of laser theory and basic laser principles. The book gives a detailed accurate treatment of laser physics which does not require a background in quantum mechanics. Categories: [Physics](#),  
Year:1986

1310 страници

# Free Space Optics

## Оптични безжични комуникационни системи





## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Light source	Laser Diode
Laser diode power	4 x 25 mW
Detector	APD Photodiode
Dynamic range	>30 dB
Bandwidth	1.25 Gbps
BER	< 10 <sup>-9</sup>
System latency	< 50 ns

## DATA IN / OUT

Gigapico Ethernet	MM fiber SX interface at 850 nm with SC connectors (SM LX optional)
-------------------	---

## PHYSICAL CHARACTERISTICS

Head Housing	Aluminium & Stainless steel
Weight	24 kg
Dimensions (with cover and Alignment Unit, mm)	560 x 362 x 338

## ENVIRONMENT

Operating temperature	- 25 to + 60 °C
Storage temperature	- 40 to + 80 °C
Humidity	95% non condensing
Protection rating	IP65 for Head Unit, IP20 for Alignment Unit

## POWER

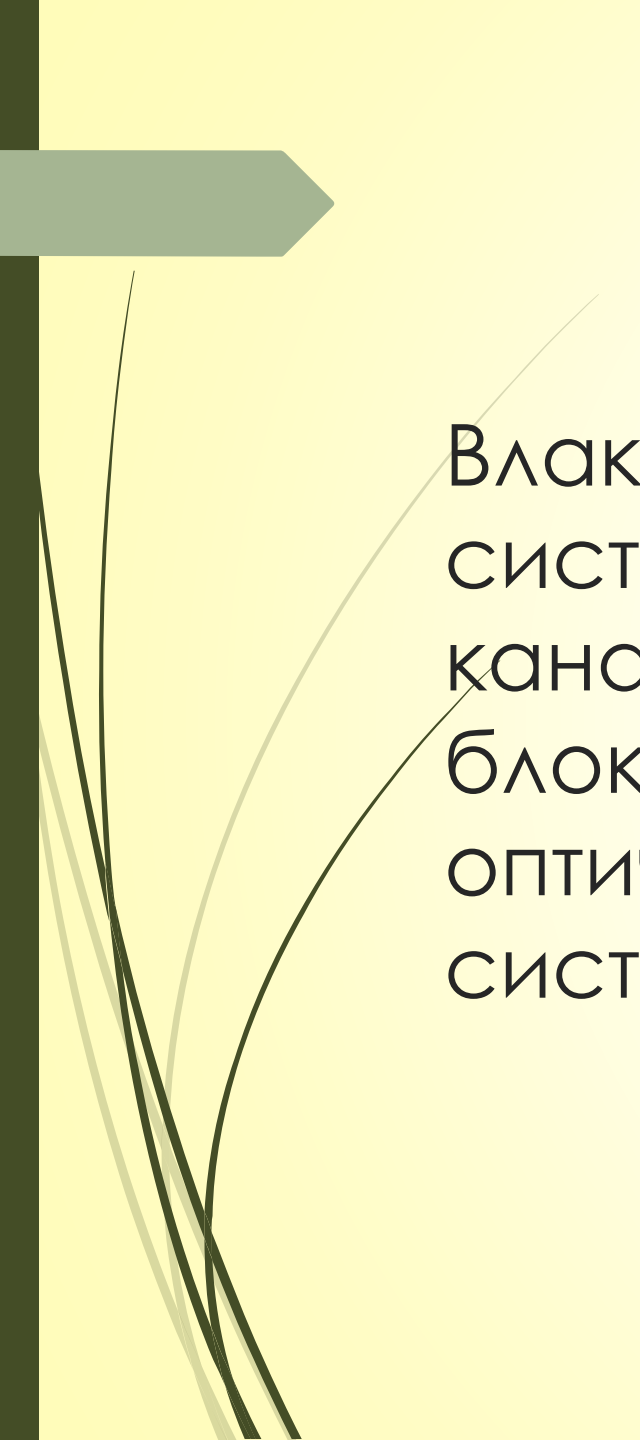
Power required	230 VAC, 50/60 Hz
Power to head	VDC optional: 2x12 VDC, 2A

## OPTICAL CHARACTERISTICS

Wavelength	785 nm
Beam divergence	0.5 - 15 mrad
Receiver acceptance angle	8.5 mrad



# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ

A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and grey extending downwards from the arrow's base.

Влакнесто-оптични комуникационни системи, видове уплътняване на каналите, модулационни формати, блокова структура на световодна и на оптична безжична комуникационни системи, кохерентни оптични системи.





fiber optic communication systems coherent



Книги

Преглед на извадката

Добавяне в моята библиотека

Напишете рецензия



СДОБИЙТЕ СЕ С ПЕЧАТНАТА КНИГА

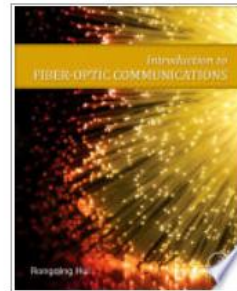
Няма налична електронна книга

[Elsevier.com](#)

[Намерете в библиотека](#)  
[Всички книгопродавци »](#)

- ▶ [Моята библиотека](#)
- ▶ [Моята история](#)
- [Книги в Google Play](#)

## Introduction to Fiber-Optic Communications



[Rongqing Hui](#)

Elsevier, 15.09.2019 г. - 512 страници

★★★★★

[0 Рецензии](#)

*Introduction to Fiber-Optic Communications* provides students with the most up-to-date, comprehensive coverage of modern optical fiber communications and applications, striking a fine balance between theory and practice that avoids excessive mathematics and derivations. Unlike other textbooks

[Още »](#)

Търсене между кориците

[Визуализация »](#)

Какво казват хората - [Напишете рецензия](#)

Не намерихме рецензии на обичайните места.

Избрани страници



Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

(993) Technical University - Sof X Fiber-Optic Communication Sy X

https://books.google.bg/ft 130% open window

Google fiber optic communication systems 4 th

КНИГИ Преглед на извадката Добавяне в моята библиотека Напишете рецензия

**СДОБИЙТЕ СЕ С ПЕЧАТНАТА КНИГА**

Няма налична електронна книга

[Wiley.com](#)

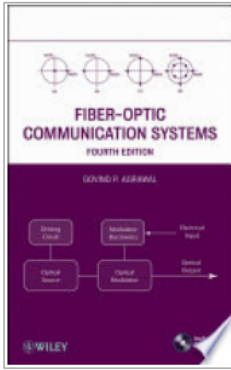
[Намерете в библиотеката](#)  
[Всички книгопродавци »](#)

- ▶ Моята библиотека
- ▶ Моята история

Книги в Google Play

## Fiber-Optic Communication Systems

Govind P. Agrawal  
John Wiley & Sons, 23.02.2012 г. - 626 страници  
★★★★★  
2 Рецензии



This book provides a comprehensive account of fiber-optic communication systems. The 3rd edition of this book is used worldwide as a textbook in many universities. This 4th edition incorporates recent advances that have occurred, in particular two new chapters. One deals with the advanced

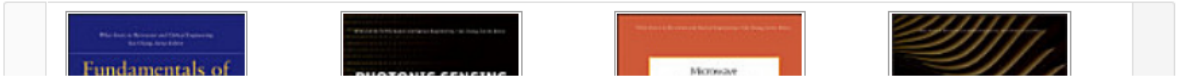
[Още »](#)

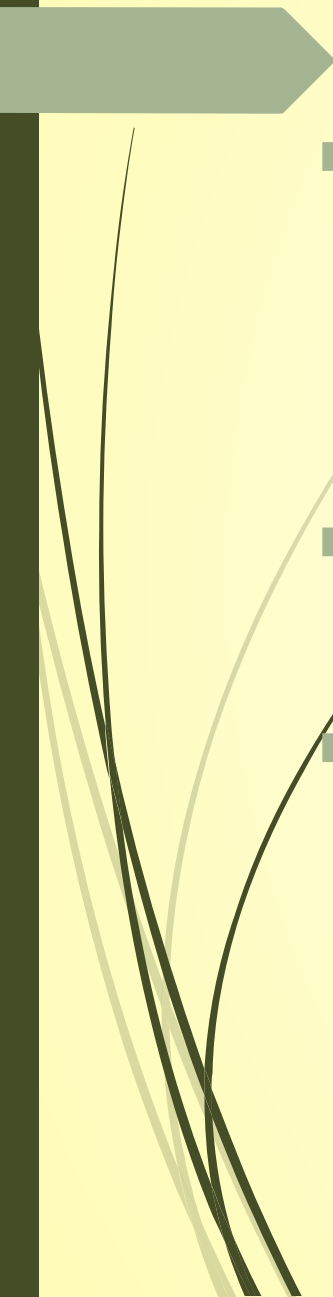
[Визуализация »](#)


### Какво казват хората - [Напишете рецензия](#)

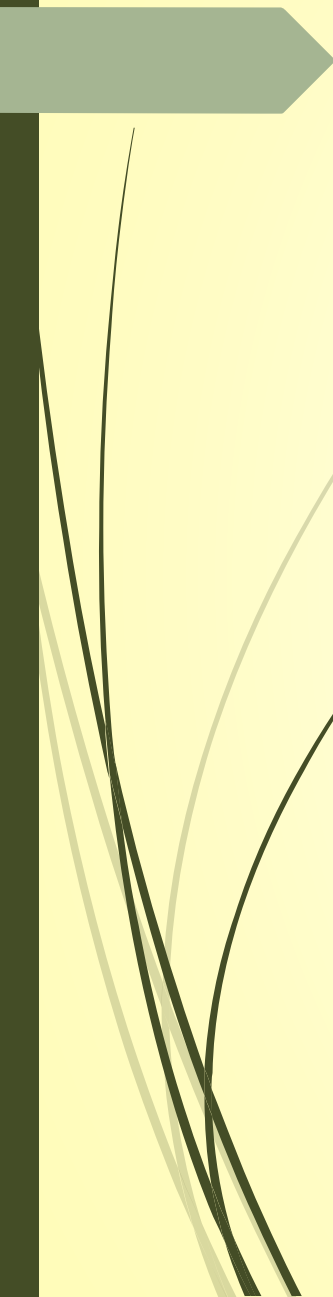
Не намерихме рецензии на обичайните места.

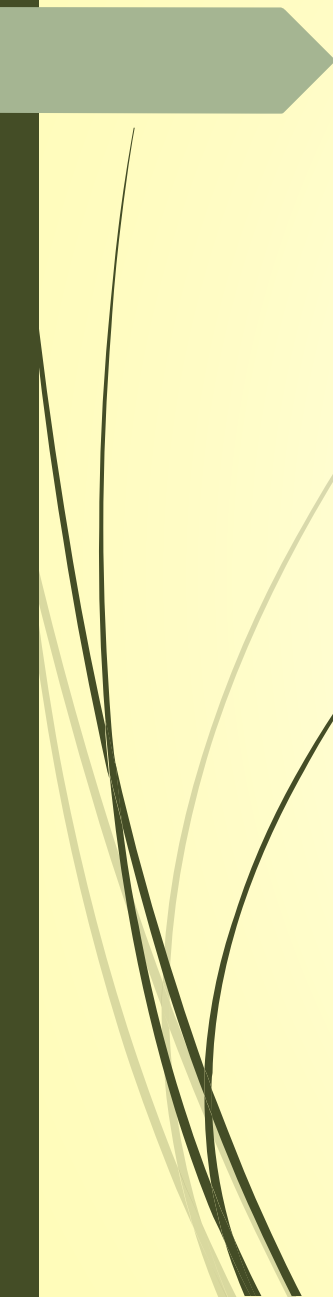
### Сродни книги



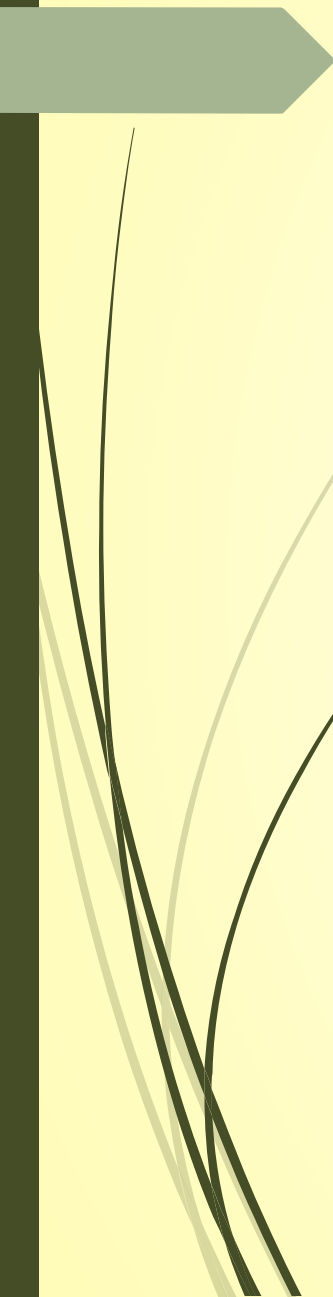
- 
- Във всяка комуникационна система информацията, която трябва да се предаде, обикновено е достъпна като електрически сигнал, който може да приеме аналогова или цифрова форма.
  - В аналоговия случай, сигнал (напр. електрически ток) варира непрекъснато във времето.
  - Познати примери включват аудио и видео сигнали, възникващи когато микрофонът преобразува глас или видеокамерата преобразува изображението в електрически сигнал.

- 
- Цифровият сигнал приема само няколко дискретни стойности.
  - В двоичната представяне на цифров сигнал са възможни само две стойности. Най-простият случай на а двоичен цифров сигнал е този, при който електрическият ток е включен или изключен.
  - Тези две възможности се наричат "бит 1" и "бит 0". Всеки бит продължава за определен период от време.
  - Известен пример за цифрови сигнали са компютърните данни.

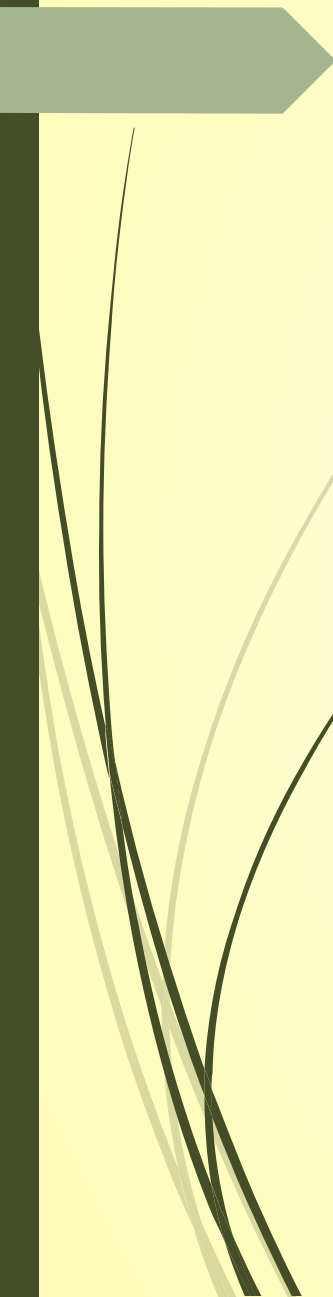
- 
- За да се използва пълноценно капацитета на системата, е необходимо да се предават много канали едновременно чрез мултиплексиране.
  - Това може да се постигне чрез разделяне на времето мултиплексиране (TDM) или честотно разделяне (FDM).
  - TDM и FDM могат да бъдат внедрени както в електрическата, така и в оптичната област; оптични FDM често се нарича WDM.
  - Концепцията за TDM е използвана за формиране на цифрови йерархии.

- 
- Първата стъпка в проектирането на оптична комуникационна система е да се реши как електрическият сигнал ще се преобразува в оптичен битов поток.
  - Обикновено изходът на оптичен източник като полупроводников лазер се модулира чрез прилагане на електрическото сигнал или директно към оптичния източник, или към външен модулатор.

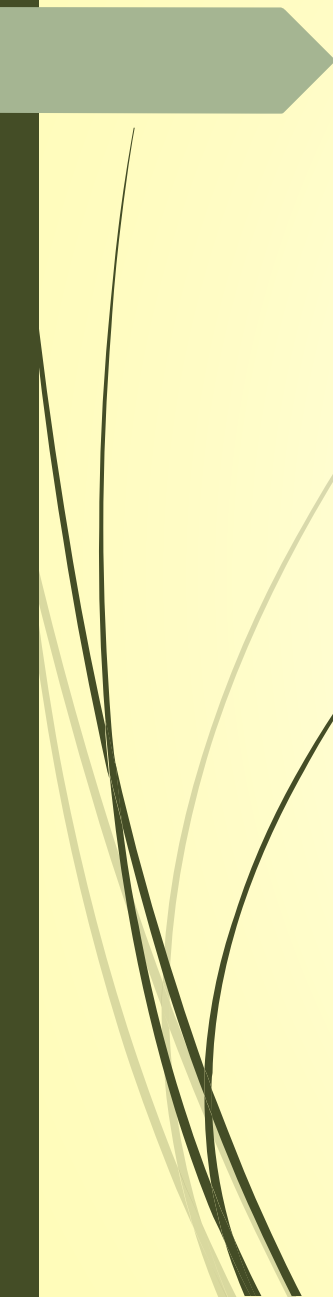


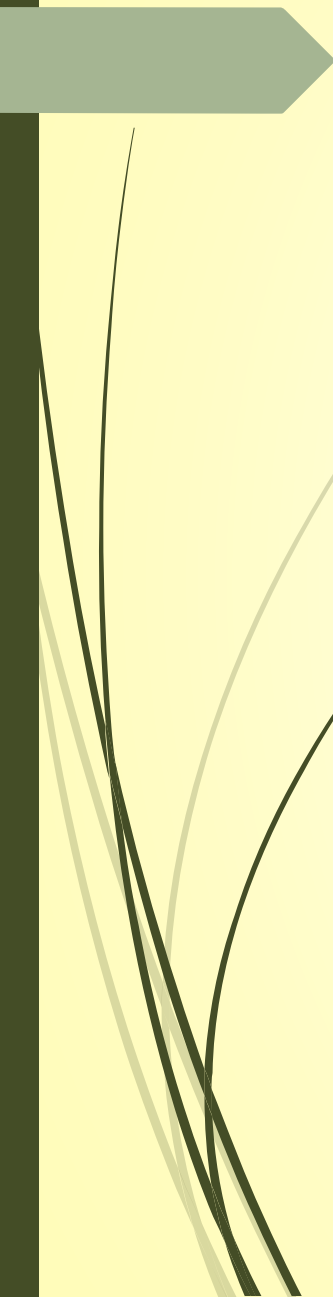
- 
- Във формата RZ всеки оптичен импулс, представляващ бит 1, е по-кратък от битовия слот и амплитудата му се връща към нула, преди да изтече продължителността на бита.
  - Във формата NRZ, оптичният импулс остава включен през битовия слот и амплитудата му не спада до нула между два или повече последователни 1 бита. В резултат на това широчината на импулса варира в зависимост от това върху битовия модел, докато той остава същият в случая на RZ формат.

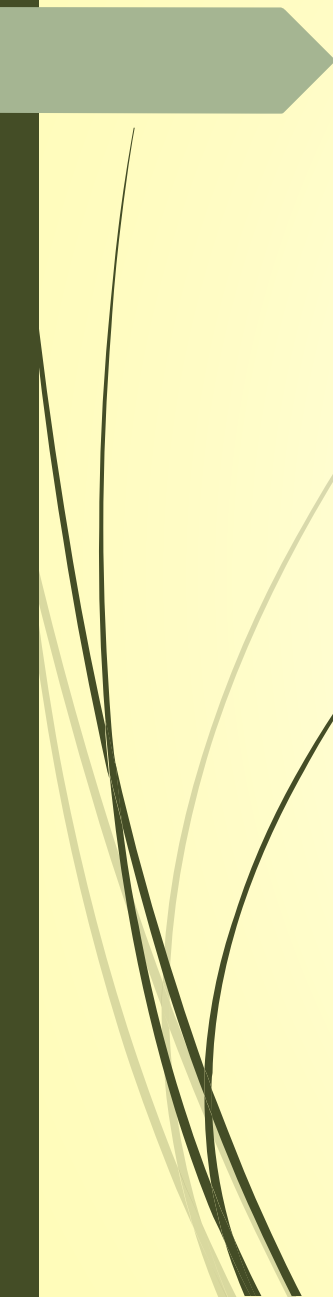
- [https://www.google.com/search?q=rz+vs+nrz&client=firefox-b-d&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjJiPPZ-unsAhVLIosKHfY7DLUQ\\_AUoAXoECBQQAw&biw=1280&bih=912](https://www.google.com/search?q=rz+vs+nrz&client=firefox-b-d&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjJiPPZ-unsAhVLIosKHfY7DLUQ_AUoAXoECBQQAw&biw=1280&bih=912)
- [https://www.google.com/search?q=fiber+optic+system+block+diagram&tbm=isch&ved=2ahUKewiNuorq-unsAhUJ4aQKHfR\\_BG0Q2-cCegQIABAA&oq=fiber+optic+system+block+diagram&gs\\_lcp=CgNpbWcQAziGCAAQCBAeOgIIADoFCAAQsQM6CAgAELEDEIMBOgQIABBDOgQIABAAeOgQIABATOggIABAIEB4QEzoGCAAQHhATULfIDFjekA1gw5MNaABwAHgBgAGRAogBth6SAQYwLjMxLjGYAQCgAQGqAQtnnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=Ci6jX42NConCkwX0\\_5HoBg&bih=912&biw=1280&client=firefox-b-d](https://www.google.com/search?q=fiber+optic+system+block+diagram&tbm=isch&ved=2ahUKewiNuorq-unsAhUJ4aQKHfR_BG0Q2-cCegQIABAA&oq=fiber+optic+system+block+diagram&gs_lcp=CgNpbWcQAziGCAAQCBAeOgIIADoFCAAQsQM6CAgAELEDEIMBOgQIABBDOgQIABAAeOgQIABATOggIABAIEB4QEzoGCAAQHhATULfIDFjekA1gw5MNaABwAHgBgAGRAogBth6SAQYwLjMxLjGYAQCgAQGqAQtnnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=Ci6jX42NConCkwX0_5HoBg&bih=912&biw=1280&client=firefox-b-d)



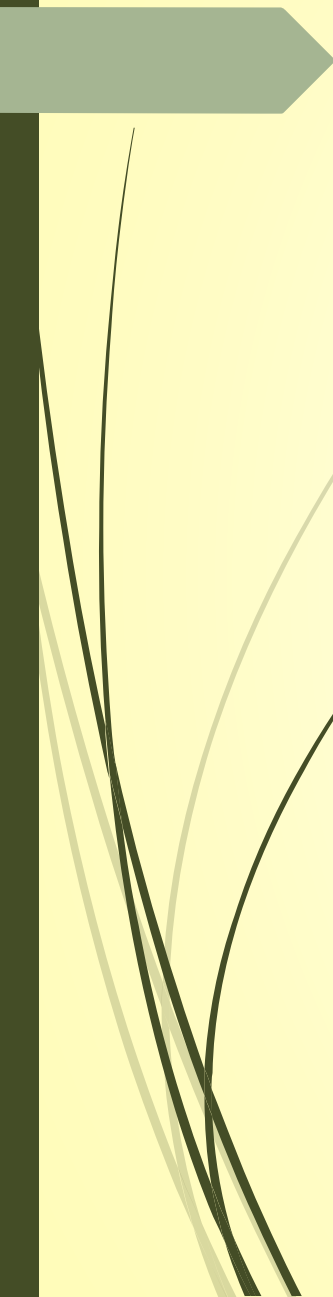
➤ [https://www.google.com/search?q=free+space+optic+system+block+diagram&tbm=isch&ved=2ahUKEwjD2r\\_R--nsAhUltqQKHe3wCI4Q2-cCegQIABAA&oq=free+space+optic+system+block+diagram&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoICAAQCBAHEB5QxdICWL\\_oAmDg6QJoAHAAeACAAAbMBiAGHCpIBAzEuOZgBAKABAAoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=4y6jX4PdAojskgXt4avwBQ&bih=912&biw=1280&client=firefox-b-d](https://www.google.com/search?q=free+space+optic+system+block+diagram&tbm=isch&ved=2ahUKEwjD2r_R--nsAhUltqQKHe3wCI4Q2-cCegQIABAA&oq=free+space+optic+system+block+diagram&gs_lcp=CgNpbWcQAzoICAAQCBAHEB5QxdICWL_oAmDg6QJoAHAAeACAAAbMBiAGHCpIBAzEuOZgBAKABAAoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=4y6jX4PdAojskgXt4avwBQ&bih=912&biw=1280&client=firefox-b-d)

- 
- Добре известно е, че оптичното поле се състои от амплитуда, честота, фаза и състоянието на поляризация (SOP).
  - Теоретично всички те и техните комбинации могат да бъдат кодирани, за да носят информация в оптична комуникационна система.
  - Тъй като фототоокът на фотодиод в оптичен приемник е пропорционален към интензивността на получения оптичен сигнал, модулация на интензитета и директно откриване (IMDD) осигурява най-простия механизъм за оптична комуникация, при който се носи информация само от интензивността на оптичния носител.

- 
- Мултиплексирането по дължината на вълната (WDM) използва оптично носещи с различни честоти, а интензивността на всяка оптична носеща носи независима информация канал, така че да могат да бъдат разпознати отделно в приемника след оптично филтриране през демултиплексор с деление на дължината на вълната.
  - Във WDM система, въпреки че се използва оптична честота, тя е за мултиплексиране вместо кодиране на данни.

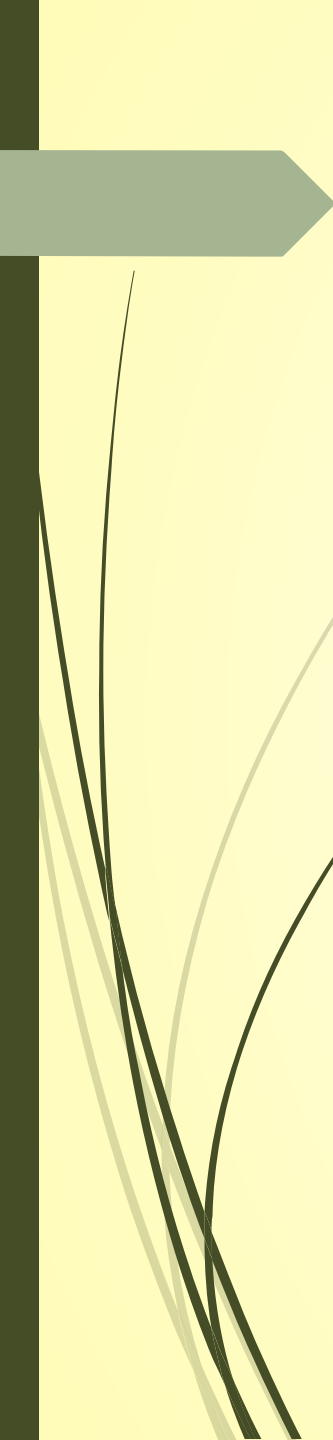
- 
- Кохерентните оптични комуникационни системи са проектирани да правят пълноценно използване на информационния капацитет, осигурен от сложното оптично поле.
  - Възможността за кодиране на информация върху амплитудата, честотата и фазата на оптичния носител в предавателя и способността за откриване на сложното оптично поле на сигнала са необходими за изграждането на кохерентна оптична система.

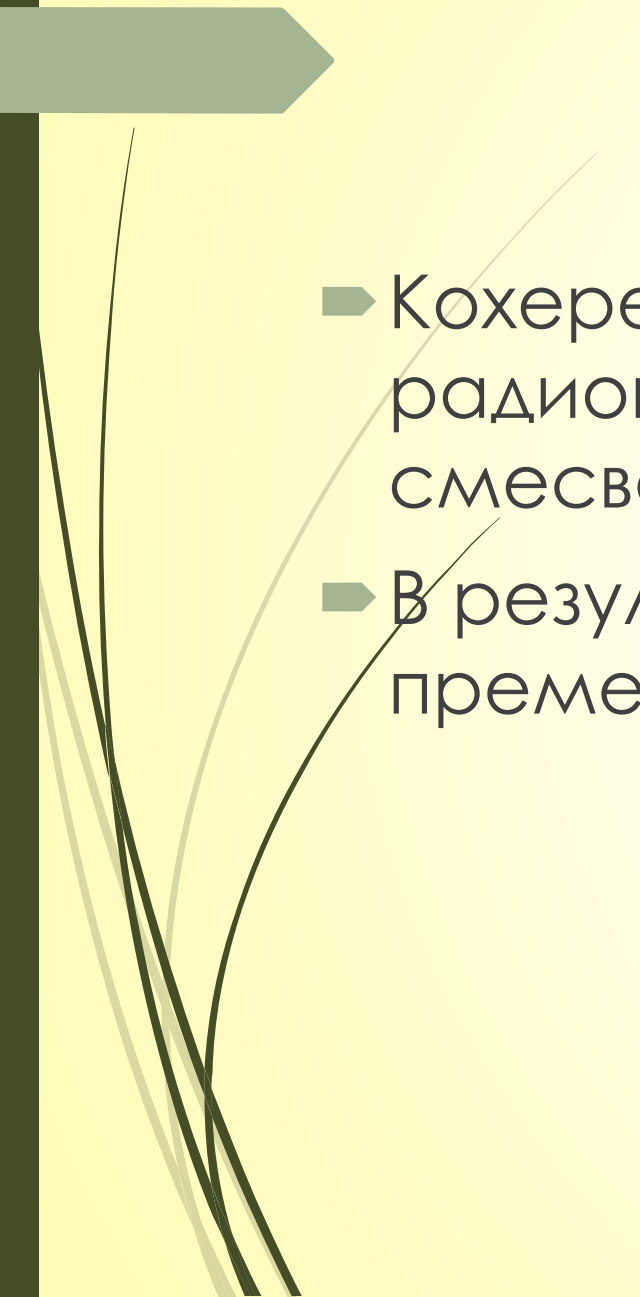


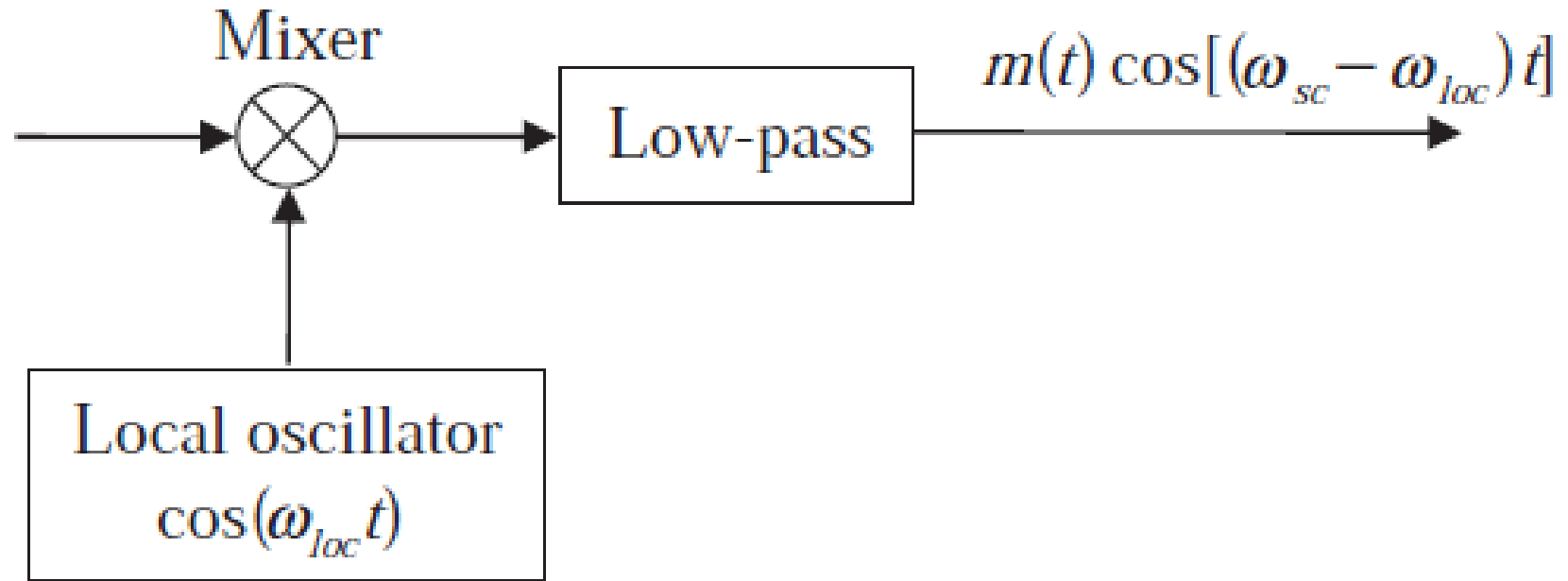
- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and black extending downwards from its base.
- Амплитудата и фазата на оптичната носеща се модулират едновременно.
  - По-ефективен начин за кодиране информацията върху сложното оптично поле е да се използват външни електрооптични модулатори.

- Кохерентното детектиране обикновено използва оптичен локален осцилатор (LO), който предоставя отправна точка (reference) за оптичната честота и фаза.
- Смесването между LO и получения оптичен сигнал при фотодиода позволява определяне на амплитудната и фазовата информация, носена от получения оптичен сигнал.
- Освен това, тъй като оптичната мощност на LO е много по-силна от получения оптичен сигнал, той ефективно усилва слабия оптичен сигнал в процеса на смесване и осигурява значително подобрене чувствителност на откриване в сравнение с директно откриване.
- В кохерентния процес на детектиране чрез смесване с LO, оптичният спектър на сигнала се преобразува линейно надолу и в електричество, така че електрическата обработката на сигнала може да се използва за компенсиране на влияния при предаването като хроматична дисперсия на оптичното влакно.

- Техниката на кохерентно откриване е изследвана широко през 80-те години на миналия век, предимно за целите на подобряване на чувствителността на приемника в оптичните комуникационни системи.
- Въвеждането на усилватели с влакна, легиран с ербий (EDFA) в началото на 90-те, направи кохерентното откриване по-малко привлекателно, главно по две причини: (1) EDFA осигурява достатъчно оптично усилване без изискването на скъп лазерен LO с нисък фазов шум в приемника и (2) EDFA е независим от поляризацията, и има широка честотна лента за усилване, за да поддържа многоканални WDM оптични системи.

- 
- През последните години технологичният напредък доведе до появата на лазерни диоди с регулируема дължина на вълната, тясна спектрална ширина, ниска цена, малък размер и достатъчна надеждност, подходящи за телекомуникации.
  - Изследванията и разработките на кохерентни системи отново са актуални.
  - Целта е да се увеличат значително скоростта на предаване, гъвкавостта на мултиплексиране и да е възможна компенсация на различни нарушения при предаването.

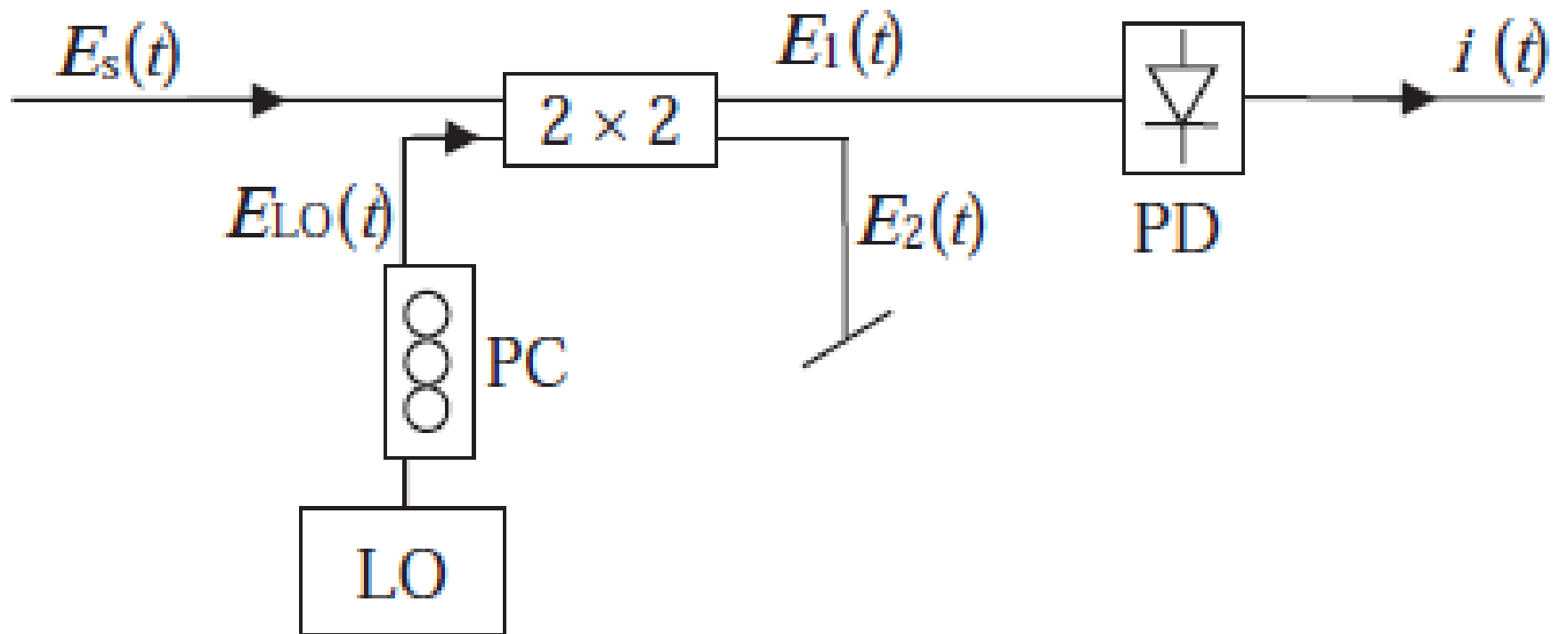
- 
- A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, with several thin, curved lines in shades of green and black extending downwards from its base.
- Кохерентното детектиране произхожда от радиокомуникациите, където локалният генератор се смесва с получения сигнал.
  - В резултат на това, получения RF сигнал може да бъде преместван по честота и демодулиран.



$$m(t) \cos(\omega_{sc} t) \times \cos(\omega_{loc} t) = \frac{m(t)}{2} \{ \cos[(\omega_{sc} + \omega_{loc}) t] + \cos[(\omega_{sc} - \omega_{loc}) t] \}$$



- Кохерентното детектиране в оптични системи е със сходен основен принцип.
- Честотата е с много порядъци по-висока от радиочестотите; изискването от компонентите и конфигурациите на веригите е доста различно.
- В оптичен кохерентен приемник, смесването между получения оптичен сигнал и оптичния LO се извършва във фотодиод.
- Входният оптичен сигнал и оптичният LO се комбинират в оптичен съединител.
- Оптичният съединител може да бъде направен от полупрозрачно огледало или от влакнесто насочен съединител.
- PC – polarization controller, за съгласуване



- Смесването между сигнала и LO във фотодиода преобразува модулирания оптичен сигнал в фототок.

$$\vec{E}_s(t) = \vec{A}_s(t) \exp[-j(\omega_s t + \varphi_s(t))]$$

$$\vec{E}_{LO}(t) = \vec{A}_{LO} \exp[-j(\omega_{LO} t + \varphi_{LO})]$$

Предавателната функция за 2x2 оптичен съединител

$$\begin{bmatrix} \vec{E}_1 \\ \vec{E}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{1-\varepsilon} & j\sqrt{\varepsilon} \\ j\sqrt{\varepsilon} & \sqrt{1-\varepsilon} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}_s \\ \vec{E}_{LO} \end{bmatrix}$$

$\varepsilon$  - power-coupling coefficient

- Композитният оптичен сигнал на изхода на съединителя е

$$\vec{E}_1(t) = \sqrt{1 - \epsilon} \vec{E}_s(t) + j\sqrt{\epsilon} \vec{E}_{Lo}(t)$$

- При фотодиода фототокът е пропорционален на квадрата на композитното оптично поле, т.е.

$$i(t) = \mathfrak{R} \left| \vec{E}_1(t) \right|^2 \\ = \mathfrak{R} \left\{ (1 - \epsilon) |A_s(t)|^2 + \epsilon |A_{LO}|^2 + 2\sqrt{\epsilon(1 - \epsilon)} \vec{A}_s(t) \cdot \vec{A}_{LO} \cos(\omega_{IF}t + \Delta\varphi(t)) \right\}$$

$\mathfrak{R}$  - responsivity на фотодиода,  $\omega_{IF}$  разликата между честотата на сигнала и LO, междинна честота (IF),  $\Delta\varphi(t)$  фазова разлика. Пренебрегваме компонента със сума на честотите; филтрира се

- След приближения (LO няма шум променящ интензивността; мощността на LO е много по-голяма)

$$i(t) \approx 2\Re \sqrt{\epsilon(1-\epsilon)} \cos\theta \sqrt{P_s(t) \cdot P_{LO}} \cos(\omega_{IF}t + \Delta\varphi(t))$$

$\cos\theta$  results from the dot product of  $\vec{A}_s(t) \cdot \vec{A}_{LO}$

[https://en.wikipedia.org/wiki/Dot\\_product](https://en.wikipedia.org/wiki/Dot_product)

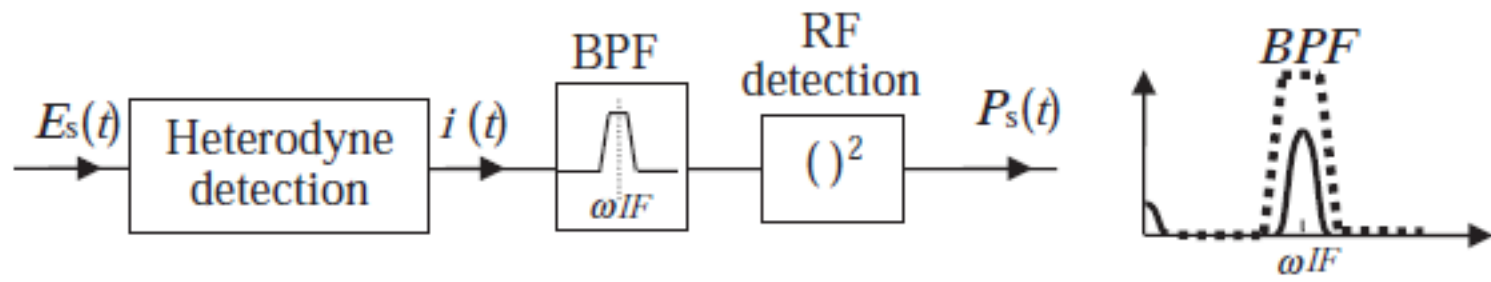


► При идеално съгласуване

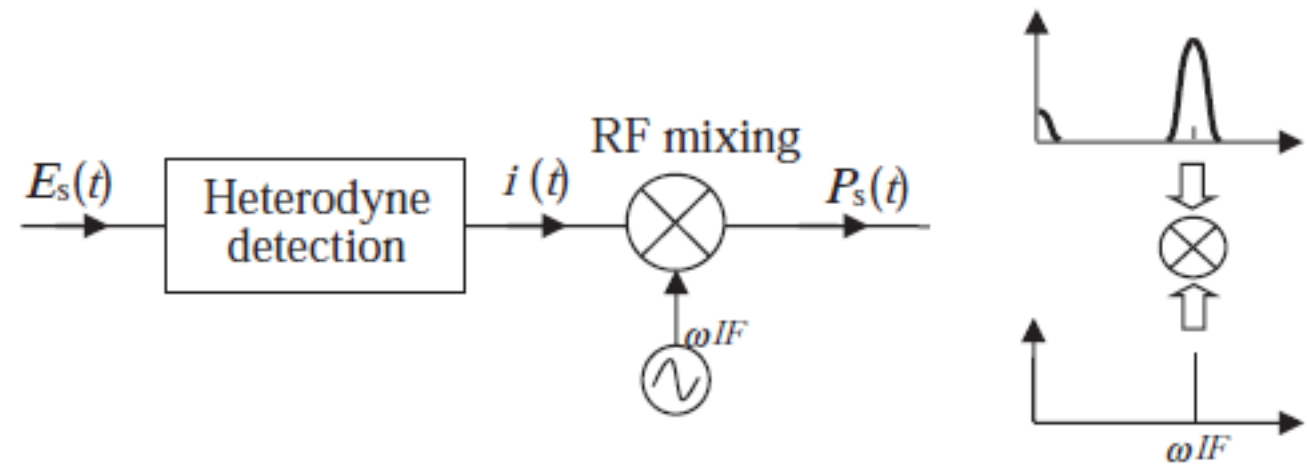
$$i(t) \approx \mathfrak{R} \sqrt{P_s(t) \cdot P_{LO}} \cos(\omega_{IF} t + \Delta\varphi)$$

Уравнението показва, че кохерентното детектиране измества спектъра на оптичния сигнал от оптичната носеща честота  $\omega_s$  до IF

- Отношението сигнал / шум (SNR) след фотодетектиране е важна мярка за качеството на сигнала в оптичен приемник, което определя ефективността на системата.
- LO има оптична мощност много по-висока от получения оптичен сигнал, LO-индуцираният шум е обикновено доминиращият шум в кохерентния приемник.
- Това е коренно различно от директното детектиране, където топлинният шум на приемника има най-голямо въздействие в SNR, тъй като оптичната мощност на сигнала обикновено е ниска.
- Разбира се, оптичните усилватели също могат да се използват в кохерентни системи. В такива системи натрупаният оптичен шум може да се превърне в ограничаващ фактор на производителността на системата.



(A)



(B)

$$SNR = \frac{\langle i^2(t) \rangle}{\langle i_{th}^2 \rangle + \langle i_{sh}^2 \rangle}$$

$$\langle i^2(t) \rangle = \frac{\mathfrak{R}^2 P_s(t) \cdot P_{LO}}{2}$$

$$\langle i_{th}^2 \rangle = \frac{4kTB_e}{R_L}$$

$$\langle i_{sh}^2 \rangle = 2q\mathfrak{R}[P_s(t)/2 + P_{LO}]B_e$$

$B_e$  is the signal electric bandwidth

$q$  : electron charge.

$$SNR = \frac{\langle i^2(t) \rangle}{\langle i_{th}^2 \rangle + \langle i_{sh}^2 \rangle}$$

$$\langle i^2(t) \rangle = \frac{\mathfrak{R}^2 P_s(t) \cdot P_{LO}}{2}$$

$$\langle i_{th}^2 \rangle = \frac{4kTB_e}{R_L}$$

$$\langle i_{sh}^2 \rangle = 2q\mathfrak{R}[P_s(t)/2 + P_{LO}]B_e$$

$B_e$  is the signal electric bandwidth

$q$  : electron charge.



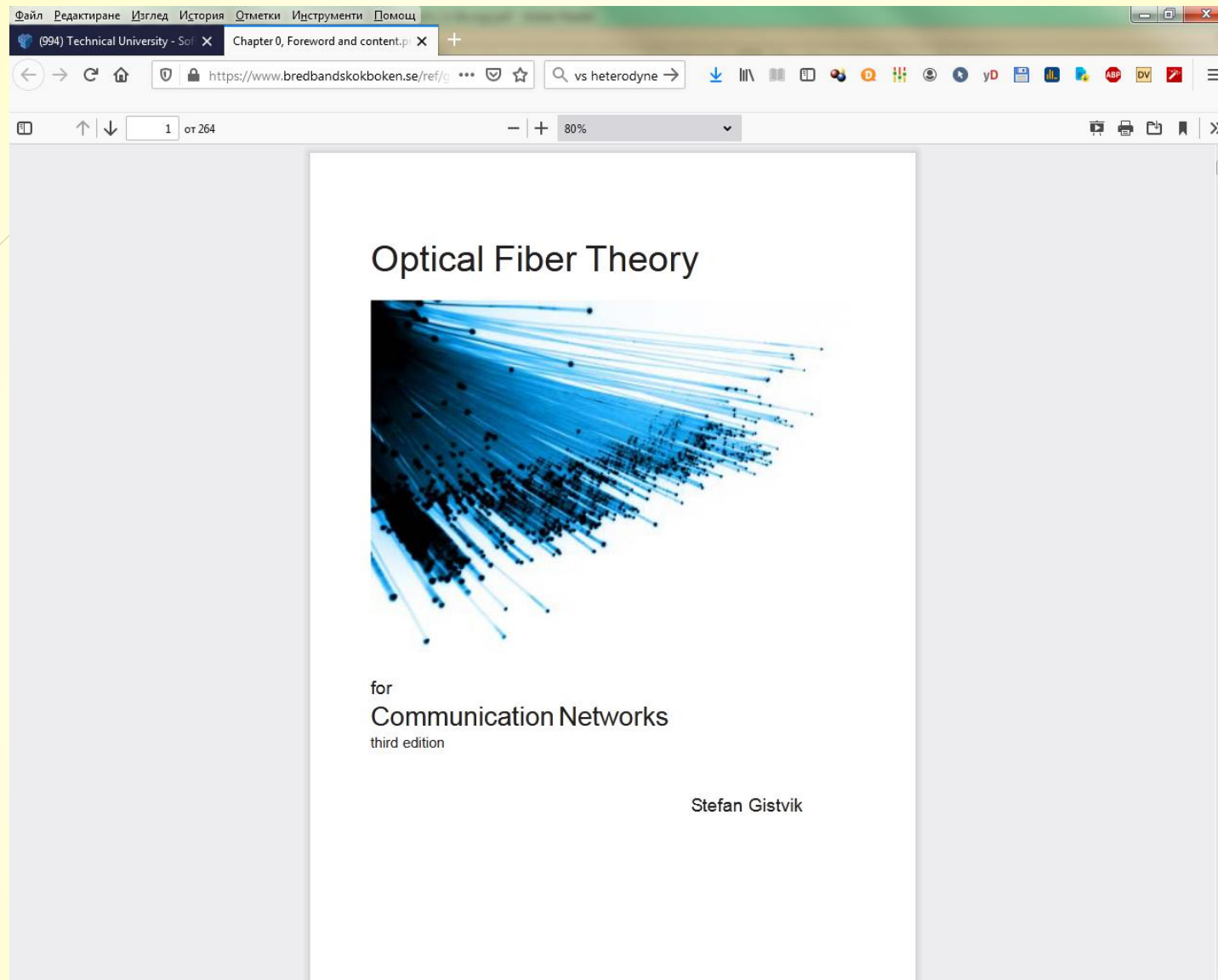
# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ



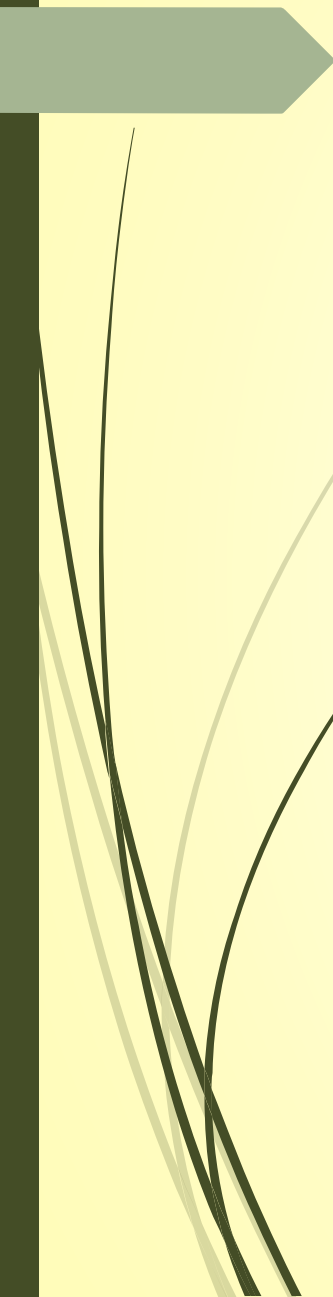
A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing to the right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of green and grey sweep downwards and to the right, creating a sense of movement and flow.

Оптично влакно, световод, оптичен кабел,  
производство.

Пасивни елементи за световодни линии –  
съединения, смесители, разклонители,  
призми и лещи, дифракционни решетки,  
филтри, изолатори, ключове,  
модулатори, повторители.

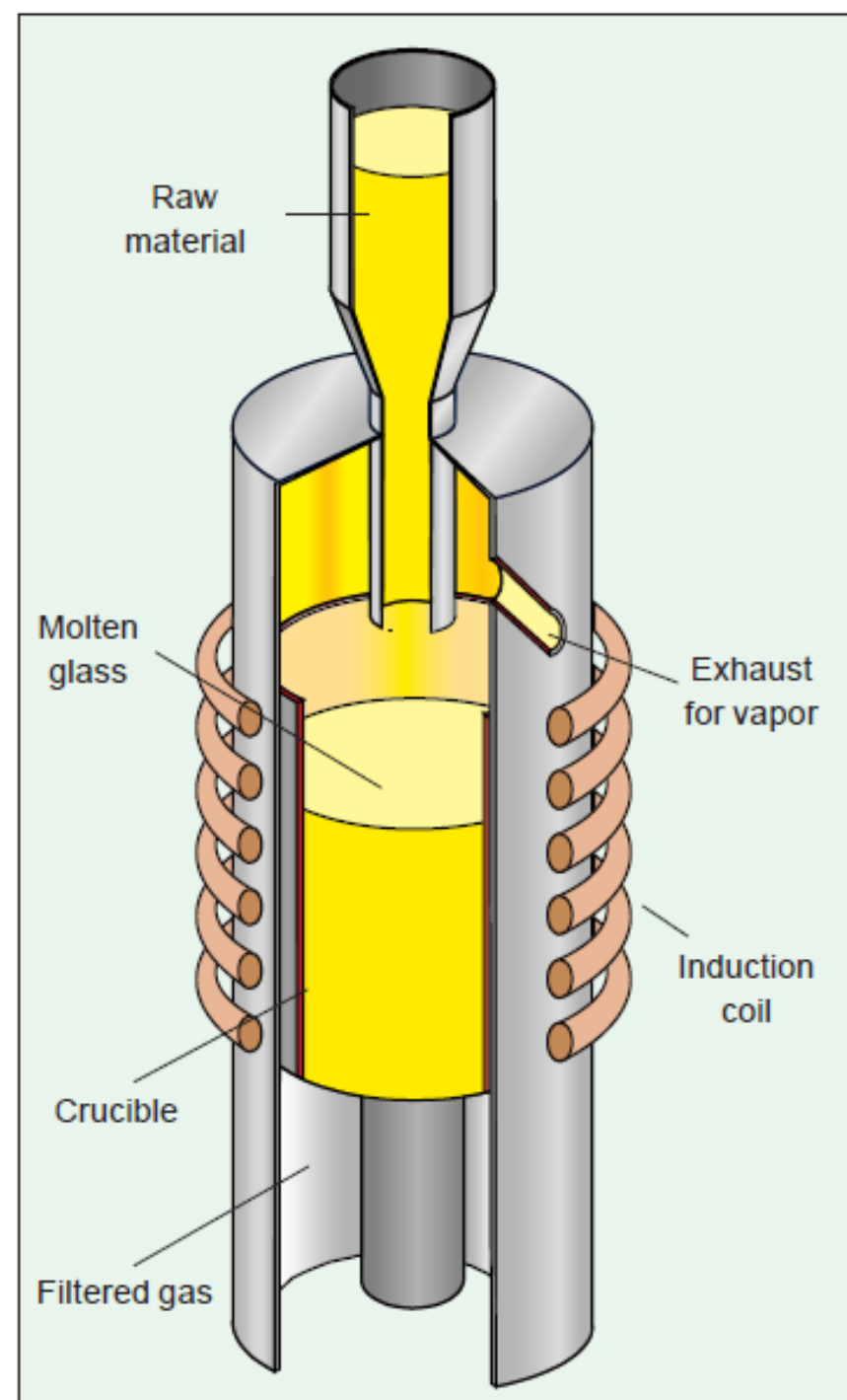
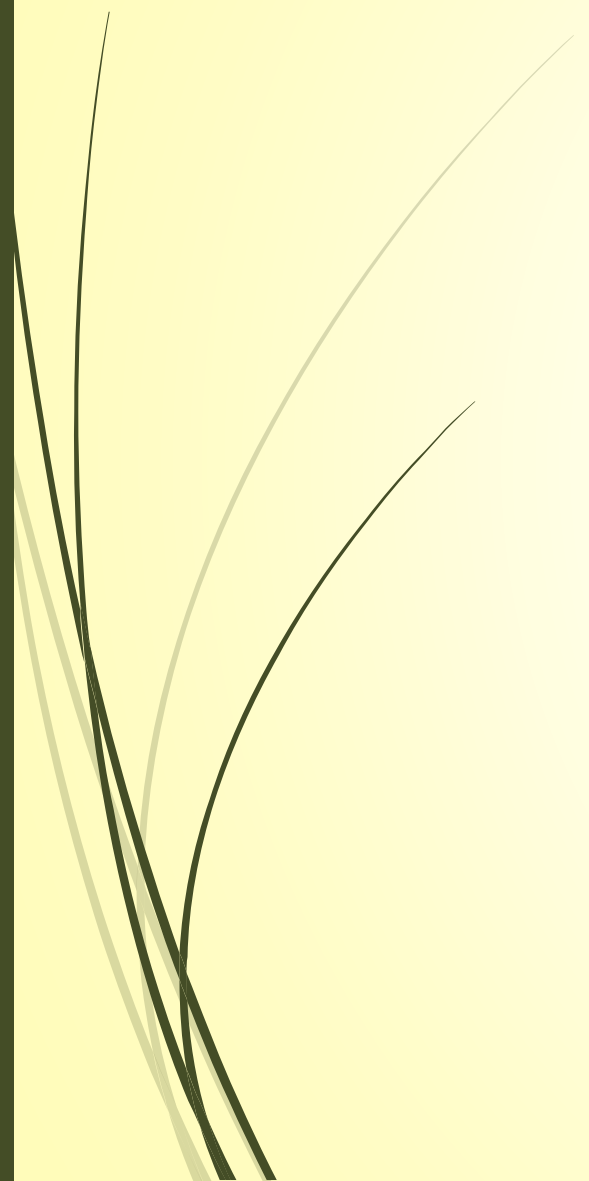


<https://www.bredbandskokboken.se/ref/gistvik-1.pdf>

- 
- ❑ През 1980-те години Corning Glass Works в САЩ успя успешно да произведе стъклено влакно, което има затихване под  $16 \text{ dB / km}$ .
  - ❑ Пробивът в Корнинг е началото на световните, интензивни изследователски усилия, които в крайна сметка ще доведат до използваните днес влакна; влакна с най-ниско затихване близо до теоретично възможната граница от  $0,15 \text{ dB / km}$  (при производство около  $0,18\text{--}0,21 \text{ dB / km}$  )

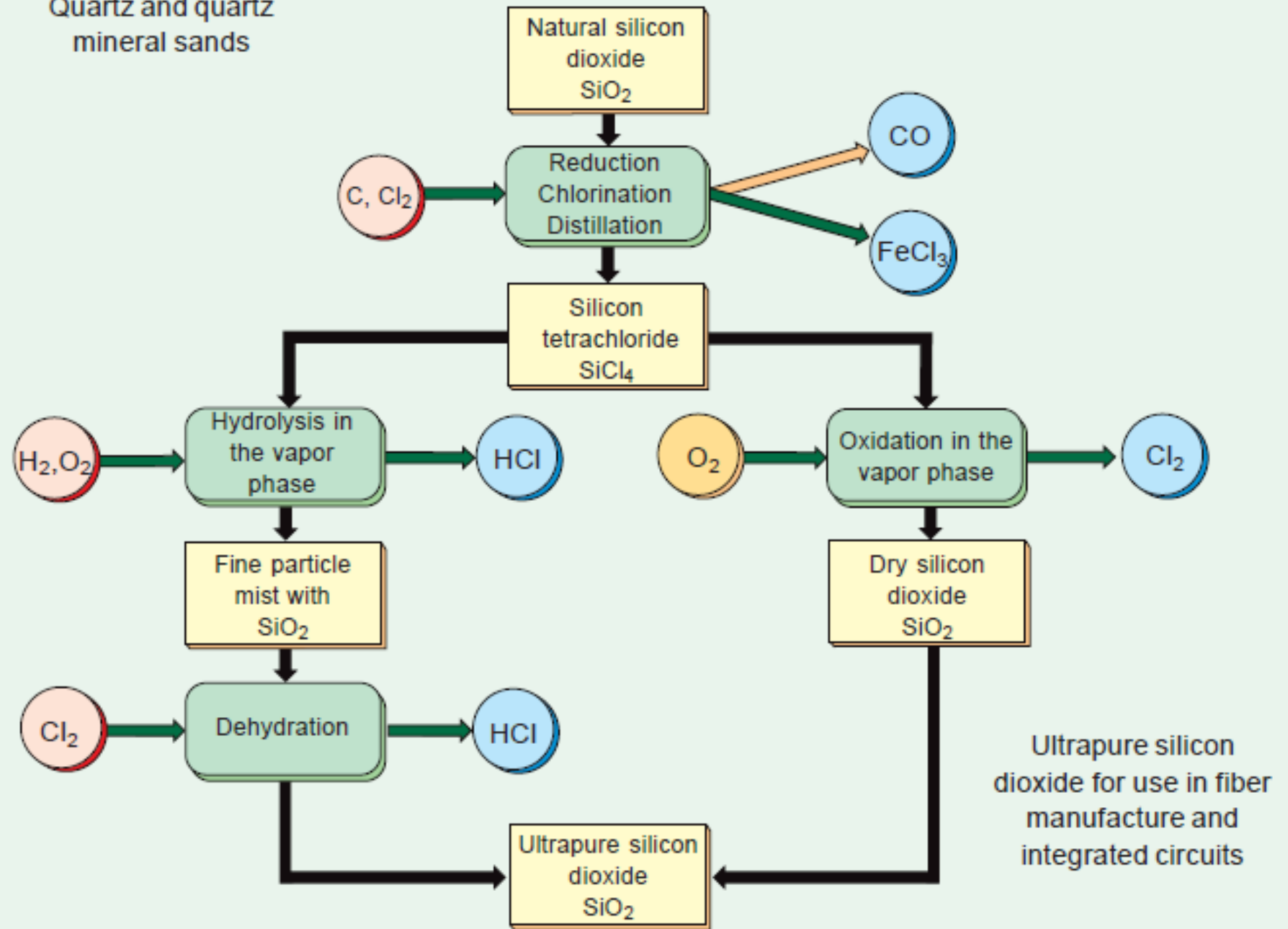
- ❑ Производство на силициево стъкло чрез отлагане
- ❑ Оптичните вълноводи за пренос на информация се състоят главно от ултрачист силициев диоксид ( $\text{SiO}_2$ ).
- ❑ Сърцевината на вълновода, през която се предава светлина, се състои от силициев диоксид, обикновено легиран с малки количества германий за увеличаване на коефициента на пречупване или с флуор, ако производителят иска да намали коефициента на пречупване на обвивката.


- ❑ Не само ниското поглъщане на светлина от силициевия диоксид го прави най-подходящият материал за използване при производството на ултрачисто, ултрапрозрачно стъкло.
- ❑ Друг фактор е също толкова важен: индустриалният процес, използван за производството на ултрачист силициев диоксид, легиран или нелегиран, е относително прост.
- ❑ Той се получава чрез отлагане на изключително чист, хомогенизиран силициев диоксид от  $\text{SiCl}_4$  във фазата на парите.
- ❑ Естественият силициев диоксид, например кварцов кварцов минерален пясък, не може да се използва директно за производството на влакна. Кварцовият и кварцов минерален пясък съдържат неприемливи количества металоксиди, които трябва да бъдат отстранени.





Quartz and quartz mineral sands





Течният силициев тетрахлорид ( $\text{SiCl}_4$ ) се изпарява. Силициевият тетрахлорид е произведени от естествен силициев диоксид чрез редукция с въглерод и след това реакция с хлор.

Фракционната дестилация гарантира, че силициевият тетрахлорид ще бъде ултрачист.


Метали под формата на метални хлориди, напр. железен хлорид, остават като отпадъчни продукти.

Силициевият тетрахлорид има и други области на приложение, например в производството на свръхчист силиций като основа за производството

Следващият етап от производството на стъкло за влакна е възстановяването на силициев диоксид от силициев тетрахлорид.

Силициевият тетрахлорид може да бъде легиран чрез добавяне на хлориди предимно германий ( $\text{GeCl}_4$ ), но понякога и фосфор ( $\text{POCl}_3$ ).


Хлоридите или смесите от хлориди се окисляват в газов пламък или в кислород газ в термична реакция при около  $1300^\circ\text{C}$ .



Реакциите причиняват много фини частици прах от силициев диоксид, който да кондензира от парите и да покрие подходящия субстрат.

Излишната вода (от газовия пламък) в силициевия диоксид ефективно се отстранява от хлорния газ, тъй като водата и хлорът реагират и образуват солна киселина.

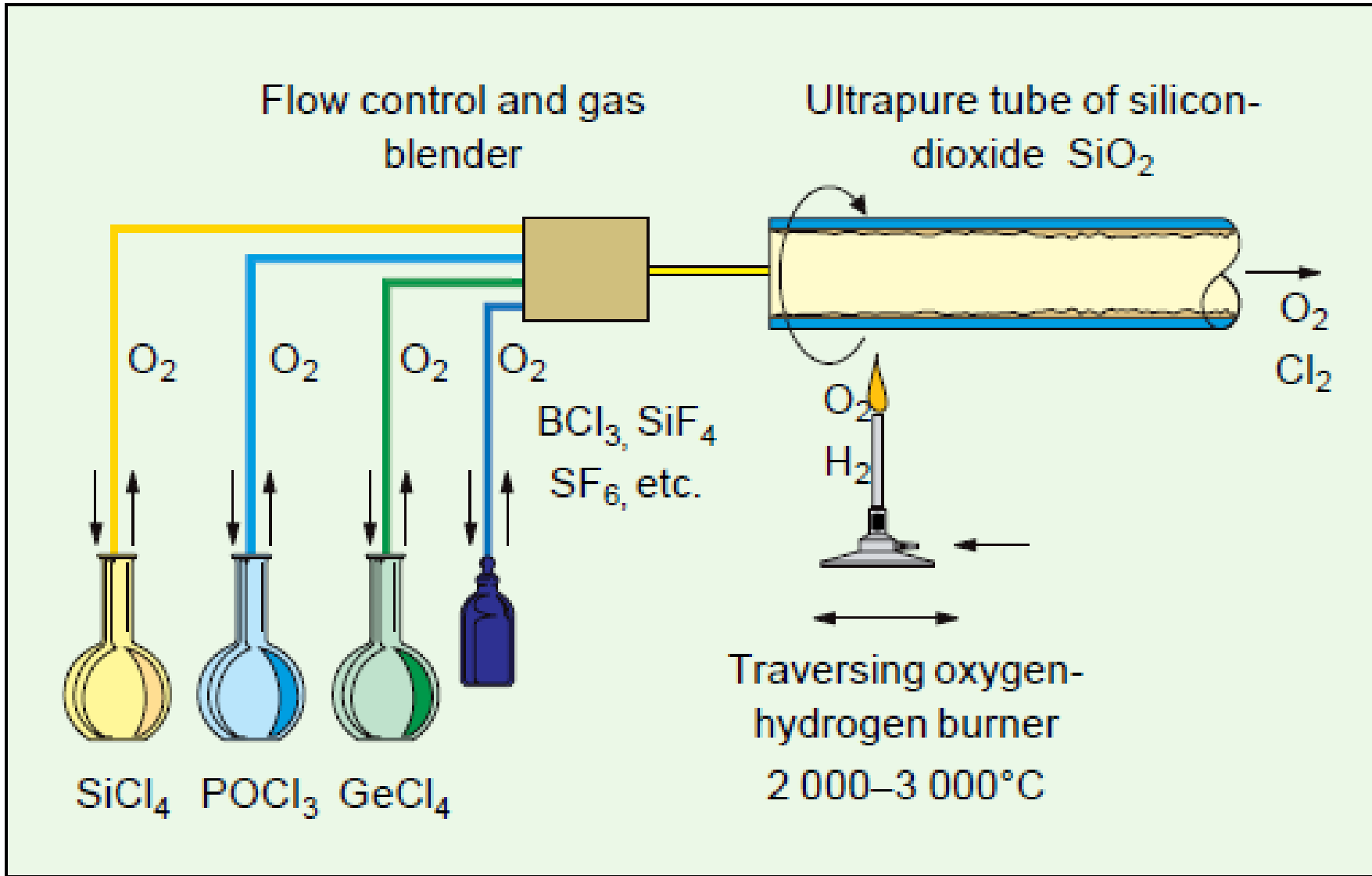
Премахването на водата (дехидратация) допринася значително за предаването на светлина през полученото стъклено влакно.



Модифицирано отлагане на химически пари (МСVD)

Този метод позволява промяна на редица параметри, например, многомодов или едномодов режим, крайният диаметър на влакното, числена апертура (NA) и коефициент на пречупване, профил на коефициент на пречупване.

Тези параметри се променят чрез промяна на потока от пари на силициев диоксиди легиращи вещества, всички контролирани от компютри.

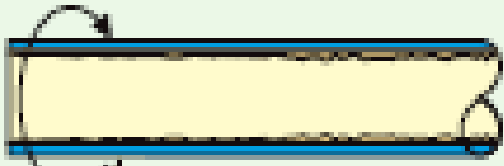




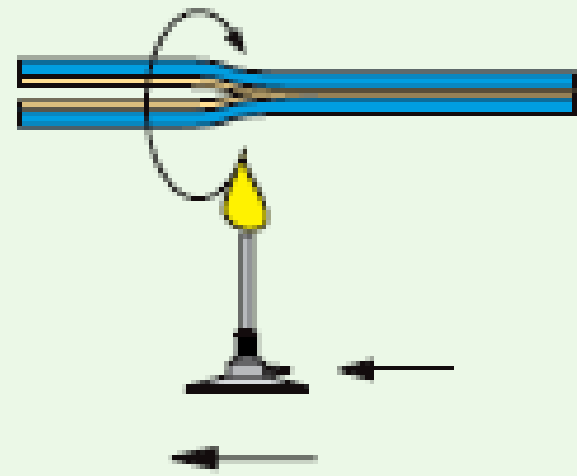
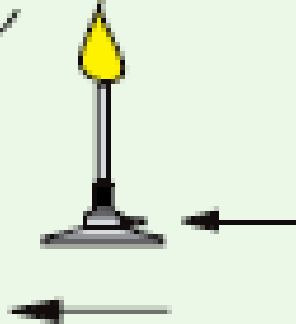
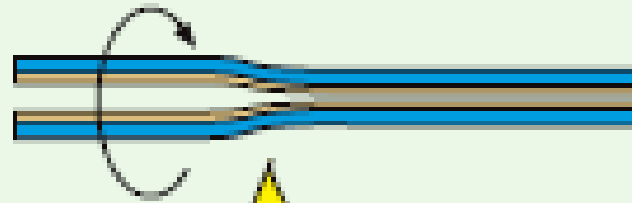


След приключване на отлагането идва следващият важен етап от производството на заготовката.

Топлината се увеличава (кислород-водородна газова горелка или микровълни) до 1500–2000 °



$O_2$   
 $H_2$



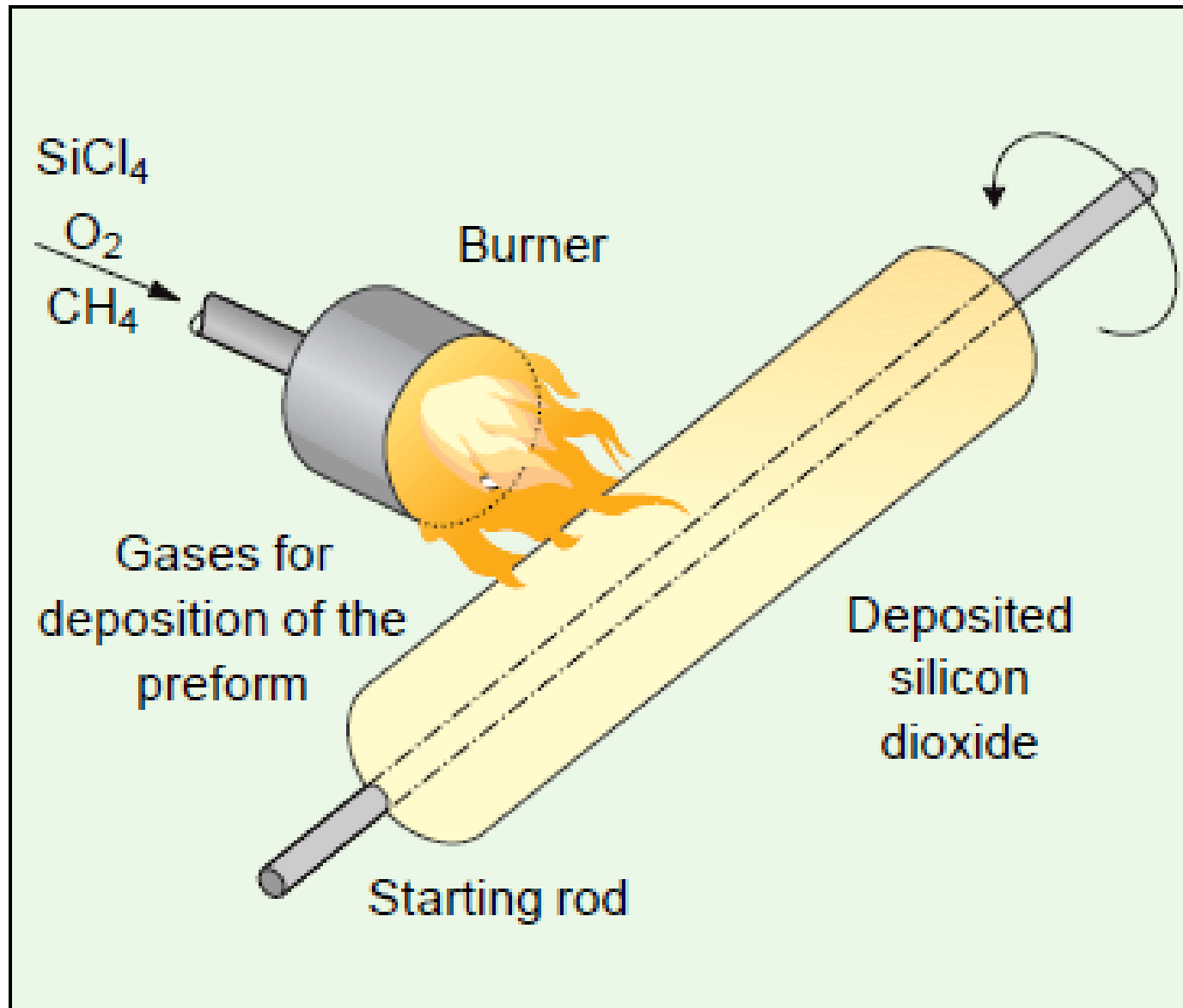
Traversing oxygen-  
hydrogen burner  
2 000–3 000°C

A decorative graphic on the left side of the slide. It features a grey arrow pointing right at the top, and several thin, curved lines in shades of green and grey that sweep upwards and to the right across the page.

Фаза 1, включва отлагане на силициев диоксид на прах със или без легиращи вещества.

Порестата заготовка е изградени, слой след слой.

Когато има достатъчно количество стъкло и за двете: сърцевина и обвивка, процесът се спира.



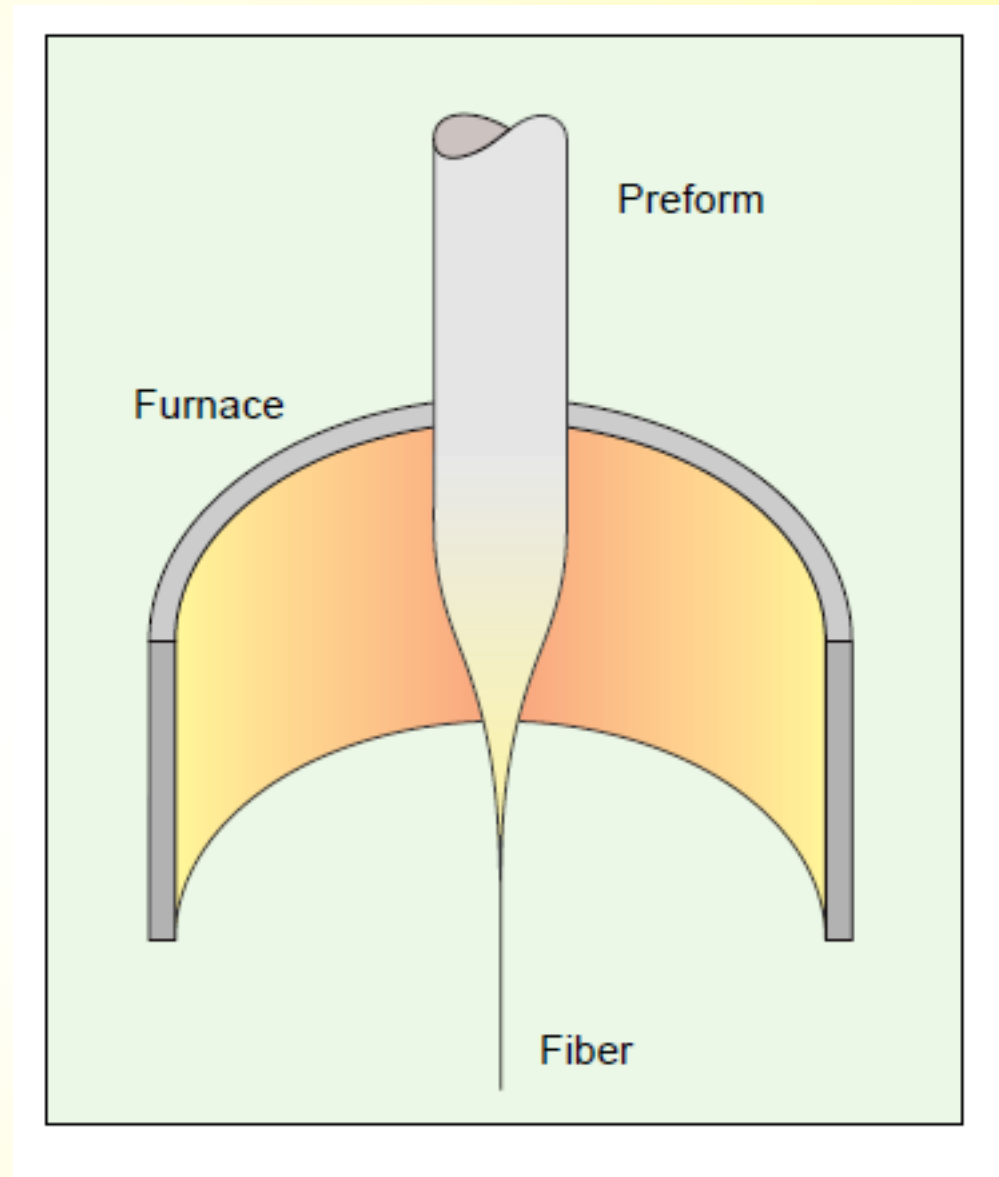
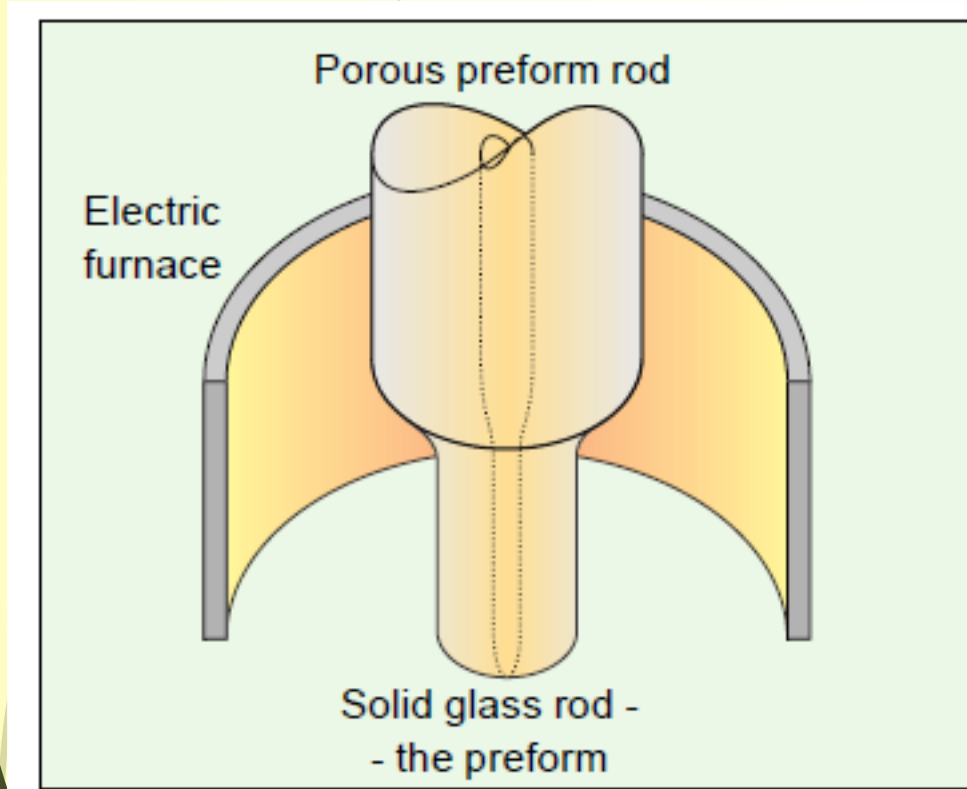
## Фаза 2, процес на синтероване

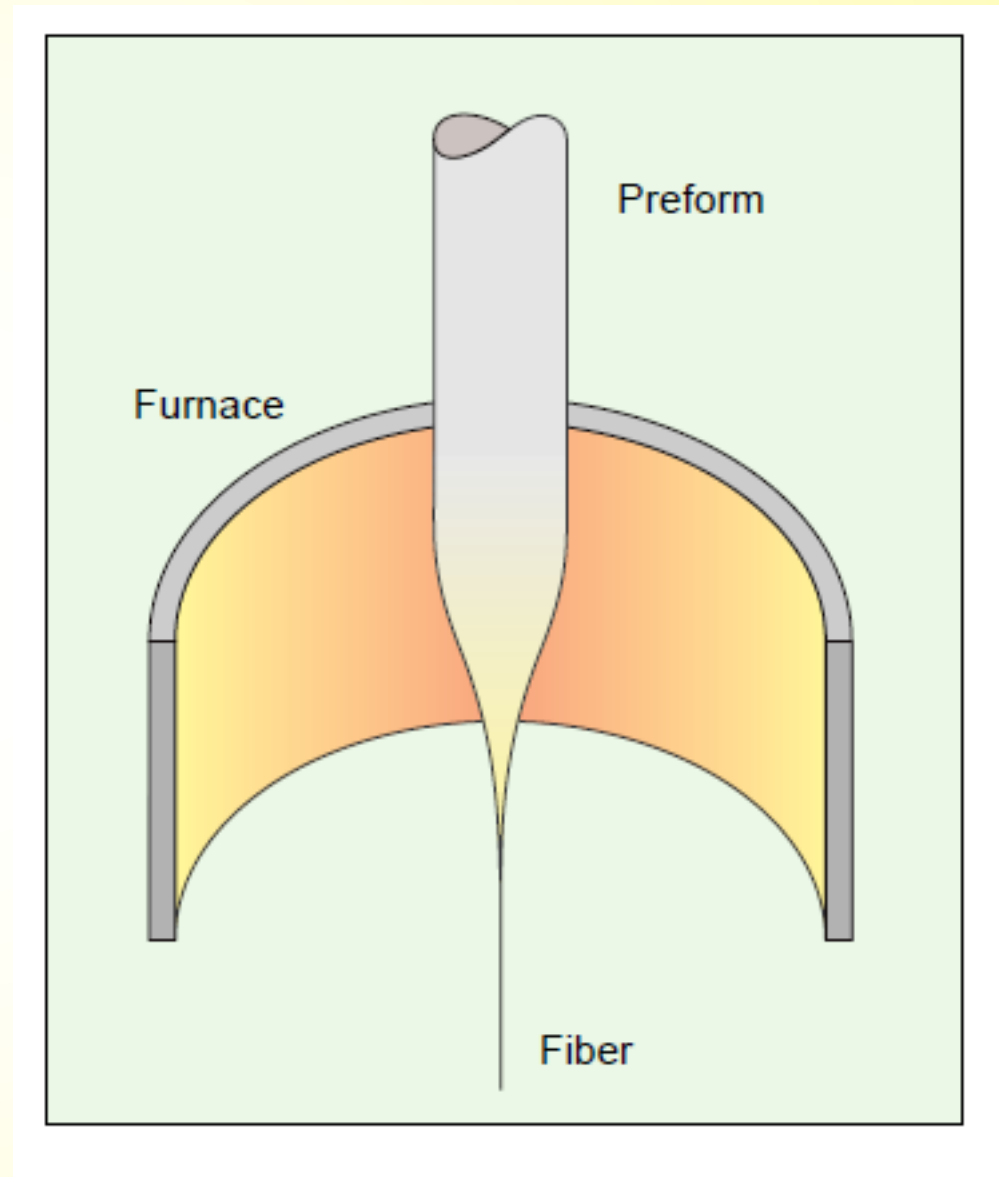
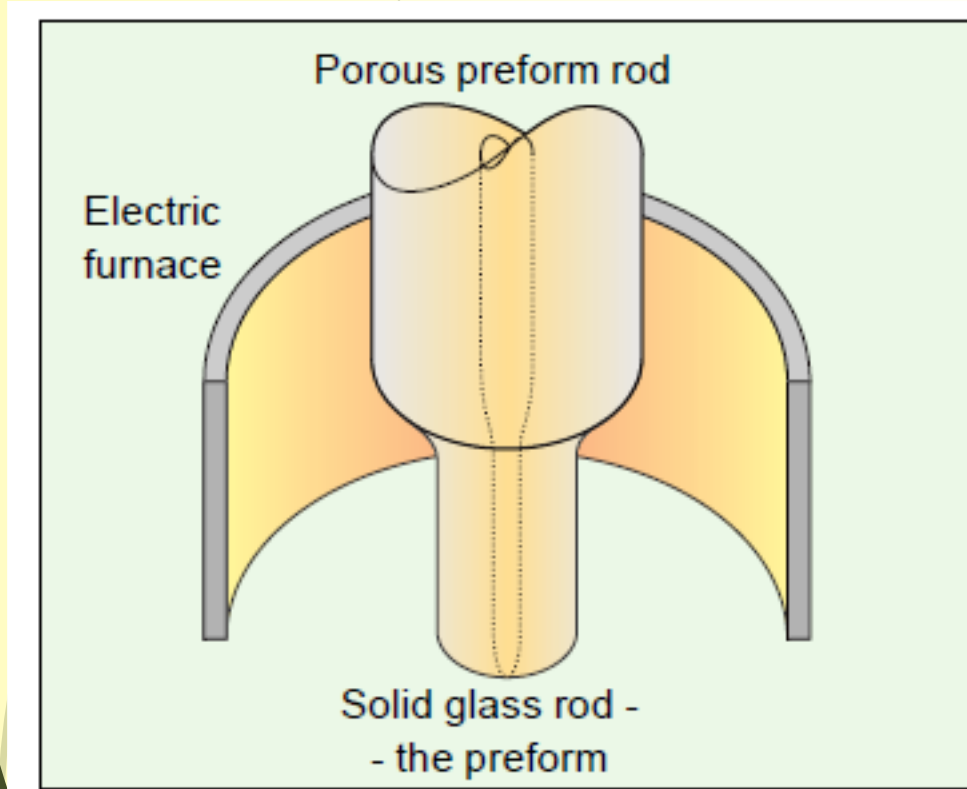
Порестата форма се загрява първо в атмосфера на хлорен газ, който отстранява водата и след това се загрява допълнително до температура 1 600–2 000 ° C, температура при която частиците сажди агломерират в твърда стъклена пръчка без мехурчета

## Фаза 2, процес на синтероване

Порестата форма се загрява първо в атмосфера на хлорен газ, който отстранява водата и след това се загрява допълнително до температура 1 600–2 000 ° C, температура при която частиците сажди агломерират в твърда стъклена пръчка без мехурчета







A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark green arrow pointing right at the top, and several thin, curved lines in shades of green and grey that sweep upwards and to the right from the bottom left corner.

Фаза 3, изтегляне на влакна.

Заготовката, с или без кухия си център, се загрева до 1800–2300 ° С, при което влакното може да се изтегли от



За да обобщим, процесът OVD включва пет основни стъпки:

- Пречистване на материали
- Транспорт на реагиращи вещества до топлинната зона
- Химични реакции и образуване на частици
- Отлагане на частици върху субстрат (стартова пръчка или вече отложена заготовка)
- Дехидратация и синтероване.



<https://www.youtube.com/watch?v=6CqT4DuAVxs>

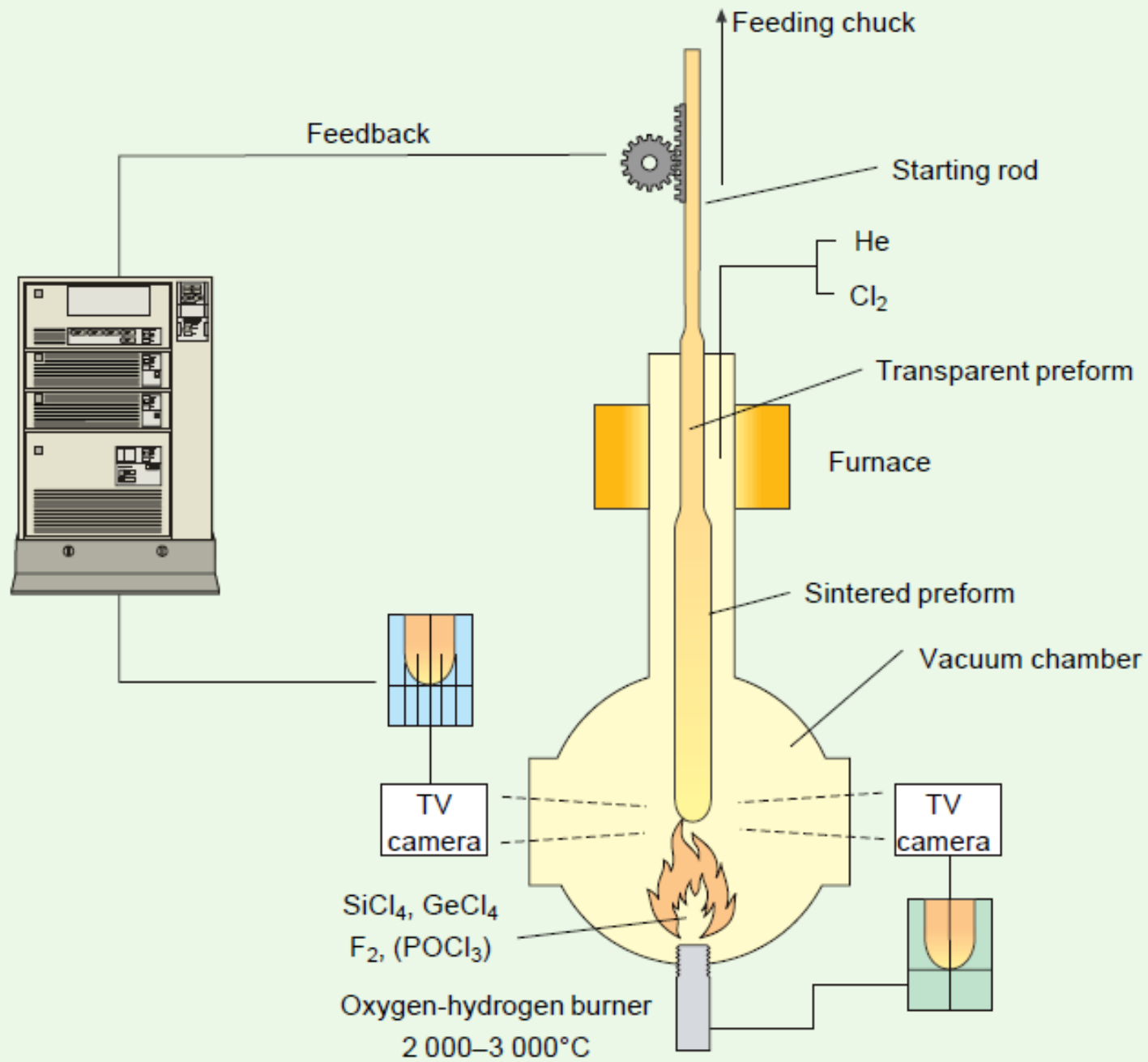
<https://www.youtube.com/watch?v=YBwpKH9gpb8>

<https://www.youtube.com/watch?v=4pzTZ2YoFTY>

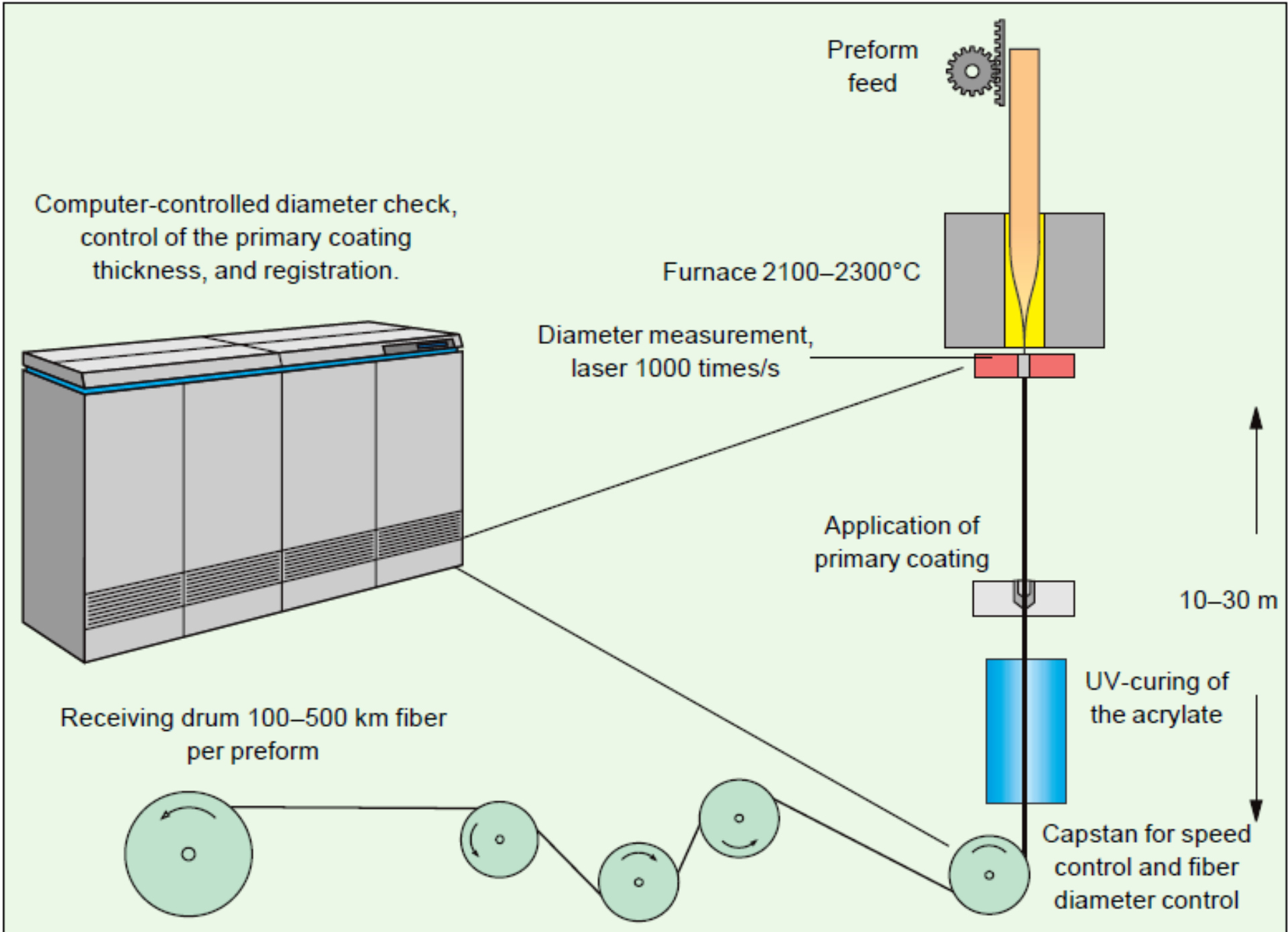
<https://www.youtube.com/watch?v=7tsF3mSpqX8>

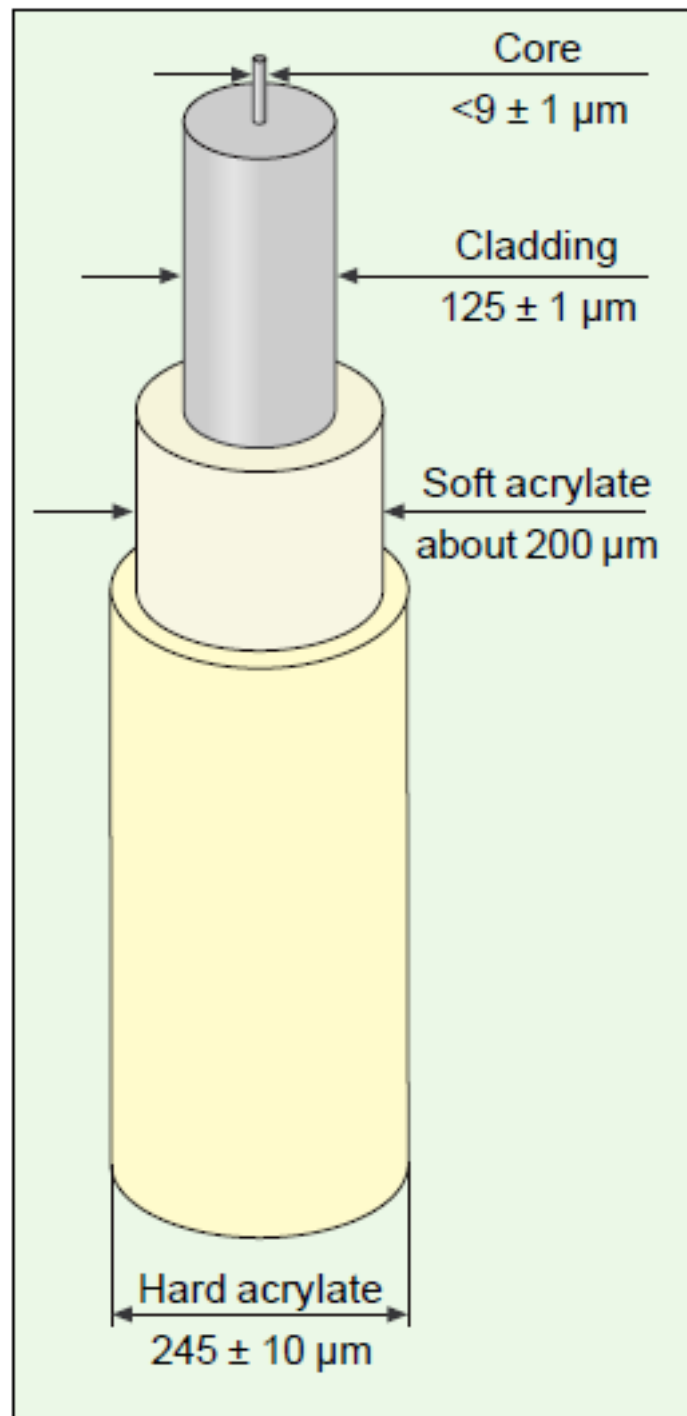


## Vapor-Phase Axial Deposition (VAD)









Цялата дължина на влакната е изложена на изпитване на опън, за да се открият всякакви пукнатини или други щети.

Лошото навиване на макарата с влакна може да създаде контури, които да направят влакното със слаби места.

Важно е да се контролира процеса в пещта.

В противен случай това също може да създаде слаби места.

Влакното е изложено на определено напрежение за кратък период. Този период трябва да бъде достатъчно дълъг, но не прекалено, за да се избегне ненужно отслабване на влакното.

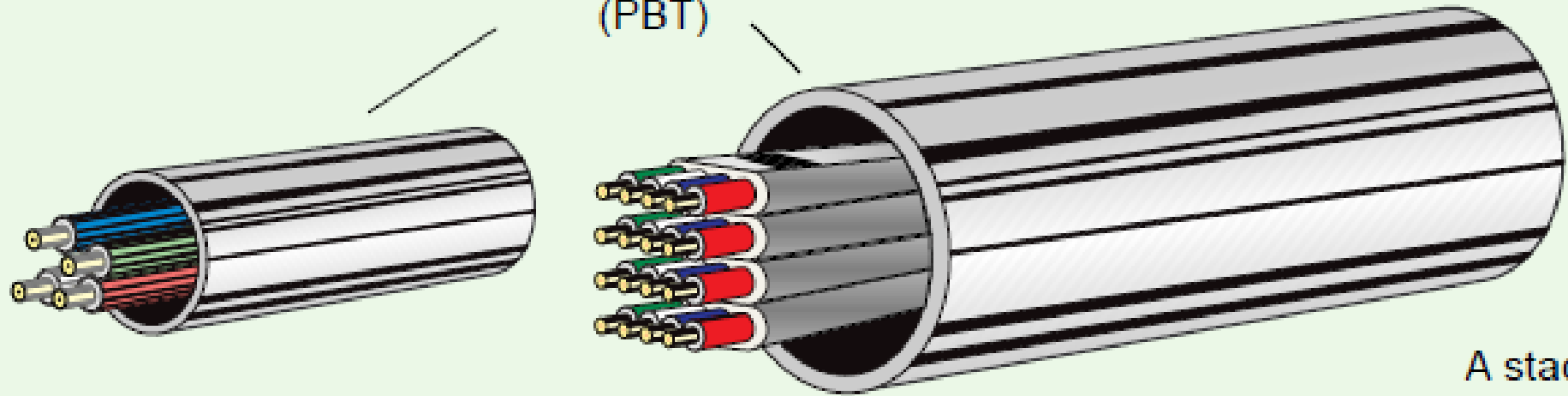
След изпитателния тест влакното се прехвърля в измервателна зона за трансмисия и характеризиране на геометрията.

От една заготовка обикновено се получават 600 км влакна.

След окончателното характеризиране влакното се навива на макари.

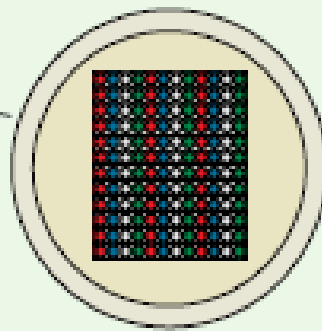
Днес максималната стандартна дължина е 50 км, най-вече поради ограничения за измерване.

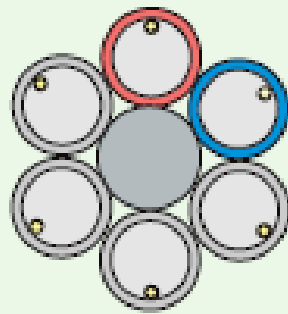
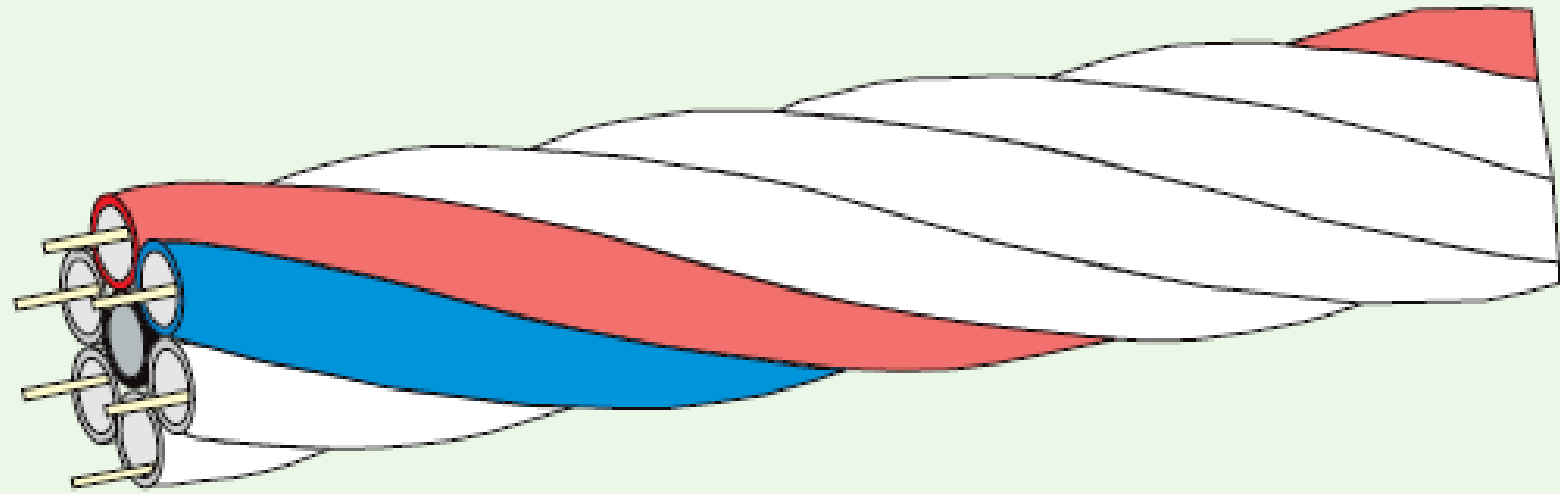
Tube of polyamide (PA) or  
polybutyleneterephthalate  
(PBT)



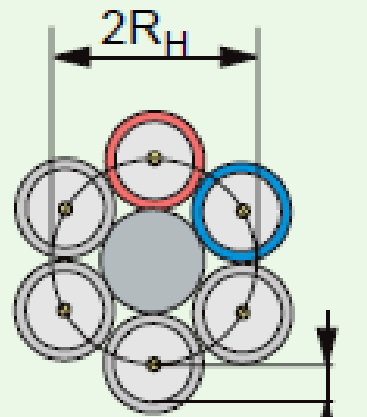
A stack of 12-fiber  
ribbons makes up a  
bundle of 144 fibers

The outer diameter of the  
loose tube buffer varies  
between 1.5 to 8 mm and  
the wall thickness from  
0.3 to 1 mm.

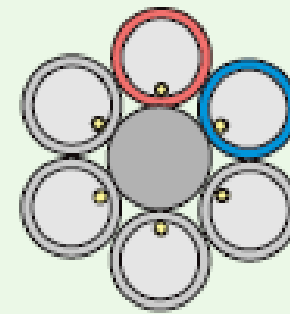




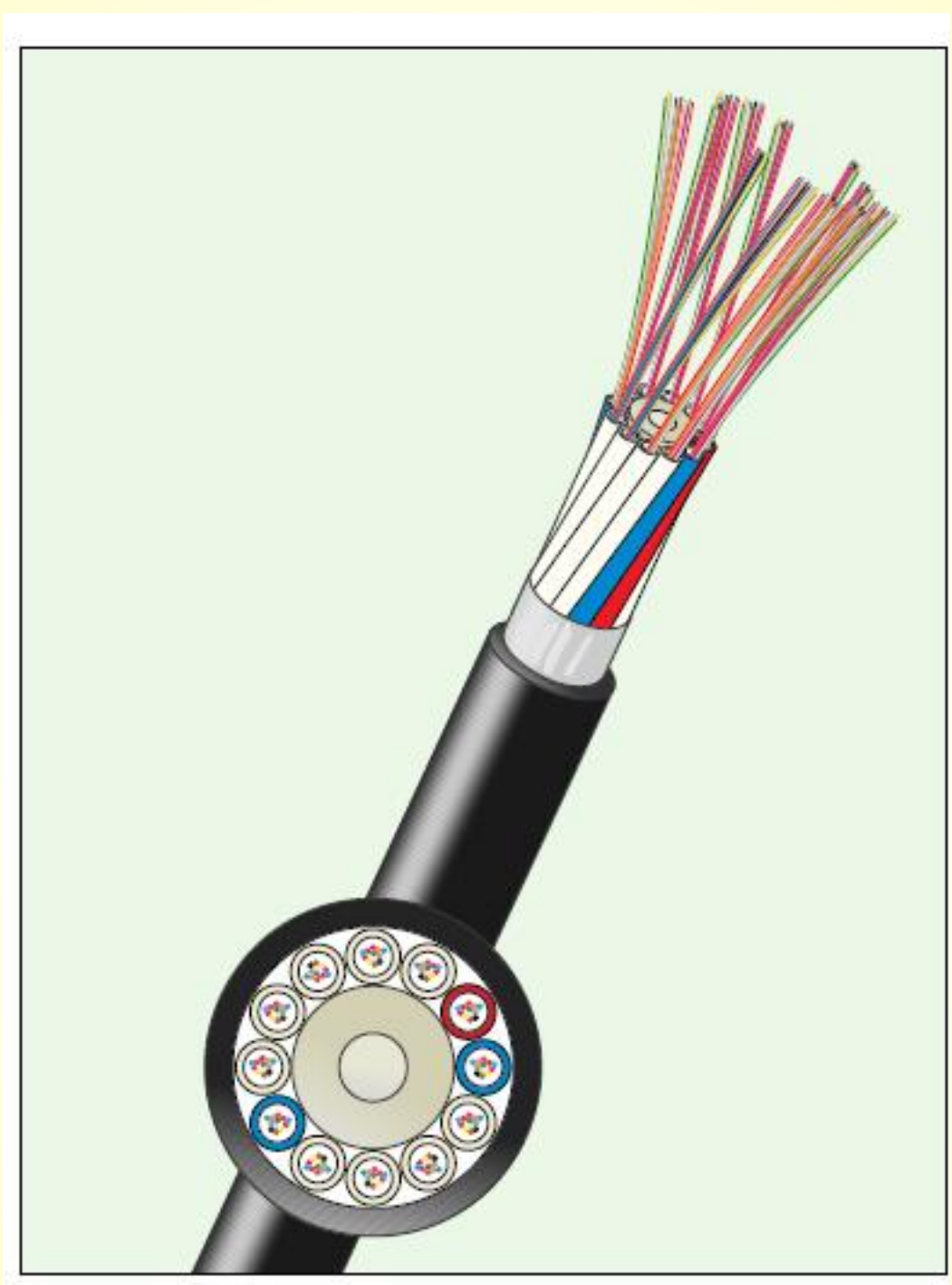
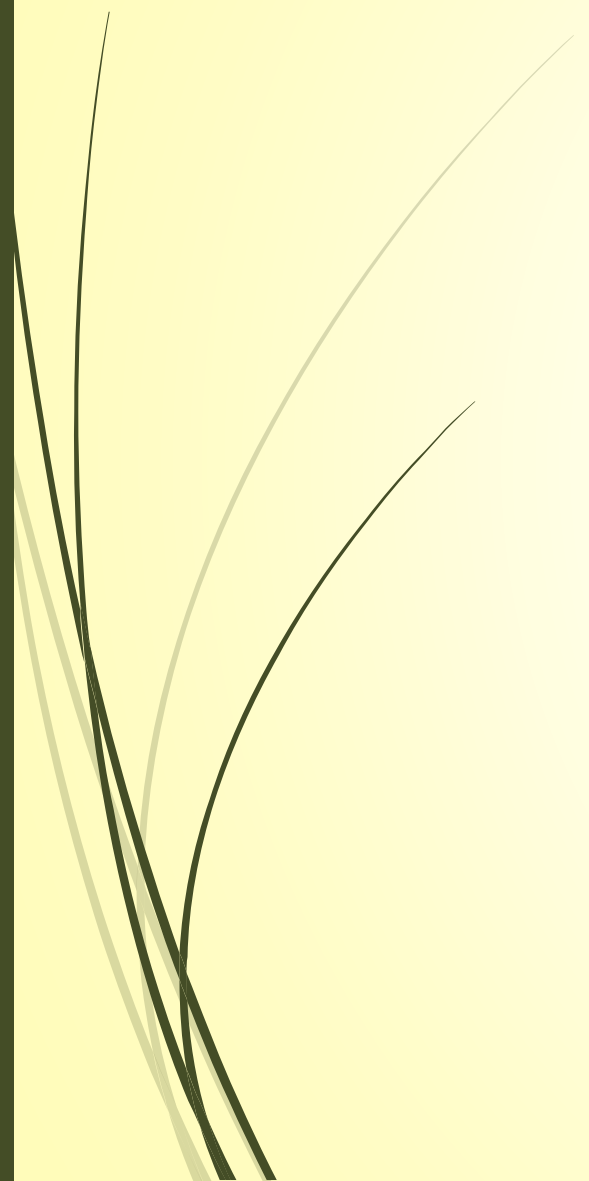
$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$



$+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

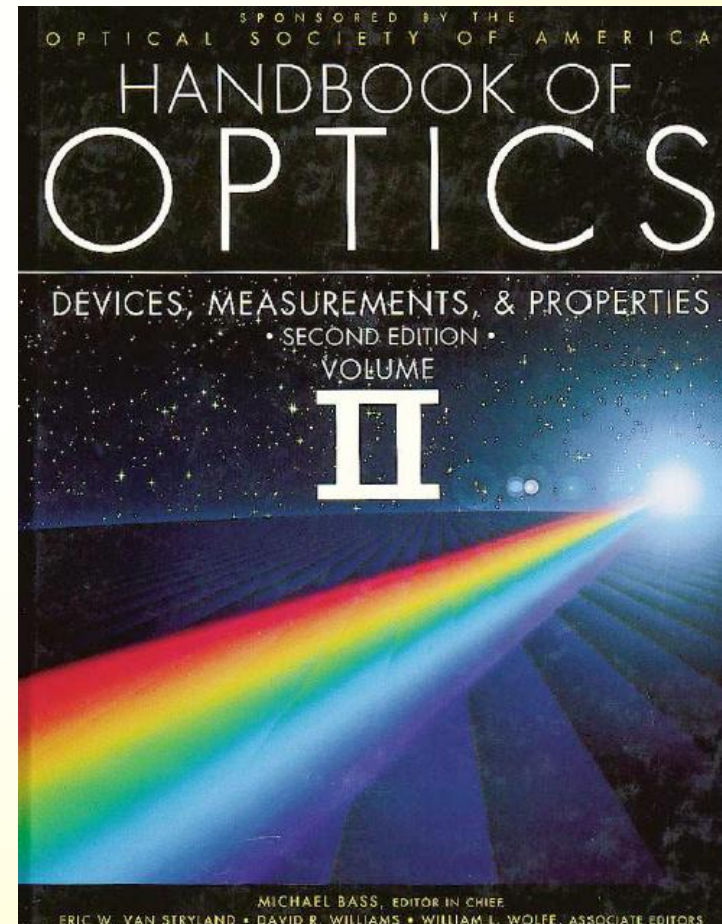
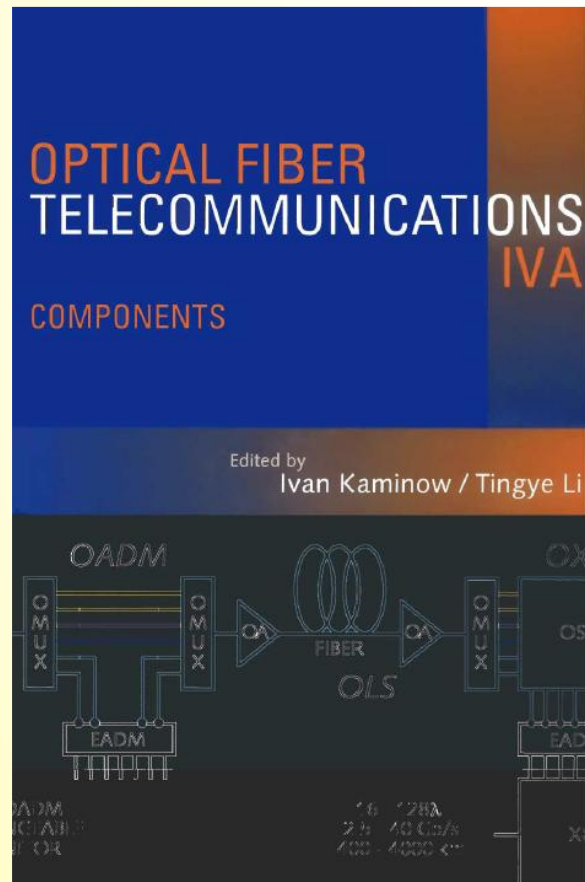


$+70\text{ }^{\circ}\text{C}$





Пасивни елементи за световодни линии – съединения, смесители, разклонители, призми и лещи, дифракционни решетки, филтри, изолатори, ключове, модулатори, повторители.





<http://www.ecablemart.com/pdf/fbt-splitter.pdf>

<http://www.ecablemart.com/pdf/plc-splitter.pdf>

<http://www.fiber-optic-components.com/polarization-dependent-isolator-vs-polarization-independent-isolator.html>

# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ

Анализ на разпространението на оптичното лъчение в световода с методите на геометричната оптика. Радиално-стъпални и радиално-градиентни оптични влакна.

- <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/wave-optics/step-index-optical-fibers>
- [https://www.rp-photonics.com/geometrical\\_optics.html](https://www.rp-photonics.com/geometrical_optics.html)
- [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjb3eHpt\\_vsAhVmx4sKHbmTDN8QFjAOegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fspie.org%2FDocuments%2FPublications%2F00%2520STEP%2520Module%252003.pdf&usg=AOvVaw0bZRTdJ1ANJW6flb-ywNwH](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjb3eHpt_vsAhVmx4sKHbmTDN8QFjAOegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fspie.org%2FDocuments%2FPublications%2F00%2520STEP%2520Module%252003.pdf&usg=AOvVaw0bZRTdJ1ANJW6flb-ywNwH)
- [https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&dq=optical+fibers+geometrical+optics&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&dq=optical+fibers+geometrical+optics&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

The screenshot shows a Google Books search result for the book "Fiber-Optic Communication Systems" by Govind P. Agrawal. The browser address bar shows the URL: https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&dq=optical+fibers+geometrical+optics&hl=bg&source=gbs\_navlinks\_s. The search bar contains the text "etrical optics fiber". The book cover is visible, showing the title "FIBER-OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS" and the author "GOVIND P. AGRAWAL". The book is published by John Wiley & Sons, 23.02.2012 г., and has 626 pages. It has a 4-star rating and 2 reviews. The description states: "This book provides a comprehensive account of fiber-optic communication systems. The 3rd edition of this book is used worldwide as a textbook in many universities. This 4th edition incorporates recent advances that have occurred, in particular two new chapters. One deals with the advanced modulation formats (such as DPSK, QPSK, Още »". There is a search box and a button "Търсене между кориците" (Search between covers) at the bottom.

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10452/104521S/Online-course-Geometrical-Optics-for-undergraduate-students/10.1117/12.2266491.full?SSO=1>

[https://onlinecourses.nptel.ac.in/noc20\\_ph07/preview](https://onlinecourses.nptel.ac.in/noc20_ph07/preview)

<https://www.photonics.com/Articles/Fiber Optics Understanding the Basics/a25151>

<https://www.cambridge.org/core/books/practical-guide-to-experimental-geometrical-optics/basic-laws-of-geometrical-optics-experimental-verification/2CE0C2DBF43E3AC9EE6D1F6B04879000>

<https://sites.google.com/site/lekciipook/>





световодни комуникационни системи сиела

Всичко Изображения Новини Карти Видеоклипове Още Настройки Инструменти Колекции Безопасно търсене

издателство сиела книга store siela schetovodstvo книжарница сиела vlaknesto optichni фердинандов ервин фердинандов



Световодни комуникационни системи: 1. Преносна среда. bgbook.bg



Световодни комуникационни системи: 1. Преносна среда. orangecenter.bg



Световодни комуникационни системи: Предавателна част. knjarnica.bg



Оптични комуникационни системи. ciela.com



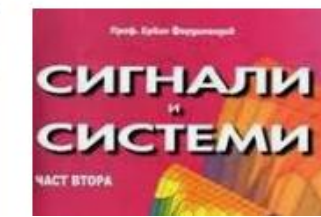
Оптични комуникационни системи: Техника. ciela.com



Световодни комуникационни системи: 1. Преносна среда. knizhen-pazar.net



Световодни комуникационни системи: 2. Предавателна част. knizhen-pazar.net



Под **световод** ще разбираме структура, състояща се от две части:

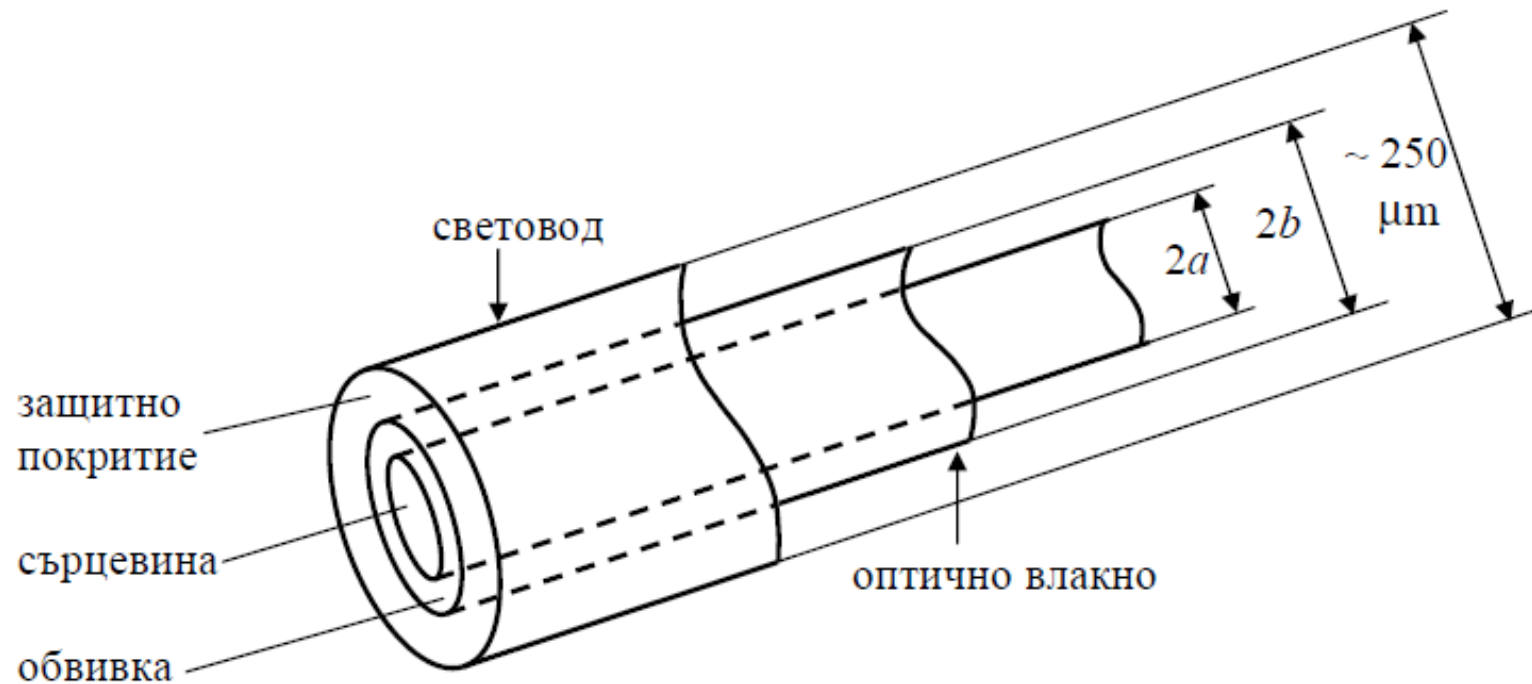
- оптично влакно и
- защитно покритие.

От своя страна оптичното влакно се състои от:

- цилиндрична сърцевина – с радиус  $a$ , и от
- коаксиална обвивка – с външен радиус  $b$ .

Оптичните влакна се изготвят от високо-прозрачни диелектрици

- стъкла и
- полимери.



Защитното покритие се състои от няколко слоя:

- вътрешен слой – тънък лаков филм от:
  - епоксидна смола
  - силикон
  - целулозен ацетат
  - уретан;
- външни слоеве от:
  - полиетилен
  - найлон
  - силиконова гума.

Няколко световода, обединени в едно конструктивно цяло, образуват оптичен кабел. В него като правило влизат и:

- силови армиращи елементи
- демпфиращи слоеве за намаляване (обиране) на механичните трептения
- общо външно покритие.

### 3. Класификация на оптичните кабели.

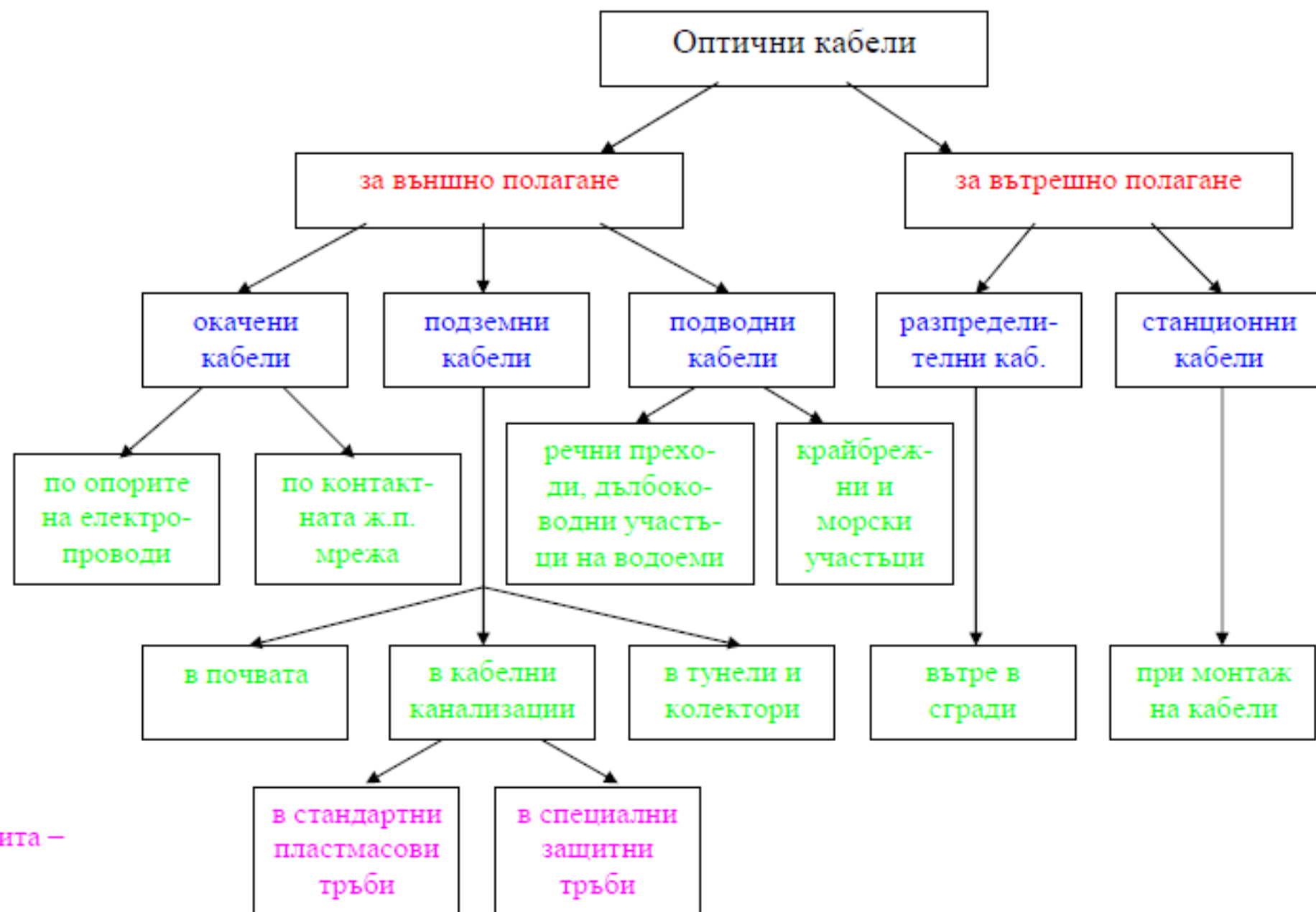
Класификация според:

предназначение –

начин на полагане –

място на полагане –

допълнителна защита –



1. Методи за изследване на разпространението на оптичното лъчение по световода.

В световодното разпространение на оптичното лъчение се проявява силно неговата вълнова, електромагнитна природа. Затова строгото теоретично изследване на това разпространение трябва да се извърши въз основа на уравненията на електродинамиката (уравненията на Максвел), т.е. с методите на вълновата оптика. Съответният анализ е сложен дори при най-простите световодни структури.

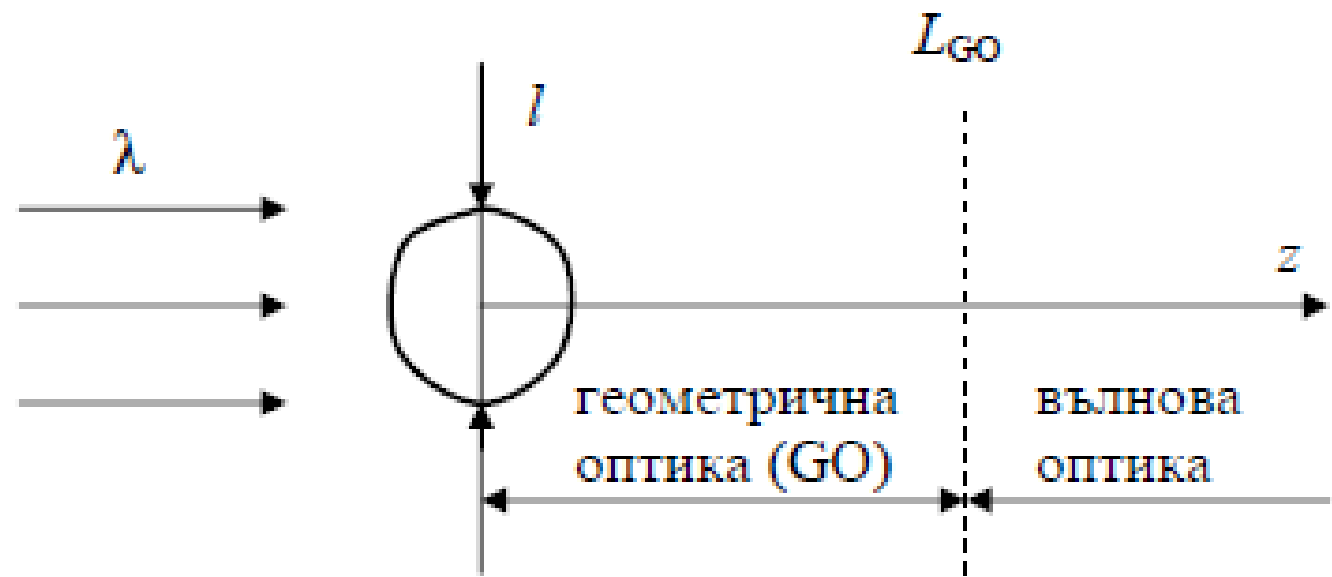


Вместо строгия вълнов анализ може да се използва геометричен анализ, който предлага физическа нагледност и математическа простота.

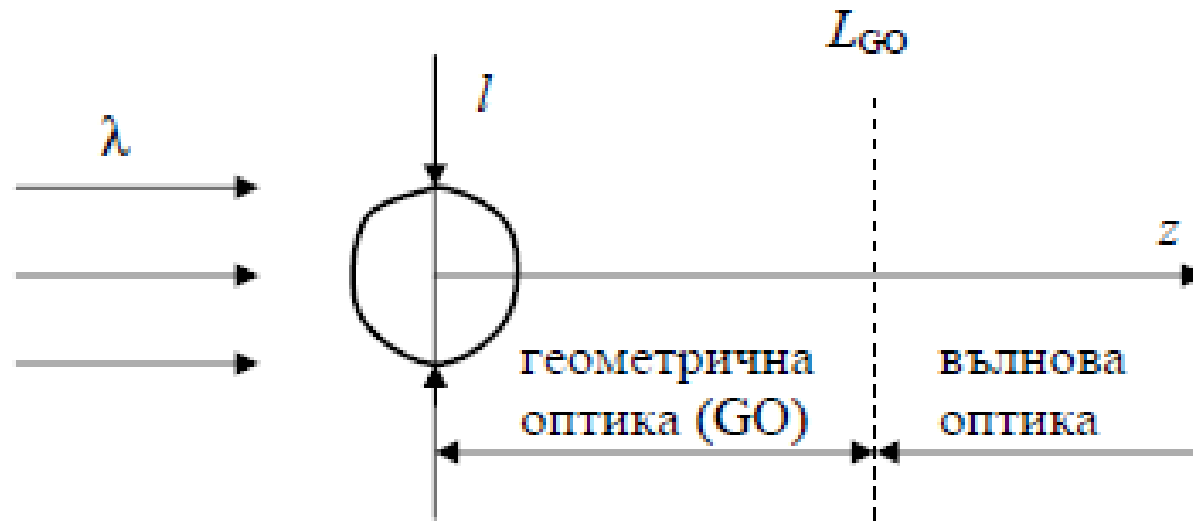
## 2. Област на правомерност на методите на геометричната оптика.

Кога може да се използва геометричният анализ за изследване на разпространението на оптичното лъчение. Да си припомним два случая:

а) Имаме обект с размер  $l$ , който облъчваме с ОЛ-е с дължина на вълната  $\lambda$ .



Фиг. Дифракция на оптичното лъчение.



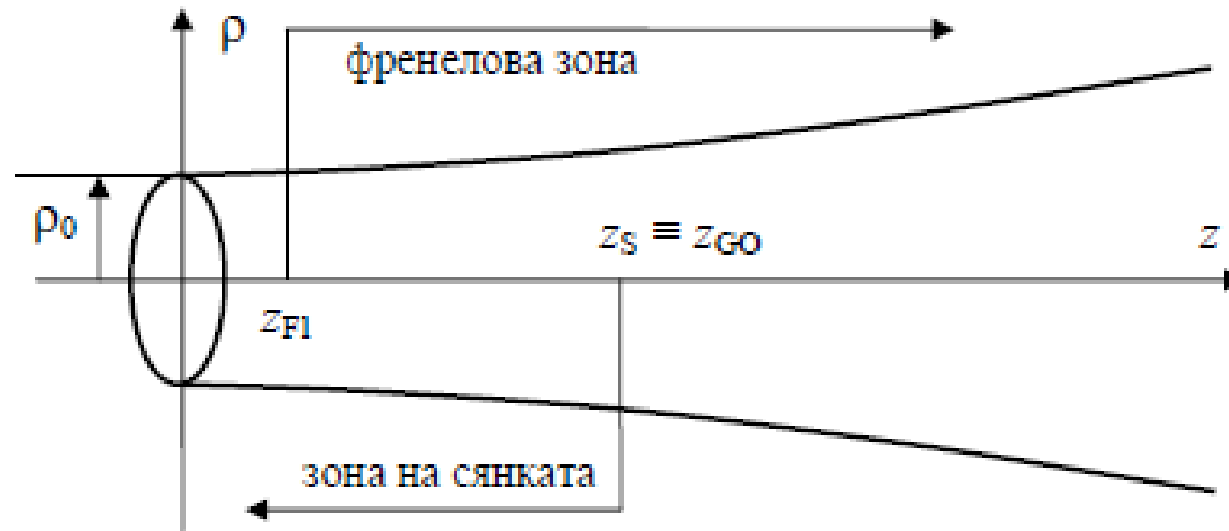
Фиг. Дифракция на оптичното лъчение.

Областта на валидност на методите на геометричната оптика (GO) се определя от условието

$$z \leq L_{GO}, \quad L_{GO} \approx \frac{l^2}{\lambda}.$$

б) Ако имаме гаусов лазерен сноп с начален радиус  $\rho_0$ , то зоната на сянката, в която са валидни законите на ГО, е

$$z \leq z_{GO} \equiv z_S, \quad z_{GO} = \frac{\rho_0^2}{\lambda}.$$



Фиг. Разпространение на гаусов лазерен сноп.

При оптичното влакно  $l \equiv a$ . За да използваме методите на геометричната оптика за изследване на разпространението на оптичното лъчение по влакното, от гореизложеното следва, че трябва да е изпълнено  $z \leq L_{GO}$ , като

$$\frac{L_{GO}}{a} \approx \frac{a}{\lambda} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} a \uparrow \\ \lambda \downarrow \end{array} \right\} L_{GO} \uparrow.$$

Ако  $\lambda \ll a$ , следва че  $L_{GO} \gg a$ . Следователно колкото повече намалява  $\lambda$  или нараства  $a$ , толкова повече се разширява пространствената област на правомерност на GO. Следователно напречният размер на сърцевината на ОВ-но трябва многократно да превишава  $\lambda$ . (При многомодовите оптични влакна това условие се удовлетворява: например при  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$  и  $a = 62,5 \mu\text{m}$ ).



Доказва се, че при анализа на разпространението на оптичното лъчение в оптичните влакна и при изпълнение на условието

$$a = (2 + 3)\lambda$$

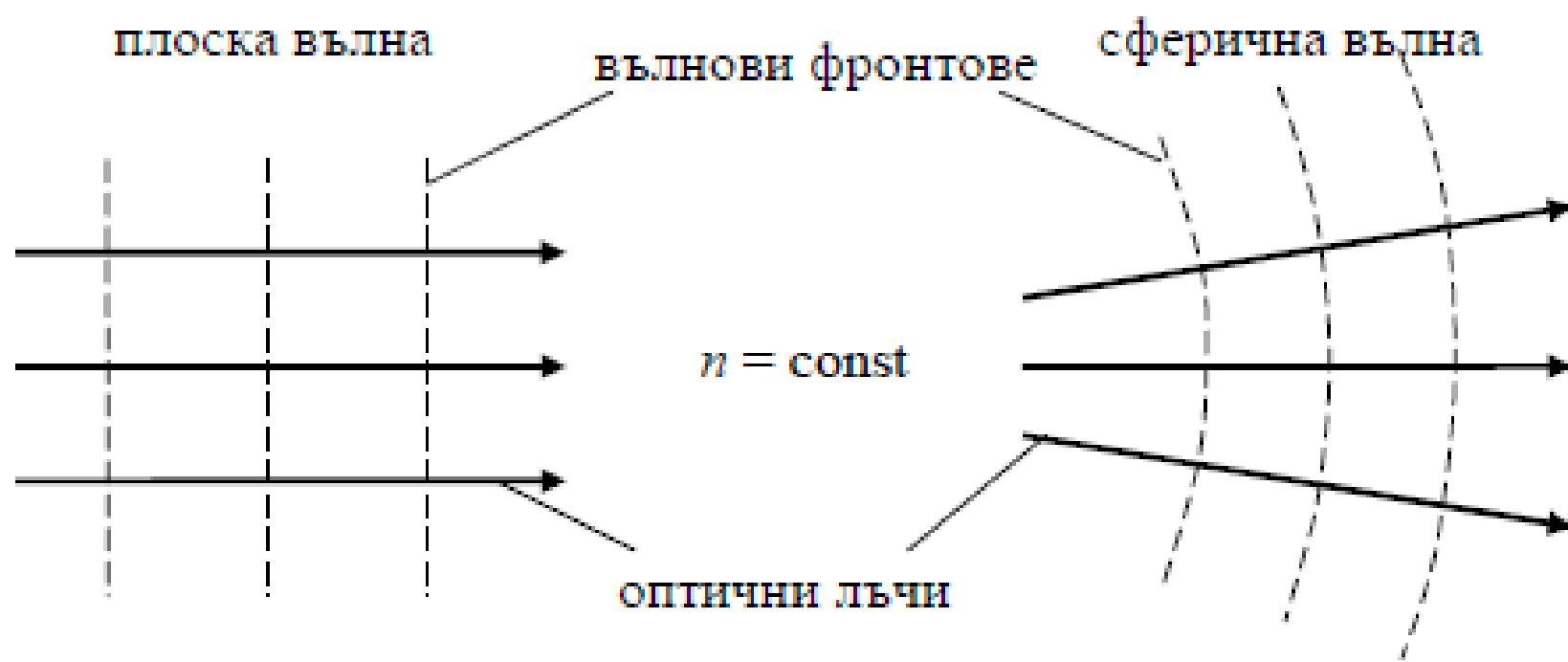
е възможно достатъчно точно качествено определяне на явленията с методите на геометричната оптика.

### 3. Представяне на оптични вълни.

В геометричния анализ на оптичните лъчения светлинните вълни се представят с оптични лъчи, насочени по нормалите към вълновите фронтове:

- равнини – при плоската вълна
- сфери – при сферичната вълна.

В еднородни среди коефициентът на пречупване на средата  $n$  не е функция на пространствените координати и оптичните лъчи се разпространяват праволинейно.



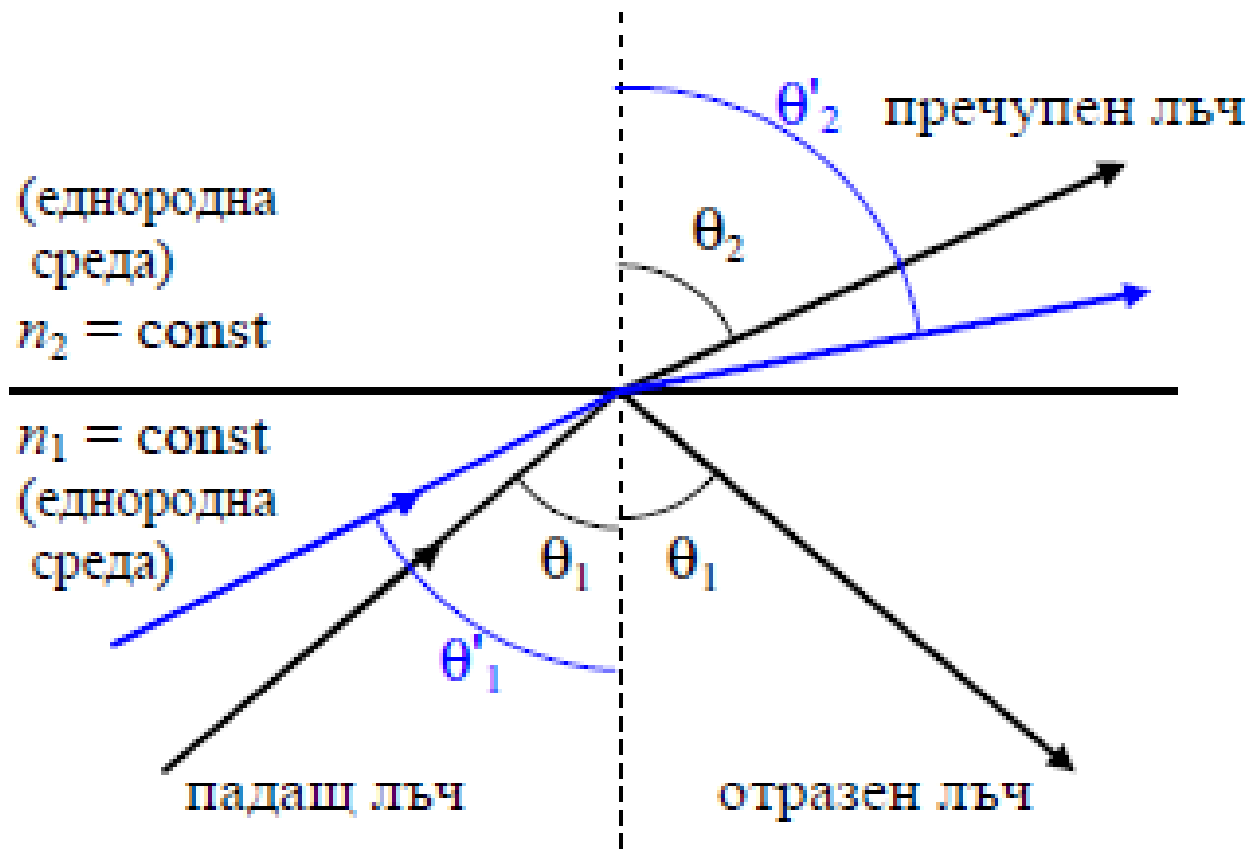
#### 4. Закони на геометричната оптика (GO).

При преминаването на ОЛ-е през две среди с различни оптични плътности (с различни коефициенти на пречупване) на граничната повърхност важат два прости геометрични закони на Снелиус:

- ъгълът на отражение  $\theta_1'$  е равен на ъгъла на падане  $\theta_1$
- ъгълът на пречупване  $\theta_2$  е свързан с  $\theta_1$  чрез тригонометрични функции и с коефициентите на пречупване на двете среди

$$\theta_1' = \theta_1$$

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

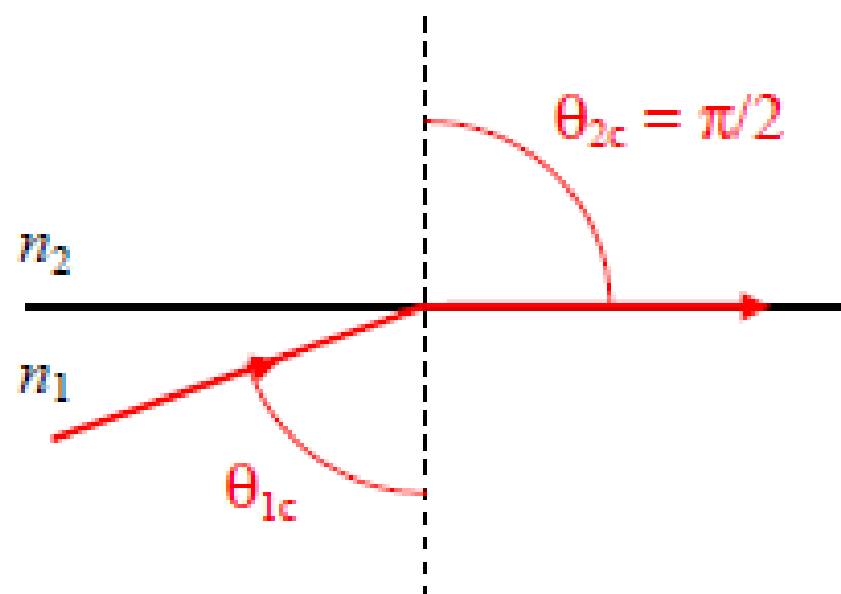


Ако  $\theta_1$  расте, следователно и  $\theta_2$  ще расте (при  $n_1 = \text{const}$ ,  $n_2 = \text{const}$ ). Ако

$$n_1 > n_2$$

(от оптически по-плътна среда оптичният лъч преминава в оптически по-неплътна среда), следва че

$$\theta_1 < \theta_2 .$$



Очевидно е, че ще съществува критична стойност  $\theta_{1c}$  на ъгъла на падане, за която

$$\theta_2 = \theta_{2c} = \pi/2, \quad \text{т.е.} \quad \sin \theta_{2c} = 1.$$

Следователно

$$\sin \theta_{1c} = \frac{n_2}{n_1}.$$

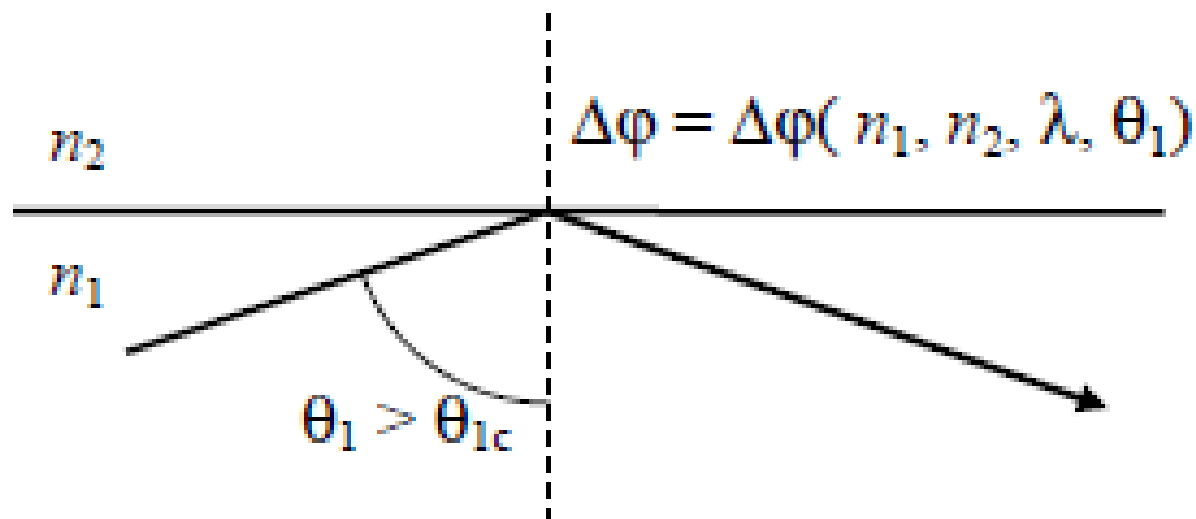
Пречупеният лъч се “плъзга” по разделната повърхност.



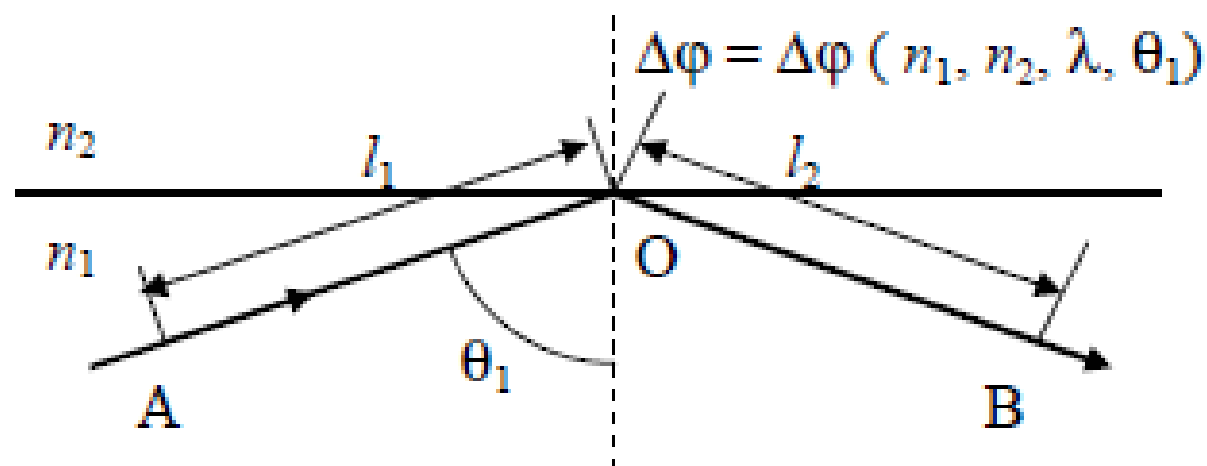
При  $\theta_1 > \theta_{1c}$  отсъства пречупен лъч и се наблюдава явлението “пълно вътрешно отражение”. То е в основата на анализа на световодното разпространение с методите на GO. Освен това приемаме, че  $n_1 = \text{const}$  и  $n_2 = \text{const}$ , за да имаме праволинейно разпространение.

## 5. Дефазиране на граничната повърхност.

Много съществено за анализа на световодното разпространение е, че на разделната повърхност отразеният лъч претърпява скокообразно дефазиране  $\Delta\phi$  спрямо падащия, което зависи от  $\lambda$ ,  $\theta_1$ ,  $n_1$  и  $n_2$ .



За да намерим промяната на фазата на лъчението от т.А до т.В не е достатъчно да знаем само геометричното разстояние, измината от лъча, а и  $\Delta\varphi$ . Това се използва при извода на характеристичното уравнение за радиално-стъпалното оптично влакно.



Фазата се променя

$$\Delta\varphi_{A-B} = k.l + \Delta\varphi(n_1, n_2, \lambda, \theta_1) = 2\pi(l/\lambda) + \Delta\varphi,$$

$$l = AO + OB = l_1 + l_2 .$$

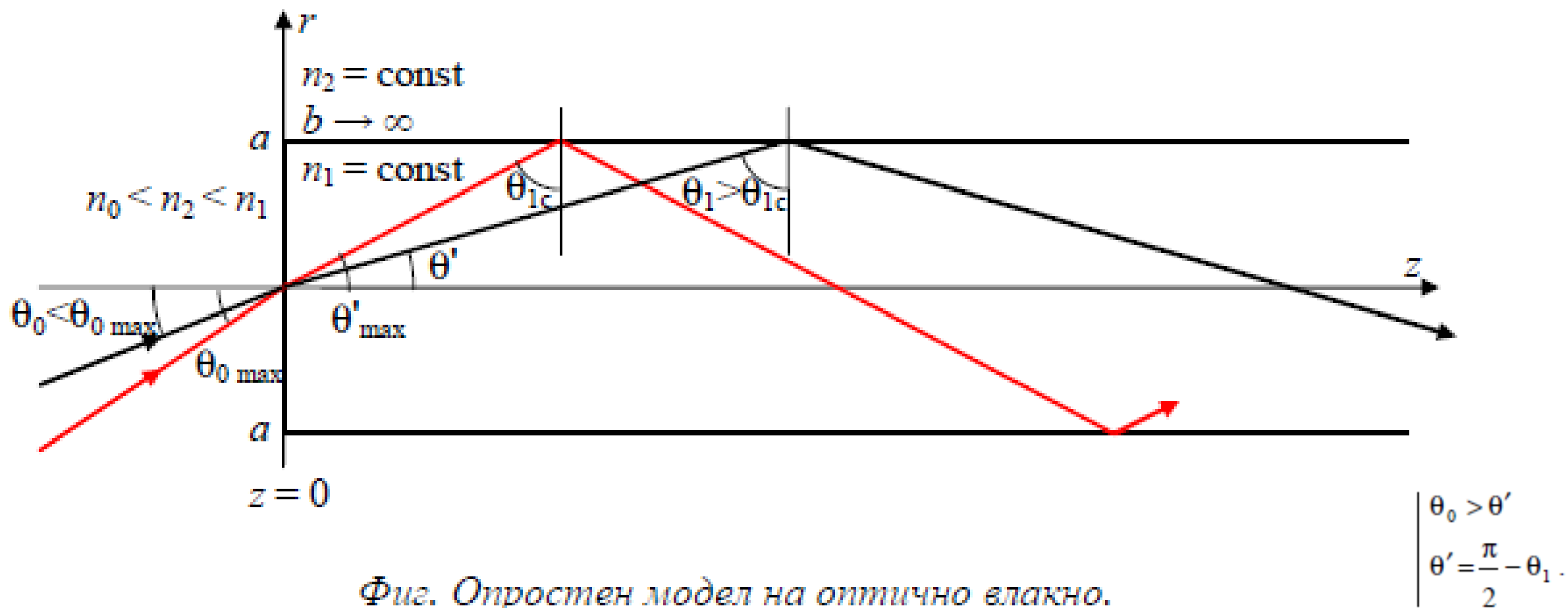
СЪЩНОСТ НА СВЕТОВОДНОТО РАЗПРОСТРАНЕНИЕ. ВЪВЕЖДАНЕ НА  
ЛЪЧЕНИЕТО НА ОПТИЧНИЯ ИЗТОЧНИК В СВЕТОВОДА

## 1. Опростен модел на оптично влакно.

Лъчението на оптичния източник се въвежда в световода през челния му срез. За анализа ни е достатъчен опростен модел на оптично влакно (ОВ). То (влакното) се състои от:

- цилиндрична сърцевина – с надлъжна ос  $z$ , с радиус  $a$ , с коефициент на пречупване  $n_1$
- коаксиална обвивка – външно неограничена, т.е. с радиус  $b \rightarrow \infty$  с коефициент на пречупване  $n_2 < n_1$
- среда пред челния срез на ОВ-но с коефициент на пречупване  $n_0 < n_2 < n_1$ .

Когато  $n_1 = \text{const}$ , т.е. не зависи от радиалната координата  $r$  на цилиндричната координатна система, оптичните влакна се наричат радиално стъпални.

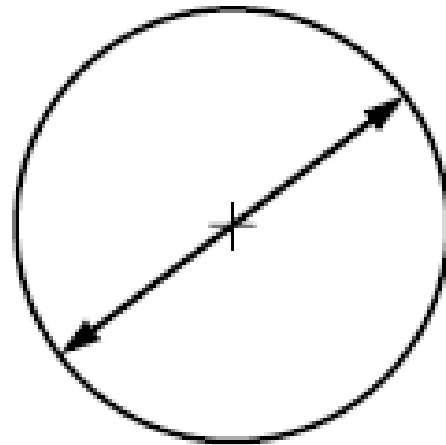


Фиг. Опростен модел на оптично влакно.

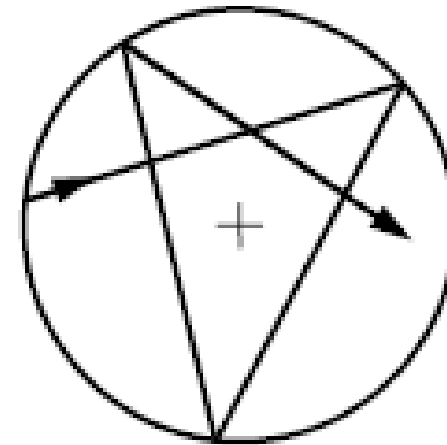
## 2. Видове лъчи на сърцевината.

Лъчите от източника, които навлизат в сърцевината на ОВ-но през челния му срез ( $z = 0$ ), се преобразуват в два вида лъчи:

- меридианни – пресичащи оста  $z$  лъчи
- не-меридианни – непресичащи оста  $z$  лъчи.



Фиг.: а) меридианни лъчи;



б) не-меридианенни лъчи.



### 3. Направлявани моди на сърцевината.

Лъчите, меридианни и не-меридианни, които претърпяват пълно вътрешно отражение на разделната повърхност “сърцевина-обвивка” (за които  $\theta_1 > \theta_{1c}$ ), се разпространяват в сърцевината на ОВ-но по зигзагообразни траектории. Оптичните вълни, представяни с тези лъчи, се отразяват многократно от цилиндричната гранична повърхност  $r = a$  и, наслагвайки се сами върху себе си, образуват направлявани моди на сърцевината, или както се наричат още собствени вълнови форми на ОВ-но.

4. Условие даден лъч да участва в направлявана мода на сърцевината.

Каква е възможността (условието) за произволен лъч, падащ под ъгъл  $\theta_0$  върху челния срез на ОВ-но, да участва в образуването на направлявана мода на сърцевината?

Очевидно се изисква

$$\theta_0 < \theta_{0 \text{ max}} ,$$

за да е изпълнено

$$\theta_1 < \theta_{1c} .$$

Да определим  $\theta_{0 \text{ max}}$  .

За челния срез на ОВ  $z = 0$  също важи законът на Снелиус.

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta' .$$

Това равенство важи и за ъгъл  $\theta_{0 \text{ max}}$  , следователно

$$\sin \theta_{0 \text{ max}} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} .$$

Ъгъл  $\theta_{0 \max}$  е мярка за ефективността на възбуждане на световода. Само тези лъчи на оптичния източник, за които е изпълнено  $\theta_0 \leq \theta_{0 \max}$ , търпят пълно вътрешно отражение в сърцевината на ОВ-но и могат да образуват направлявани моди.

5. Възможност  $\theta_{0 \max} = \pi/2$ .

Може да се провери възможността всички лъчи, падащи върху челния срез на ОВ-но, да образуват направлявани моди, т.е.  $\theta_{0 \max} = \pi/2$ . Ако приемем  $n_0 = n_2$ , от условието  $\theta_{0 \max} = \pi/2$  с използване на горното равенство се достига до

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{2} ,$$

което води до  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \sin \theta_{1c}$  , т.е.  $\theta_{1c} = 45^\circ$ .

6. Условие за намаляване на дисперсията на кодовите импулси (КИ).

От израза за  $\theta_{0 \max}$  се вижда, че възбудането е по-ефективно при по-силно различаващи се стойности на  $n_1$  и  $n_2$ . Колкото  $\theta_{0 \max}$  е по-голям, толкова по-голям брой лъчи ще влизат в световода и ще образуват направлявани моди.

На практика, обаче, се налага  $n_1 \approx n_2$  ( $n_1 > n_2$ ), защото голямата разлика между  $n_1$  и  $n_2$  води до други нежелани ефекти – до увеличаване на дисперсията на кодовите импулси.

Да положим

$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \ll 1$  – относителна разлика между коефициентите на

пречупване на сърцевината и на обвивката.

Типични стойности са

$\Delta \in (0,001; 0,01)$ .



## 7. Числена апертура на оптичното влакно.

В практиката вместо ъгъл  $\theta_{0 \max}$  за оценка на ефективността на възбуждането се използва

$$A = n_0 \sin \theta_{0 \max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ - числена апертура на ОВ-но.}$$

Типичните ѝ стойности са в интервала

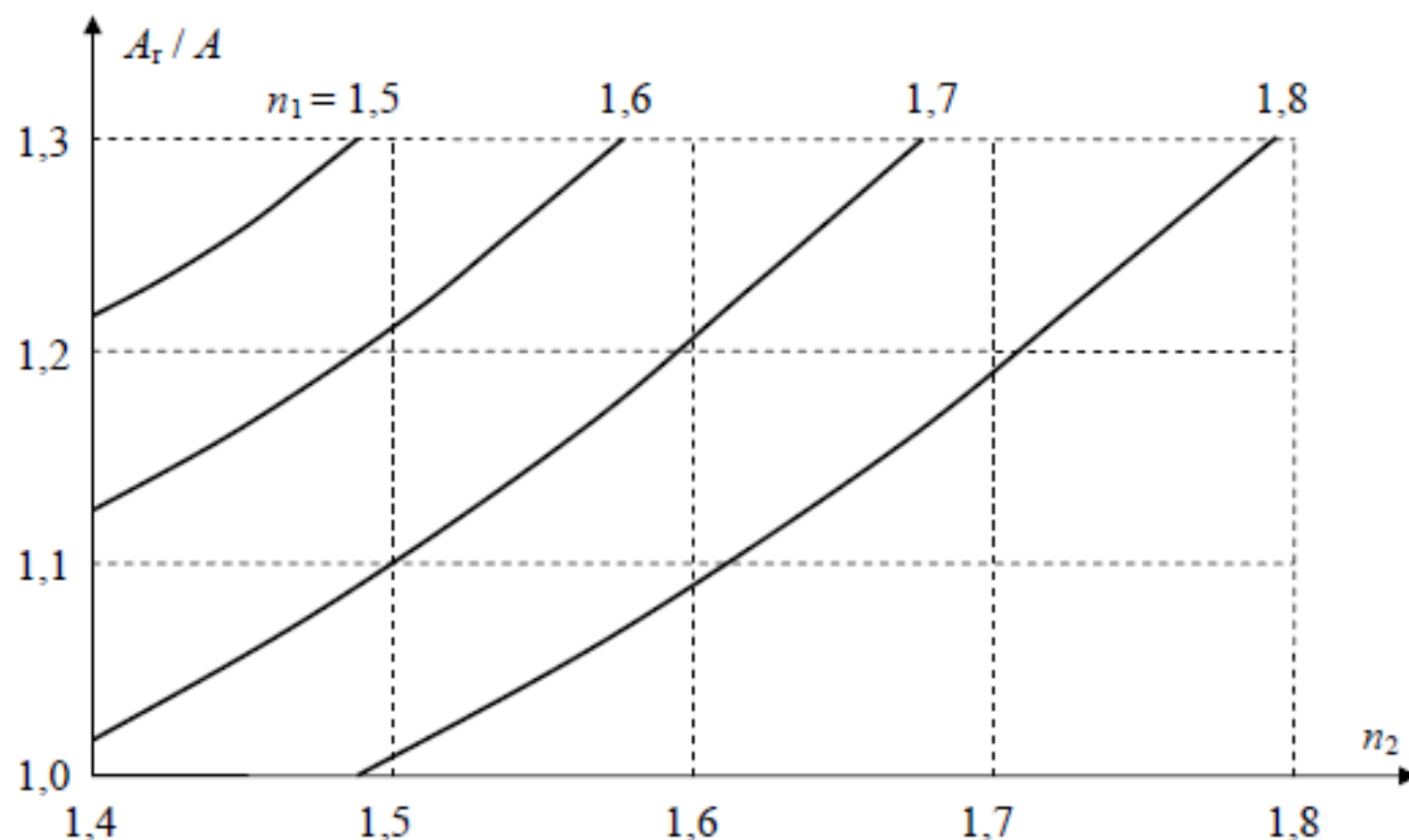
$$A \in (0,05; 0,25).$$

Така зададената числена апертура се отнася само за меридианните лъчи.

За отчитане и на не-меридианните лъчи се използва

$A_r$  – действителна числена апертура на ОВ-но.

Тя е толкова по-голяма от  $A$ , колкото е по-малка разликата между  $n_1$  и  $n_2$ .



Фиг. Зависимост между числените апертури и коефициентите на пречупване на оптичното влакно.

Графичната зависимост може да се използва като номограма за приблизително решаване на различни задачи.

8. Моди на обвивката, излъчвани моди, затихващи моди.

Какво става с лъчите от източника, за които  $\theta_0 > \theta_{0 \text{ max}}$  ( $\theta_1 < \theta_{1c}$ )?

- Моди на обвивката – за тях  $\theta_1 < \theta_{1c}$ . Те се пречупват на граничната повърхност  $r = a$  и преминават в обвивката, но претърпяват пълно вътрешно отражение на граничната повърхност  $r = b$  и остават в ОВ и така със следващи пречупвания и отражения.

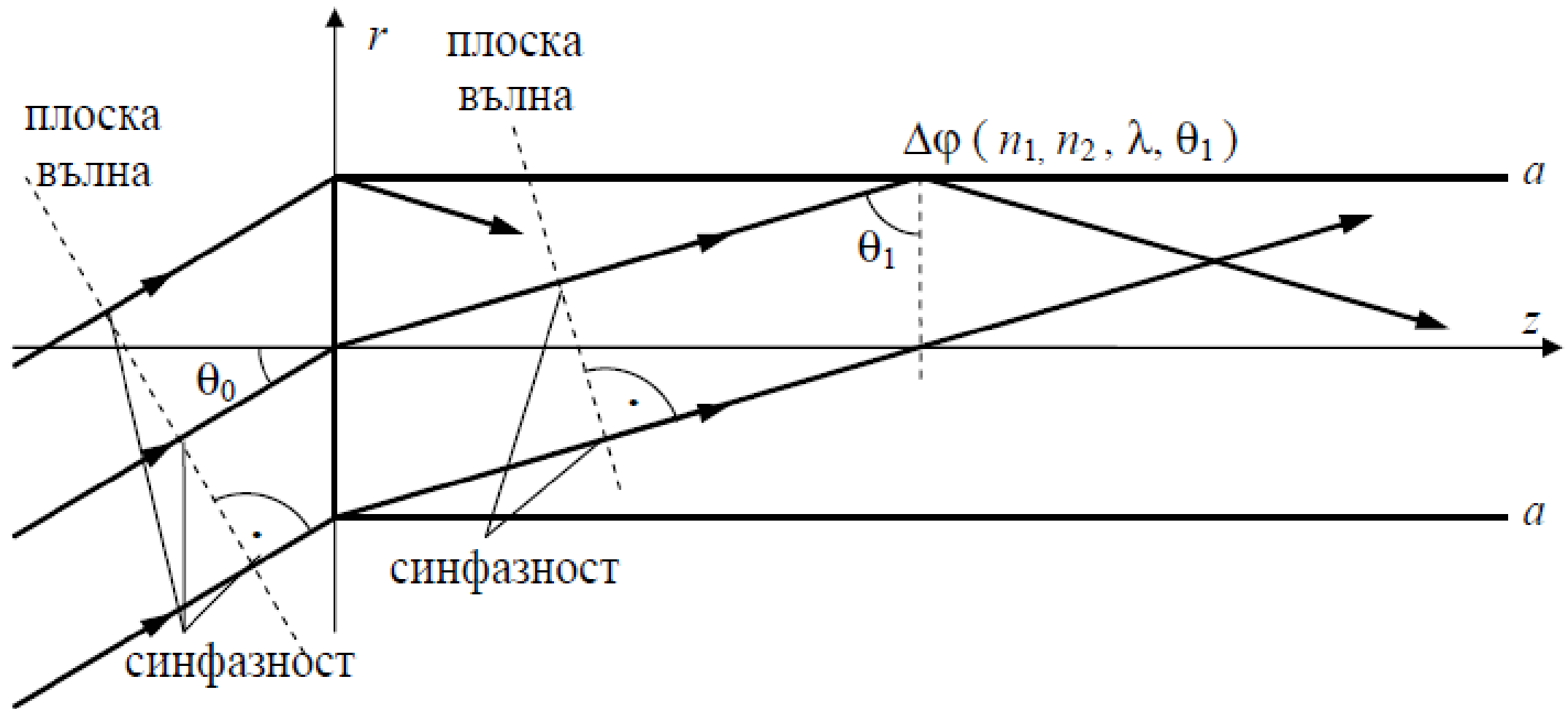
- Излъчвани (изтичащи) моди – пречупват се на граничната повърхност  $r = b$  и напускат ОВ-но, преминавайки в защитното покритие, където затихват бързо. Защитното покритие е силно поглъщащо, за да се отстрани взаимното влияние между отделните световоди в оптичния кабел.

- Затихващи моди на ОВ-но (в сърцевината и в обвивката) – лъчите на излъчваните моди частично остават в сърцевината, след отражения на граничната повърхност  $r = a$ , и в оптичното влакно, след отражения на граничната повърхност  $r = b$  и пречупвания на  $r = a$ . След многобройни отражения и пречупвания енергията им намалява (“затихва”) поради излъчванията в защитното покритие.

## 9. Брой на направляваните моди.

Върху челния срез на ОВ-но падат лъчи под различни ъгли  $\theta_0$  и определят различни зигзагообразни траектории, т.е. различни моди. Лъчите са непрекъснато и безкрайно множество в рамките на  $\theta_{0 \max}$ , и следователно би трябвало да образуват безкрайно множество от направлявани моди на сърцевината, но това не е така.

Въпреки навлизането на безкрайно много лъчи, броят на модите е ограничен, краен. Само една крайна част от лъчите на източника с дискретно разпределени стойности по  $\theta_0$ , респ. по  $\theta_1$ , образуват направлявани моди.



Фиг.: Към извода на характеристичното уравнение на цилиндричното  
 радиално-стъпално ОВ-но.



Лъчи навлизат не само през центъра на челния срез на ОВ-но, така че всяка мода се формира от много лъчи. Като се отчетат:

- геометричните пътища на различните лъчи и
- фактът, че при отражението на граничната повърхност  $r = a$  се получава фазова разлика  $\Delta\varphi$ ,

то в точката на пресичане различните лъчи могат да пристигнат с фазова разлика  $2k\pi$  и ще се сумират, но и с  $(2k + 1)\pi$  и ще се гасят ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ).

Това е и основата на извода на характеристичното уравнение на цилиндричното радиално-стъпално ОВ-но с методите на ГО-ка в рамките на меридианните лъчи и при  $b \rightarrow \infty$ .

Броят на направляваните моди зависи от  $\lambda$  и от  $a$ .

- с намаляването на  $\lambda$  този брой расте;
- с увеличаването на  $a$  този брой също расте.

Ще въведем безразмерната честота  $F$ , с помощта на която може приблизително да се определи броят на направляваните моди на сърцевината

$$F = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} A - \text{нормирана честота.}$$

Тогава

$$N \approx \frac{F^2}{2} - \text{брой на направляваните моди на сърцевината на ОВ-но.}$$

При  $N = 1$  – едномодово оптично влакно.

При  $N > 1$  – многомодово оптично влакно.

# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ

Вълнов анализ на световодното  
разпространение, видове и брой на  
модите

- Вълновата оптика е клонът на оптиката, който изучава **интерференция, дифракция, поляризация** и други явления, за които лъчевото приближение на геометричната оптика не е валидно.

Fedor Mitschke

# Fiber Optics

Physics and Technology

*Second Edition*

 Springer

ISBN 978-3-662-52762-7  
DOI 10.1007/978-3-662-52764-1

ISBN 978-3-662-52764-1 (eBook)

Library of Congress Control Number: 2016942576

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

This work is subject to copyright. All rights are reserved by the Publisher, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in any other physical way, and transmission or information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed.

The use of general descriptive names, registered names, trademarks, service marks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

The publisher, the authors and the editors are safe to assume that the advice and information in this book are believed to be true and accurate at the date of publication. Neither the publisher nor the authors or the editors give a warranty, express or implied, with respect to the material contained herein or for any errors or omissions that may have been made.

Printed on acid-free paper

This Springer imprint is published by Springer Nature

The registered company is Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

[https://books.google.bg/books?id=343fg\\_YU5U4C&printsec=frontcover&dq=fedor+mitschke&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewjcgrij6hY3tAhUry4UKHe7pAj8Q6wEwAHoECAAQAQ#v=onepage&q=fedor%20mitschke&f=false](https://books.google.bg/books?id=343fg_YU5U4C&printsec=frontcover&dq=fedor+mitschke&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewjcgrij6hY3tAhUry4UKHe7pAj8Q6wEwAHoECAAQAQ#v=onepage&q=fedor%20mitschke&f=false)



- За вълново уравнение вече сме говорили в темата Гаусов лазерен сноп.
- Основната разлика е, че вече имаме не безкрайно пространство, а влакното с определена геометрия.
- Друга разлика е, че средата се различава от вакуум.

Припомним уравнения на Максвел

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho,$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0,$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

$\vec{E}$	electric field strength	(V/m)
$\vec{H}$	magnetic field strength	(A/m)
$\vec{D}$	dielectric displacement	(As/m <sup>2</sup> )
$\vec{B}$	magnetic induction	(Vs/m <sup>2</sup> =T)
$\vec{J}$	current density	(A/m <sup>2</sup> )
$\rho$	charge density	(As/m <sup>3</sup> )

Характеристиките на материала се отразяват от

$\vec{P}$  polarization

$\vec{M}$  magnetization

$\sigma$  conductivity

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P},$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}),$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}.$$

$$\epsilon_0 = \frac{10^7 \text{ Am}}{4\pi c^2 \text{ Vs}}$$
$$\approx 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}},$$

$$\mu_0 = \frac{4\pi \text{ Vs}}{10^7 \text{ Am}}$$
$$\approx 1.26 \times 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}.$$

$$\mu_0 \epsilon_0 = 1/c^2$$

$$\mu_0/\epsilon_0 = \left(\frac{4\pi c}{10^7}\right)^2 = Z_0^2$$

$$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$Z_0 \approx 377 \Omega$$

$$\frac{\vec{E}}{\vec{H}} = Z_0 \quad \text{импеданс на вакуума}$$

- За да можем да достигнем до практически резултати използваме следните приближения:

- 1. Няма свободни заряди в средата
- 2. Няма токове в средата
- 3. Средата не е магнитна
- 4. Поляризацията настъпва моментално
- 5. Поляризирането на материала е успоредно на полето
- 6. Параксиално приближение

- $\rho = 0$
- $\vec{J} = 0$
- $\vec{M} = 0$

Уравненията на Максвел се редуцират до

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0,$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0,$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \nabla \times \left( -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

<https://mathworld.wolfram.com/Curl.html>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Curl\\_\(mathematics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Curl_(mathematics))

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80\\_\(%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80_(%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80))

$$\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \vec{B})$$



Правим преобразования

$$\begin{aligned}\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} &= -\frac{\partial}{\partial t} \left( \mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \\ &= -\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{D}}{\partial t^2} \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}.\end{aligned}$$

Стигаме до вълново уравнение

$$-\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) + \nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}.$$

Аналогично уравнение можем да получим и за магнитното поле.

Представяме връзката между поляризацията и полето

$$\vec{P} = \epsilon_0 \left( \chi^{(1)} \vec{E} + \chi^{(2)} \vec{E}^2 + \chi^{(3)} \vec{E}^3 + \dots \right)$$

Припомняме по-рано въведените приемания:

4. Поляризацията настъпва моментално
5. Поляризирането на материала е успоредно на полето

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}.$$

- Линеен и нелинеен случай за  $P$   
(разглежда се и при нелинейните явления)

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E}, \quad P = \epsilon_0 \{ \chi^{(1)} + \chi^{(3)} E^2 \} E$$

- Линеен случай

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} (1 + \chi^{(1)})$$

$$1 + \chi^{(1)} = \epsilon = \left( n + i \frac{c}{2\omega} \alpha \right)^2$$

Ако средата не поглъща, то имаме само реална част

$$\epsilon = n^2$$

- Линеен случай

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E}.$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{H}$$



- Нелинейен случай

$$P = \epsilon_0 \{ \chi^{(1)} + \chi^{(3)} E^2 \} E$$

$$\epsilon = n^2 = 1 + \chi^{(1)} + \chi^{(3)} E^2 = \epsilon_{\text{linear}} + \chi^{(3)} E^2.$$

$$\epsilon = \epsilon_{\text{linear}} \left( 1 + \frac{\chi^{(3)}}{\epsilon_{\text{linear}}} E^2 \right)$$

$$n = n_0 \sqrt{1 + \frac{\chi^{(3)}}{\epsilon_{\text{linear}}} E^2} \approx n_0 \left( 1 + \frac{\chi^{(3)}}{2n_0^2} E^2 \right)$$

- Нелинеен случай

$$n = n_0 + \bar{n}_2 E^2$$

$$\bar{n}_2 = \frac{\chi^{(3)}}{2n_0}$$

$$n = n_0 + n_2 I$$

*Коментари за влиянието на интензивността (има смисъл ако ни интересува фазата)*

$$n_2 I = 3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W} \frac{10^3 \text{ W}}{10^{-10} \text{ m}^2} = 3 \times 10^{-7}.$$

## Разделяне на координатите

- Геометрията на влакното е цилиндър с напречно кръгово сечение и голяма дължина  $z$
- По тази причина се използва цилиндрична координатна система  $r, \phi,$
- Разпространението е по  $z$  ( в положителна посока )
- Следват преобразувания :

$$\nabla^2 E = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} E \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} E + \frac{\partial^2}{\partial z^2} E.$$

$$E = E_0 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T}$$

$$\mathcal{N} = \mathcal{N}(r, \phi) \quad \mathcal{Z} = \mathcal{Z}(z) = e^{-i\beta z} \quad \mathcal{T} = \mathcal{T}(t) = e^{i\omega t}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} E_0 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} E_0 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} E_0 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T} = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} E_0 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T}$$

Диференцирането е различно спрямо положените величини.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T} \right) = \mathcal{Z} \mathcal{T} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{N} \right)$$

$$\mathcal{Z} \mathcal{T} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{N} + \frac{\partial^2}{\partial r^2} \mathcal{N} \right)$$

$$\mathcal{Z} \mathcal{T} \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \mathcal{N},$$

$$-\beta^2 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T}$$

$$-\frac{n^2}{c^2} \omega^2 \mathcal{N} \mathcal{Z} \mathcal{T}$$

$$\mathcal{N}(r, \phi) = \mathcal{R}(r) \Phi(\phi)$$

$$\frac{r}{\mathcal{R}} \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{R} + \frac{r^2}{\mathcal{R}} \frac{\partial^2}{\partial r^2} \mathcal{R} + \frac{1}{\Phi} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \Phi - r^2 \beta^2 = -k^2 r^2$$

$$-\frac{1}{\Phi} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \Phi = \frac{1}{\mathcal{R}} \left( r^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} \mathcal{R} + r \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{R} + r^2 (k^2 - \beta^2) \mathcal{R} \right)$$

Представяме амплитудното разпределение като функция

$$\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \Phi + m^2 \Phi = 0$$

$$r^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} \mathcal{R} + r \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{R} + (\kappa^2 r^2 - m^2) \mathcal{R} = 0.$$

$$\kappa^2 = k^2 - \beta^2 \quad \text{constant by } m^2$$



- Решения, моды

$$\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \Phi + m^2 \Phi = 0$$

$$\Phi = c_0 \cos(m\phi + \phi_0)$$

$c_0$  and  $\phi_0$  constants

$$r^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} \mathcal{R} + r \frac{\partial}{\partial r} \mathcal{R} + (\kappa^2 r^2 - m^2) \mathcal{R} = 0.$$

$$x^2 y'' + xy' + (\kappa^2 x^2 - m^2)y = 0$$

*Bessel's differential equation*

<http://mathworld.wolfram.com/BesselDifferentialEquation.html>

решение  $y = c_1 J_m(\kappa x) + c_2 N_m(\kappa x) \quad \kappa^2 x^2 \geq 0$

$y = c_3 I_m(\kappa x) + c_4 K_m(\kappa x) \quad \kappa^2 x^2 < 0$

- За да намерим  $s1$ - $s4$  трябва да фиксираме геометрията на влакното

$$n = \begin{cases} n_K: & r \leq a \quad (\text{inside the core}), \\ n_M: & r > a \quad (\text{in the cladding}). \end{cases}$$

- .....

$$\begin{aligned} V &= k_0 a \text{NA} \\ &= \frac{2\pi}{\lambda_0} a \sqrt{n_K^2 - n_M^2} \end{aligned}$$

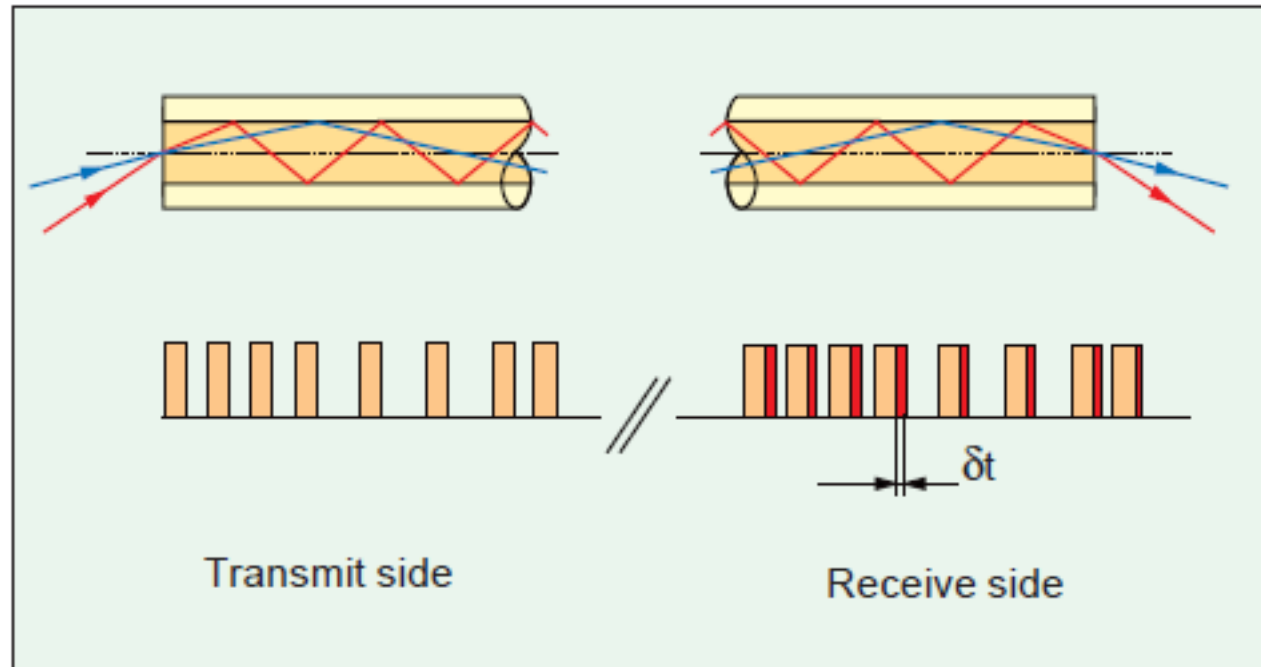
$$\mathcal{N}_K = C_K J_m(ur/a) \cos(m\phi + \phi_0) : r \leq a,$$
$$\mathcal{N}_M = C_M K_m(wr/a) \cos(m\phi + \phi_0) : r > a.$$

# ОПТОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТЧНИ КОМУНИКАЦИИ

Едномодови оптични влакна, физически причини и видове дисперсия на кодовите импулси при разпространението им по влакното, влияние на дисперсията върху скоростта на предаване на информацията и дължината на световодния канал

- Светлинният сигнал, разпространяван в оптично влакно, е обект на различни начини, по които може да се изкриви.
- Много от тях се основават на различни скорости на разпространение за различни части на сигнала.
- След такова изкривяване съществува риск сигналът пристигащ до приемника да е в такава изкривена форма, че може да е невъзможно правилно дешифриране.

- Вече срещнахме един такъв механизъм: модова дисперсия в многомодови влакна.



- Сега ще разгледаме такива изкривявания в едномодовите влакна.
- В центъра на обяснението е фактът, че показателят на пречупване на влакното стъклото, точно като това на всеки друг материал, зависи от дължината на вълната (или честотата).
- Никой светлинен сигнал никога не е наистина монохроматичен; по-скоро съдържа компоненти от определен спектрален интервал.
- Различните честотни компоненти се разпространяват с различна скорост.



Fedor Mitschke

# Fiber Optics

Physics and Technology

*Second Edition*

 Springer

ISBN 978-3-662-52762-7  
DOI 10.1007/978-3-662-52764-1

ISBN 978-3-662-52764-1 (eBook)

Library of Congress Control Number: 2016942576

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

This work is subject to copyright. All rights are reserved by the Publisher, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in any other physical way, and transmission or information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed.

The use of general descriptive names, registered names, trademarks, service marks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

The publisher, the authors and the editors are safe to assume that the advice and information in this book are believed to be true and accurate at the date of publication. Neither the publisher nor the authors or the editors give a warranty, express or implied, with respect to the material contained herein or for any errors or omissions that may have been made.

Printed on acid-free paper

This Springer imprint is published by Springer Nature

The registered company is Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

[https://books.google.bg/books?id=343fg\\_YU5U4C&printsec=frontcover&dq=fedor+mitschke&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewjcgrij6hY3tAhUry4UKHe7pAj8Q6wEwAHoECAAQAQ#v=onepage&q=fedor%20mitschke&f=false](https://books.google.bg/books?id=343fg_YU5U4C&printsec=frontcover&dq=fedor+mitschke&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewjcgrij6hY3tAhUry4UKHe7pAj8Q6wEwAHoECAAQAQ#v=onepage&q=fedor%20mitschke&f=false)

Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

Optical Fiber Theory for Comm X

https://books.google.bg/books?id=0u 130% Търсене

Google Optical Fiber Theory for Communications Networks Stefan Nilsson-Gistvik

КНИГИ


Добавяне в моята библиотека Напишете рецензия

## Optical Fiber Theory for Communications Networks

▶ Моята библиотека

▶ Моята история

Книги в Google Play



[Stefan Nilsson-Gistvik](#)  
Ericsson Cables AB, 1994 - 220 страници  
★★★★★  
[0 Рецензии](#)

Какво казват хората - [Напишете рецензия](#)

Но ние имаме рецензии на обичайните моста

- Зависимостта на дължина на вълната от показателя на пречупване е причина за три различни добавки към изкривяването от тип забавяне.
- Те се наричат колективно хроматична дисперсия.

- Материална дисперсия. Този принос произтича директно от зависимостта на дължината на вълната от коефициента на пречупване.
- Дисперсията на материала не е специфична за влакната.
- Той е независим от геометрията и зависи единствено от дължината на вълната.
- Вълноводна дисперсия. В конкретната геометрия на оптичните влакна има модификация на диференциалното време на разпространение.
- Мощността на сигнала е разпределена между ядрото и обвивката; съотношението на разделяне зависи от дължината на вълната.
- Коефициентите на пречупване на ядрото и на обвивката са различни.
- Профилна дисперсия. Разликата между коефициента на пречупване на ядрото и обвивката също зависи от дължината на вълната. Често се пренебрегва.

- Друга причина за дисперсионни изкривявания в едномодовите влакна е свързана със състоянието на поляризация на светлината.
- Всеки режим може да бъде разложен на две взаимно ортогонални части.
- Идеалното влакно има перфектна цилиндрична форма; тогава и двете поляризационни състояния (поляризационни режими) се разпространяват с идентични скорости.
- Обаче в реалния свят стъклото винаги има поне някои недостатъци; това предполага малко по-различен коефициент на пречупване за двете състояния.
- Обикновено това е ефект с малък принос в общите изкривявания.

- За да се характеризира дисперсията, обикновено се определя размерът на ефекта на единица разстояние.

$$D = \frac{1}{L} \delta\tau \quad \text{ps/km}$$

$$\delta\tau$$

$$D = \frac{1}{L} \frac{d\tau}{d\lambda}$$

$$D = D_m + D_w + D_p \quad \text{ps/(nm km)}$$

SiO<sub>2</sub>

$$n_D = 1.456$$

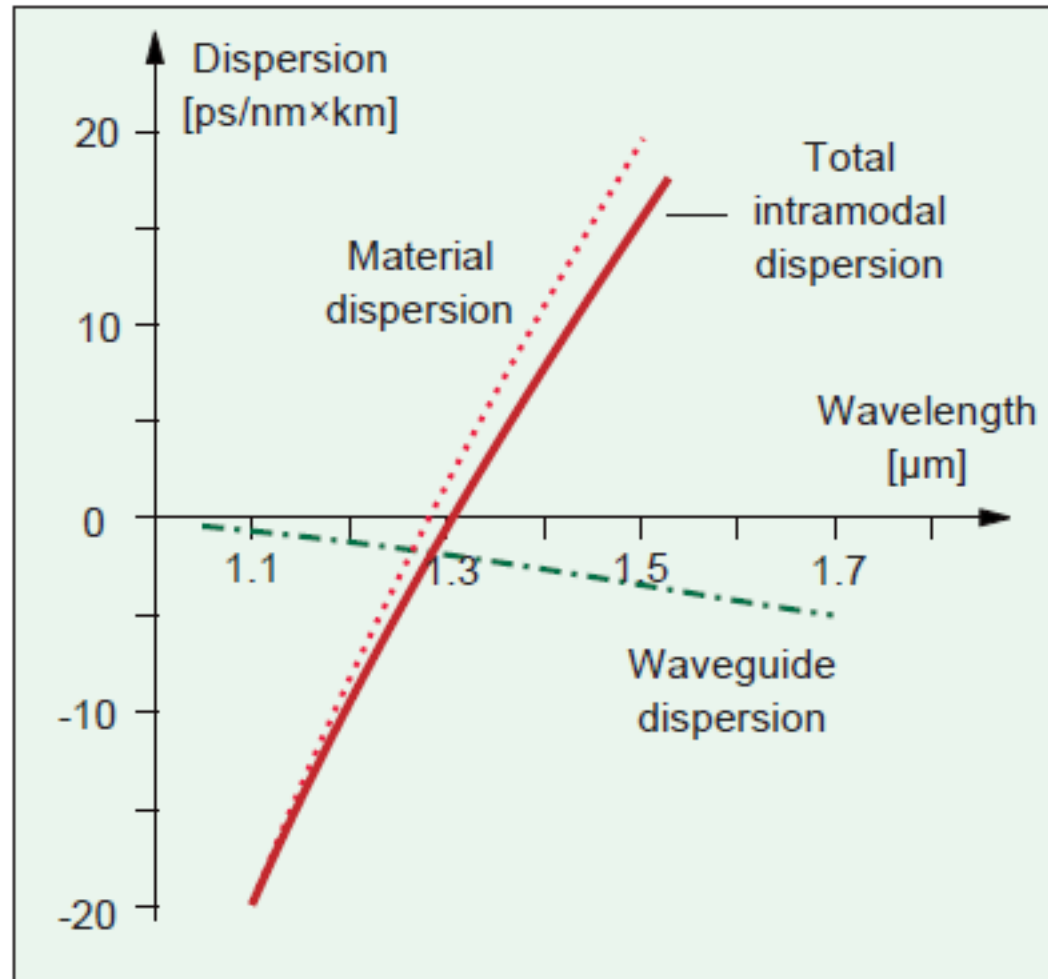
Sellmeier's equation

$$n^2(\omega) = 1 + \sum_{j=1}^m \frac{A_j \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_j^2}$$

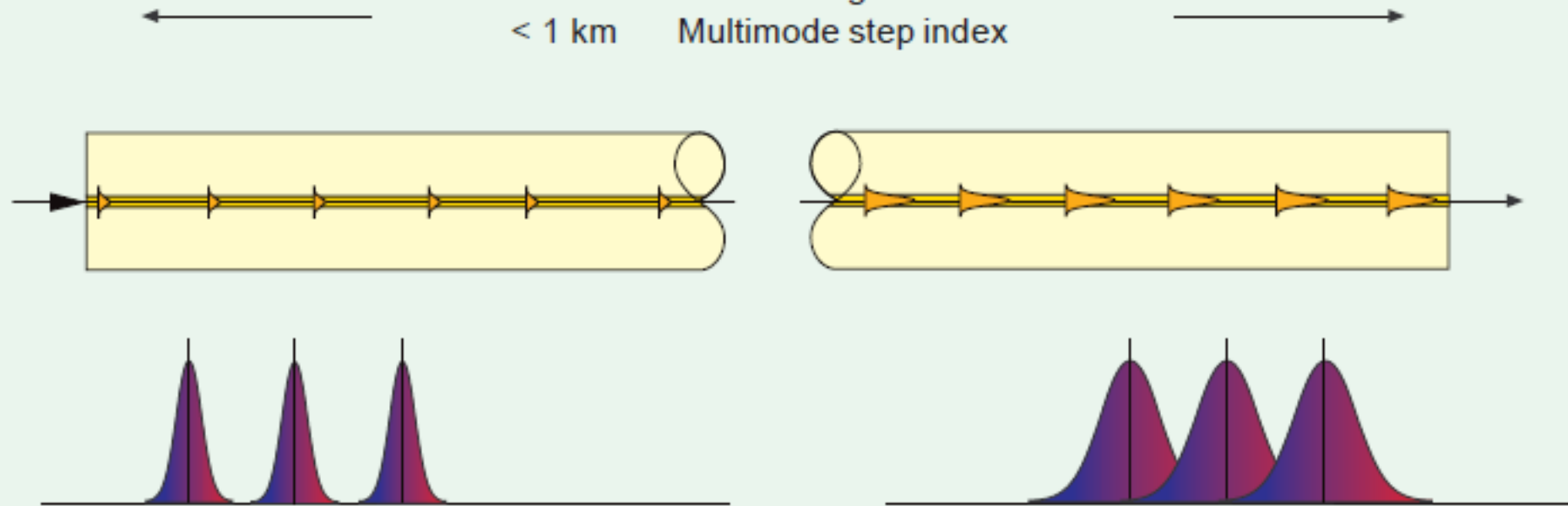
$$D_m = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2} .$$



$$D_m = -\beta_2 \left( \frac{2\pi c}{\lambda^2} \right) = -\frac{\omega}{\lambda} \beta_2 .$$

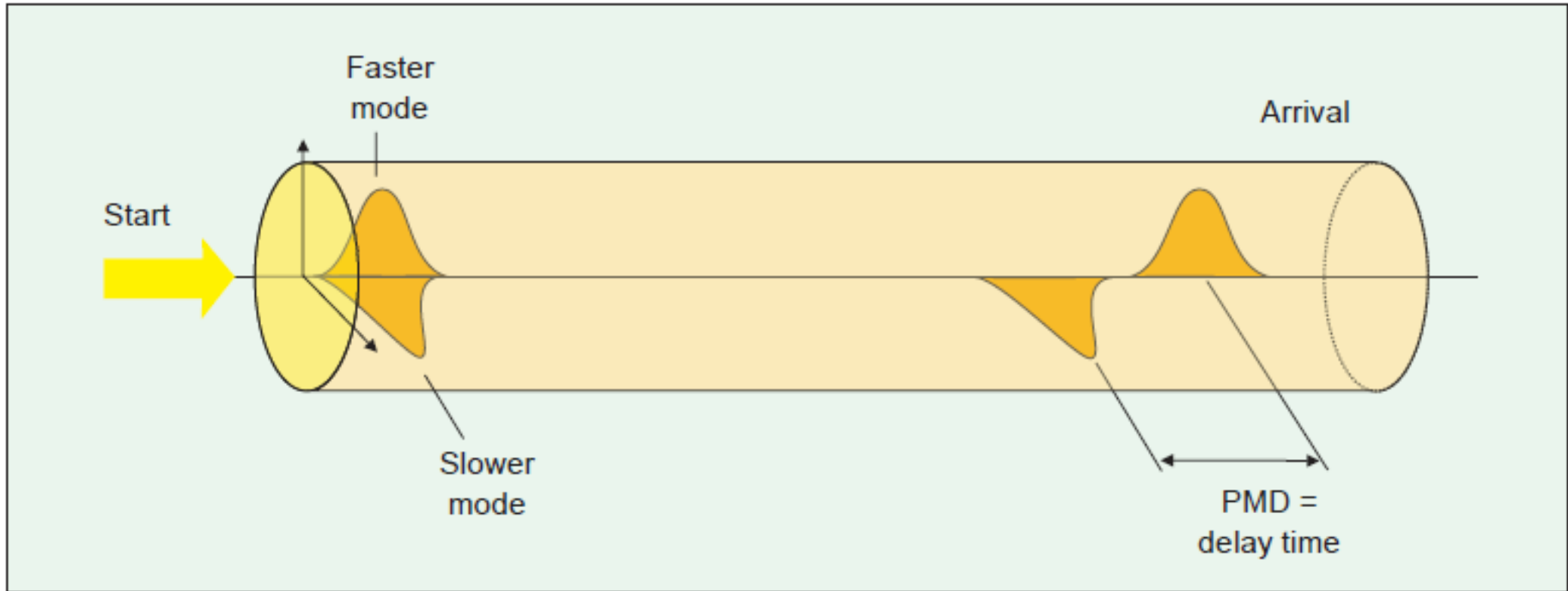


- > 50 km Single-mode step index
- < 10 km Multimode graded index
- < 1 km Multimode step index

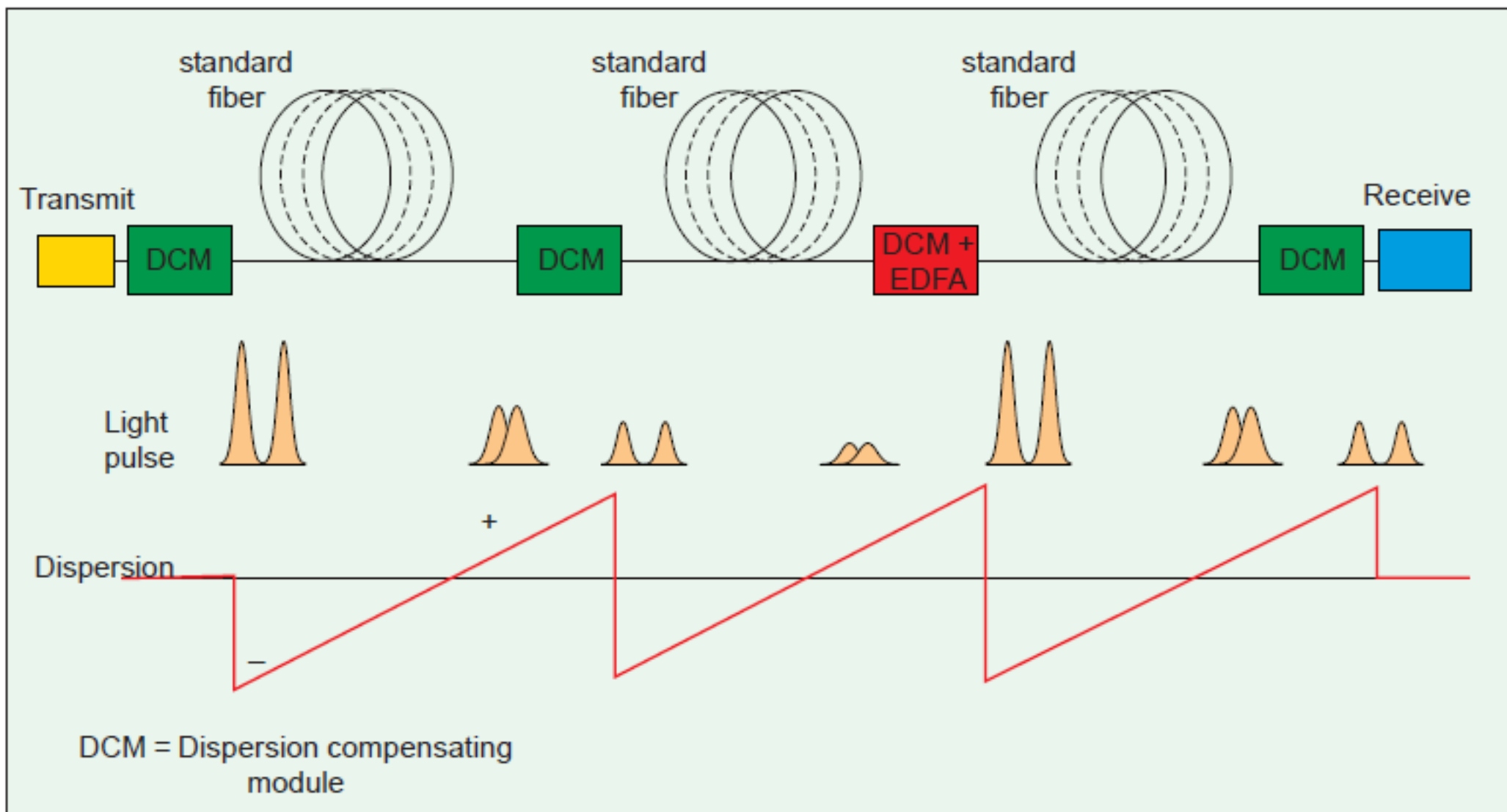


Transmission:  
 Well-defined pulses but not absolutely monochromatic.  
 Typical spectral width < 0.8 nm

Reception:  
 Pulse broadening caused by the laser's spectral width and the difference between the refractive indices of the red and blue ends of the light pulse.



Коментари и дискусия



Видове загуби в оптичните влакна.  
Нелинейни ефекти при разпространение на  
оптичното лъчение във влакното.

<https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&printsec=frontcover&dq=fiber+optic+communication+systems+agrawal&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewiD8uiNv7DtAhV0l4sKHSIlgDV0Q6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q=fiber%20optic%20communication%20systems%20agrawal&f=false>

The screenshot shows a web browser window displaying the Google Books page for the book "Fiber-Optic Communication Systems" by Govind P. Agrawal. The browser's address bar shows the URL: <https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&printsec=frontcover&dq=fiber+optic+communication+systems+agrawal&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewiD8uiNv7DtAhV0l4sKHSIlgDV0Q6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q=fiber%20optic%20communication%20systems%20agrawal&f=false>. The search bar contains the text "fiber optic communication systems agrawal".

Below the search bar, there are navigation buttons: "КНИГИ", "Преглед на извадката", "Добавяне в моята библиотека", and "Напишете рецензия".

The main content area features a red button that says "СДОБИЙТЕ СЕ С ПЕЧАТНАТА КНИГА". Below this, it states "Няма налична електронна книга" and provides a link to "Wiley.com". There are also links for "Намерете в библиотека" and "Всички книгопродавци »".

The book's title "Fiber-Optic Communication Systems" is prominently displayed. The author's name "Govind P. Agrawal" is listed below the title. The publisher information "John Wiley & Sons, 23.02.2012 г. - 626 страници" and a star rating of four stars are shown. There are also two reviews listed.

The book cover is visible on the left, showing the title "FIBER-OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS" and "FOURTH EDITION" by "GOVIND P. AGRAWAL". The cover features a diagram of fiber optic communication components.

Below the book cover, there is a description: "This book provides a comprehensive account of fiber-optic communication systems. The 3rd edition of this book is used worldwide as a textbook in many universities. This 4th edition incorporates recent advances that have occurred, in particular two new chapters. One deals with the advanced modulation formats (such as DPSK, QPSK, Още »".

At the bottom, there is a search bar and a button labeled "Търсене между кориците". A link for "Визуализация »" is also present.

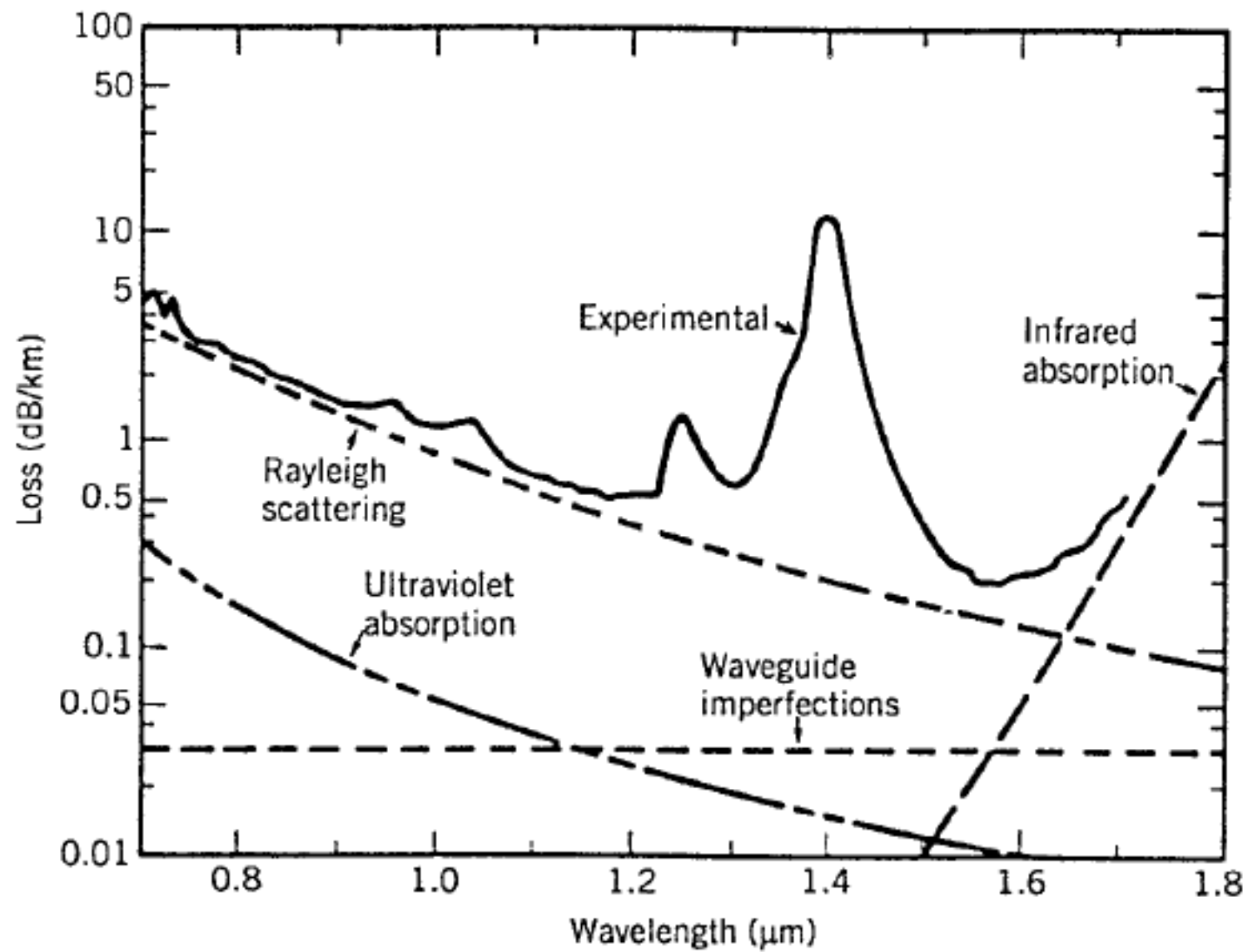


- При съвсем общи условия, промените в средната оптична мощност  $P$  на битов поток разпространяващ се в оптично влакно се представят от закона

$$dP/dz = -\alpha P,$$

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \exp(-\alpha L)$$

$$\alpha \text{ (dB/km)} = -\frac{10}{L} \log_{10} \left( \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$



Поглъщането в материала може да бъде разделено на две категории.

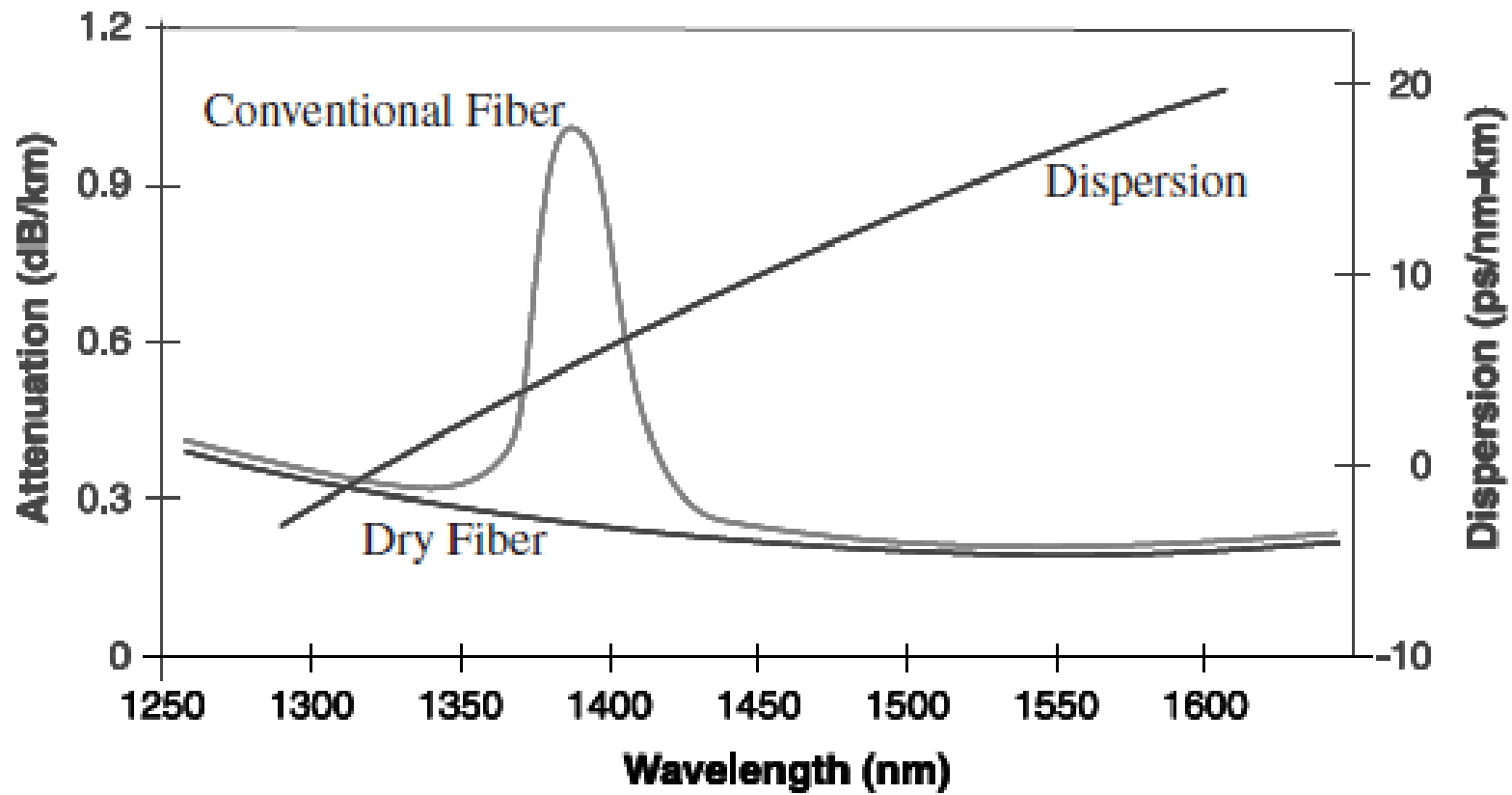
вътрешни загуби - абсорбиране от силициев диоксид

външни загуби - причинени от примеси в силициевия диоксид

електронни и вибрационни резонанси със специфични молекули

За молекули на силициев диоксид ( $\text{SiO}_2$ ), електронни резонанси се появяват в ултравиолетовата област ( $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ), докато вибрационните резонанси се появяват в инфрачервената област ( $\lambda > 7 \mu\text{m}$ ).

Поради аморфната природа на разтопения силициев диоксид, тези резонансите са под формата на абсорбиращи ленти, чиито периферии се простират във видимата област.



Външната абсорбция е резултат от наличието на примеси.

Примеси от метали като Fe, Cu, Co, Ni, Mn и Cr абсорбират силно в диапазона на дължината на вълната 0.6–1.6 μm.

Сумата им трябва да бъде намалена до под 1 част на милиард, за да се получи загуба под 1 dB / km.

Такъв силициев диоксид с висока чистота може да бъде получен чрез използване на съвременни техники.

Основният източник на външна абсорбция в най-съвременните силициеви влакна е наличие на водни пари.

Вибрационен резонанс на OH йона възниква близо до 2,73 μm.

Неговите хармонични и комбинирани тонове със силициев диоксид произвеждат абсорбция при 1.39-, 1.24-, и 0,95 μm дължини на вълната.

Дори концентрация от 1 част на милион може да причини загуба от около 50 dB / km при 1,39 μm.

Концентрацията на OH йони е намалена до под  $10^{-8}$  в съвременните влакна, за да се понижат 1,39 μm пик под 1 dB.

Такива влакна могат да се използват за предаване на WDM сигнали през целия 1.30-до 1,65 μm обхват на дължината на вълната.

Релеевото разсейване е основен механизъм на загуби, произтичащ от локално микроскопични колебания в плътността.

Молекулите на силициев диоксид се движат произволно в разтопено състояние и замръзват на място по време на производството на влакна.

Колебанията на плътността водят до случайни колебания на индексът на пречупване в скала, по-малка от оптичната дължина на вълната  $\lambda$ .

$$\alpha_R = C/\lambda^4,$$

Идеалното едномодово влакно с перфектна цилиндрична геометрия води оптичния режим без изтичане на енергия в обвивката.

На практика несъвършенствата (например случайни вариации на радиуса на сърцевината) може да доведе до допълнителни загуби.

Физическият процес зад тези загуби е Mie разсейване, възникващо поради нехомогенност по скала, по-дълга от оптична дължина на вълната.

Обикновено се внимава радиусът на сърцевината да не варира значително по дължината на влакното по време на производството. Такива вариации могат да се запазят под 1%, а получената загуба от разсейване обикновено е под 0,03 dB / km.

Огъванията на влакното представляват друг източник на загуба на разсейване. Причината може да се разбере с помощта на лъчевата оптика.

$$\exp(-R/R_c),$$

$$R_c = a/(n_1^2 - n_2^2)$$

$$R_c = 0.2 \text{ to } 0.4 \mu\text{m}$$

microbending losses - коментари

- Разпределени енергийни загуби
- Локализирани енергийни загуби



# Nonlinear Fiber Optics

Fifth Edition



Govind Agrawal



- **Nonlinear Fiber Optics**

- *Fifth Edition*
- **Govind P. Agrawal**
- Academic Press is an Imprint of Elsevier
- *The Institute of Optics*
- *University of Rochester*
- *Rochester, New York*
  
- *631 pages*

*Progress In Electromagnetics Research, PIER 73, 249–275, 2007*

**NONLINEAR EFFECTS IN OPTICAL FIBERS: ORIGIN,  
MANAGEMENT AND APPLICATIONS**

**S. P. Singh<sup>†</sup> and N. Singh**

Department of Electronics and Communication  
University of Allahabad

**Abstract**—The nonlinear effects in optical fiber occur either due to intensity dependence of refractive index of the medium or due to inelastic-scattering phenomenon. This paper describes various types of nonlinear effects based on first effect such as self-phase modulation, cross-phase modulation and four-wave mixing. Their thresholds, managements and applications are also discussed; and comparative study of these effects is presented.

Нелинейните ефекти в оптичните влакна се появяват или поради зависимостта на интензитета на показателя на пречупване на средата, или поради феномена на неластично разсейване.

Тази статия описва различни видове нелинейни ефекти, базирани на първия ефект, като само-модулация на фазата, кръстосана фазова модулация и четири вълново смесване.

Обсъждат се и техните прагове, управление и приложения; и е представено сравнително изследване на тези ефекти

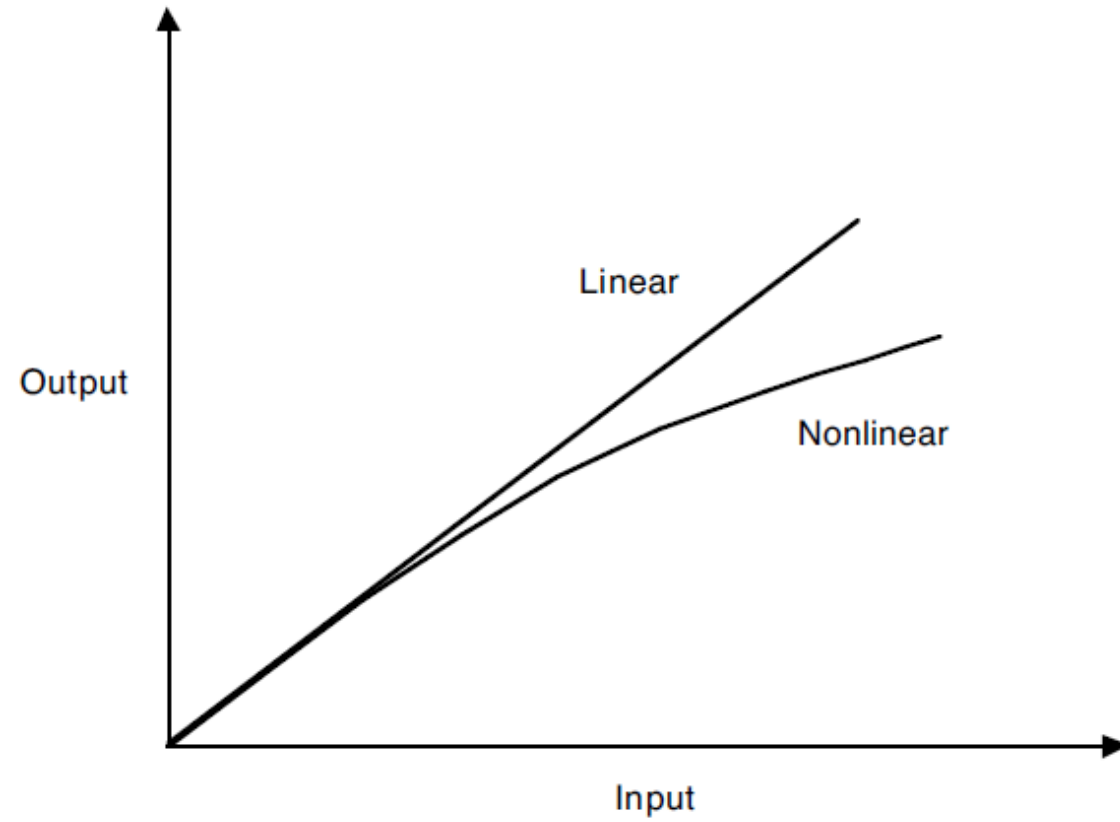


Figure 1. Linear and nonlinear interactions.

Термините линейни и нелинейни, в оптиката съответно означават независими и зависими от интензивността явления.

Нелинейни ефекти в оптичните влакна се появяват поради (1) промяна в коефициента на пречупване на средата от оптична интензивност и (2) феномен на еластично разсейване.

Зависимостта на мощността от коефициента на пречупване е известна като ефекта на Кер

В зависимост от типа сигнал, нелинейността на Кер се проявява в три различни ефекта, като само-модулация на фазна модулация (SPM), междофазна модулация (CPM) и Четири-вълново смесване (FWM).

Стимулирани ефекти като стимулирано разсейване на Брилюен (SBS) и стимулирано Раманово разсейване (SRS).

Интензитетът на разсеяната светлина нараства експоненциално, ако входящата мощност надвиши определена прагова стойност.

Разликата между SBS и SRS е в това, че :

фонони (акустични) са кохерентни и пораждат макроскопична акустична вълна във влакното

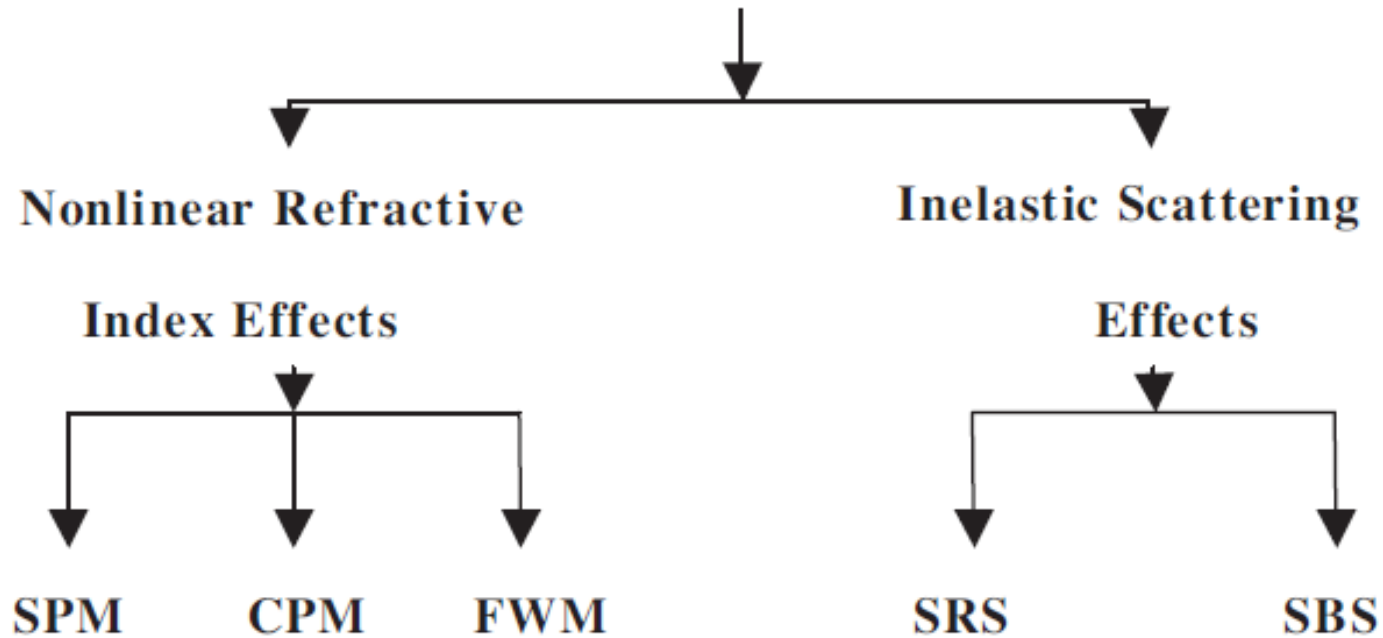
фононите (оптични) са некохерентни и не се генерира макроскопична вълна.



The terms linear and nonlinear (Figure 1), in optics, mean intensity-independent and intensity-dependent phenomena respectively. Nonlinear effects in optical fibers (Table 1) occur due to (1) change in the refractive index of the medium with optical intensity and, (2) inelastic-scattering phenomenon. The power dependence of the refractive index is responsible for the Kerr-effect. Depending upon the type of input signal, the Kerr-nonlinearity manifests itself in three different effects such as Self-Phase Modulation (SPM), Cross-Phase Modulation (CPM) and Four-Wave Mixing (FWM). At high power level, the inelastic scattering phenomenon can induce stimulated effects such as Stimulated Brillouin-Scattering (SBS) and Stimulated Raman-Scattering (SRS). The intensity of scattered light grows exponentially if the incident power exceeds a certain threshold value. The difference between Brillouin and Raman scattering is that the Brillouin generated phonons (acoustic) are coherent and give rise to a macroscopic acoustic wave in the fiber, while in Raman scattering the phonons (optical) are incoherent and no macroscopic wave is generated.



# Nonlinear Effects in Optical Fibers



Except for SPM and CPM, all nonlinear effects provide gains to some channel at the expense of depleting power from other channels. SPM and CPM affect only the phase of signals and can cause spectral broadening, which leads to increased dispersion. Due to several recent events, the nonlinear effects in optical fibers are an area of academic research [1–4, 15, 17–20].

- (i) Use of single mode fiber (SMF) with small cross section of light-carrying area has led to increased power intensity inside the fiber.
- (ii) Use of in-line optical amplifiers has resulted in a substantial increase in the absolute value of the power carried by a fiber.
- (iii) The deployment of multiwavelength systems together with optical amplifier.
- (iv) The deployment of high-bit-rate ( $>10$  Gbits/s per channel) systems.

For intense electromagnetic fields, any dielectric medium behaves like a nonlinear medium. Fundamentally, origin of nonlinearity lies in anharmonic motion of bound electrons under the influence of an applied field. Due to this anharmonic motion the total polarization  $P$  induced by electric dipoles is not linear but satisfies more general relation as

$$P = \varepsilon_0\chi^{(1)}E + \varepsilon_0\chi^{(2)}E^2 + \varepsilon_0\chi^{(3)}E^3 + \dots \quad (1)$$

where  $\varepsilon_0$  is the permittivity of vacuum and  $\chi^{(k)}$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) is  $k$ th order susceptibility.

The dominant contribution to  $P$  is provided by linear susceptibility  $\chi^{(1)}$ . The second order susceptibility  $\chi^{(2)}$  is responsible for second-harmonic generation and sum-frequency generation. A medium, which lacks inversion symmetry at the molecular level, has non-zero second order susceptibility. However for a symmetric molecule, like silica,  $\chi^{(2)}$  vanishes. Therefore optical fibers do not exhibit second order nonlinear refractive effects. It is worth to mention here that, the electric-quadrupole and magnetic-dipole moments can generate weak second order nonlinear effects. Defects and color centers inside the fiber core can also contribute to second harmonic generation under certain conditions. Obviously the third order susceptibility  $\chi^{(3)}$  is responsible for lowest-order nonlinear effects in fibers [5].

For isotropic medium, like optical fiber, polarization vector  $P$  will always be in direction of electric field vector  $E$ . So one may use scalar notations instead of vector notations. For an electric field,

$$E = E_0 \cos(\omega t - kz) \quad (2)$$

the polarization  $P$  becomes

$$P = \varepsilon_0 \chi^{(1)} E_0 \cos(\omega t - kz) + \varepsilon_0 \chi^{(2)} E_0^2 \cos^2(\omega t - kz) \\ + \varepsilon_0 \chi^{(3)} E_0^3 \cos^3(\omega t - kz) + \dots \quad (3)$$

Using some trigonometric relations, equation (3) can be written as

$$P = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \chi^{(2)} E_0^2 + \varepsilon_0 \chi^{(1)} + \frac{3}{4} \chi^{(3)} E_0^2 E_0 \cos(\omega t - kz) \\ + \frac{1}{2} \varepsilon_0 \chi^{(2)} E_0^2 \cos 2(\omega t - kz) + \frac{1}{4} \varepsilon_0 \chi^{(3)} E_0^3 \cos 3(\omega t - kz) + \dots \quad (4)$$

$$P = \varepsilon_0 \chi^{(1)} + \frac{3}{2} \frac{\chi^{(3)}}{c \varepsilon_0 n_l} I E_0 \cos(\omega t - kz) \quad (8)$$

$$I = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 n_l E_0^2$$

where  $c$  is velocity of light and  $n_l$  is linear refractive index

### 3. SELF-PHASE MODULATION (SPM)

The higher intensity portions of an optical pulse encounter a higher refractive index of the fiber compared with the lower intensity portions while it travels through the fiber. In fact time varying signal intensity produces a time varying refractive index in a medium that has an intensity-dependant refractive index. The leading edge will experience a positive refractive index gradient ( $dn/dt$ ) and trailing edge a negative refractive index gradient ( $-dn/dt$ ). This temporally varying index change results in a temporally varying phase change, as shown in Figure 5. The optical phase changes with time in exactly the same way as the optical signal [7]. Since, this nonlinear phase modulation

[https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0\\_%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F)



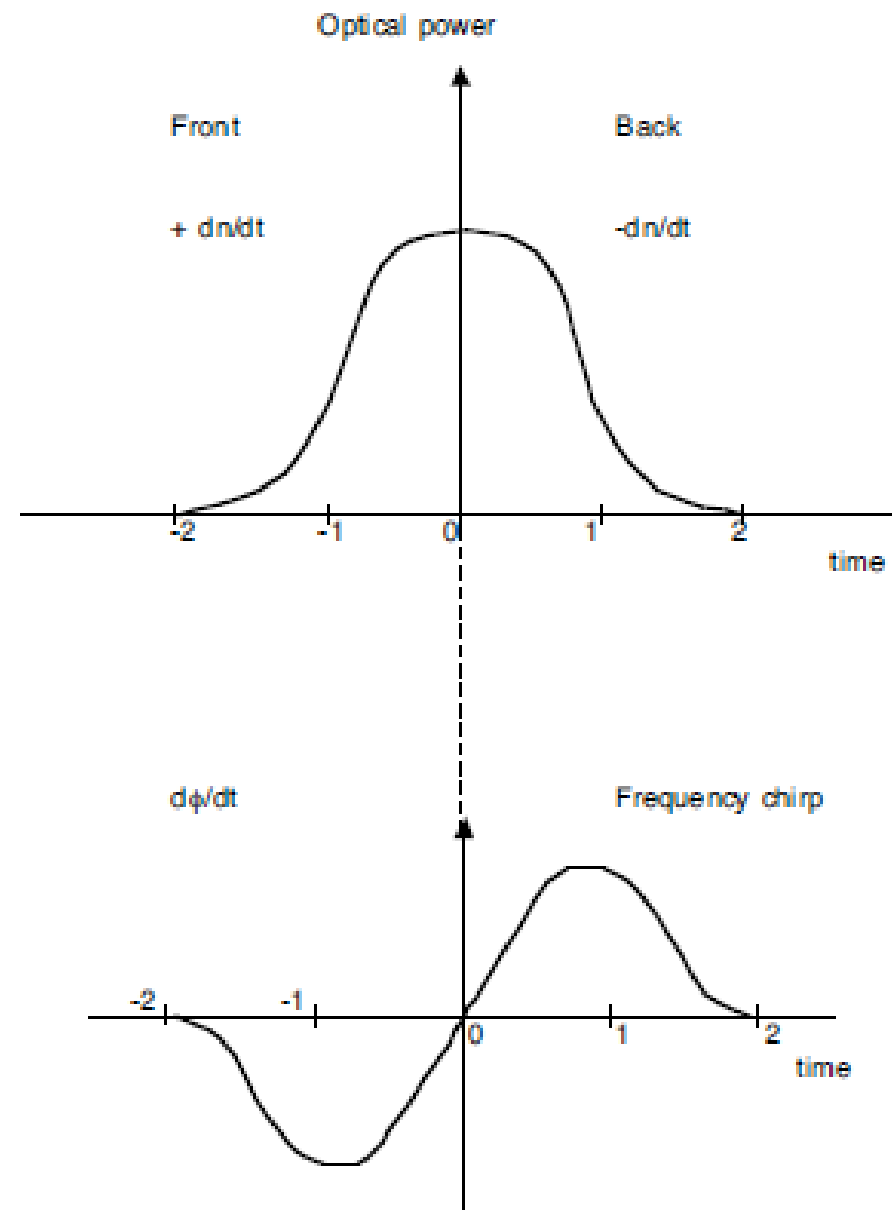


Figure 5. Phenomenological description of spectral broadening of pulse due to SPM.

#### 4. CROSS PHASE MODULATION (CPM)

SPM is the major nonlinear limitation in a single channel system. The intensity dependence of refractive index leads to another nonlinear phenomenon known as cross-phase modulation (CPM). When two or more optical pulses propagate simultaneously, the cross-phase modulation is always accompanied by SPM and occurs because the nonlinear refractive index seen by an optical beam depends not only on the intensity of that beam but also on the intensity of the other copropagating beams [13]. In fact CPM converts power fluctuations in a particular wavelength channel to phase fluctuations in other copropagating channels. The result of CPM may be asymmetric spectral broadening and distortion of the pulse shape.

## 5. FOUR-WAVE MIXING (FWM)

The origin of FWM process lies in the nonlinear response of bound electrons of a material to an applied optical field. In fact, the polarization induced in the medium contains not only linear terms but also the nonlinear terms. The magnitude of these terms is governed by the nonlinear susceptibilities of different orders. The FWM process originates from third order nonlinear susceptibility ( $\chi^{(3)}$ ). If three optical fields with carrier frequencies  $\omega_1, \omega_2$  and  $\omega_3$ , copropagate inside the fiber simultaneously, ( $\chi^{(3)}$ ) generates a fourth field with frequency  $\omega_4$ , which is related to other frequencies by a relation,  $\omega_4 = \omega_1 \pm \omega_2 \pm \omega_3$ .

In quantum-mechanical context, FWM occurs when photons from one or more waves are annihilated and new photons are created at different frequencies such that net energy and momentum are conserved during the interaction.

SPM and CPM are significant mainly for high bit rate systems, but the FWM effect is independent of the bit rate and is critically dependant on the channel spacing and fiber dispersion. Decreasing the channel spacing increases the four-wave mixing effect and so does decreasing the dispersion.

$$\omega_{pqr} = \omega_p + \omega_q - \omega_r \quad \text{with } p, q \neq r \quad (36)$$

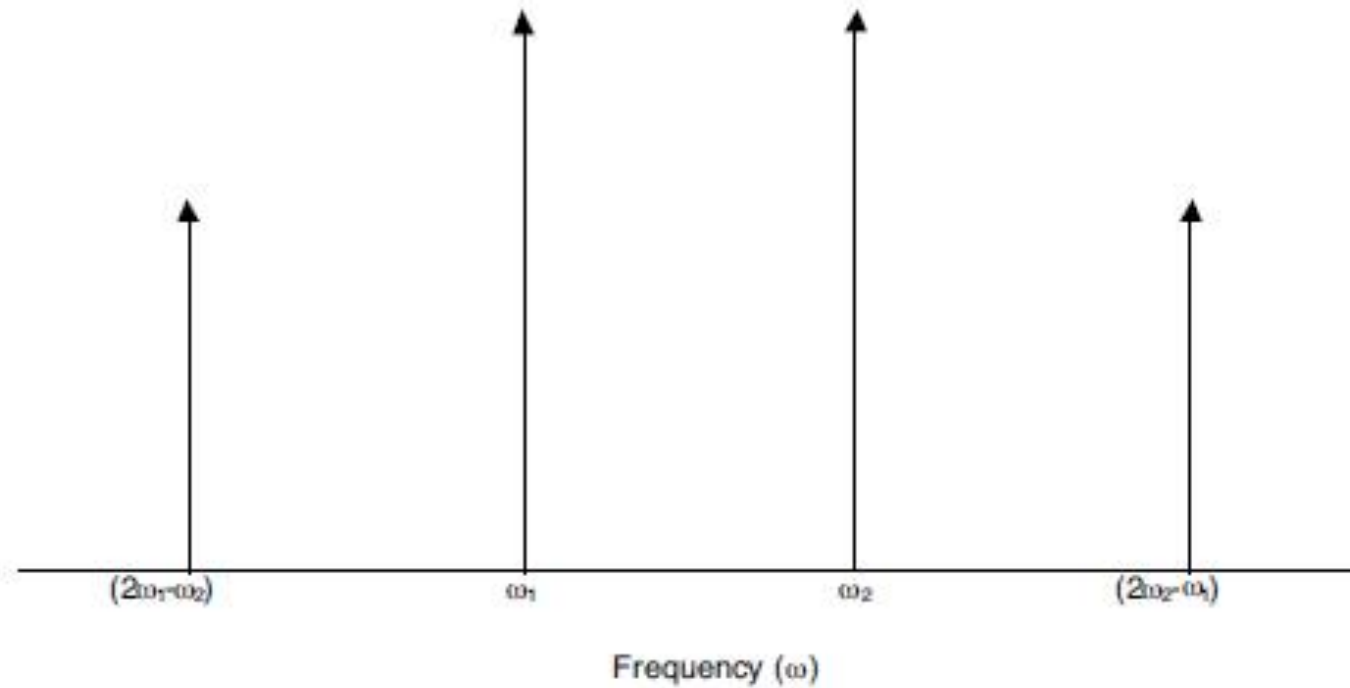


Figure 9. Showing mixing of two waves.

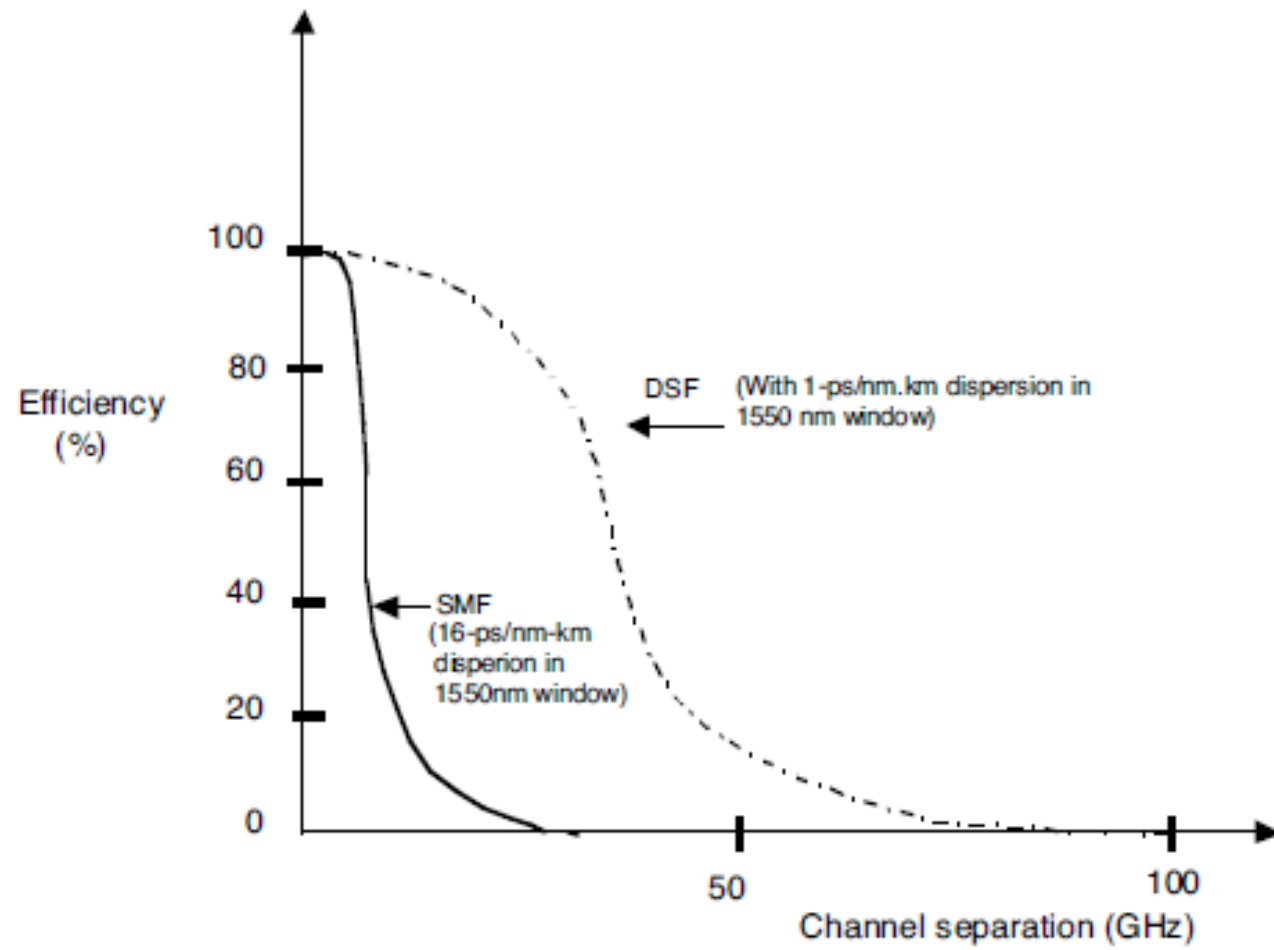
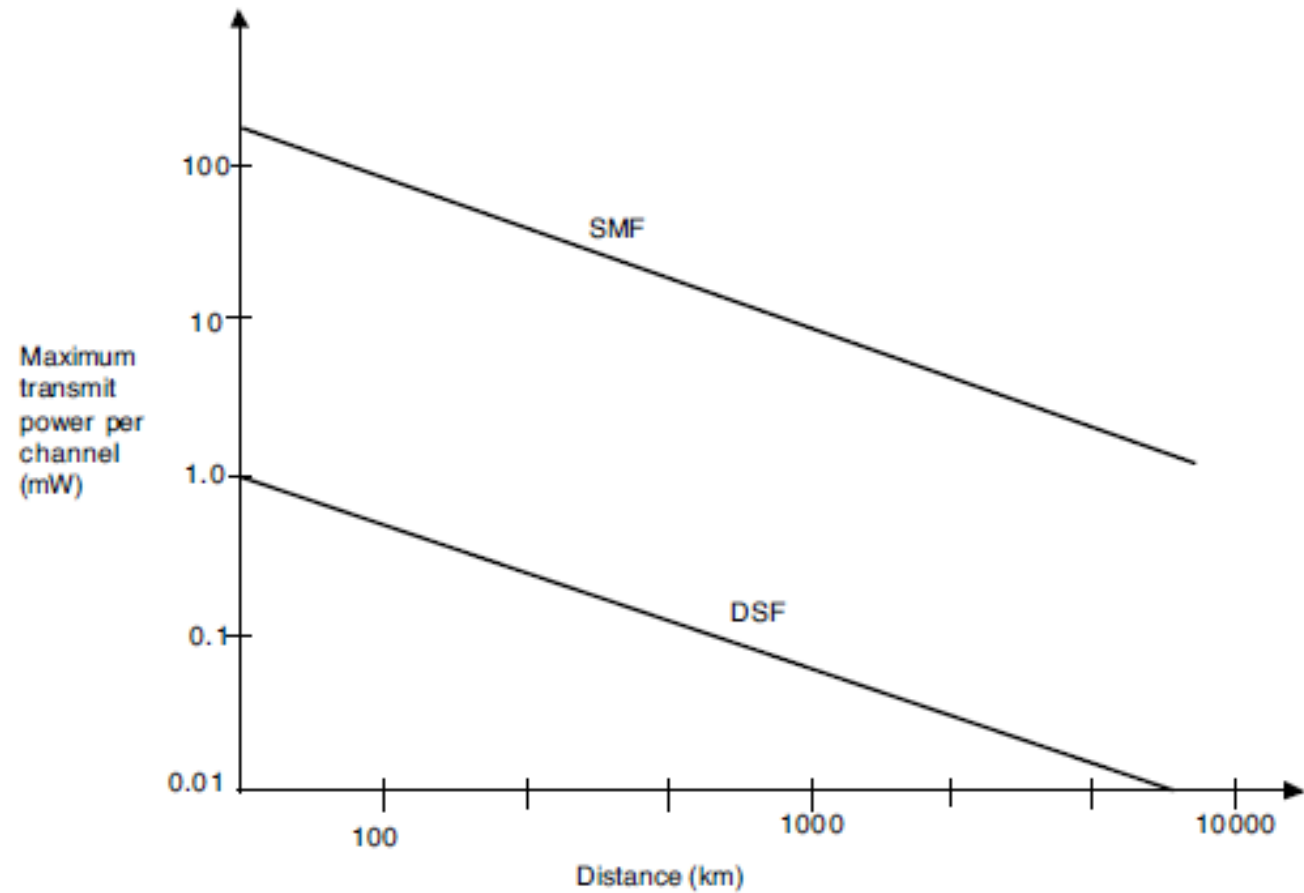


Figure 10. Efficiency of four wave mixing with respect to channel separation.



**Figure 11.** Maximum transmitted power per channel versus distance imposed by FWM.

Table 2. Comparison of nonlinear refractive effects.

Nonlinear → Phenomenon Characteristics ▼	SPM	CPM	FWM
1. Bit-rate	Dependent	Dependent	Independent
2. Origin	Nonlinear susceptibility $\chi^{(3)}$	Nonlinear susceptibility $\chi^{(3)}$	Nonlinear susceptibility $\chi^{(3)}$
3. Effects of $\chi^{(3)}$	Phase shift due to pulse itself only	Phase shift is alone due to copropagating signals	New waves are generated
4. Shape of broadening	Symmetrical	May be a symmetrical	—
5. Energy transfer between medium and optical pulse	No	No	No
6. Channel spacing	No effect	Increases on decreasing the spacing	Increases on decreasing the spacing

# SRS

- Раманово разсейване или ефект на Раман е нееластично разсейване на фотон от молекули, които са възбудени до по-високи вибрационни или ротационни енергийни нива. Той е открит от индийските физици Венката Раман и Сриниваса Кришнан (който е ученик на Раман) в течности[1] и независимо от Григорий Ландсберг и Леонид Манделщам в кристали[2]. Ефектът е предсказан теоретично от Адолф Смелал през 1923 г.
- Когато фотоните се разсейват от даден атом или молекула, повечето се разсейват еластично (разсейване на Релей), така че разсеяните фотони имат една и съща енергия (честота и дължина на вълната) като падащите фотони. Една много малка част от разсеяните фотони (приблизително 1 на 10 милиона) се разсейват нееластично чрез възбуждане, като имат различни честота и енергия, обикновено по-ниски от тези на падащите фотони. В газ, разсейването може да възникне при промяна на енергията на молекула чрез преминаването към друго (обикновено по-високо) енергийно ниво. Химиците се занимават главно с този „преходен“ ефект на Раман.



# SBS

- Brillouin scattering is an effect caused by the  $\chi^{(3)}$  nonlinearity of a medium, specifically by that part of the nonlinearity which is related to acoustic phonons [1]. An incident photon can be converted into a scattered photon of slightly lower energy, usually propagating in the backward direction, and a phonon. The coupling of optical fields and acoustic waves occurs via electrostriction. The effect can occur spontaneously even at low optical powers, then reflecting the thermally generated phonon field. For higher optical powers, there can be a stimulated effect, where the optical fields substantially contribute to the phonon population. Above a certain threshold power of a light beam in a medium, stimulated Brillouin scattering can reflect most of the power of an incident beam. This process involves a strong nonlinear optical gain for the back-reflected wave: an originally weak counterpropagating wave at the suitable optical frequency can be strongly amplified. Here, the two counter-propagating waves generate a traveling refractive index grating; the higher the reflected power, the stronger the index grating and the higher the effective reflectivity.

Енергиен баланс на влакнесто-оптични комуникационни системи, фактори, влияещи върху дължината на регенераторния участък.

Оптични усилватели, концепция, приложения, полупроводникови, раманови и легирани с ербий оптични усилватели.

<https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&printsec=frontcover&dq=fiber+optic+communication+systems+agrawal&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewiD8uiNv7DtAhV0l4sKHSIlgDV0Q6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q=fiber%20optic%20communication%20systems%20agrawal&f=false>

The screenshot shows a web browser window displaying the Google Books page for the book "Fiber-Optic Communication Systems" by Govind P. Agrawal. The browser's address bar shows the URL: <https://books.google.bg/books?id=yGQ4n1-r2eQC&printsec=frontcover&dq=fiber+optic+communication+systems+agrawal&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewiD8uiNv7DtAhV0l4sKHSIlgDV0Q6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q=fiber%20optic%20communication%20systems%20agrawal&f=false>. The search bar contains the text "fiber optic communication systems agrawal".

Below the search bar, there are navigation buttons: "КНИГИ", "Преглед на извадката", "Добавяне в моята библиотека", and "Напишете рецензия".

The main content area features a red button that says "СДОБИЙТЕ СЕ С ПЕЧАТНАТА КНИГА". Below this, it states "Няма налична електронна книга" and provides a link to "Wiley.com". There are also links for "Намерете в библиотека" and "Всички книгопродавци »".

The book's title, "Fiber-Optic Communication Systems", is prominently displayed. Below the title, the author's name "Govind P. Agrawal" is shown, along with the publisher "John Wiley & Sons, 23.02.2012 г. - 626 страници". The book has a 4-star rating and "2 Рецензии".

A description of the book follows: "This book provides a comprehensive account of fiber-optic communication systems. The 3rd edition of this book is used worldwide as a textbook in many universities. This 4th edition incorporates recent advances that have occurred, in particular two new chapters. One deals with the advanced modulation formats (such as DPSK, QPSK, Още »".

Below the description, there is a search box and a button labeled "Търсене между кориците". At the bottom, there is a link for "Визуализация »".

On the left side of the page, there is a sidebar with navigation options: "Моята библиотека", "Моята история", and "Книги в Google Play".

Предишните лекции се фокусираха върху трите основни компонента на оптична комуникационна система - оптични влакна, оптични предаватели и оптични приемници.

Сега ще разглеждаме въпросите, свързани с дизайна на системата и производителността.

Ще обсъдим насоките за проектиране, като вземем предвид ефектите на загубите във влакна и дисперсията.

Физическите механизми, коментари.

Компютърно подпомаган дизайн.

## Системни архитектури

Оптичните комуникационни системи могат да бъдат класифицирани в три широки категории:

- връзки от точка до точка
- разпределителни мрежи
- локални мрежи

Връзките от точка до точка представляват най-простият вид системи.

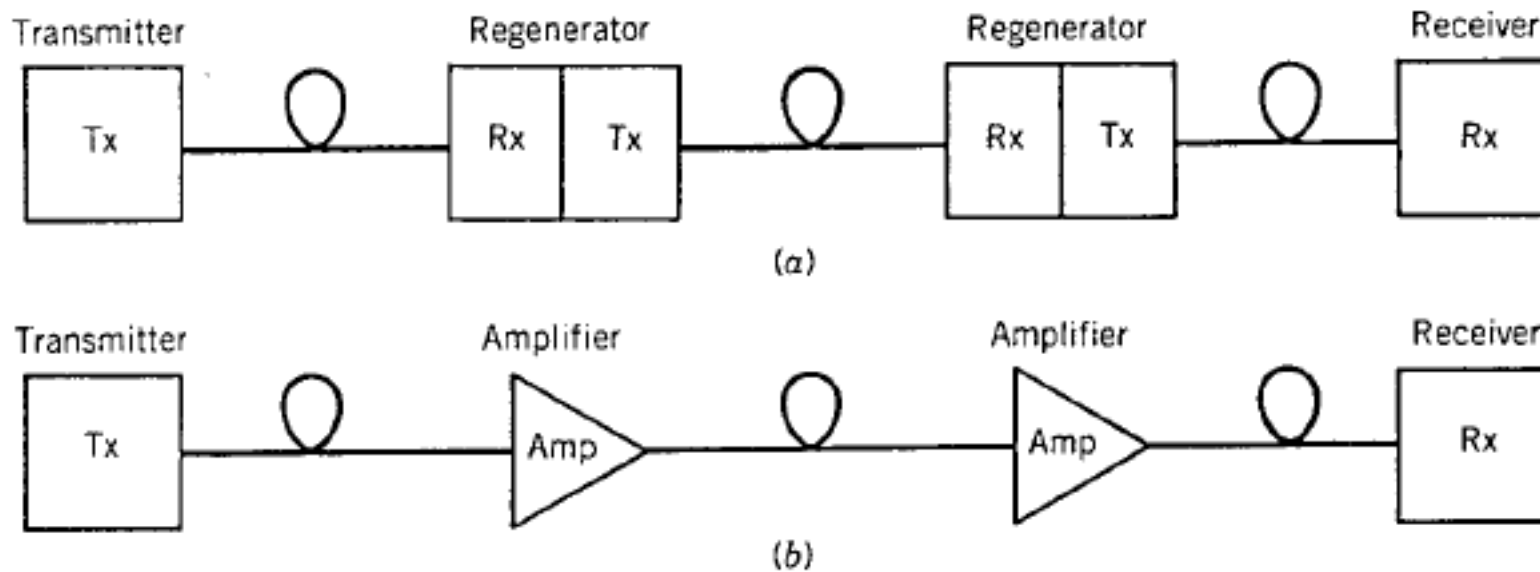
Тяхната роля е да транспортират информация, под формата на цифров поток, от едно място до друго възможно най-точно.

Дължината на връзката може да варира от по-малко от километър (къси разстояния) до хиляди километри (дълги разстояния), в зависимост от конкретното приложение.

Например, оптични връзки се използват за свързване на компютри и терминали в рамките на една и съща сграда или между две сгради с относително кратко предаване разстояние (<10 км). Ниските загуби и широката честотна лента на оптичните влакна не са от първостепенно значение за такива връзки за данни; влакната се използват главно заради другите си предимства, като имунитет срещу електромагнитни смущения.

За разлика от тях, подводни системи се използват за високоскоростно предаване през континенти с дължина от няколко хиляди километра. Ниски загуби и голяма оптична честотна лента на влакната са важни фактори при проектирането на трансокеанските системи от гледна точка за намаляване на общите оперативни разходи.

Когато дължината на връзката надвиши определена стойност, в диапазона 20–100 km в зависимост от работната дължина на вълната, става необходимо да се компенсират загубите във влакната, тъй като в противен случай сигналът би станал твърде слаб, за да бъде приет надеждно.



Оптичните усилватели решават проблема със загубите, но добавят шум и влошават въздействието на дисперсията и нелинейността, тъй като деградацията на сигнала е с натрупване в продължение на множество етапи на усилване.

Всъщност системите често са ограничени от дисперсия, освен ако не се компенсира.

Оптоелектронните повторители не страдат от този проблем, тъй като те регенерират оригиналния битов поток и по този начин ефективно компенсират автоматично всички източници на влошаване на сигнала.



Разстоянието  $L$  между регенераторите или оптичните усилватели е основен параметър за проектиране.

Разстоянието  $L$  зависи от скоростта на предаване  $B$  поради дисперсията във влакната.

Произведението на скоростта на предаване и разстоянието,  $BL$ , обикновено се използва като мярка за ефективността на системата за връзки от точка до точка.

$BL$  зависи от работната дължина на вълната, тъй като както загубите на влакна, така и дисперсията на влакната са зависими от дължината на вълната.

Първите три поколения системи съответстват на три различни работни дължини на вълната - около 0.85, 1.3 и 1.55  $\mu\text{m}$ .

$BL$  продуктът е бил  $\sim 1$  (Gb / s) -km за системите от първо поколение, работещи близо до 0.85  $\mu\text{m}$ ,

$\sim 1$  (Tb / s) -km за системи от трето поколение, работещи близо до 1,55  $\mu\text{m}$

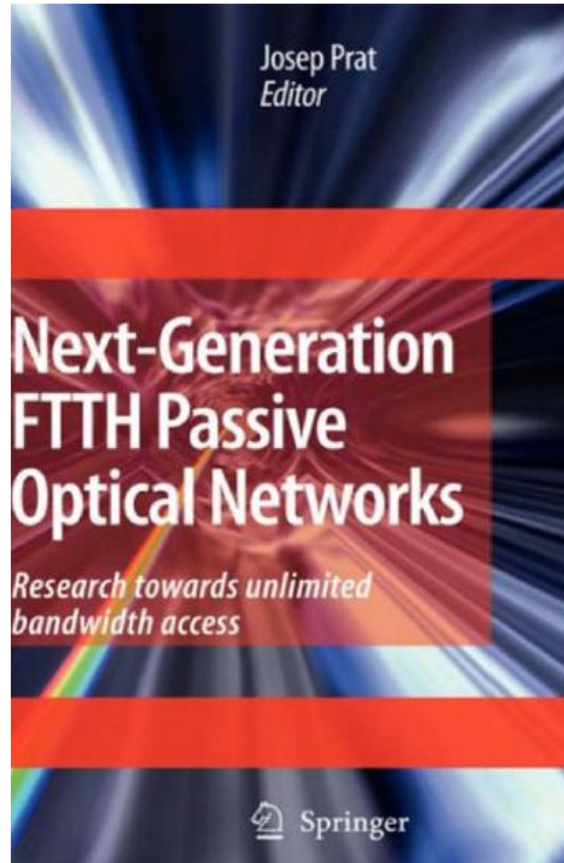
и може да надвишава 100 (Tb / s) -km за системите от четвърто поколение.5.1.2

Много приложения на оптичните комуникационни системи изискват информацията да се разпространява и сред група абонати.

Примерите включват локално разпространение на телефонни услуги и излъчване на множество видео канали през кабелна телевизия.

Значителни усилия са насочени към т.нар. пасивни оптични мрежи (PON).

Разстоянията на предаване са сравнително малки ( $L < 50$  км), но скоростта може да достигне до няколко 10 Gb/s.



[https://books.google.bg/books?id=gR9OUXpjQ90C&dq=passive+optical+networks+next+generation&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=gR9OUXpjQ90C&dq=passive+optical+networks+next+generation&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

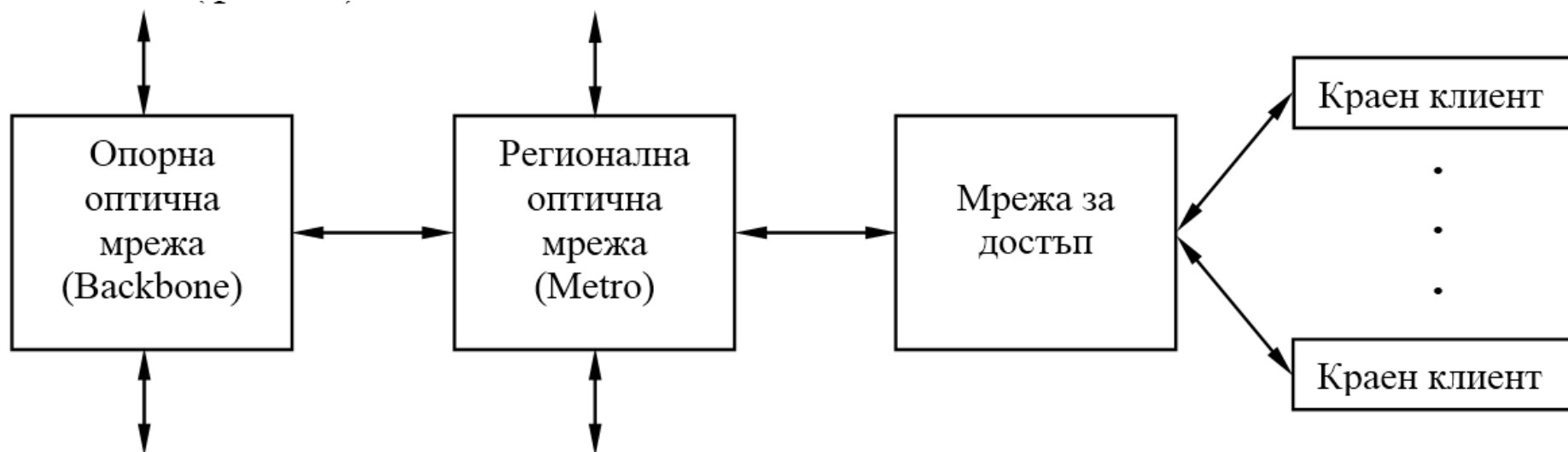
[https://books.google.bg/books?id=DSO5CVBuhKEC&dq=passive+optical+networks&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=DSO5CVBuhKEC&dq=passive+optical+networks&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

- В началото ще разгледаме кратка история на идеята за заместване до крайния потребител на медните линии с оптични.
- Ранните опити за реализирането на ефективни Fiber To The Home (FTTH) архитектури са започнали през 90-те години от работната група FSAN ([www.fsanweb.org](http://www.fsanweb.org)), формирана от големи телекомуникационни оператори и производители на оборудване.
- По-късно специалистите от [International Telecommunications Union](#) (ITU) продължават работата и стандартизират две поколения PON. ITU-T G.983 стандартът е базиран на ATM и е известен със съкращението APON.
- Със стандарта ITU-T G.984 се определя рязко увеличаване на ефективността, като се позволява използването на по-големи плаващи по дължина пакети и скорости до 2.4Gbps към крайния потребител (downstream) и 1.2Gbps от крайния потребител (upstream). ITU-T G.984 е известен и със съкращението GPON.

- FTTH по своята същност представлява първото основно надграждане на мрежата за достъп след клетъчните мрежи.
- Медните мрежи за достъп масово се заместват от оптични.
- Най-важният катализатор за тези промени са нарастващият брой и обхват на медните мрежи, неспособни да посрещнат потребностите за голям капацитет на частни и бизнес клиенти.
- Услугите гледане на видеоклипове и слушане на музика в реално време, споделяне на огромни количества данни с най-различно различно съдържание, IP телевизия вече са нещо естествено.
- Именно в такава ситуация чрез FTTH може да се предложи на крайните клиенти много по-висока пропускателна способност и надеждност, съответно и възможност за по-скъпи пакетни услуги в сравнение с досега използваните технологии DSL и UTP-LAN.

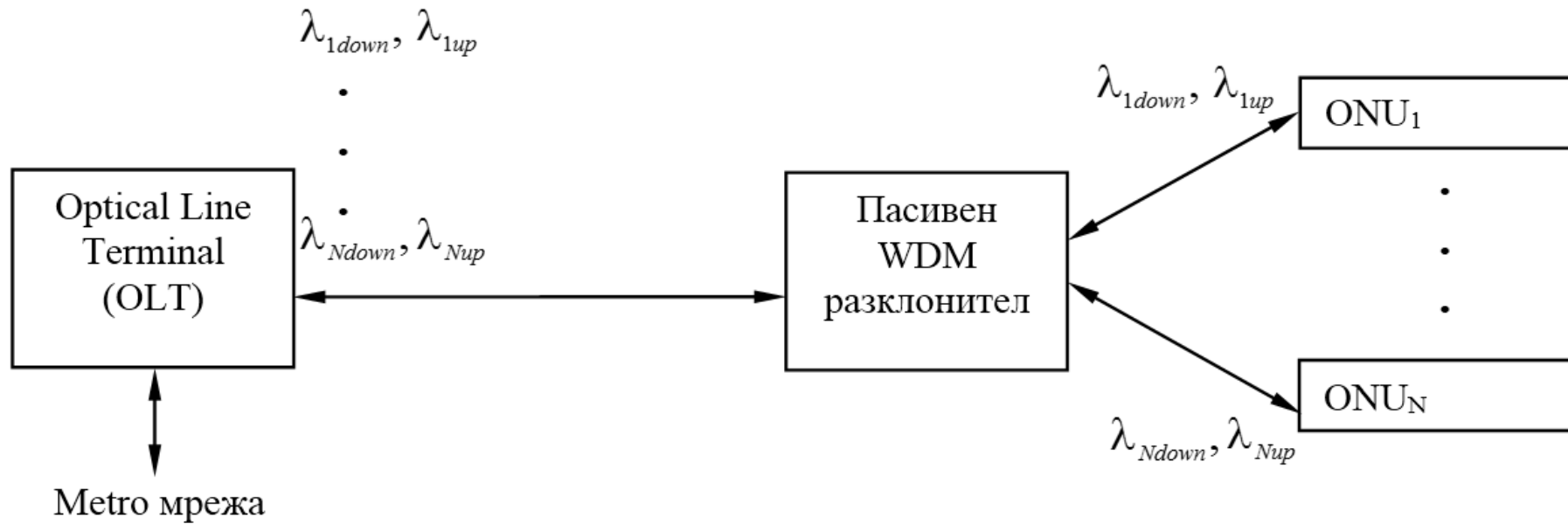
При тези разсъждения възниква въпросът:

- Каква всъщност честотна лента/скорост е необходима на крайния потребител?
- Отговорът е свързан с наличните услуги и с желанията за тяхното използване от страна на клиента.
- Ако приемем, че абонатът е свързан със 100Mbps към своя доставчик и е заплатил необходимите такси за гледане на DVD филми, то един филм (4.7GB) би трябвало да се записва за по-малко от 10 мин. на локалния харддиск.
- Подробното разглеждане на услугите не е тема на курса по оптоелектроника и оптични комуникации и затова тук, след като дадохме мотивацията, ще се ограничим с основните физически принципи на работа на PON системите.

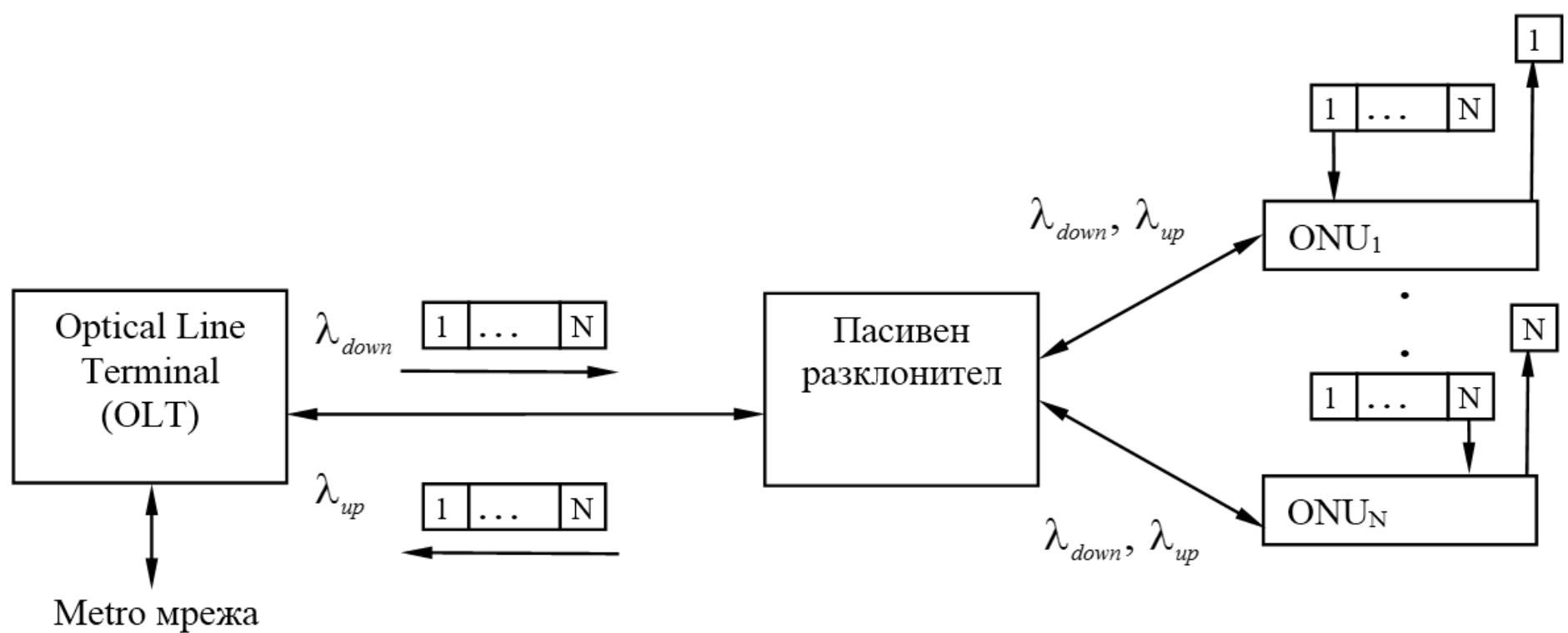


- Представената схема е обща и е възможна, но не е задължително да е ясно отличима в реалната ситуация.
- Опорната оптична мрежа е изградена типично от връзки от типа "от точка до точка" (P2P). При нея се правят големи инвестиции и се търси голяма надеждност и скорост.
- Разстоянията между отделните центрове могат да достигат до неколкостотин километра. Това са обикновено връзки между големи градове.
- Регионалната оптична мрежа също е изградена основно от връзки тип P2P. Това са обикновено връзки между квартали и близко разположени малки градове. Тук също цената на една линия се разпределя между много абонати и не е толкова критична.
- PON се използва типично в частта Мрежа за достъп.





- WDM-PON
- До всеки от абонатите (ONU - Optical Network Unit) се отделят само необходимите му дължини на вълната за приемане и предаване. В това се състои и основното предимство на този тип - в липсата на прослушване между абонатите. Неудобствата са свързани с по-сложен WDM разклонител и значително усложняване на оптичната част на главната част на системата (Optical Line Terminal).



- TDM-PON
- Приемането и предаването от OLT става само с един източник и един приемник. Което от своя страна е значително опростяване на оптичната система в сравнение с предишния случай.

Друго предимство е по-простият пасивен разклонител – той трябва да повтаря на всеки от изходите лъчението попадащо на входа. Тук също се използва WDM уплътнение, но в ранния му стадий - с две дължини на вълната - една за приемане и една за предаване. Възможно е да се добави още една дължина на вълната за предаване само еднопосочно за TV. Обикновено се използват  $\lambda_{down} = 1490nm$ ,  $\lambda_{up} = 1310nm$  и  $\lambda_{TV} = 1550nm$ .

- Предаването в посока OLT към ONU (downlink) се извършва на пакети, като информацията едновременно достига до всичките потребители.
- Съответните ONU имат задачата да отделят необходимите блокове от пакета за съответния потребител. Това е единият от недостатъците на системата.
- Има възможност чрез нерегламентирани действия да се прослушва downlink трафикът.
- Другият недостатък е свързан с процедурата за предаване в посока ONU към OLT (uplink). При това предаване трябва да се извършва синхронизация във времето, така че да не се получи едновременно сработване на повече от един ONU.
- Поради възможността за различни дължини на влакната до пасивния разклонител, респективно различни закъснения в системата, се извършва процедура за определяне на тези закъснения (timing reference).

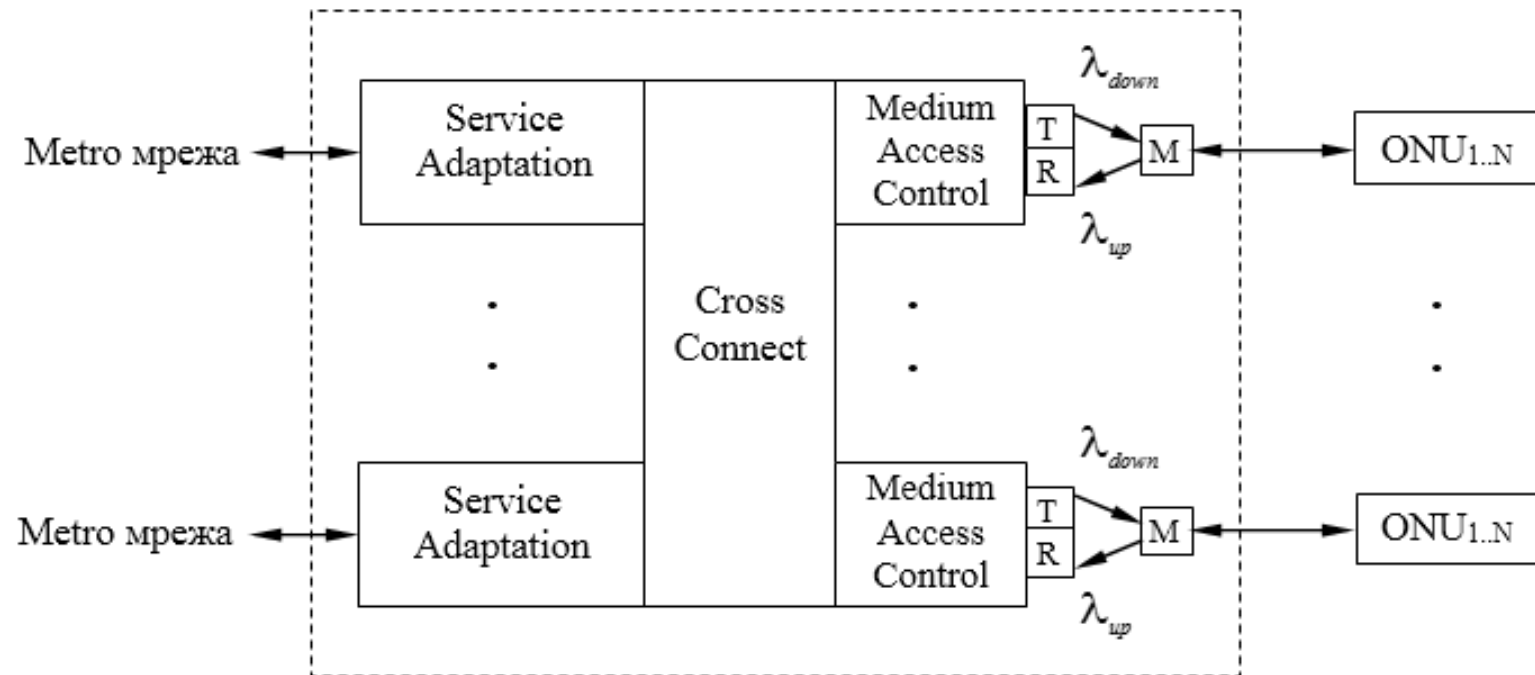
Ще продължим, като разгледаме трите основни блока на TDM-PON (в предните две теми се спяхме подробно на оптичните влакна).

Пасивният разклонител (passive power splitter) обикновено се произвежда по планарна технология (planar lightwave circuit). В идеалния случай при него трябва да се получава затихване:

$$B_{splitter} = 10 \lg N,$$

където  $N$  е броят на разклоненията. На практика обикновено затихването е по-голямо ( $\sim 18dB$  за  $N=32$  вместо  $15dB$ , ако използваме формулата). GPON теоретично може да адресира до 128 ONU на едно и също влакно.

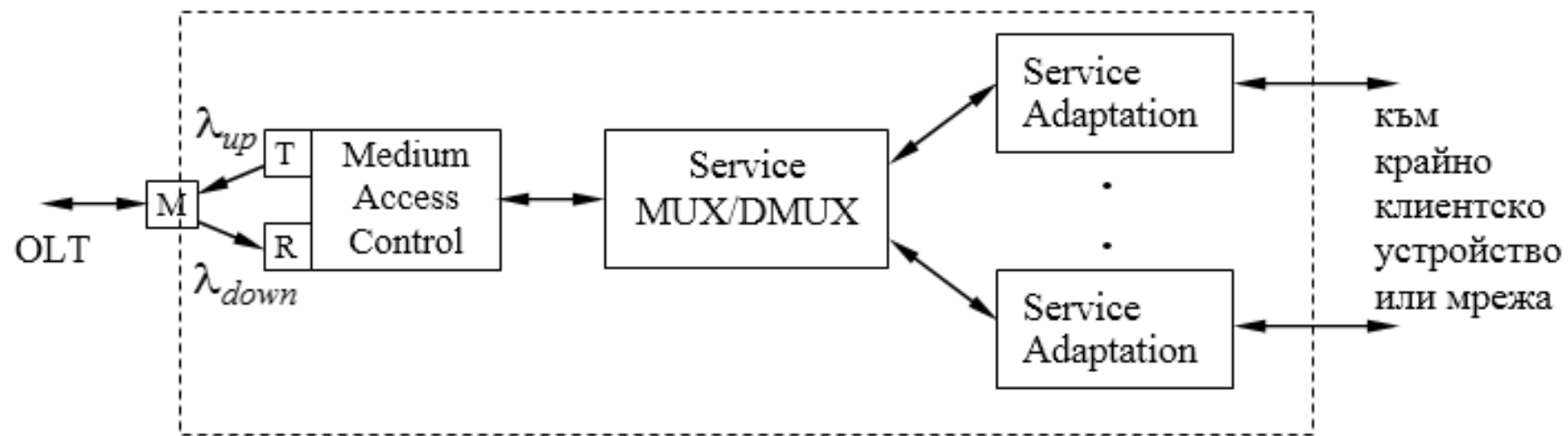
В най-общи линии структурата на OLT може да се опише със следната фигура



OLT осигурява интерфейса между PON и мрежите на доставчиците на услуги.

Това типично включва:

- Service Adaptation - адаптиране по подходящ начин - конвертиране на кодове, ограничаване на скорости, таксуване;
- Cross Connect - разпределяне на адаптираните данни между физическите изходи;
- Medium Access Control - осигурява управлението на оптичния източник и оптичния приемник към всяко едно влакно.



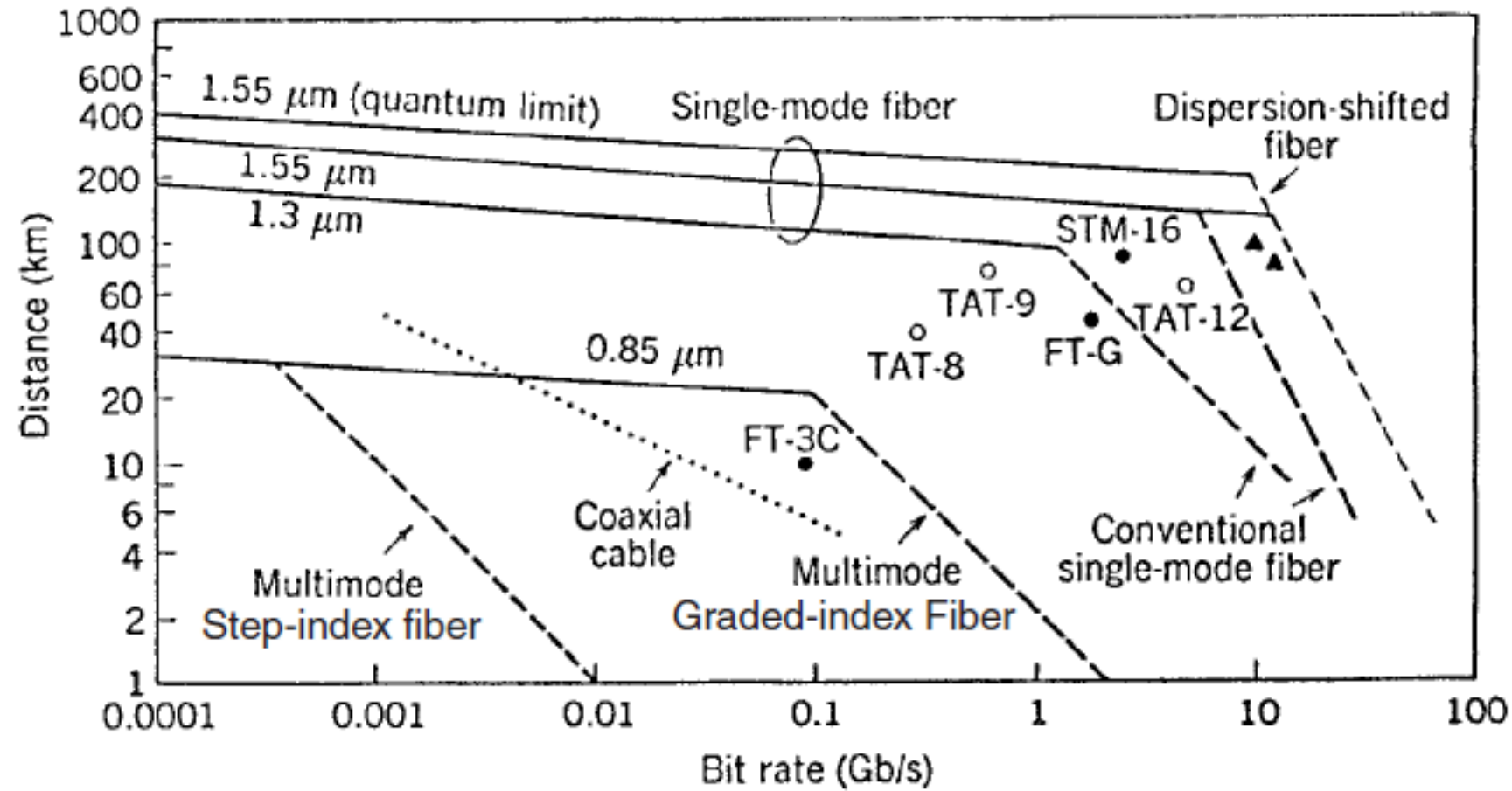
*Блокова схема ONU.*



Проектирането на оптични комуникационни системи изисква ясно разбиране на ограниченията, наложени от загубите, дисперсията и нелинейността на влакното.

Тъй като свойствата зависят от дължината на вълната, изборът на работна дължина на вълната е основен проблем с дизайна.

Бюджетът за мощност се нарича още бюджет за връзката, енергиен бюджет (...), а бюджетът за нарастване на времето понякога се нарича бюджет на честотната лента.



С изключение на някои връзки на къси разстояния, загубите във влакната играят важна роля в системния дизайн.

Максималното разстояние на предаване е ограничено.

Оптичният предавател трябва да излъчи определена средна мощност, която да бъде приета от приемник, който изисква определена минимална средна мощност при скорост на предаване  $V$ .

$$L = \frac{10}{\alpha_f} \log_{10} \left( \frac{\bar{P}_{tr}}{\bar{P}_{rec}} \right)$$

$\alpha_f$

# dB, dBm

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Decibel>



$$B[\text{dB}] = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

# dB, dBm

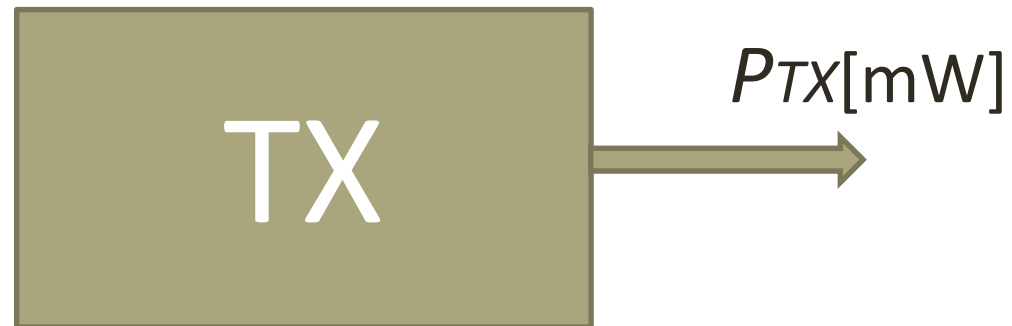
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Decibel>



$$P_{RX}[dBm] = 10 \lg P_{RX}[mW]$$

# dB, dBm

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Decibel>



$$P_{TX}[dBm] = 10 \lg P_{TX}[mW]$$

- $P_{TX}[\text{dBm}] - P_{RX}[\text{dBm}] = ?!?!?!?$

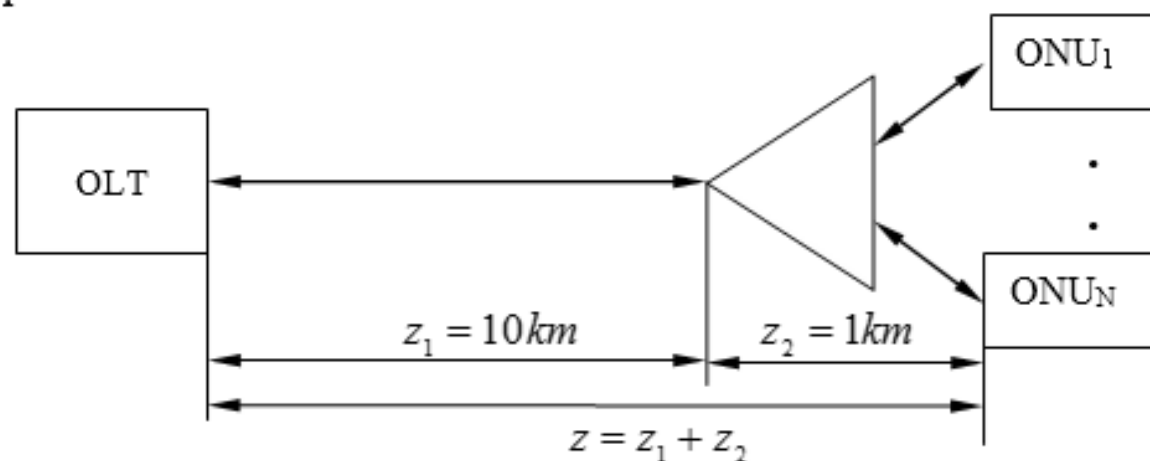
- $P_{TX}[\text{dBm}] - P_{RX}[\text{dBm}] = \text{PowerBudget}[\text{dB}]$
- PowerBudget, LossBudget, Budget, Loss ....



Да се избере подходяща топология и да се проектира PON система за 32-ма потребители, разположени на 11км от OLT. При проектирането да се използват следните данни:  $b_{f1310} = 0,4 \text{ dB/km}$ ,  $b_{f1550} = 0,3 \text{ dB/km}$ ,  $B_{connector} = 0,5 \text{ dB}$ ,  $B_{splice} = 0,1 \text{ dB}$ ,  $B_{32 \text{ splitter}} = 18 \text{ dB}$ ,  $PowerBudget = 28 \text{ dB}$ ,  $B_{res} = 3 \text{ dB}$ .

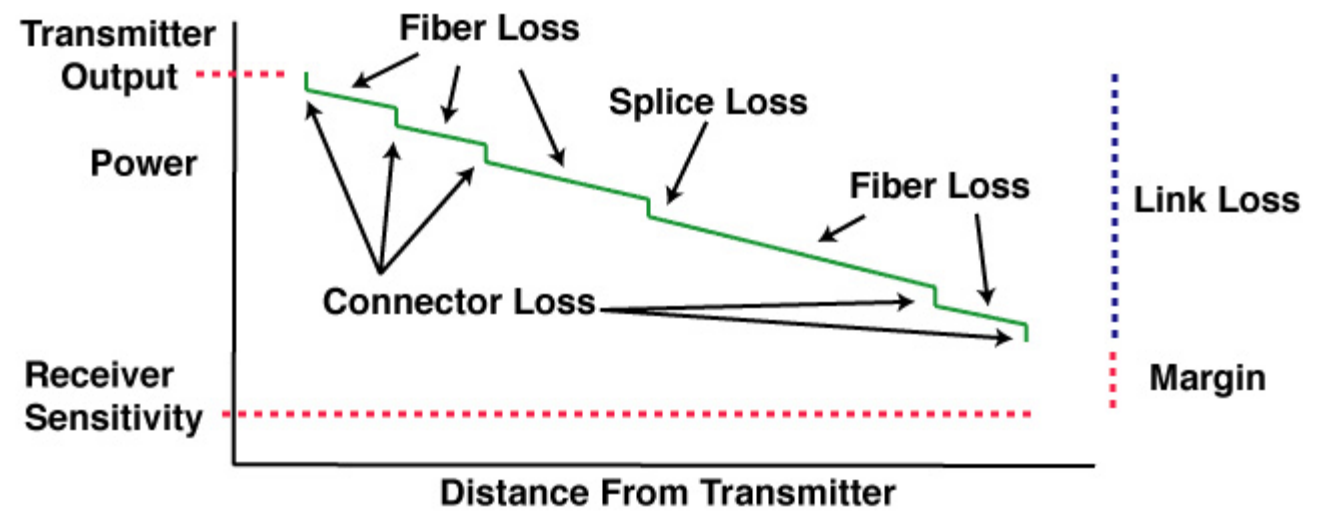
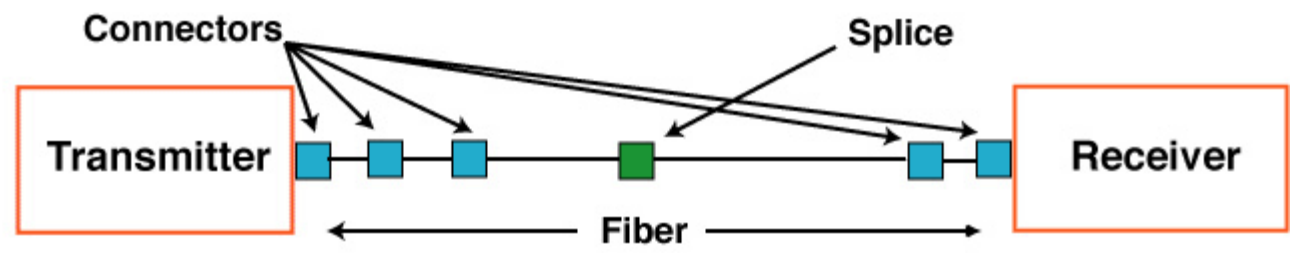
Решение:

Изборът на подходяща топология се определя от конкретните условия и от плановете за бъдещо разрастване на мрежата. Условно можем да възприемем топология, близка до тази на фиг.4.6. Разбира се, от икономически съображения е добре разстоянието  $z_1$  да бъде по-голямо от  $z_2$ .  $z_2$  не е задължително да бъде едно и също до всички ONU. Тук за простота (пресмятането за различни разстояния е рутинна работа) ще приемем, че всички ONU са равно отдалечени от пасивния разклонител.



- PowerBudget, LossBudget, Budget, Loss ....
- <http://www.thefoa.org/tech/lossbudg.htm>
- <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/12000-series-routers/12221-21.html>
- <https://www.extron.com/product/fibercalculator.aspx?s=tosb>
- <http://www.ecmag.com/quiz/view/49>
- <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=170740&seqNum=12>

# Power Budget



Ограничения от дисперсия

Ограничения от нелинейни изкривявания

Дисперсия срещу нелинейни изкривявания

Коментари и преговор на предишните лекции

## Реални системи

<https://www.kst-bg.com/products/sfp-1-25g-1smf-1550-40km-sc-pc.html>

<https://www.kst-bg.com/products/medija-konvertor-10-100-1000mbps-k-m-sfp-port.html>

коментари

## Реални системи

<https://www.cisco.com/c/en/us/support/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/series.html>

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/datasheet-c78-733699.html>

[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/data\\_sheet\\_c78-658542.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/data_sheet_c78-658542.html)

коментари

Реални системи

<https://www.kst-bg.com/products/iscom5508-ac-d-gepon-optichen-lineen-terminal.html>

<https://www.kst-bg.com/products/iscom-ht803-krajno-u-vo-za-gepon.html>

коментари

Компютърно проектиране

Пример с наличен лиценз в лаб.1257

<https://optiwave.com/>



## Оптични усилватели

Повечето оптични усилватели усилват светлина чрез стимулирано излъчване, същият механизъм, който се използва от лазерите.

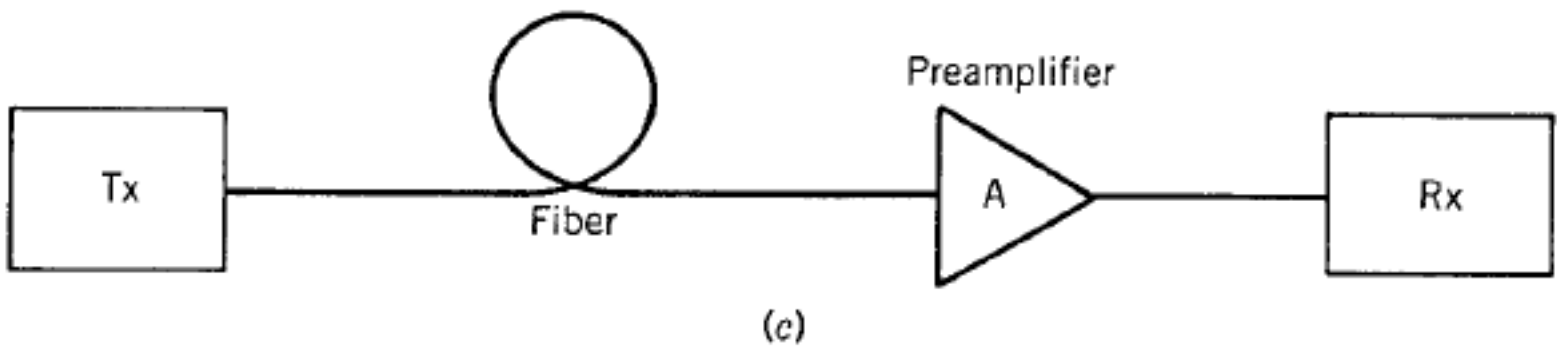
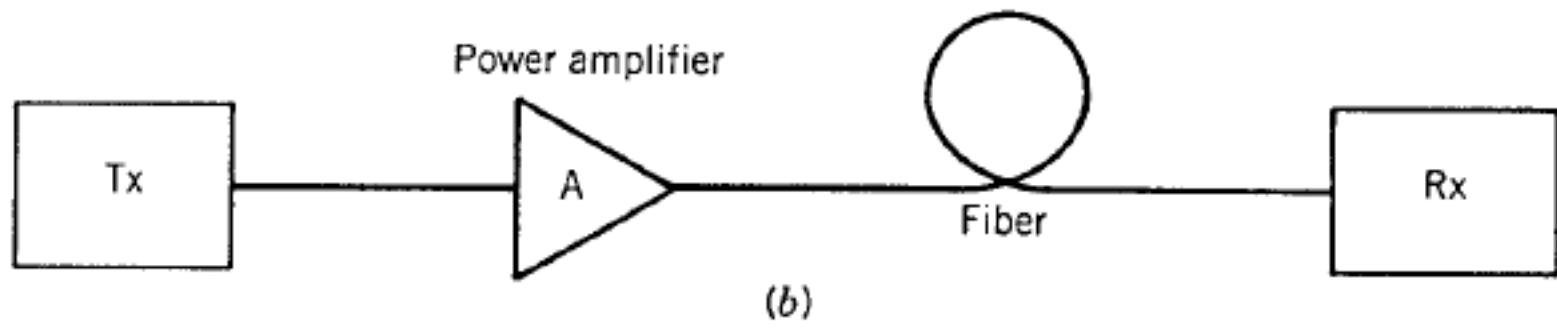
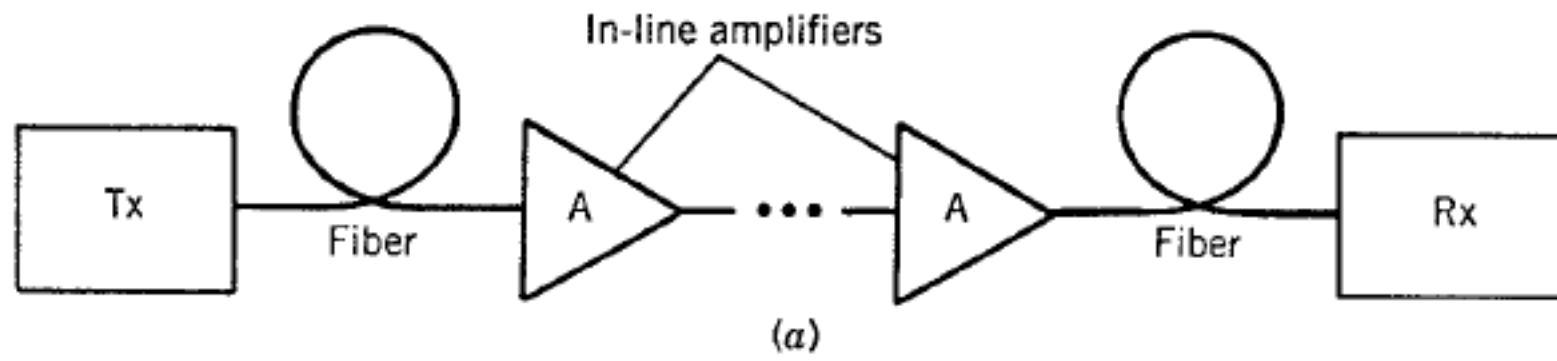
Всъщност оптичният усилвател е лазер без обратна връзка.

Основната идея е реализиране на оптично усилване като усилвателят се напмпва (оптично или електрически), за да се постигне инверсна населеност.

Всички усилватели влошават отношението сигнал / шум (SNR) на усиления сигнал, защото има спонтанно излъчване, което добавя шум към сигнала по време на неговото усилване.

Влошаването на SNR се определя количествено чрез параметър  $F_n$ , наречен число на шума на усилвателя по аналогия с електронните усилватели.

$$F_n = \frac{(\text{SNR})_{\text{in}}}{(\text{SNR})_{\text{out}}}$$



[https://books.google.bg/books?id=I7OLDwAAQBAJ&dq=introduction+to+fiber+optic+hui&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=I7OLDwAAQBAJ&dq=introduction+to+fiber+optic+hui&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

The screenshot shows a web browser window with the following elements:

- Browser Tab:** "Introduction to Fiber-Optic Communications"
- Address Bar:** "https://books.google.bg/books?id=I7OLDwAAQBAJ&dq=introduction+to+fiber+optic+hui&hl=bg&source=gbs\_navlinks\_s"
- Search Bar:** "introduction to fiber optic hui"
- Page Header:** "Книги" (Books), "Преглед на извадката" (View sample), "Добавяне в моята библиотека" (Add to my library), "Напишете рецензия" (Write a review)
- Main Content:**
  - Book Title:** "Introduction to Fiber-Optic Communications"
  - Author:** "Rongqing Hui"
  - Publisher/Date:** "Academic Press, 12.06.2019 г. - 659 страници"
  - Rating:** "★★★★★" (5 stars)
  - Reviews:** "0 Рецензии" (0 reviews)
  - Description:** "Introduction to Fiber-Optic Communications provides students with the most up-to-date, comprehensive coverage of modern optical fiber communications and applications, striking a fine balance between theory and practice that avoids excessive mathematics and derivations. Unlike other textbooks currently available, this book covers all of the important recent technologies and developments in the field, including electro-optic modulators, coherent optical systems, and silicon integrated photonic circuits. Filled with practical, relevant worked examples and exercise problems, the book presents complete coverage of the field."
  - Buttons:** "Търсене между кориците" (Search between covers), "Визуализация »" (Visualization »)
- Left Sidebar:**
  - "СДОБИЙТЕ СЕ С ПЕЧАТНАТА КНИГА" (Get the print book)
  - "Няма налична електронна книга" (No electronic book available)
  - "Elsevier.com"
  - "Намерете в библиотека" (Find in library)
  - "Всички книгопродавци »" (All booksellers »)
  - "Моята библиотека" (My library)
  - "Моята история" (My history)
  - "Книги в Google Play" (Books on Google Play)
- Bottom Section:**
  - "Какво казват хората - Напишете рецензия" (What people say - Write a review)
  - "Не намерихме рецензии на обичайните места." (We didn't find reviews in the usual places.)
  - "Избрани страници" (Selected pages)
  - Two small image thumbnails: "Introduction to Fiber-Optic Communications" and "Contents".

## ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ОПТИЧНИ УСИЛВАТЕЛИ (SOA)

Подобни са на полупроводников лазер, работещ под прага.

Изисква оптична среда за усилване и оптичен вълновод, но не изисква оптичен резонатор.

SOA може да бъде направен от лазерен диод с антирефлексно (AR) покритие; оптичният сигнал преминава през усилващата среда само веднъж и следователно също е известен като оптичен усилвател с бягаща вълна.

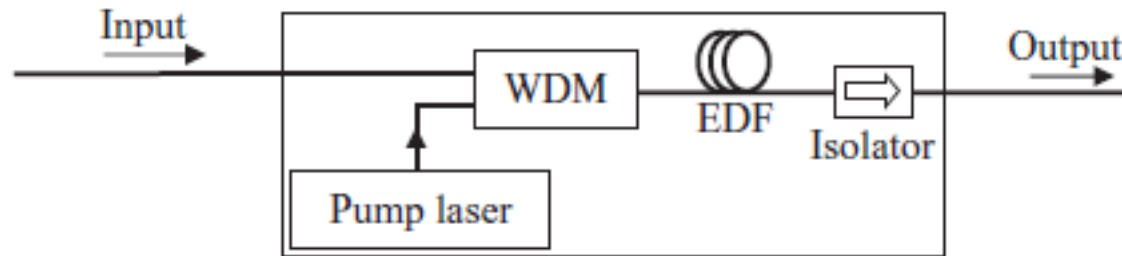
Поради близката прилика между SOA и лазерен диод, анализът на SOA може да е подобен.

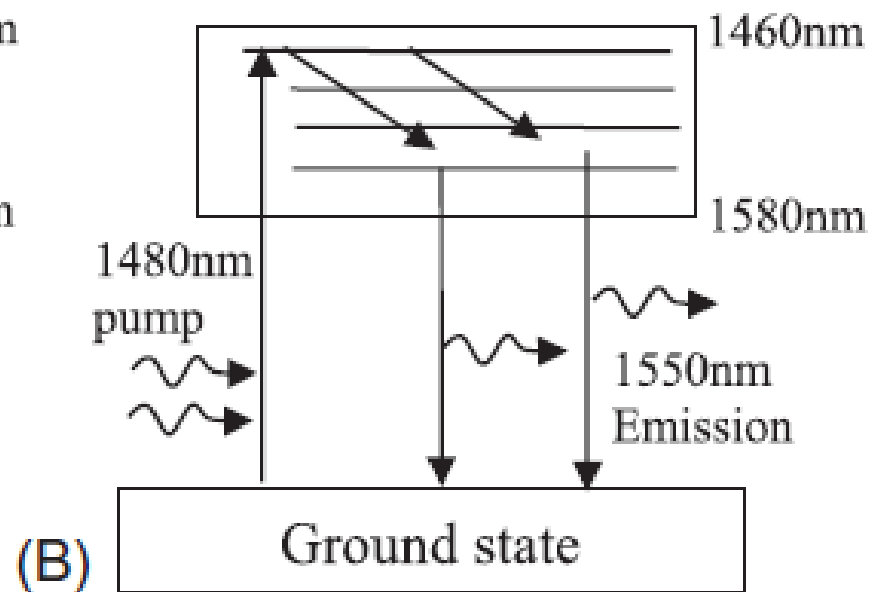
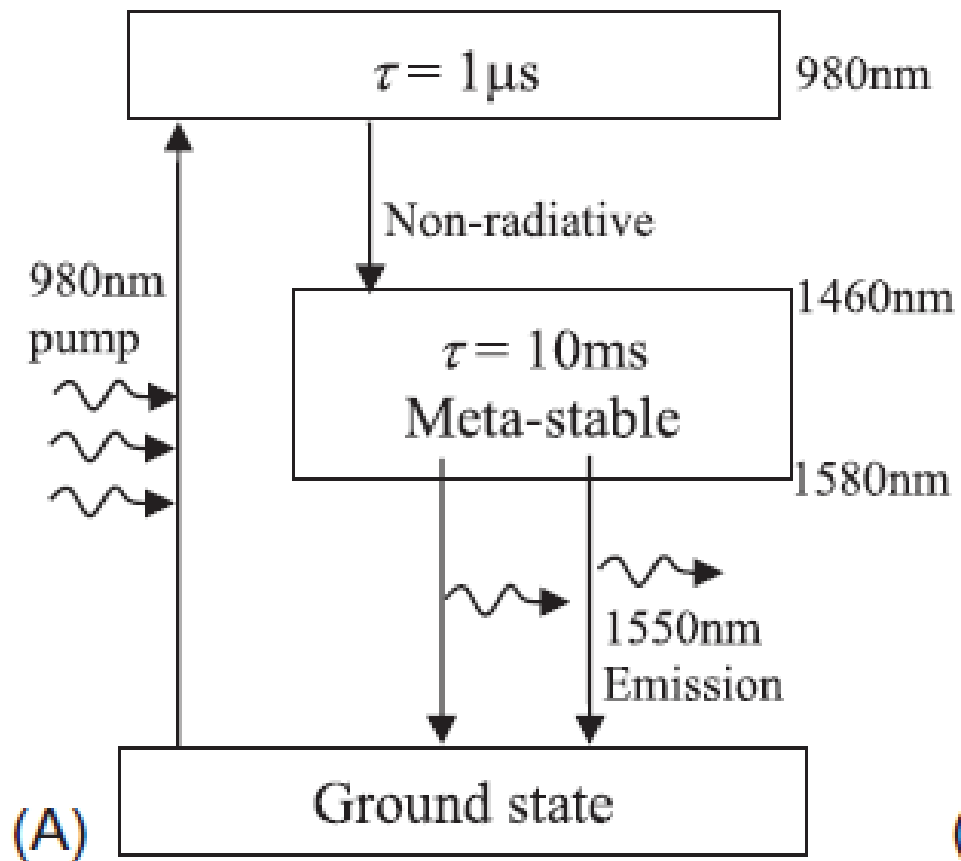
## Оптични усилватели с легирани с ербий оптични влакна (EDFA)

EDFA е едно от най-популярните оптични устройства в съвременните оптични комуникационни системи.

EDFA осигуряват много предимства пред SOA по отношение на високо усилване, висока оптична мощност, нисъко кръстосано взаимодействие между каналите и лесно оптично свързване от и към влакна.

Основната структура на EDFA се състои от легирани с ербий влакна (EDF), лазер с напмпване, оптичен изолатор и WDM (мултиплексиране по дължината на вълната) съединител.





## РАМАНОВИ УСИЛИТЕЛИ (RAMAN)

Механизма на стимулирано раманово разсейване (SRS) в оптично влакно, се причинява от взаимодействието между фотоните на оптичния сигнал и енергийните състояния на молекулите на силициевия диоксид.

В процеса на разсейване фотонът изразходва част от енергията си, за да възбуди молекула от по-ниска към по-високо вибрационно или ротационно състояние, известно като оптичен фонон.

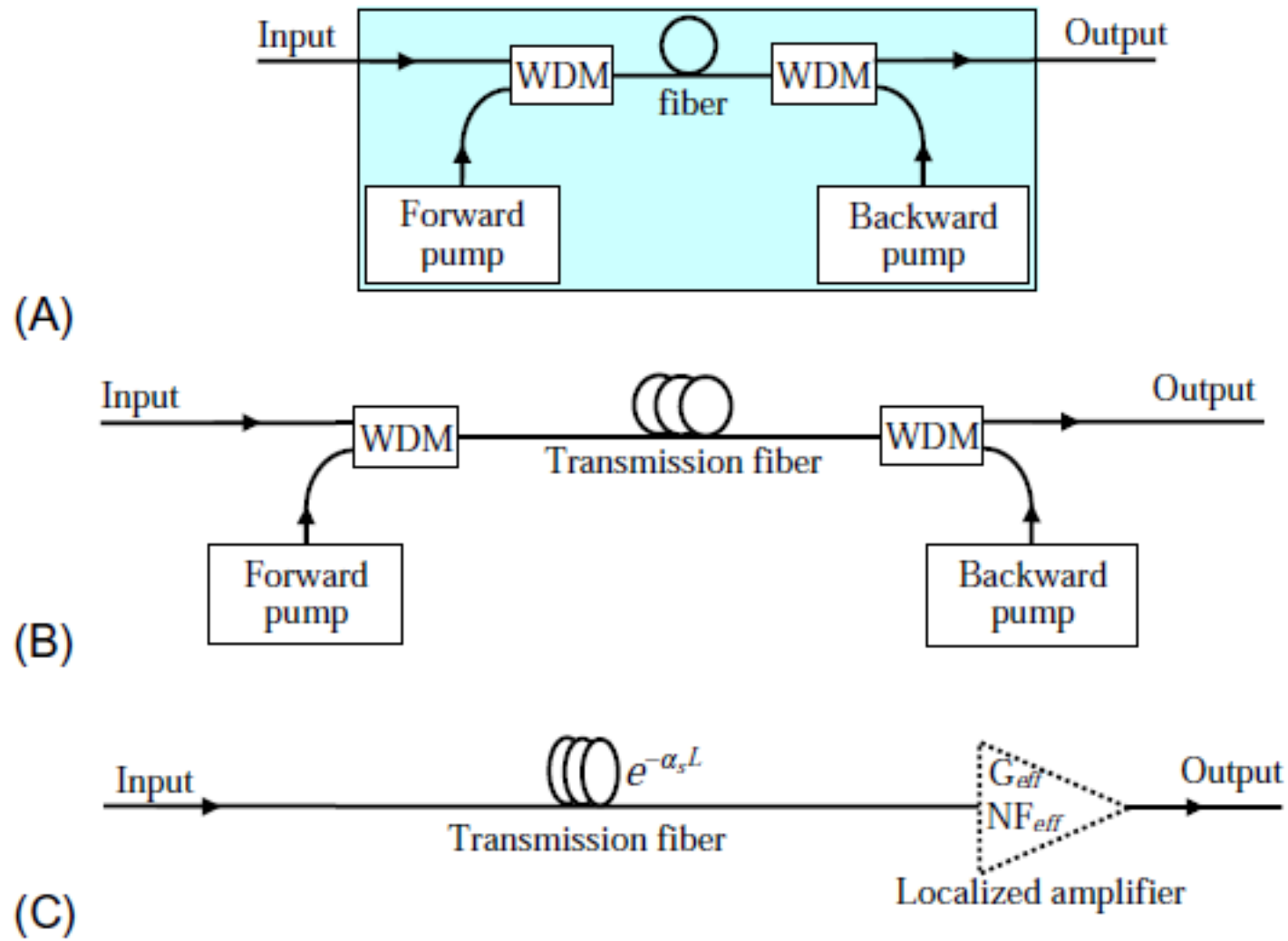
Ако материалната структура има правилна кристална решетка, нивата на вибрационна или ротационна енергия на молекулите са специфични; в такъв случай спектърът на разсеяните фотони през SRS процеса би бил относително тесен.

За аморфни материали, като стъкло, спектърът на SRS е доста широк, тъй като нивата на електронната енергия не са много добре регулирани.

Спектралната форма на SRS осигурява механизъм за оптично усилване, при който мощен лазерен лъч се използва като помпа за усилване на оптични сигнали при честоти около 7THz по-ниска от тази на помпата.

Тъй като процесът SRS е ефективен както за посоки напред, така и назад в оптично влакно Raman усилвателят може да бъде двупосочен.





(A) A localized Raman amplifier with both forward and backward pumps, (B) a distributed Raman amplifier using transmission fiber as the gain medium, and (C) a model separates a distributed Raman amplifier into a transmission fiber span and a localized amplifier.

## Примери

[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/data sheet c78-658542.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/data_sheet_c78-658542.html)

[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data sheet c78-500925.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-500925.html)

Стандарти за тестови измервания в СКС  
за измерване на основните физически параметри  
на елементната база.

Апаратура за измерване.

Методи, техники и схеми на физически  
измервания.

# Обзор

- <https://books.google.bg/books?id=4Ga2ioaf48cC&pg=PA307&dq=optical+power+meter&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwjppZ6v5IfuAhUol4sKHZRiCqwQ6AEwA3oECAQQAg#v=onepage&q=optical%20power%20meter&f=false>
- <https://books.google.bg/books?id=QYsvdMp2UP4C&pg=PA375&dq=optical+power+meter&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwjppZ6v5IfuAhUol4sKHZRiCqwQ6AEwBXoECAYQAg#v=onepage&q=optical%20power%20meter&f=false>
- <https://books.google.bg/books?id=cF9G43ygLccC&pg=PA201&dq=optical+power+meter&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwjppZ6v5IfuAhUol4sKHZRiCqwQ6AEwB3oECAkQAg#v=onepage&q=optical%20power%20meter&f=false>
- <https://books.google.bg/books?id=C5L8V2lXj6wC&pg=PA182&dq=optical+fiber+installation&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwjn2JCT5YfuAhVilMMKHUrmBfQ4FBDrATAAegQIABAB#v=onepage&q=optical%20fiber%20installation&f=false>

# Обзор

- <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/quick-start-guide-fiber-inspection-cleaning-and-testing-manuals-user-guides-en.pdf>
- <https://www.corning.com/catalog/coc/documents/application-engineering-notes/AEN135.pdf>
- [https://www.samm.com/userfiles/product\\_files\\_shared/TestMeasurement/OTDR/reference-guide-to-fiber-optic-testing.pdf](https://www.samm.com/userfiles/product_files_shared/TestMeasurement/OTDR/reference-guide-to-fiber-optic-testing.pdf)

# Стандарти

- Съществуват много международни и национални стандарти за характеристики на оптичния кабел и методи за измерване.
- Някои са изброени по-долу, но списъкът не е изчерпателен.
- Изданията подлежат на промяна.
- Две основни групи работят по международните стандарти: IEC и ITU.
- [https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0::::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:1279,25](https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1279,25)
- [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf)
- [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:iN2sqXHJ\\_rgJ:https://www.bds-bg.org/bg/standard/%3Fnatstandard\\_document\\_id%3D70520+&cd=1&hl=bg&ct=clnk&gl=bg&client=firefox-b-d](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:iN2sqXHJ_rgJ:https://www.bds-bg.org/bg/standard/%3Fnatstandard_document_id%3D70520+&cd=1&hl=bg&ct=clnk&gl=bg&client=firefox-b-d)

# Стандарти

- IEC 61300-3-35: Fibre Optic Connector End Face Visual Inspection
- •• IEC 60793-1 and -2: Optical Fibers (includes several parts)
- •• IEC 60794-1, -2, and -3: Optical Fiber Cables
- •• G.651: Characteristics of 50/125  $\mu\text{m}$  Multimode Graded-index Optical Fiber
- •• G.652: Characteristics of Single-mode Optical Fiber and Cable
- •• G.653: Characteristics of Single-mode Dispersion Shifted Optical Fiber and Cable
- •• G.654: Characteristics of Cut-off Shifted Single-mode Optical Fiber and Cable
- •• G.655: Characteristics of Non-zero Dispersion Shifted Single-mode Optical Fiber and Cable
- •• G.656: Characteristics of Non-zero Dispersion Shifted Fiber for Wideband Transport
- •• G.657: Characteristics of a Bending Loss Insensitive Single-mode Fiber for Access Networks

# Стандарти

- **Test and Measurement**
- **Generic Test**
- •• IEC 61350: Power Meter Calibration
- •• IEC 61746: OTDR Calibration
- •• G.650.1: Definition and Test Methods for Linear, Deterministic Attributes of Single-mode Fiber and Cable
- •• G.650.2: Definition and Test Methods for Statistical and Non-linear Attributes of Single-mode Fiber and Cable



# Стандарти

- **PMD Test Standards**
- •• G.650.2: Definition and Test Methods for Statistical and Nonlinear Attributes of Single-mode Fiber and Cable
- •• IEC 60793 1-48: Optical Fibers—Part 1-48: Measurement Methods and Test Procedures—Polarization Mode Dispersion
- •• IEC/TS 61941: Technical Specifications for Polarization Mode Dispersion Measurement Techniques for Single-mode Optical Fiber
- •• IEC 61280-3/TIA/TR-1029: Calculation of Polarization
- •• TIA 455 FOTP-124A: Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-mode Optical Fiber and Cable Assemblies by Interferometry
- •• TIA 455 FOTP-113: Polarization Mode Dispersion Measurement of Single-mode Optical Fiber by the Fixed Analyzer Method
- •• TIA 455 FOTP-122A: Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-mode Optical Fiber by the Stokes Parameter Method
- •• TIA TSB-107: Guidelines for the Statistical Specification of Polarization Mode Dispersion on Optical Fiber Cables
- •• TIA 455-196: Guidelines for Polarization Mode Measurements in Single-mode Fiber Optic Components and Devices
- •• GR-2947-CORE: Generic Requirements for Portable Polarization Mode Dispersion (PMD) Test Sets
- •• IEC 61280-4-4: Polarization Mode Dispersion Measurement for Installed Links
- •• TIA 445 FOTP-243: Polarization Mode Dispersion Measurement for Installed Single-mode Optical Fibers by Wavelength-scanning OTDR and State of Polarization Analysis

# Стандарти

- **CD Test Standards**
- •• G.650.1: Definition and Test Methods for Linear, Deterministic Attributes of Single-mode Fiber and Cable
- •• IEC 60793 1-42: Optical Fibers—Part 1-42: Measurement Methods and Test Procedures—Chromatic Dispersion
- •• IEC 61744: Calibration of Fiber Optic Chromatic Dispersion Test Sets
- •• TIA/EIA FOTP-175-B: Chromatic Dispersion Measurement of Single-mode Optical Fibers
- •• GR-761-CORE: Generic Criteria for Chromatic Dispersion Test Sets
- •• GR-2854-CORE: Generic Requirements for Fiber Optic Dispersion Compensators

# Стандарти

- When analyzing a fiber optic cable over its product lifetime,
- performing a series of measurements will ensure its integrity.
- •• Mechanical tests
- •• Geometrical tests
- •• Optical tests
- •• Transmission tests

# Transmission Tests

$$\text{dB} = 10 \text{ Log } \frac{P_1}{P_2}$$

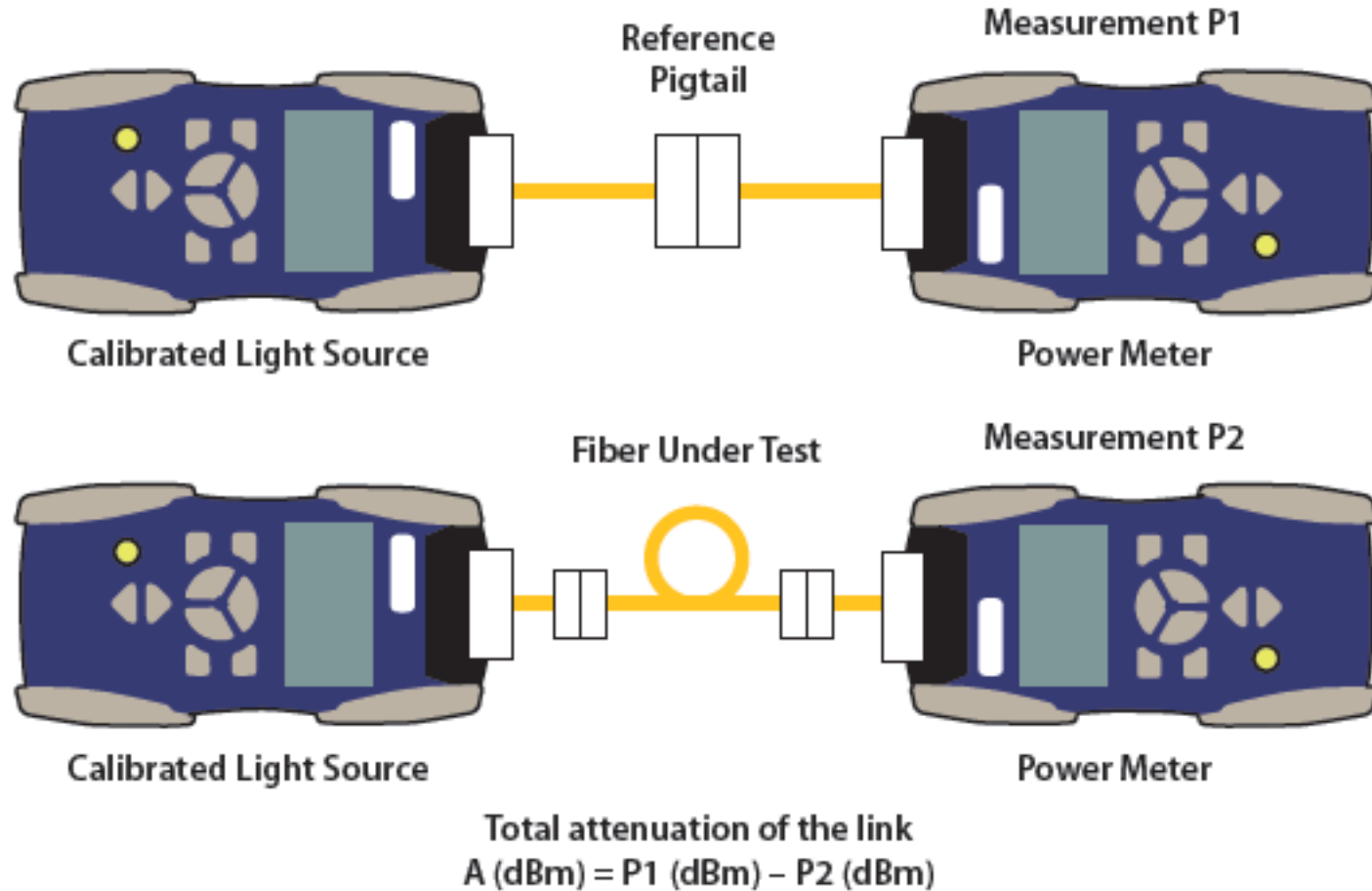
$$P(\text{dBm}) = 10 \text{ Log } \frac{P_1}{1 \text{ mW}}$$

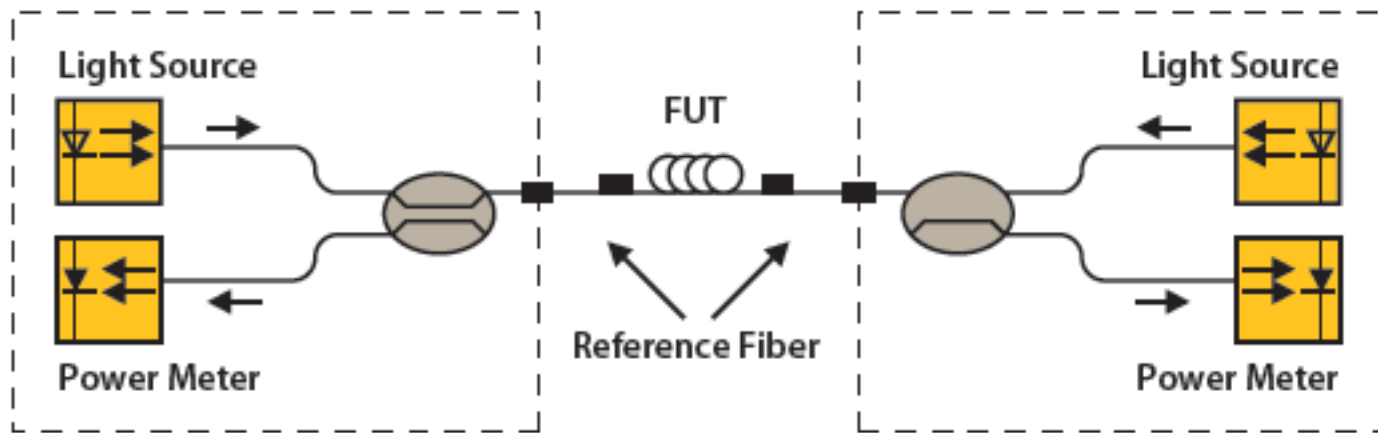
- Преговор !
- Примери
- Дискусия

## Параметри за измерване

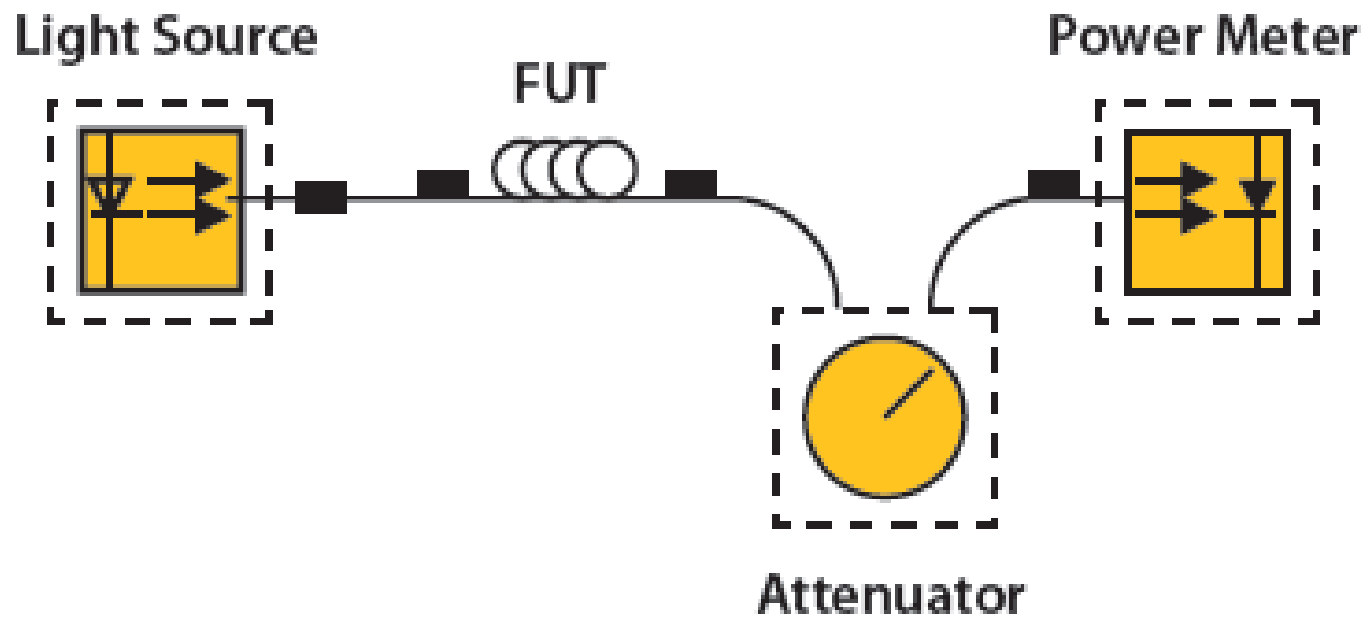
- За да се квалифицира използването на оптично влакно или система от оптични влакна за правилно предаване се извършват тези няколко ключови измервания.
  - • Загуби в оптична връзка от край до край
  - • Затихване на единица дължина
  - • Принос в затихването на заварки, съединители и букси (събития)
  - • Дължина на влакното или разстояние до събитие
  - • Линеиност на загубите на влакна за единица дължина (прекъсвания на затихването)
  - • Отражения (Reflectance or optical return loss - ORL)
  - • Хроматична дисперсия (CD)
  - • Поляризационно модова дисперсия (PMD)
  - • Профил на затихване (AP)
- Други измервания, като честотна лента, също могат да бъдат извършени.
- Някои измервания изискват достъп до двата края на влакното.
- Други изискват достъп само до единия край.
- Техники за измерване, които изискват достъп само до единия край са особено интересни за полеви приложения, тъй като тези измервания намаляват прекараното време в пътуване от единия край на оптичната кабелна система към другия.
- Полевото тестване на оптични кабели изисква тестване на три нива: инсталация, поддръжка и възстановяване.

- Light Sources
- Power Meters
- Detector Specifications
- Dynamic Range





Insertion loss measurement with two bidirectional LTSs

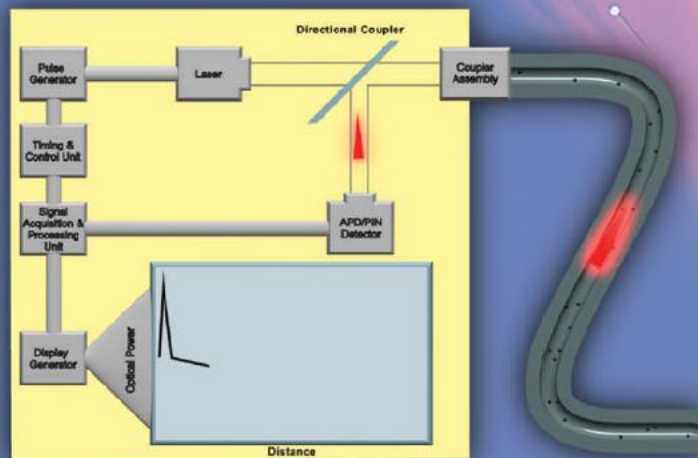




# Troubleshooting Optical-Fiber Networks

Understanding and Using Your  
Optical Time-Domain Reflectometer

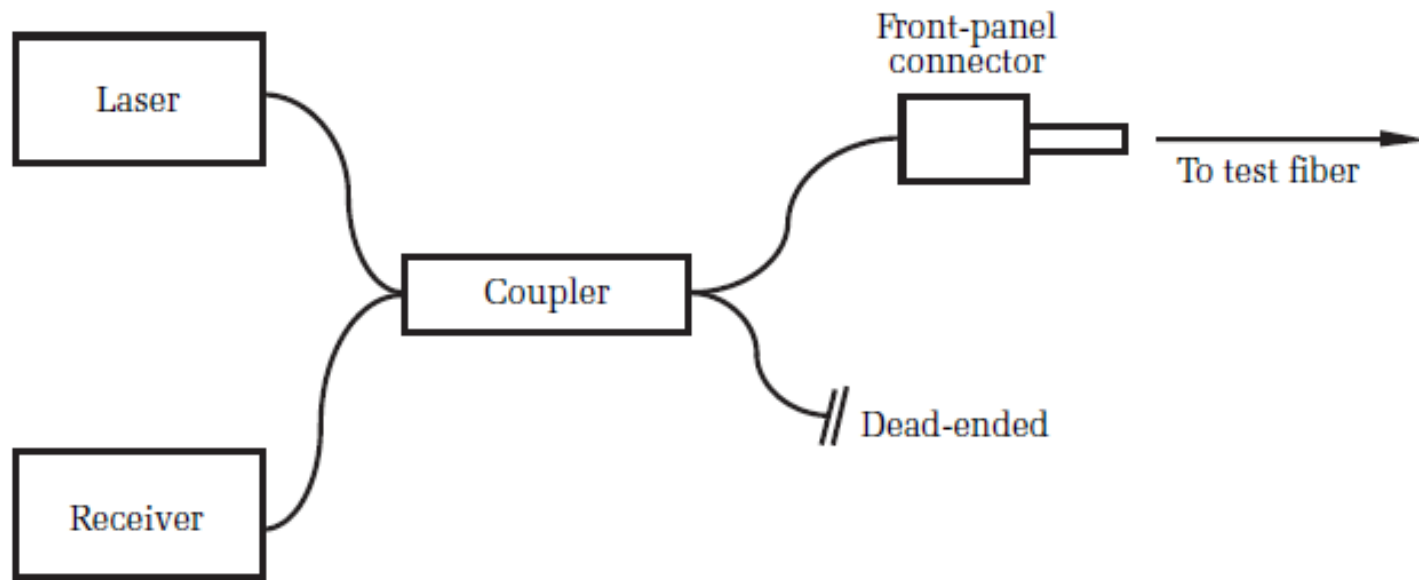
SECOND EDITION



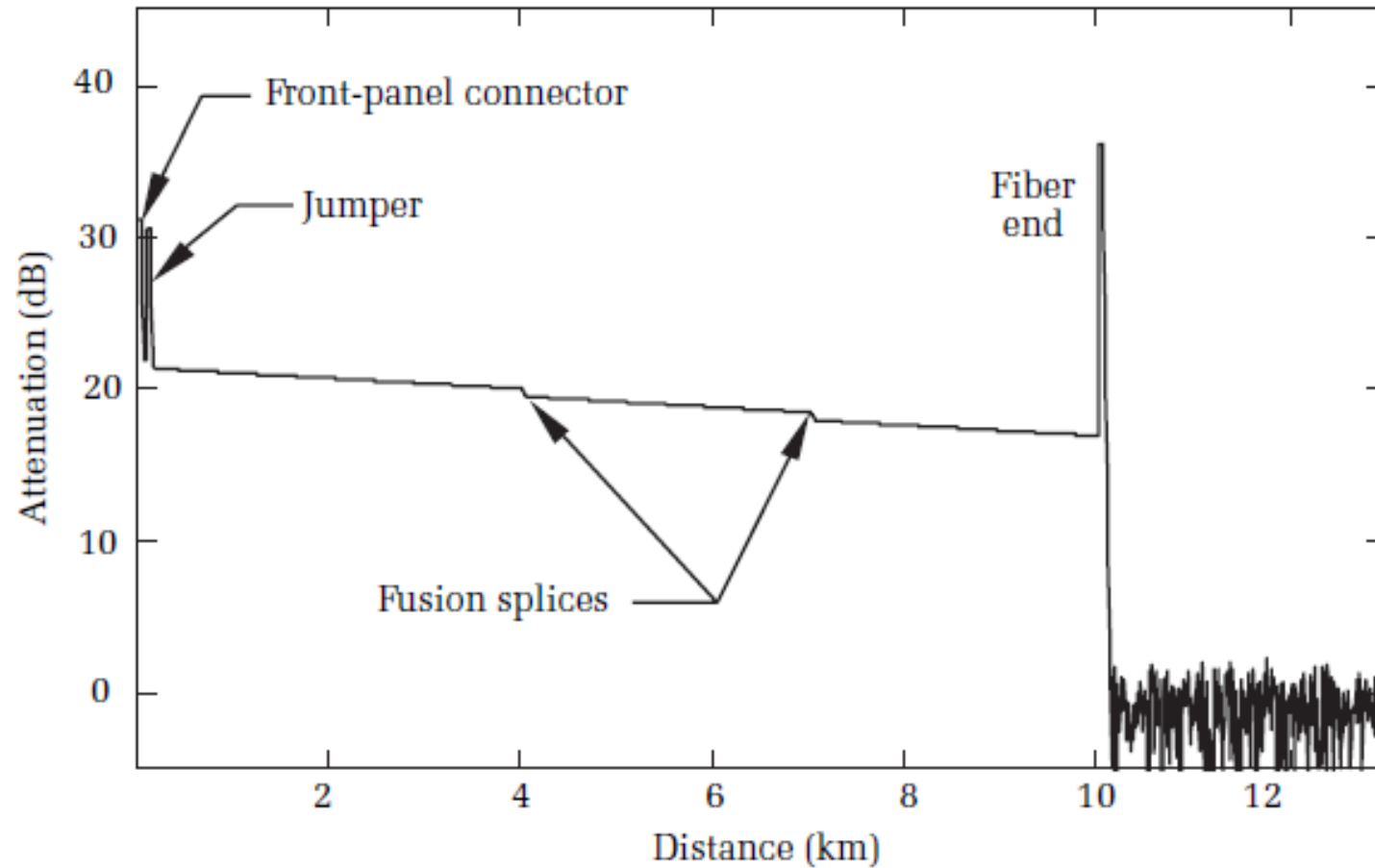
Dwayne R. Anderson  
Larry Johnson  
Florian G. Bell



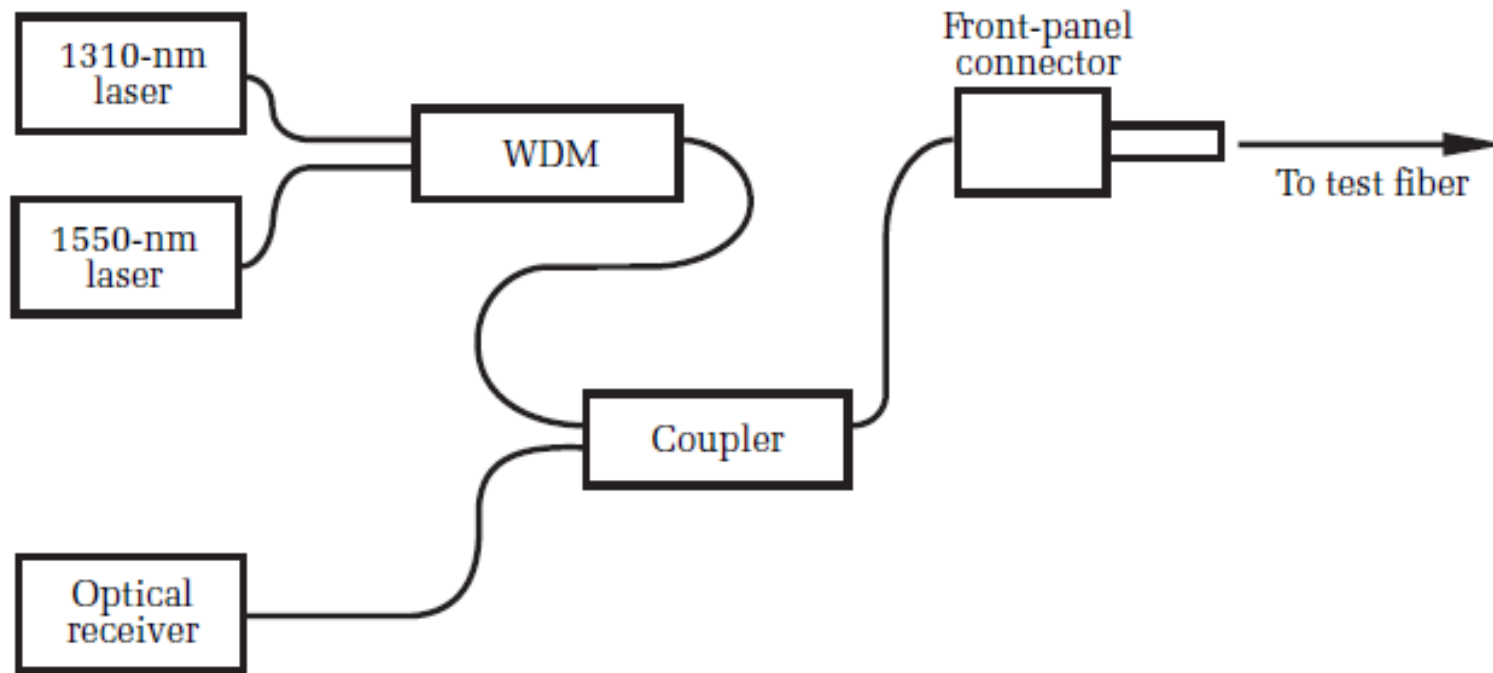
<https://books.google.bg/books?id=8dZF5bi2DBMC&printsec=frontcover&dq=Troubleshooting+Optical+Fiber+Networks&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwivxpCr44fuAhVyAhAIHT5pCLoQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=Troubleshooting%20Optical%20Fiber%20Networks&f=false>



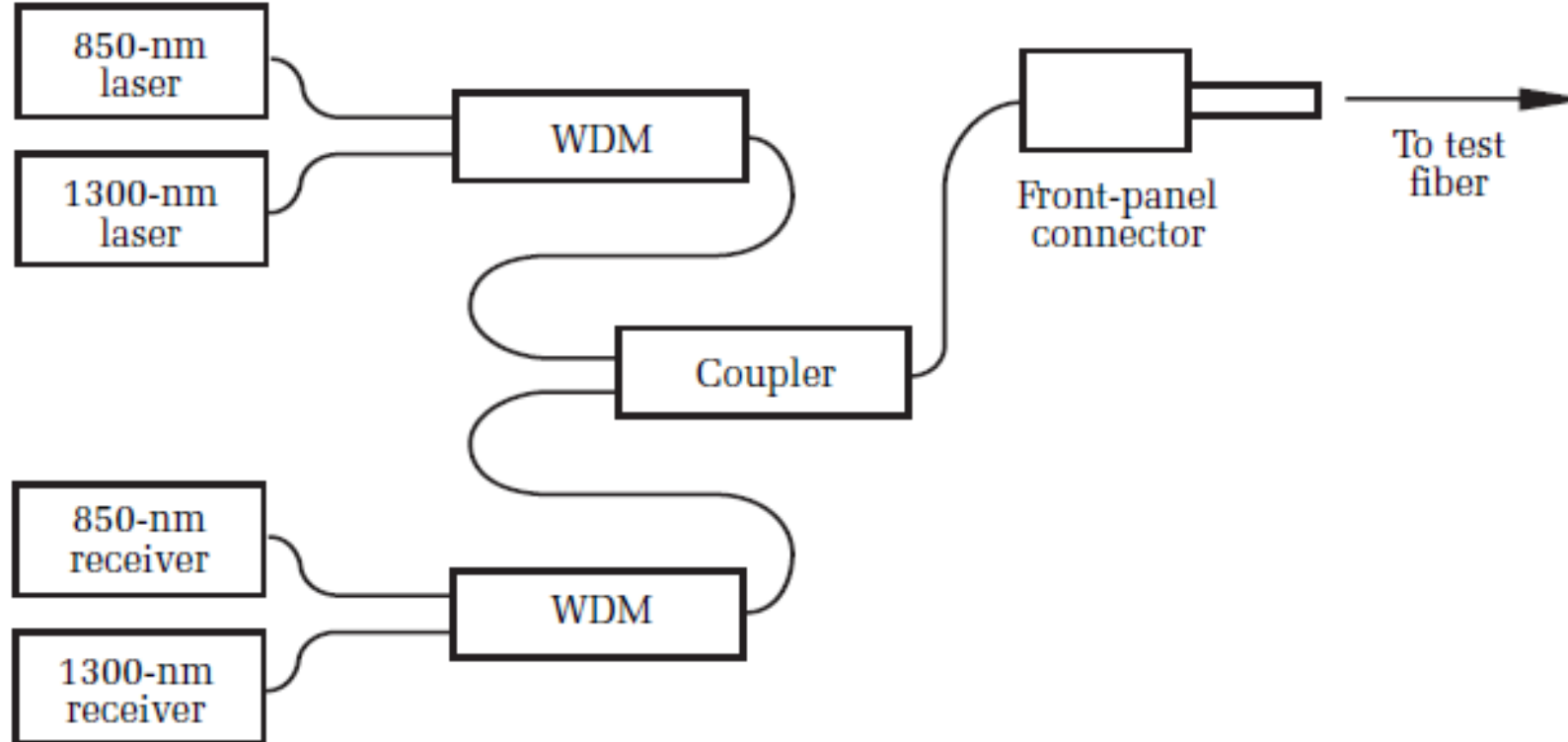
**Figure 3.1.** Principal optical components in a standard OTDR.



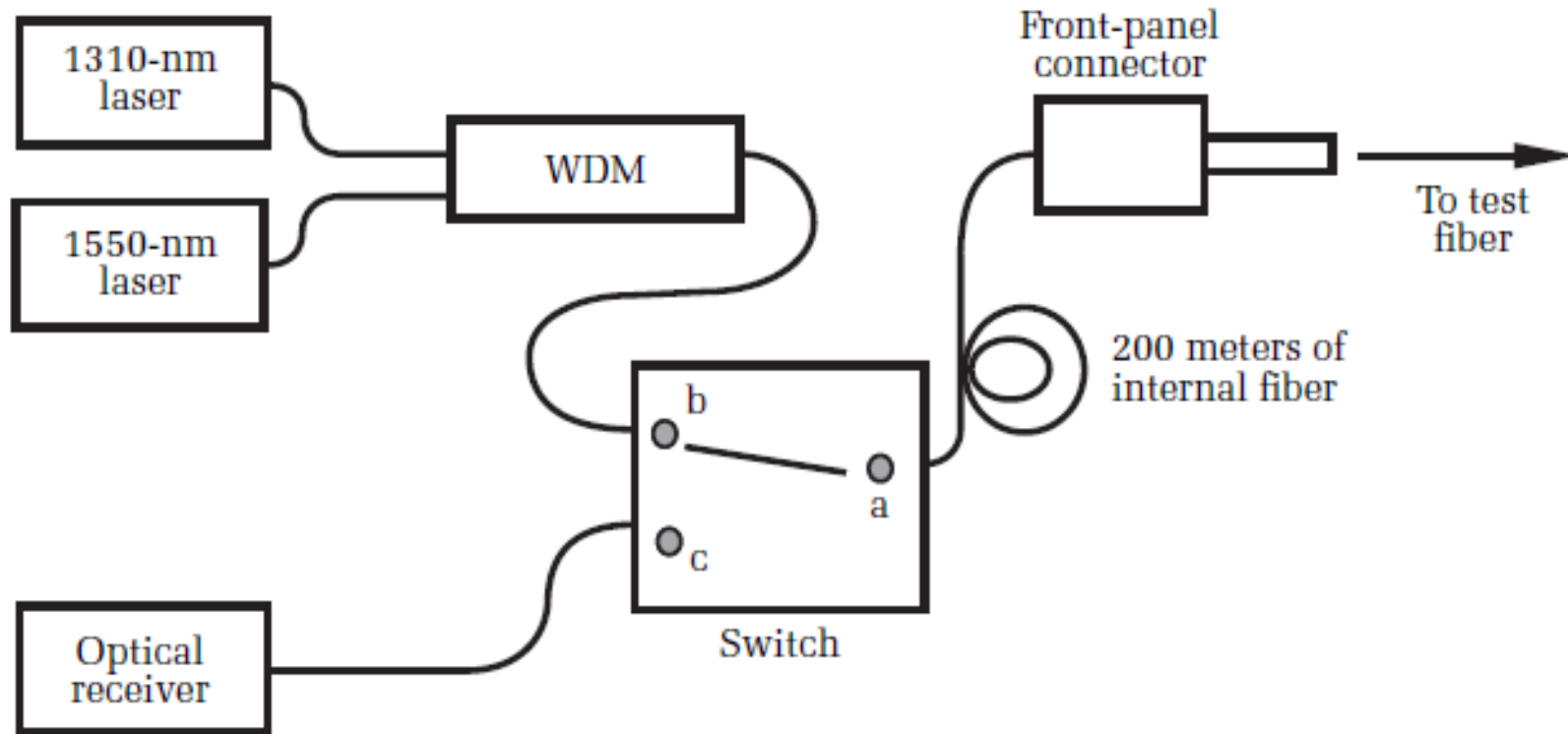
**Figure 3.2.** A typical OTDR waveform. The two spikes near the beginning of the waveform are from the reflective connectors at the instrument's front panel and from a jumper used to connect the instrument to the OTDR. The two dips in the waveform result from nonreflective fusion splices. The large reflection at the end of the waveform is caused by a reflection from the unterminated end of the fiber. The "grass" after the end of the fiber results from the OTDR's system noise. [Credit: The Light Brigade.]



**Figure 3.4.** Principal optical components in a dual-wavelength, single-mode OTDR. Some OTDRs use WDMs that allow testing at 1310, 1550, and 1625 nm.



**Figure 3.5.** Principal optical components in a dual-wavelength, multimode OTDR. Notice that this instrument, unlike its single-mode counterpart, has two optical receivers and two WDMs (in some instruments, some of the multiplexing operations are done with couplers instead of WDMs).



**Figure 3.6.** Principal optical components in an advanced OTDR with dual-wavelength capability, optical switch, and internal fiber for measuring the front-panel connector loss. The switch is connected from a to b when launching the laser pulse into the test fiber. It is connected from a to c when receiving the scattered and reflected light. It is connected (for only a few tens of nanoseconds) from a to b when blocking bright reflections that might saturate the APD receiver or amplifier.

# Dynamic range

- Обща идея
- Коментари
- Загуби, шумове, SNR, продължителност на импулси и др.

# ММ и SM OTDR

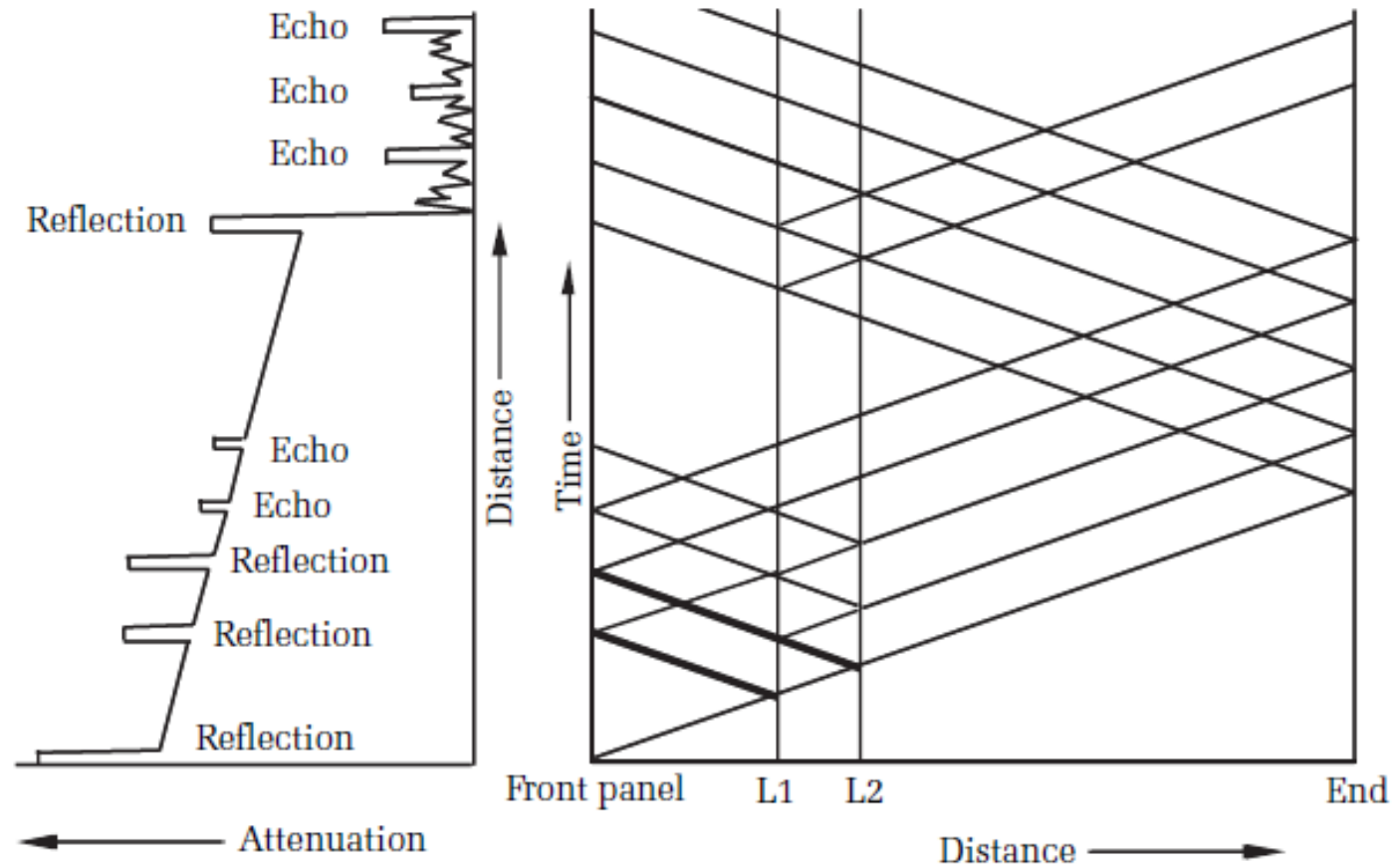
- Различни дължини на вълната
- Различни отражения в конекторите
- Различни влакна
- Различни типични мощности



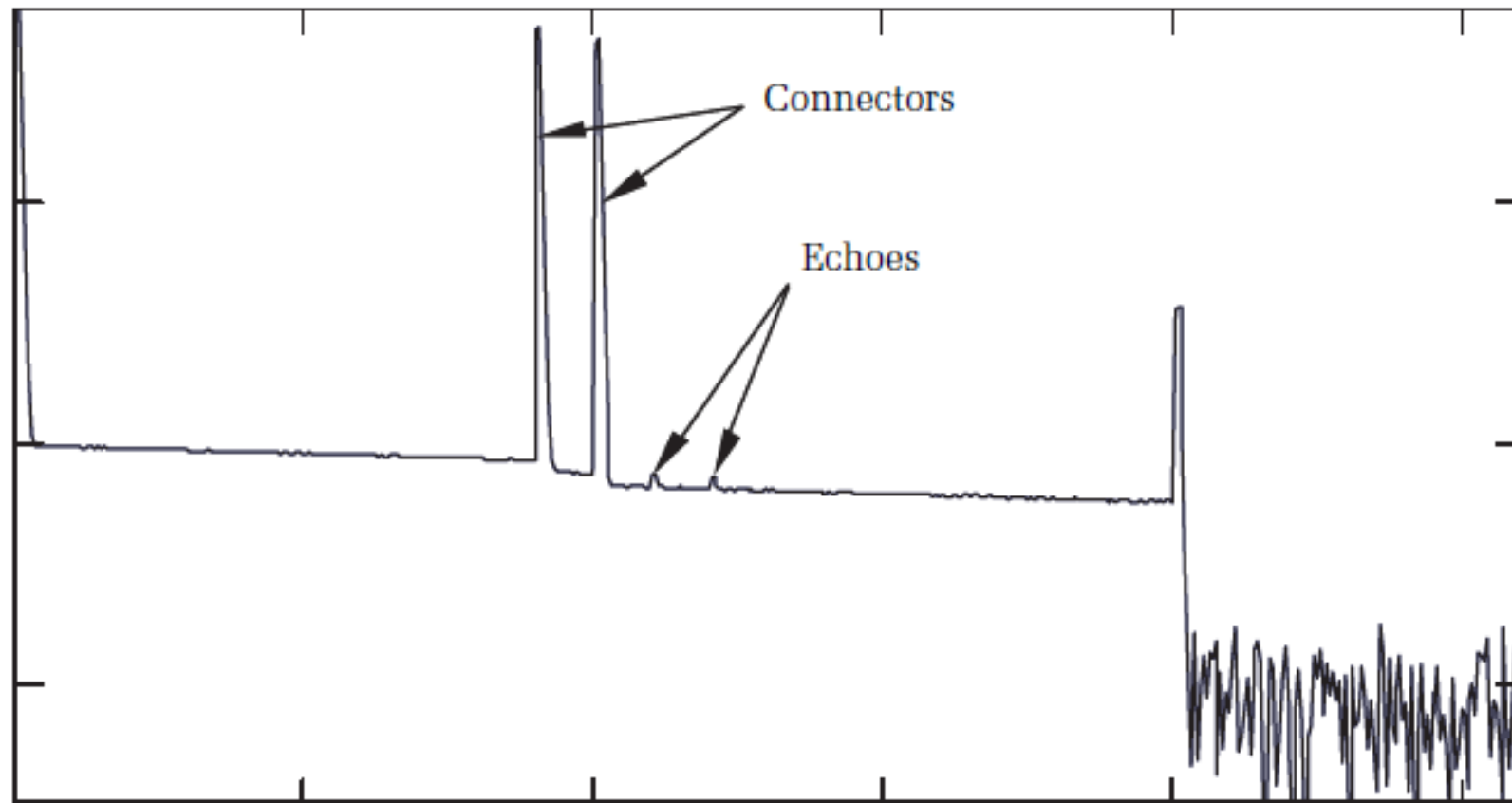
# Echoes and ghosts

What Are Link Echoes And Link Ghosts?





**Figure 3.9.** How echoes can multiply in a system with reflective events. Echoes occur whenever light returns to the OTDR after reflecting more than once. The number of echoes grows exponentially. Fortunately, in most systems the echoes become far too attenuated to see after being reflected more than three times. In this figure the primary pulse and reflections are shown with a heavy line, and the echoes are shown with a lighter line. This figure shows only a small number of the infinite number of possible echoes.



**Figure 3.10.** Two connectors spaced 200 meters apart. Light reflecting off these connectors results in a pair of echoes 200 meters after the last connector and spaced 200 meters apart. Observe that there is no loss associated with the echoes. The pair of connectors and the front panel each had  $-20$  dB return loss. In this waveform, the pulse width is 20 meters, the fiber is single-mode, and the wavelength is 1310 nm.

# Варианти за подобряване на динамичния диапазон

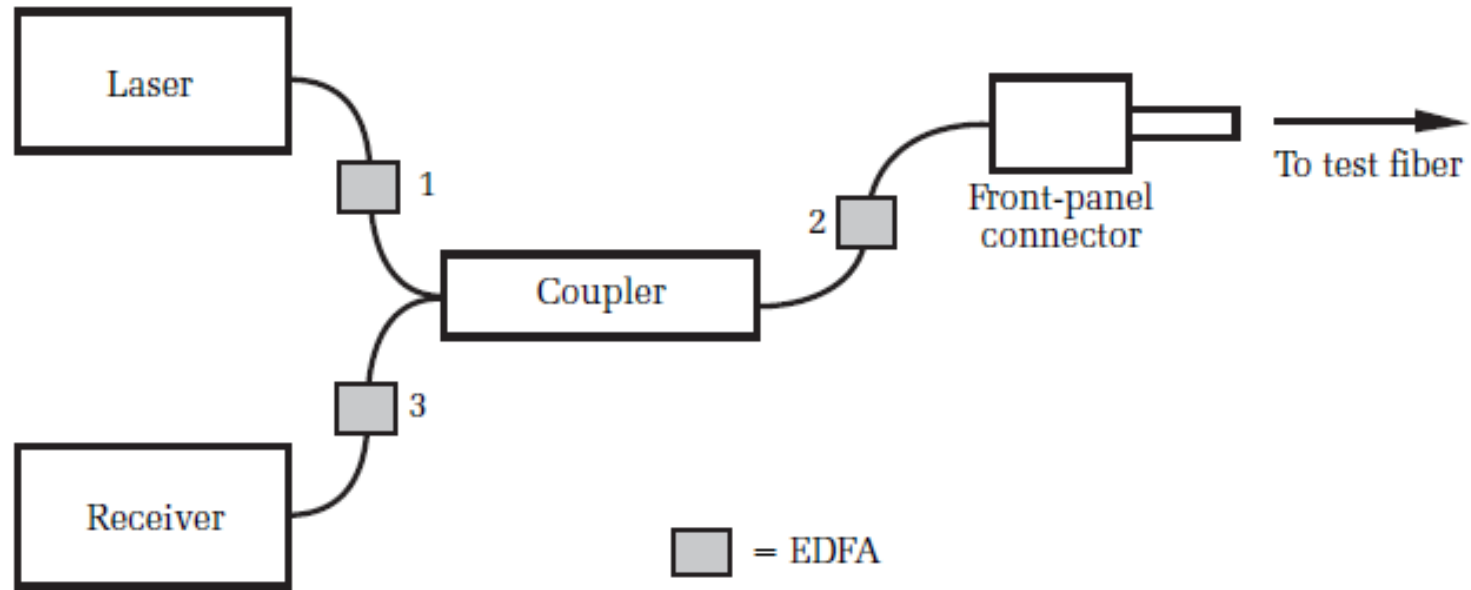
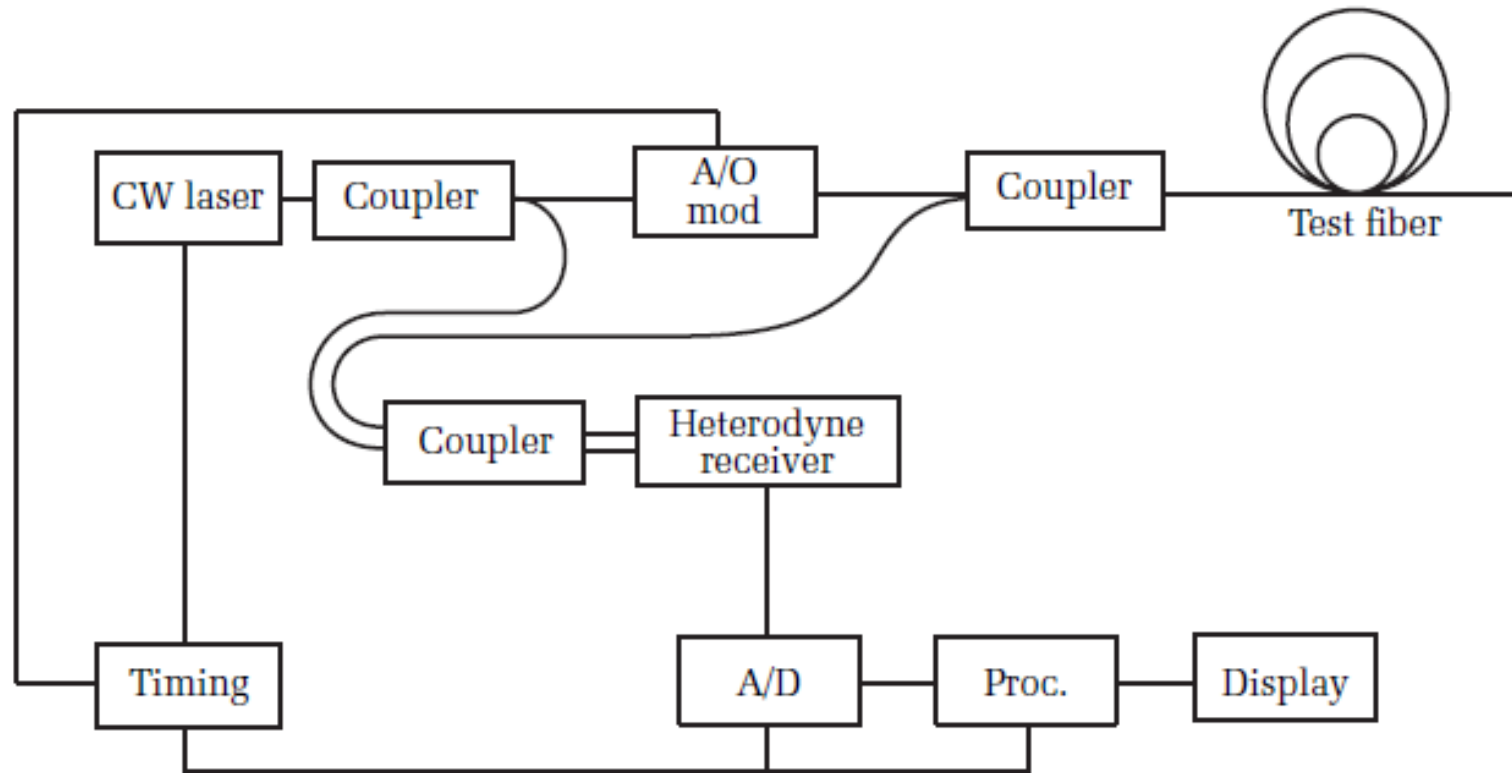
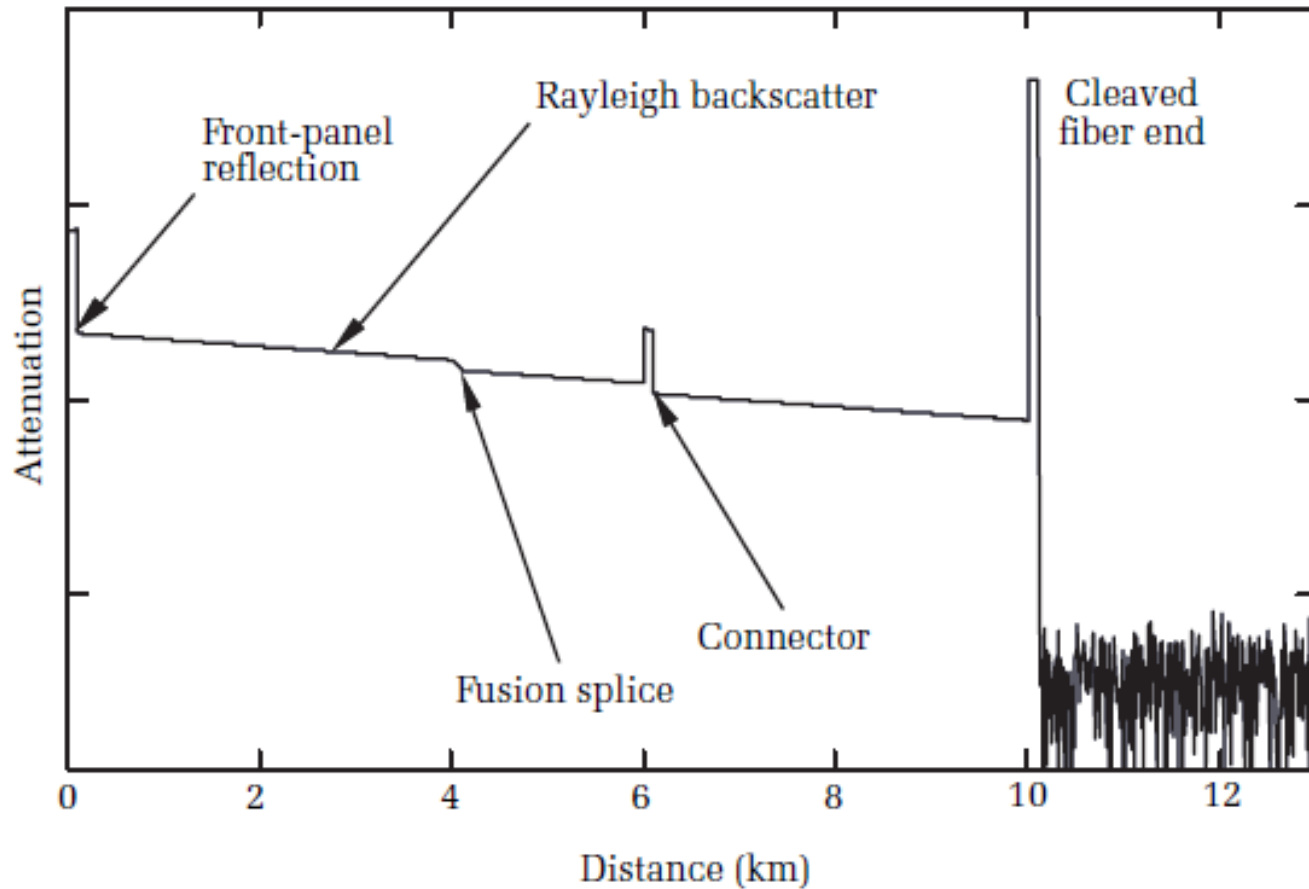


Figure 3.12. Possible locations for an EDFA in a standard OTDR.



**Figure 3.13.** Layout of a coherent OTDR. Theoretically, coherent OTDRs have more dynamic range than standard OTDRs. In practice, however, they have some problems with polarization fading that have the same impact on measurements as reduced dynamic range. They also tend to be more expensive because of the extra optical components they require, such as the two extra couplers and the external modulator.

- Измервания на локализирани и разпределени загуби



**Figure 5.1.** Comparison of the OTDR traces for reflective and nonreflective events. The fusion splice is nonreflective, so the OTDR trace across the fusion splices exhibits only a drop in the strength of the Rayleigh backscatter signal. Both connectors (the one at the front panel and the one immediately after the fusion splice) exhibit reflection, as demonstrated by the spike on the OTDR's waveform. The cleaved fiber end is more reflective than the connectors, so the height of its reflection is greater.

Сравнение на OTDR следите за отражателни и неотражателни събития. Заварките са неотражателни, така че OTDR показва само спад в силата на сигнала от обратно разсейване Rayleigh. И двата конектора (този на предния панел и този непосредствено след заварката) показват отражение, както е показано от скока на графиката на OTDR. Отрязаният край на влакното е по-отразяващ от съединителите.

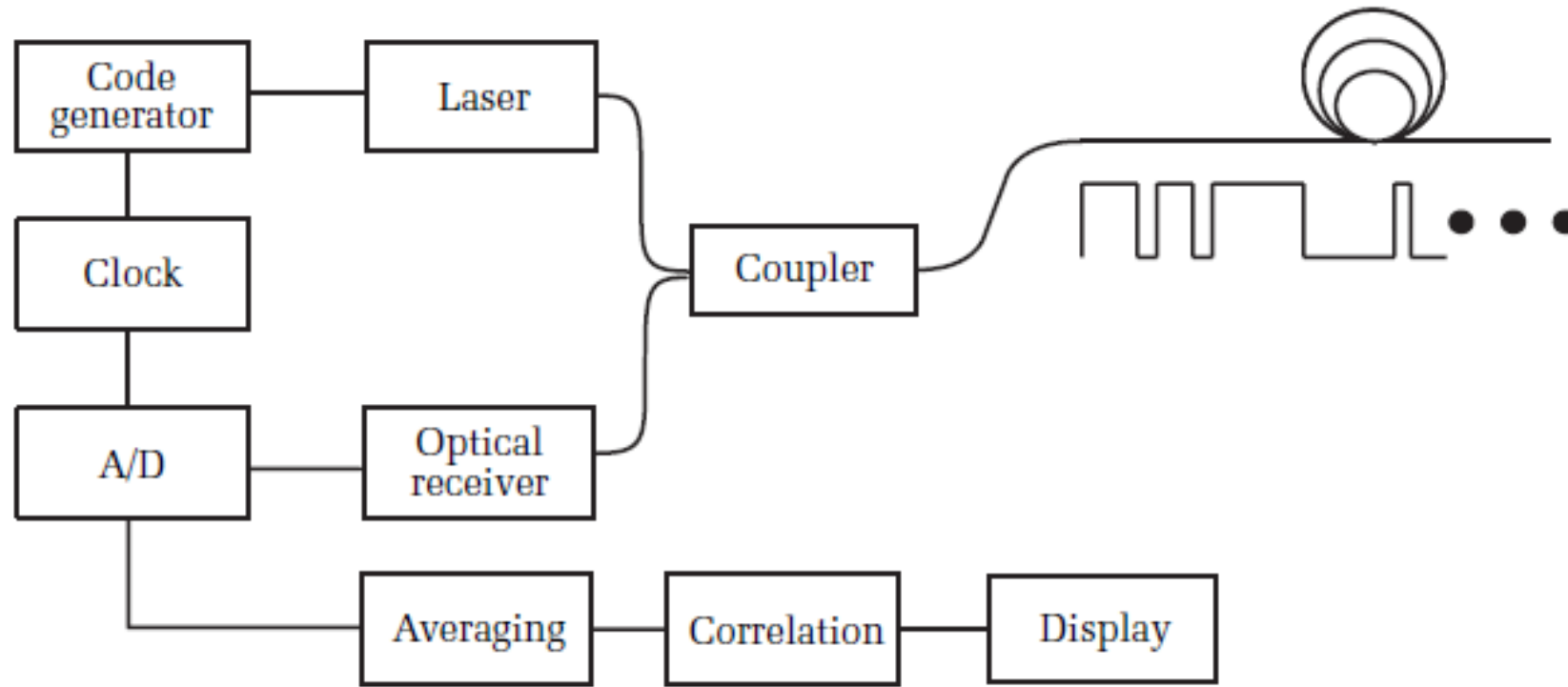
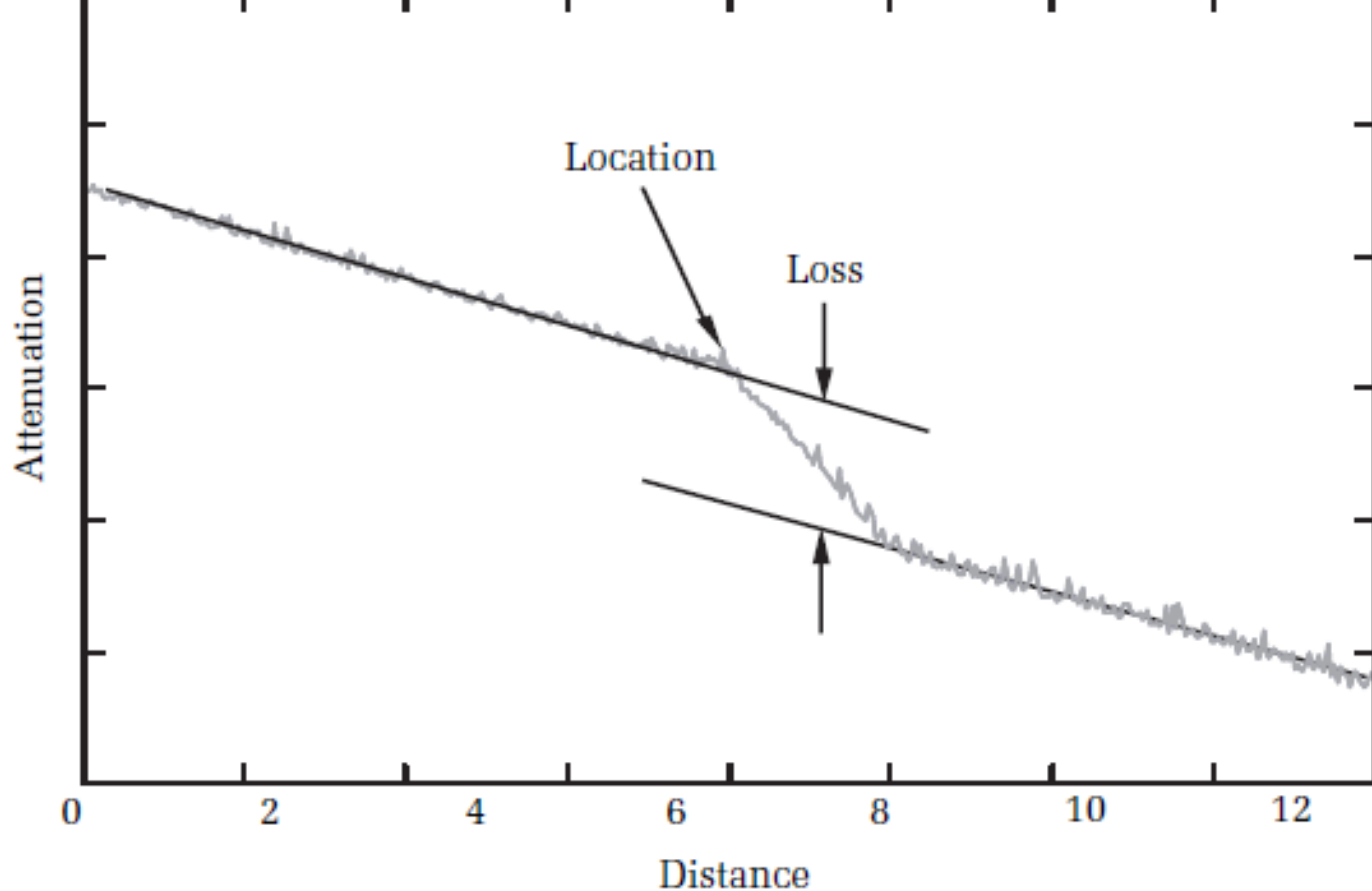


Figure 3.14. Schematic drawing of a correlation OTDR.





Измерване на загубата и местоположението на събитие без отражение.

Местоположението на събитието е се определя първото по-бързо спадане от нормалния наклон на влакното.

Загубата от събитието се определя от вертикалното разделяне на два курсора преди и след събитието.

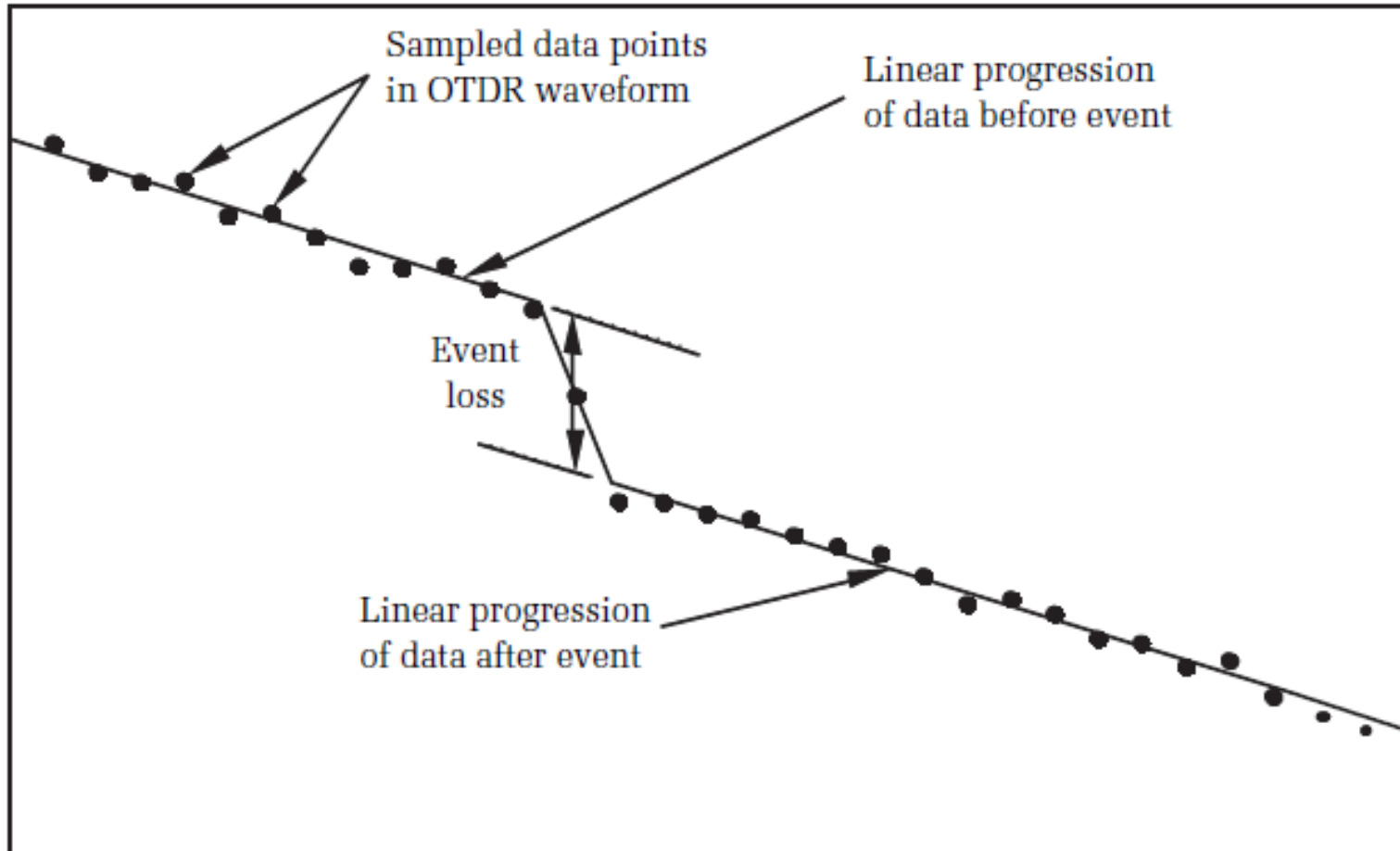
**Figure 5.2.** Measuring the loss and location of a nonreflective event. The event's location is the leading edge where the Rayleigh backscatter first starts to fall off faster than the normal fiber slope. The event's loss is determined by the vertical separation of two cursors (at the center of the event) when the cursors are fitted to the Rayleigh backscatter before and after the event.

# Грешки

**Distance-measurement errors caused by waveform noise**

Коментари

- Waveform interpretation and algorithms
- Waveform noise
- Improperly designed smoothing filter
- Sample spacing
- Cabling structure factors
- Wrong setting for the index-of-refraction
- Wavelength differences between different OTDRs
- Time-base errors



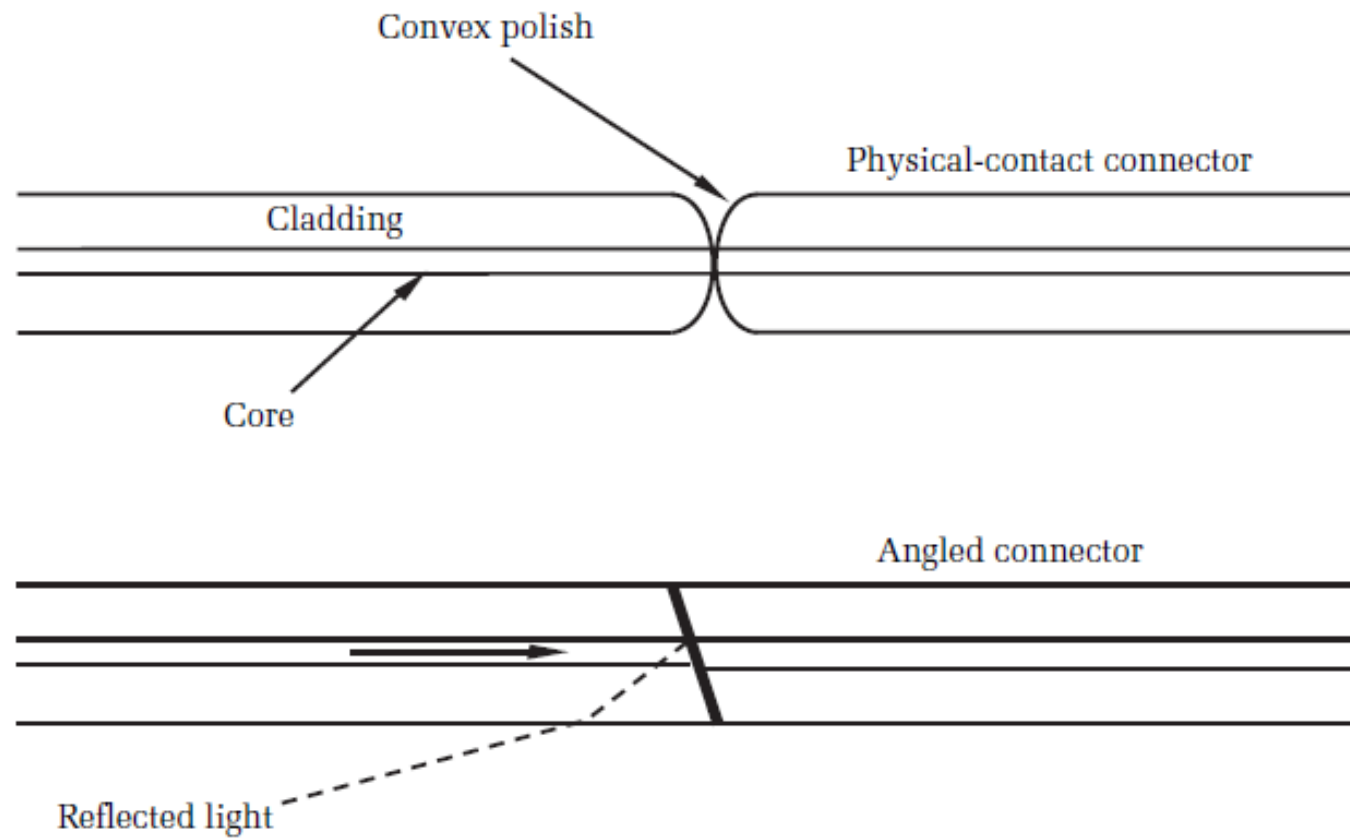
**Figure 6.1.** Various parts of the OTDR waveform around a nonreflective event. Note how the sampled data points contain noise. The linear regressions minimize the impact of the noise, but random errors still occur when estimating the event's loss.

# СЪБИТИЯ С ОТРАЖЕНИЕ

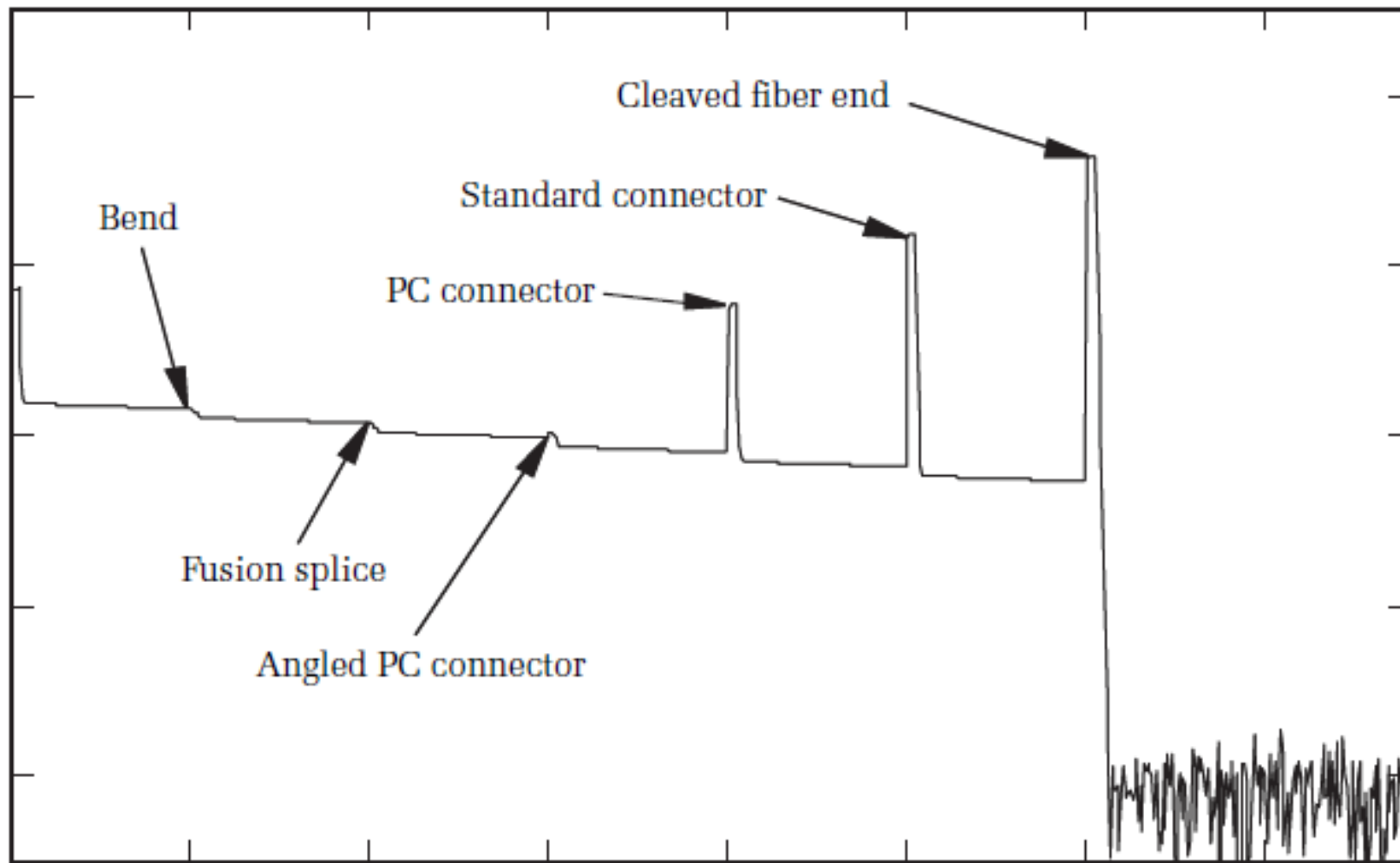
## Measuring reflective events

Component	Typical reflectivity (dB)
Cleave or flat polish, unconnected	-14
<b>Multimode connectors</b>	
Flat polish	-15 to -30
<b>Single-mode connectors</b>	
Premise (flat polish)	-26
Physical contact (PC)	-40
Superphysical contact (SPC)	-45
Ultrapysical contact (UPC)	-50 to -55
Angle polished	-60
Macro-/microbend	Nonreflective
Fusion splice	Nonreflective

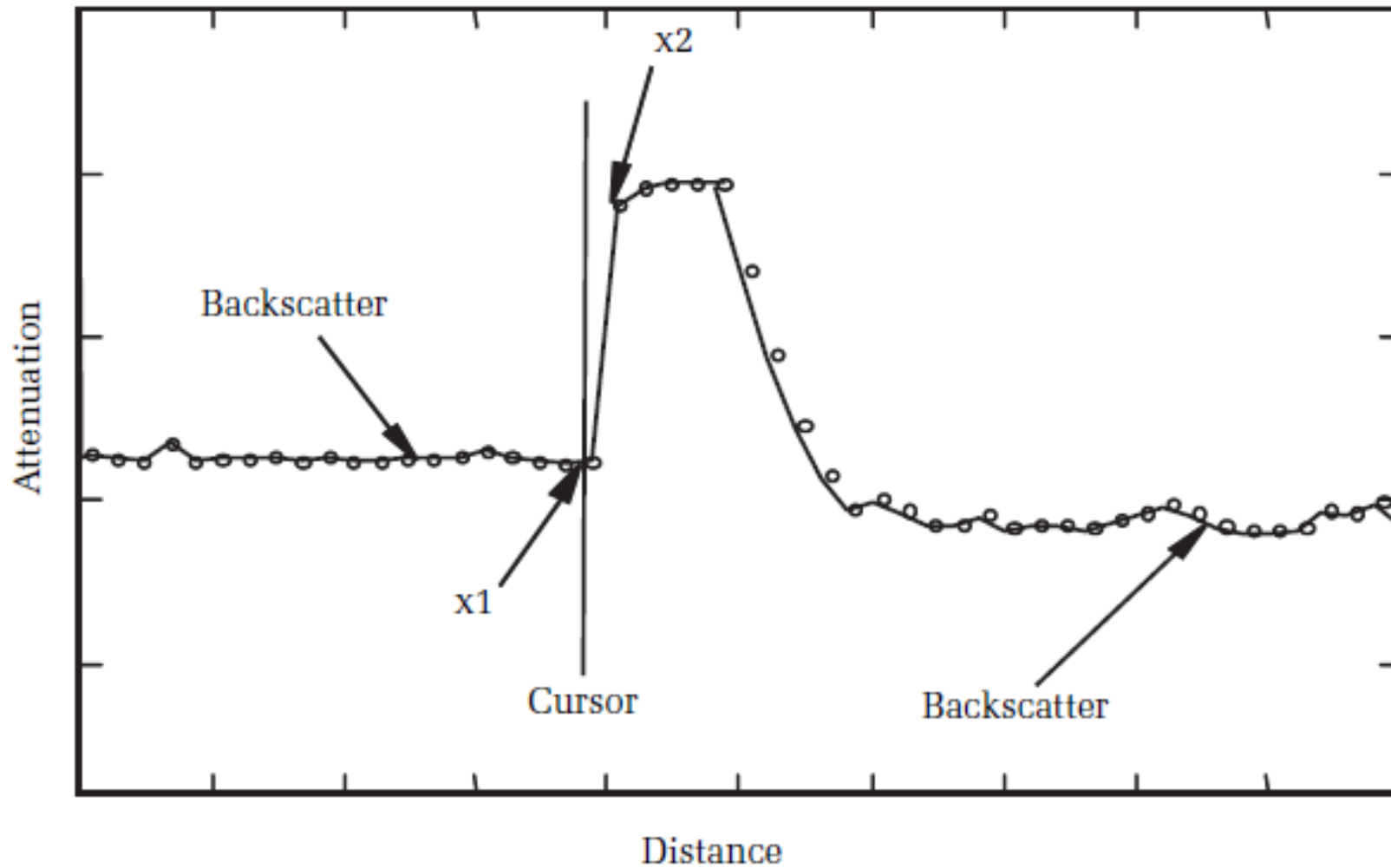
Table 7.1. Reflectivities of some typical fiber-optic components.



**Figure 7.6.** Physical-contact and angled connectors. Physical-contact connectors are designed to minimize the amount of reflection by bringing the fiber cores into intimate contact by means of a convex polish on the ferrules. Ideally, this method works very well. In practice, however, there is always some residual reflection because dimensional tolerances such as concentricity result in a very tiny gap. Angled connectors are designed to minimize the amount of reflected light that is coupled back into the fiber's core. The angle deflects the reflection outside the core's numerical aperture and into the cladding, where the light is harmlessly dissipated and lost.



**Figure 7.8.** OTDR trace of some typical reflective components on single-mode fiber. The OTDR pulse width was 50 meters. Notice that the reflectivity of the angled PC connector is nearly as low as the bend and the fusion splice. With a 100-meter pulse, the reflection from the angled connector is almost indistinguishable in the OTDR trace.



**Figure 7.11.** Locating the position of a reflective event in an OTDR's waveform. First, locate the position of sample point  $x_1$ , which is the last sample point not on the event's rising edge. To this, add one-half of the sample spacing. This is the reflective event's position.



# Разглеждане на указания на устройства

**VI.VI**

**Important Factors  
for Choosing an  
Optical Time Domain  
Reflectometer (OTDR)**



ONMSI

Optical  
Network Monitoring  
System

- Continuous monitoring enables threat identification within minutes of incursion, minimizing reaction time
- Sensitive optics ensure that even the smallest loss changes are detected
- Scalability permits flexible deployment expansion as threat risks evolve
- Geospatial mapping software enables more accurate and faster threat response
- Remote location monitoring reveals threats that are difficult to reach by physical inspection



Confirm your country below to see local events, contact information and special offers.



## TraceView Software v5.0

TraceView is software that allows users to view OTDR trace files on their PCs. It exhibits a subset of the functionality found in Anritsu's NetWorks/OTDR software.

Australia

CONFIRM

### File Details

<b>File Name:</b>	TraceView5_0.zip
<b>File Size:</b>	66.7 MB
<b>File Type:</b>	Drivers Software Downloads
<b>Version:</b>	5.0
<b>Release Date:</b>	2/26/2014

DOWNLOAD



Products

Technologies

Buy

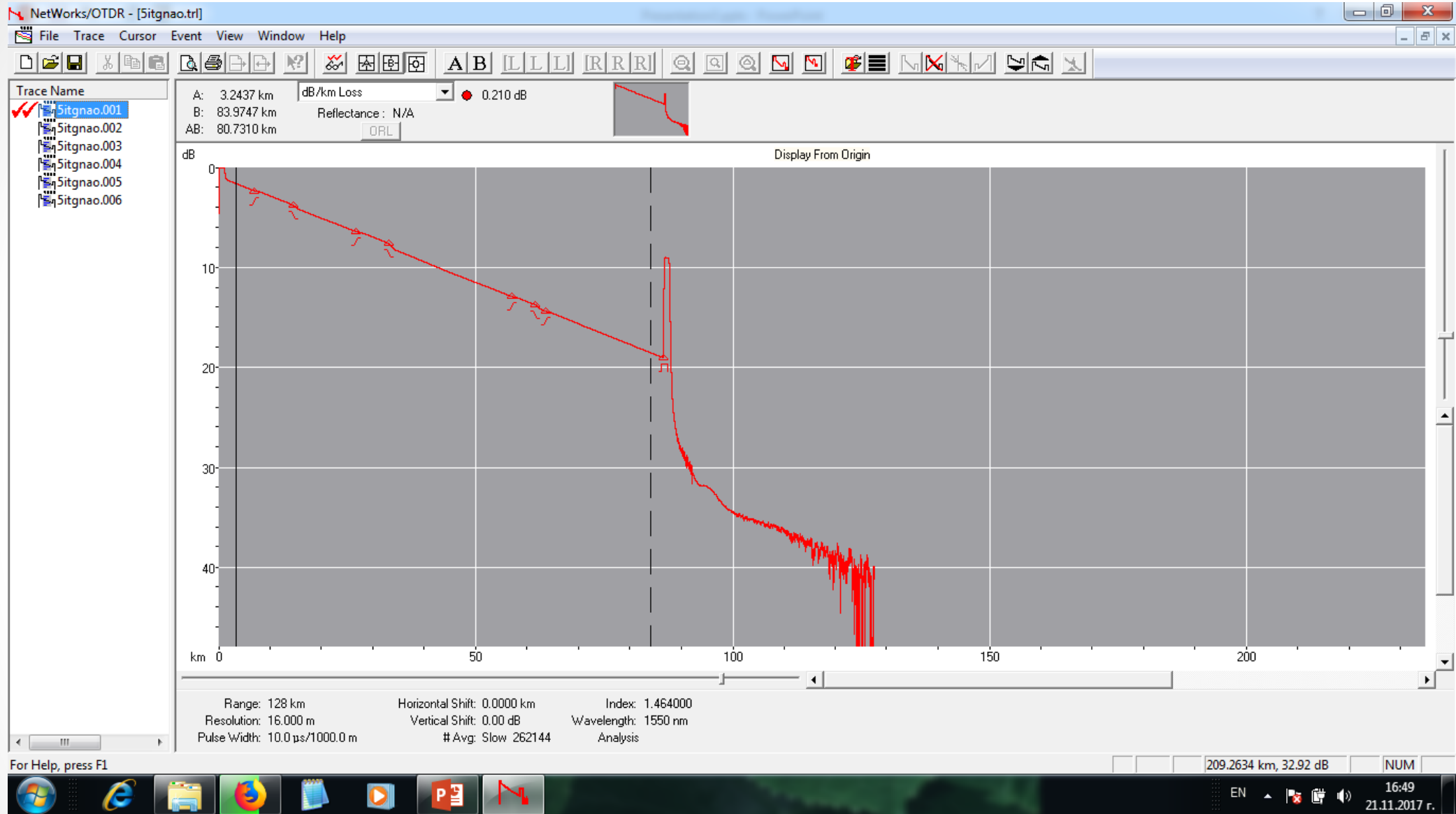
Request a Quote

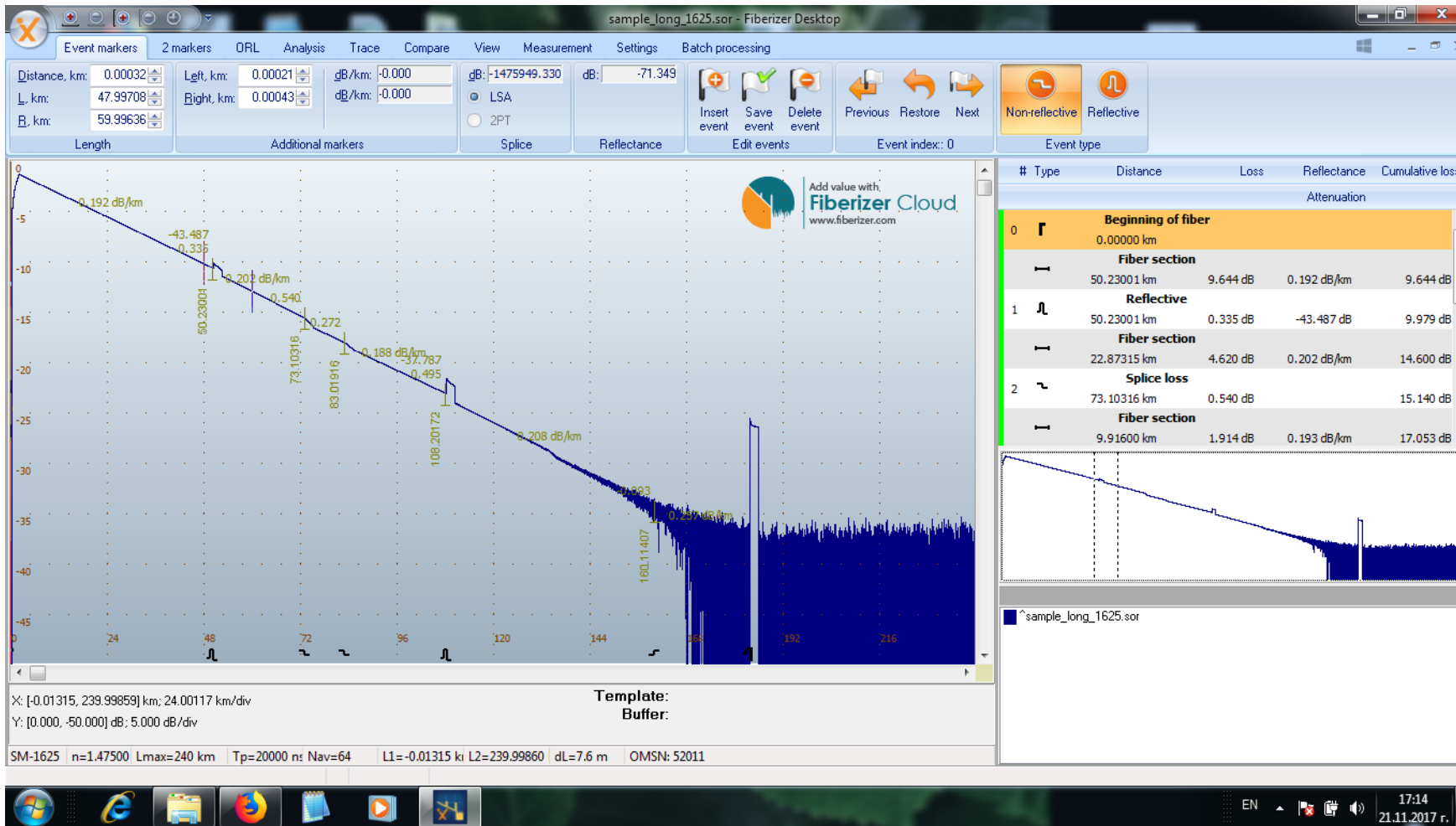
Support

Repair and Calibration

About Anritsu

News





Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

Online OTDR Viewer x +

← → ↻ 🏠 🔒 https://onlineotdr.com 110% 🔍 Търсене

For quick access, place your bookmarks here on the bookmarks toolbar. [Manage bookmarks...](#)

# Online OTDR Viewer

OTDR About Features Quick-Start Contact

Add Traces Display From: Zoom / Pan Mode: Distance Units Reset Display Sample Traces:

Event Table

A-B.1310.500nS.50Km

0.00 -5.839 dB

6.82

13.64

20.45

dB

0.00 4.03 8.05 12.08 16.10 20.13 24.15 28.18 32.21 36.23 40.26 44.28 48.31 Km

A Kms: 3.623  
B Kms: 6.844  
B-A Kms: 3.221

Select Trace: A dB: N/A B dB: N/A A-B dB: N/A A-B dB/Kms

Select Trace: A dB: N/A B dB: N/A A-B dB: N/A A-B dB/Kms

A-B.1310.500nS.50Km	7	21929.98 m	Non-Reflective	0.05
A-B.1310.500nS.50Km	8	21939.99 m	Reflective	0.35
A-B.1310.500nS.50Km	9	22140 m	Reflective	0.2
A-B.1310.500nS.50Km	10	22140.00 m	Non-Reflective	0.14

- <https://www.viavisolutions.com/en-us/products/otu-8000-optical-test-unit>
- [https://www.packetlight.com/products/infrastructure-products/fiber-monitoring?gclid=Cj0KCQiA3NX\\_BRDQARIsALA3fIL5xmeiG9JByoBb8ruALUJiXffdOMj-ITaD9yGwx6Q13-u-3fH\\_SC8aAiy0EALw\\_wcB](https://www.packetlight.com/products/infrastructure-products/fiber-monitoring?gclid=Cj0KCQiA3NX_BRDQARIsALA3fIL5xmeiG9JByoBb8ruALUJiXffdOMj-ITaD9yGwx6Q13-u-3fH_SC8aAiy0EALw_wcB)
- <https://www.exfo.com/en/products/fg-750-client-api/>
- <https://tmi.yokogawa.com/library/documents-downloads/software/yokogawa-otdr-remote-controller/>
- <https://www.exfo.com/en/products/nqmsfiber/>



Източници на некохерентно ОЛ.  
Оптична радиометрия и област на  
физичната ѝ правомерност. Енергийни  
величини и зависимости между тях,  
ламбертови излъчватели, закони на  
оптичната радиометрия. Излъчване от  
реални тела.

# Обзор

- [https://books.google.bg/books?id=M-re5o4PdK4C&pg=PA3&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj5pl\\_83pnuAhVk-SoKHUwmApYQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=radiometry&f=false](https://books.google.bg/books?id=M-re5o4PdK4C&pg=PA3&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj5pl_83pnuAhVk-SoKHUwmApYQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=radiometry&f=false)
- [https://books.google.bg/books?id=w-jmBgAAQBAJ&pg=PA1&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj5pl\\_83pnuAhVk-SoKHUwmApYQ6AEwBnoECAAQAg#v=onepage&q=radiometry&f=false](https://books.google.bg/books?id=w-jmBgAAQBAJ&pg=PA1&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj5pl_83pnuAhVk-SoKHUwmApYQ6AEwBnoECAAQAg#v=onepage&q=radiometry&f=false)
- [https://books.google.bg/books?id=SRQN9nwo9RoC&pg=PA1&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj5pl\\_83pnuAhVk-SoKHUwmApYQ6AEwCHoECAMQAg#v=onepage&q=radiometry&f=false](https://books.google.bg/books?id=SRQN9nwo9RoC&pg=PA1&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj5pl_83pnuAhVk-SoKHUwmApYQ6AEwCHoECAMQAg#v=onepage&q=radiometry&f=false)
- <https://books.google.bg/books?id=tKnPDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Application+of+Infrared+Thermography+in+Sports+Science&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj9n9uB45nuAhXm-SoKHd11DMUQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography%20in%20Sports%20Science&f=false>

# Обзор

- <https://books.google.bg/books?id=PY5FDwAAQBAJ&pg=PA762&dq=Application+of+Infrared+Thermography+in+Sports+Science&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj9n9uB45nuAhXm-SoKHd11DMUQ6AEwAnoECAEQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography%20in%20Sports%20Science&f=false>
- [https://books.google.bg/books?id=vuJ8dalst-kC&printsec=frontcover&dq=Application+of+Infrared+Thermography&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj\\_1\\_W545nuAhXllsKHa3\\_CZMQ6AEwBXoECAYQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography&f=false](https://books.google.bg/books?id=vuJ8dalst-kC&printsec=frontcover&dq=Application+of+Infrared+Thermography&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj_1_W545nuAhXllsKHa3_CZMQ6AEwBXoECAYQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography&f=false)
- [https://books.google.bg/books?id=FzLOBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Application+of+Infrared+Thermography&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj\\_1\\_W545nuAhXllsKHa3\\_CZMQ6AEwCHoECAkQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography&f=false](https://books.google.bg/books?id=FzLOBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Application+of+Infrared+Thermography&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj_1_W545nuAhXllsKHa3_CZMQ6AEwCHoECAkQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography&f=false)
- [https://books.google.bg/books?id=6MHcBwAAQBAJ&pg=PA5&dq=Application+of+Infrared+Thermography&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj\\_1\\_W545nuAhXllsKHa3\\_CZMQ6AEwCXoECAEQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography&f=false](https://books.google.bg/books?id=6MHcBwAAQBAJ&pg=PA5&dq=Application+of+Infrared+Thermography&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwj_1_W545nuAhXllsKHa3_CZMQ6AEwCXoECAEQAg#v=onepage&q=Application%20of%20Infrared%20Thermography&f=false)

# Обзор

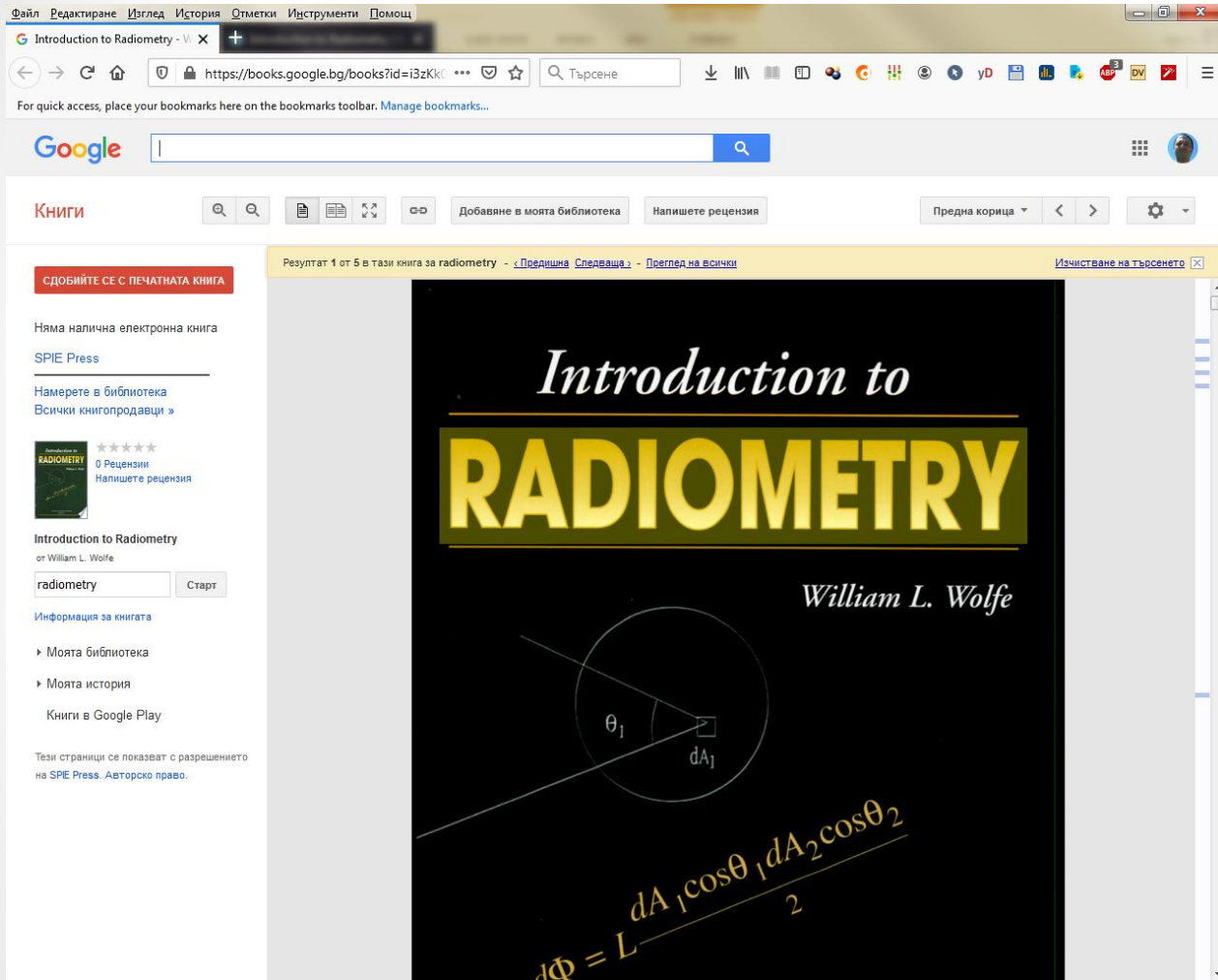
<https://books.google.bg/books?id=D07uDwAAQBAJ&pg=PP9&dq=thermography+covid19&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwigs8az5ZnuAhXkkYsKHZqaAGwQ6AEwAXoECAQQAg#v=onepage&q=thermography%20covid19&f=false>

[https://www.google.com/search?q=handheld+infrared+thermometers+in+COVID-19+pandemic&client=firefox-b-d&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi36YDE5pnuAhWr3eAKHdD0DiwQ\\_AUoAXoECAUQAw&biw=1173&bih=828](https://www.google.com/search?q=handheld+infrared+thermometers+in+COVID-19+pandemic&client=firefox-b-d&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi36YDE5pnuAhWr3eAKHdD0DiwQ_AUoAXoECAUQAw&biw=1173&bih=828)

<https://www.sciencedirect.com/search?q=handheld%20infrared%20thermometers%20in%20pandemic>

[https://www.google.com/search?q=pir+sensor+security&client=firefox-b-d&hl=bg&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjymJai55nuAhWEAGMBHdGICGsQ\\_AUoAXoECBEQAw&biw=1173&bih=828](https://www.google.com/search?q=pir+sensor+security&client=firefox-b-d&hl=bg&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjymJai55nuAhWEAGMBHdGICGsQ_AUoAXoECBEQAw&biw=1173&bih=828)

# Обзор



[https://books.google.bg/books?id=i3zKk0K1fAoC&pg=PA7-IA4&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewj5pl\\_83pnuAhVkJSoKHUwmApYQ6wEwAXoECAkQAQ#v=onepage&q=radiometry&f=false](https://books.google.bg/books?id=i3zKk0K1fAoC&pg=PA7-IA4&dq=radiometry&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewj5pl_83pnuAhVkJSoKHUwmApYQ6wEwAXoECAkQAQ#v=onepage&q=radiometry&f=false)

# Фотометрия

- **Кандéла** (означение **cd**) е единица за измерване интензитета на светлината.
- Тя е една от седемте основни единици за измерване от системата SI и е равна на интензитета на светлината в дадено направление от източник на монохроматично лъчение с честота  $540 \times 10^{12}$  херца, енергийният интензитет на светлината на който в това направление е  $(1/683)$  W/sr.
- Избраната честота съответства на зеления цвят. Човешкото око притежава най-голяма чувствителност в тази област на спектъра. Ако излъчването има друга честота, то за достигане на същата сила на светлината е необходима по-голяма интензивност на енергията.

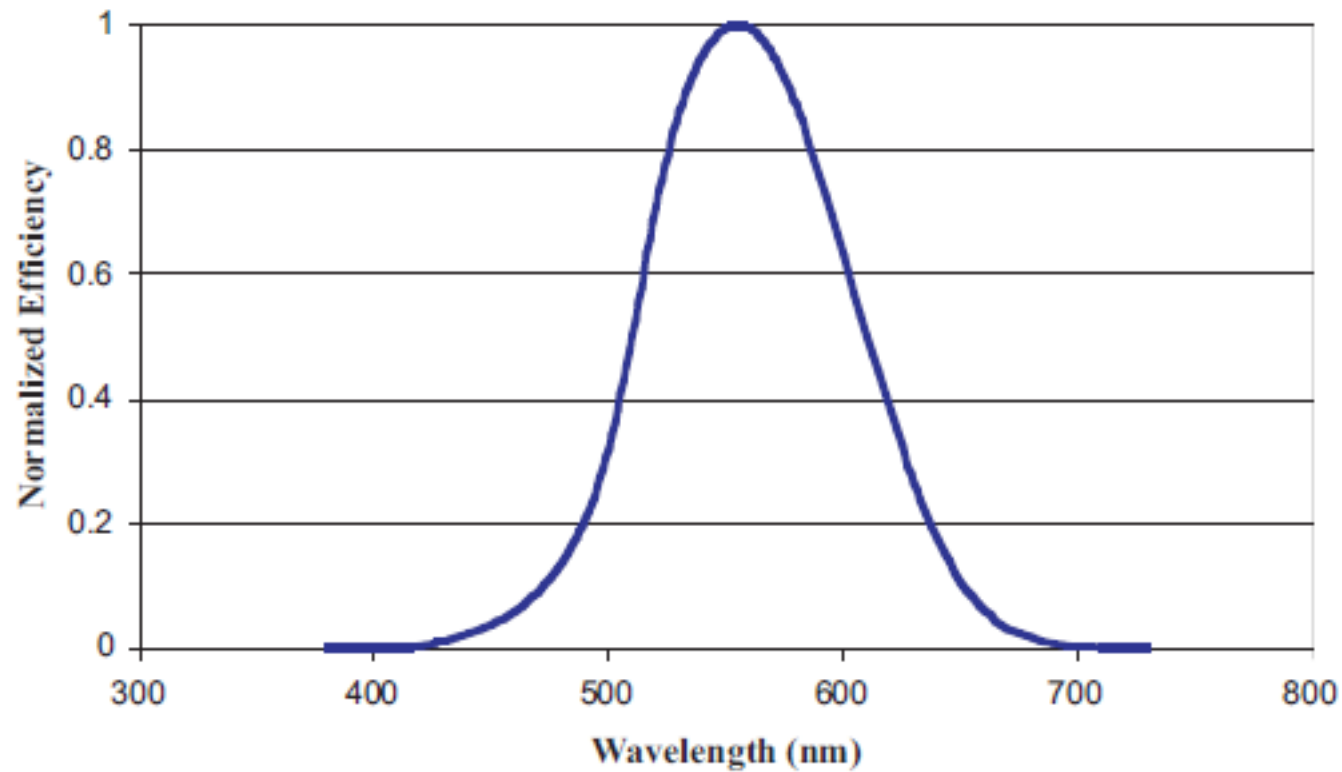
<https://www.thorlabs.de/catalogPages/506.pdf>

- За да се преминава от радиометрични във фотометрични величини се използва крива, съответстваща на спектралната чувствителност на човешкото око (Commission on Illumination (CIE)).

$$V(\lambda) = 1.019e^{-285.4(\lambda-0.559)^2}$$

$$V(\lambda) = 1.019e^{-285.4(\lambda - 0.559)^2}$$

**Photopic Spectral Luminous Efficiency Curve**



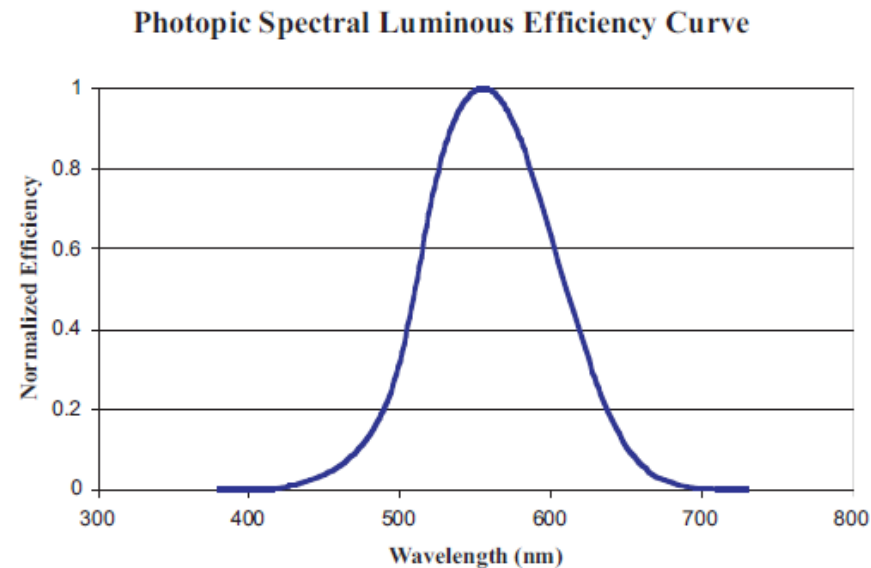


# Примери за преобразуване при монохроматични лъчения

- 5mW red ( $\lambda = 650\text{nm}$ ) laser  $V(\lambda) = 0.096$   
т.е.  $0.096 \times 0.005\text{W} \times 683\text{lm/W} = \mathbf{0.33\text{lm}}$
- 5mW green ( $\lambda = 532\text{nm}$ ) laser  $V(\lambda) = 0.828$   
т.е.  $0.828 \times 0.005\text{W} \times 683\text{lm/W} = \mathbf{2.83\text{lm}}$
- Коментари

# Преобразуване при немонохроматични лъчения

$$\Phi_V = K_m \int_{\lambda=380}^{\lambda=830} \Phi_E(\lambda) V(\lambda) \delta\lambda$$



$K_m$  is a scaling factor equal to 683 lumens per watt

QUANTITY	RADIOMETRIC	PHOTOMETRIC
Power	W	Lumen (lm) = cd·sr
Power Per Unit Area	W/m <sup>2</sup>	Lux (lx) = cd·sr/m <sup>2</sup> = lm/m <sup>2</sup>
Power Per Unit Solid Angle	W/sr	Candela (cd)
Power Per Unit Area Per Unit Solid Angle	W/m <sup>2</sup> ·sr	cd/m <sup>2</sup> = lm/m <sup>2</sup> ·sr = nit

## SMD LED LTST-C170KSKT

### 1. Description

SMD LED lamps from Lite-On are available in miniature sizes and special configurations for automated PC board assembly and space-sensitive applications. These SMD LED lamps are suitable for use in a wide variety of electronic equipment, including cordless and cellular phones, notebook computers, network systems, home appliances, and indoor signboard applications.

#### 1.1 Features

- Meet RoHS
- Ultra bright AlInGaP Chip LED
- Package in 8mm tape on 7" diameter reels.
- EIA STD package
- I.C. compatible
- Compatible with automatic placement equipment
- Compatible with infrared reflow solder process

#### 1.2 Applications

- Telecommunication, Office automation, home appliances, industrial equipment
- Keypad/Keyboard Backlighting
- Status indicator
- Micro-displays
- Signal and Symbol Luminary

### 3.3 Electrical / Optical Characteristics at Ta=25°C

Parameter	Symbol	LTST-C170KSKT			Unit	Test Condition
		MIN.	TYP.	MAX.		
Luminous Intensity	IV	28.0	-	112.0	mcd	IF = 20mA Note 1
Viewing Angle	2θ <sub>1/2</sub>	130			deg	Note 2 (Fig.5)
Peak Emission Wavelength	λ <sub>P</sub>		588.0		nm	Measurement @Peak (Fig.1)
Dominant Wavelength	λ <sub>d</sub>	587.0	-	594.5	nm	IF = 20mA Note 3
Spectral Line Half-Width	Δλ		15		nm	
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	1.80	-	2.40		IF = 20mA
Reverse Current	I <sub>R</sub>	-	-	10	μA	V <sub>R</sub> = 5V Note 5

## Notes:

1. Luminous intensity is measured with a light sensor and filter combination that approximates the CIE eye-response curve.
2.  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity.
3. The dominant wavelength,  $\lambda_d$  is derived from the CIE chromaticity diagram and represents the single wavelength which defines the color of the device.
4. Caution in ESD:  
Static Electricity and surge damages the LED. It is recommend to use a wrist band or anti-electrostatic glove when handling the LED. All devices, equipment and machinery must be properly grounded.
5. Reverse voltage (VR) condition is applied to IR test only. The device is not designed for reverse operation.

# GL4800E0000F

## Infrared Emitting Diode



### ■ Features

1. Side view emission type
2. Plastic mold with resin lens
3. Medium directivity angle ( $\Delta\theta$ :  $\pm 30^\circ$  TYP.)  
Peak emission wavelength: 950 nm TYP.
4. Radiant flux  $\phi_e$ : 0.7 mW MIN.
5. Lead free and RoHS directive component

### ■ Agency Approvals/Compliance

1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)
2. Content information about the six substances specified in "Management Methods for Control of Pollution Caused by Electronic Information Products Regulation" (popular name: China RoHS) (Chinese: 电子信息产品污染控制管理办法); refer to page 7

### ■ Applications

1. Optoelectronic switching
2. Office automation equipment
3. Audio visual equipment
4. Home appliances
5. Telecommunication equipment
6. Measuring equipment
7. Tooling machines
8. Computers

## ■ Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Forward voltage	$V_F$	$I_F = 20 \text{ mA}$	–	1.2	1.4	V
Peak forward voltage	$V_{FM}$	$I_{FM} = 0.5 \text{ A}$	–	3.0	4.0	V
Reverse current	$I_R$	$V_R = 3 \text{ V}$	–	–	10	$\mu\text{A}$
Radiant flux	$\phi_e$	$I_F = 20 \text{ mA}$	0.7	1.6	3.0	mW
Peak emission wavelength	$\lambda_p$	$I_F = 5 \text{ mA}$	–	950	–	nm
Half intensity wavelength	$\Delta\lambda$	$I_F = 5 \text{ mA}$	–	45	–	nm
Terminal capacitance	$C_t$	$V_R = 0, f = 1 \text{ MHz}$	–	70	–	pF
Cut-off frequency	$f_C$	–	–	300	–	kHz



# Радиометрия

# Радиометрия

<https://www.rp-photonics.com/radiometry.html>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Radiometry>

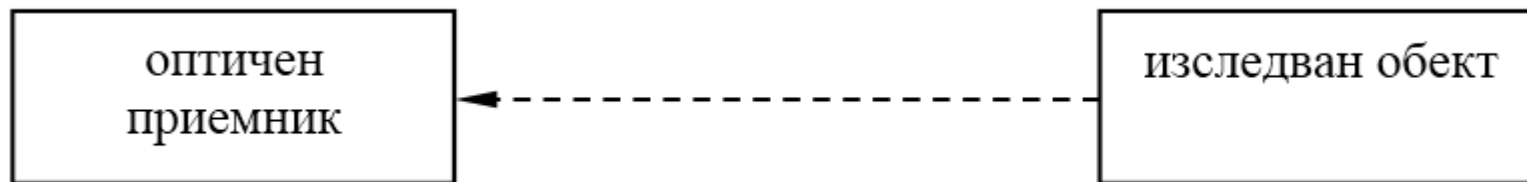
[http://www.pbr-book.org/3ed-2018/Color and Radiometry/Radiometry.html](http://www.pbr-book.org/3ed-2018/Color_and_Radiometry/Radiometry.html)

<http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp1/cp1-6.htm>

<https://books.google.bg/books?id=w-jmBgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=bg#v=onepage&q&f=false>

[https://books.google.bg/books?id=SRQN9nwo9RoC&dq=radiometry&hl=bg&source=gb\\_s\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=SRQN9nwo9RoC&dq=radiometry&hl=bg&source=gb_s_navlinks_s)

В началото ще разгледаме идеята за комуникационни системи в широк смисъл. Както и при FSO системите, така и тук ще имаме оптичен приемник, но за разлика от тях ще имаме изследван обект в ролята на източник на оптично лъчение



- Възможно е да се събира информация за различни параметри на обекта.
- Тук ще разгледаме основните идеи за радиометрично измерване на температура.
- Мотивация за предимствата и недостатъците на безконтактно измерване на температура изобщо.
- Основно тези методи се предпочитат поради относително бързото провеждане на измерването, липсата на влияние върху обекта на датчика, възможността за измерване на движещи се обекти, възможността за измерване на загорети до много високи температури или химически активни среди, без сензорът да бъде увреждан, възможност за незабележими измервания на човешка температура в алармените системи.

Като недостатъци може да се изтъкнат проблемите, свързани с разпространението в атмосферата, неточностите от неидеалността на обектите, проблеми с кондензация по оптиката при високотемпературни измервания, проблеми на оптичните системи при работата им в далечния инфрачервен обхват.

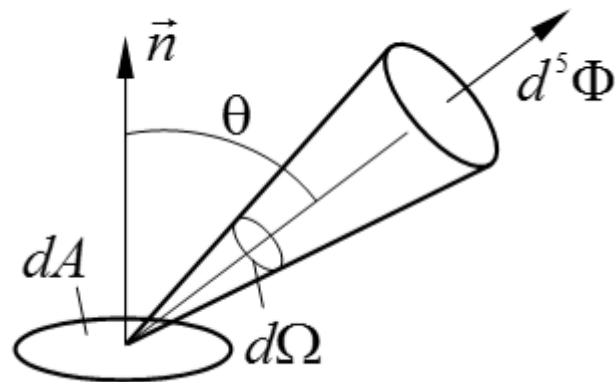
За да можем да въведем основните инженерни приложения, първо е необходимо да въведем някои основни величини от апарата на оптичната радиометрия. Тъй като по дефиниция оптичната радиометрия се занимава с енергийни измервания, ще започнем със спектрална плътност на оптичен поток (мощност):

$$\Phi_{\lambda} = \frac{d\Phi}{d\lambda}$$

Спектрална плътност на енергийната яркост

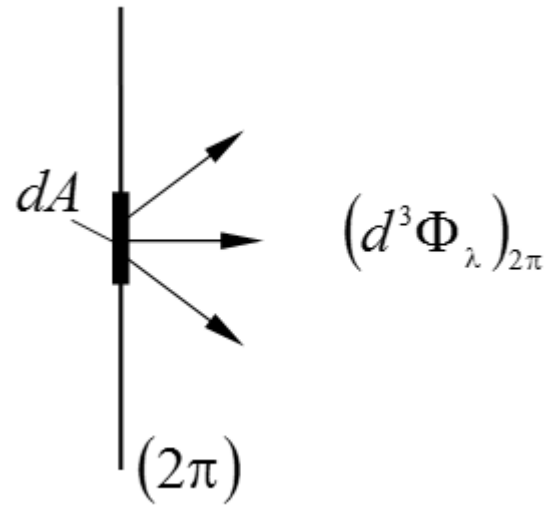
$$L_{\lambda} = \frac{d^5\Phi}{dA d\Omega \cos\theta d\lambda}$$

За да внесем необходимата ни за практическите измервания яснота, ще представим и чертеж



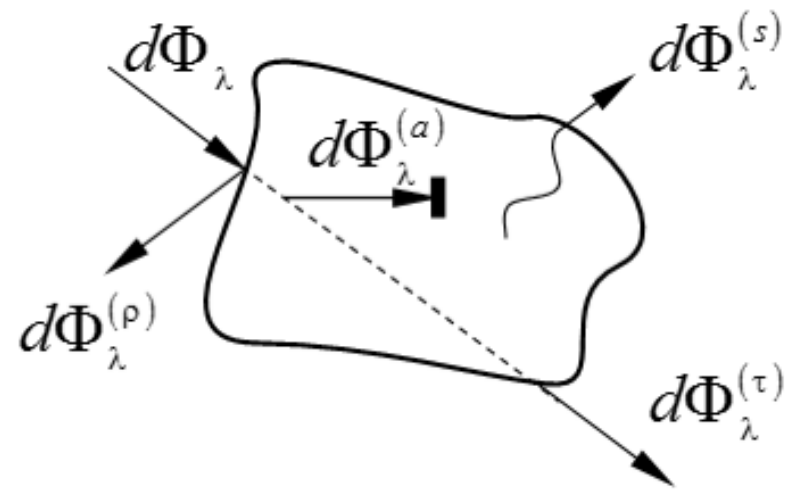
Друга величина, която ще ни е необходима, е радиационният енергиен изход

$$M_{\lambda} = \frac{(d\Phi)_{2\pi}}{dA d\lambda}$$





Ако разгледаме в общия случай един веществен обем, можем да въведем следните оптични потоци:  $d\Phi_\lambda$  – падащ поток,  $d\Phi_\lambda^{(s)}$  – разсейван поток,  $d\Phi_\lambda^{(\rho)}$  – отразен поток,  $d\Phi_\lambda^{(\tau)}$  – преминал поток,  $d\Phi_\lambda^{(a)}$  – погълнат поток.



Имайки предвид изложените по-горе постановки и дефиниции, можем да въведем две абстракции:

- абсолютно черно тяло (АЧТ, Black Body) ще наричаме тяло, което има идеални излъчващи и поглъщащи свойства -  $d\Phi_{\lambda}^{(a)} = d\Phi_{\lambda}$ ;

- ламбертов излъчвател ще наричаме тяло, при което енергийната яркост  $L_{\lambda}$  не зависи от ъгъла  $\theta$ , т.е. няма собствена излъчвателна анизотропност.

За случая на ламбертов излъчвател има изведена връзка между радиационния енергиен изход и енергийната яркост

$$M_{\lambda} = \pi L_{\lambda}$$

За случая на АЧТ има изведена връзка между радиационния енергиен изход, дължината на вълната и температурата (закон на Планк)

$$M^{bb}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

където  $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$  и  $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ Km}$  са константи.

Коментари.

[https://www.google.com/search?q=planck%27s+law+for+black+body+radiation&client=firefox-b-d&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi\\_tJ\\_Pq-DpAhXBYMAKHVg0DooQ\\_AUoAXoECBAQAw&biw=1366&bih=617](https://www.google.com/search?q=planck%27s+law+for+black+body+radiation&client=firefox-b-d&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi_tJ_Pq-DpAhXBYMAKHVg0DooQ_AUoAXoECBAQAw&biw=1366&bih=617)

Интегрирането от нула до безкрайност ни дава

$$\int_0^{\infty} M^{bb}(\lambda, T) d\lambda = \sigma \cdot T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

[https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_law)

<https://www.optris.global/technical-article-temperature-measurement-metal>

<https://books.google.bg/books?id=b7UuZzf9ivlC&pg=SA32-PA89&lpg=SA32-PA89&dq=stefan+boltzmann+law+white+paper+thermometer&source=bl&ots=wLYKVfNH02&sig=ACfU3U3dC8Gbca6yCDehqZEmrLPvmJhbrg&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKEwixn4j8rODpAhWTiVwKHXIKAIgQ6AEwCXoECACQAQ#v=onepage&q=stefan%20boltzmann%20law%20white%20paper%20thermometer&f=false>

<https://cn.omega.com/temperature/Z/pdf/z059-062.pdf>

[http://www.zytemp.com/products/files/TN907\\_SPIr%20UserManual\\_1906.pdf](http://www.zytemp.com/products/files/TN907_SPIr%20UserManual_1906.pdf)

<https://www.omega.com/en-us/resources/infrared-thermometer>

Този израз ни дава най-груба количествена представа, с която вече е възможно да правим практически измервания на относително малки разстояния (когато влиянието на атмосферата е пренебрежимо и когато считаме, че цялото излъчване от обекта попада в приемника). Ако приемем, че имаме линейно преобразуване на оптичния поток в напрежение, то на изхода на оптоелектронния преобразувател (детектора) ще имаме напрежение, пропорционално на четвъртата степен на температурата:

$$U_D \sim T^4$$

За да намерим връзка между температурата и максимума на дължината на вълната е необходимо да диференцираме и да приравним на нула (виж закона на Планк).

Често използвано решение е

$$\lambda_m [\mu m] \approx \frac{2898}{T[K]}$$



След като изяснихме основните идеи при идеалните тела, сега ще изясним и как да постъпваме в конкретни реални ситуации. Започваме с коригирането на радиационния енергиен изход на АЧТ посредством въвеждането на коефициент на излъчване  $\varepsilon(\lambda, T)$ :

$$M(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) M^{bb}(\lambda, T) .$$

Коментари.

Оценяването на влиянието на атмосферата се прави, като се използва уравнението на преноса на лъчиста енергия в разсейваща, поглъщаща и излъчваща среда:

$$\frac{dL_\lambda}{dz} = -\left(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}\right)L_\lambda + \alpha^{(a)}L_\lambda^{bb} + \frac{\alpha^{(s)}}{4\pi} \int_{4\pi} L'_\lambda P_A d\Omega' ,$$

където  $z$  е текущото разстояние между обекта и приемника,  $\alpha^{(s)}$  и  $\alpha^{(a)}$  са характеристики на разсейването и поглъщането на атмосферата,  $P_A$  е индикатрисата на разсейване.

Най-общо трите събираеми в дясната част могат да се характеризират, както следва: разсейване и поглъщане от атмосферата, собствено излъчване на атмосферата, разсейване на други лъчения в посока на приемника. Във вида уравнението на преноса не може директно да се използва за измерване на температура. Както споменахме, необходима ни е връзка между оптичния поток във входната апертура на приемника и температурата. Такава връзка е изведена като са използвани, оправдани за голяма част от реалните случаи приближения:

$$\Phi_r = A_r \Omega_r \tau_r \varepsilon_t \exp\left[-\left(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}\right)Z\right] U(T_t; \lambda_1, \lambda_2) + A_r \Omega_r \tau_r \frac{\alpha^{(a)}}{\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}} \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}\right)Z\right] \right\} U(T_a; \lambda_1, \lambda_2) ,$$

където  $A_r$  е входната апертура на приемника,  $\Omega_r$  е ъгълът на виждане на приемника,  $\varepsilon_t$  е коефициентът на излъчване на изследвания обект,  $T_t$  е температурата на обекта,  $T_a$  е температурата на атмосферата. Функцията  $U$  се дефинира, като

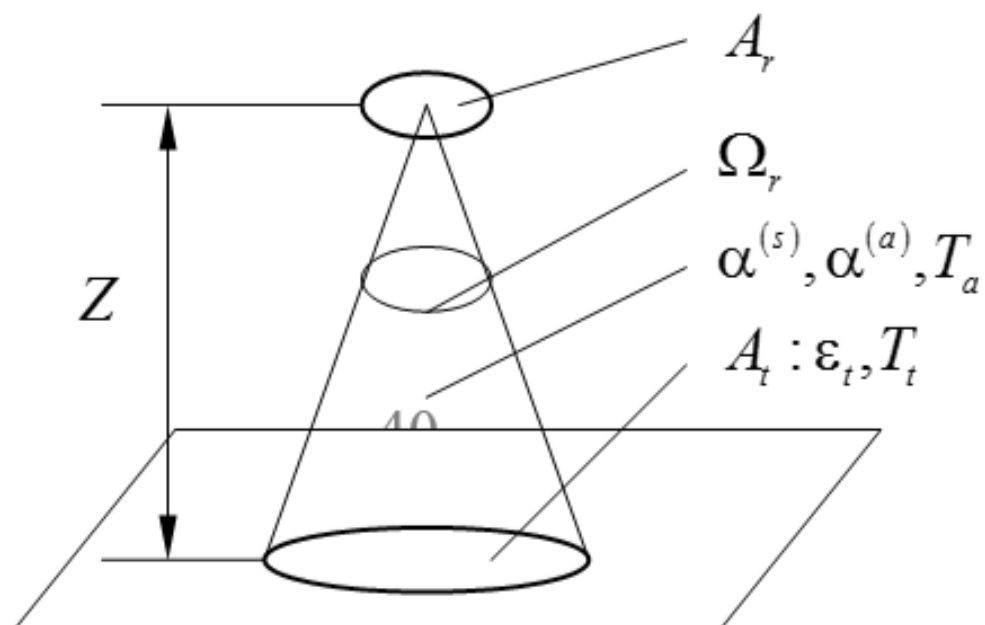
$$U(T; \lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M^{bb}(\lambda, T) d\lambda.$$

За пресмятането на интеграла се използват числени методи или табулирани стойности.

## Примерна задача

Да се пресметне оптичният поток във входната апертура на радиометричния приемник при наблюдение под прав ъгъл (надир) на морска повърхност (Sea Surface Temperature) от борда на летателен апарат. Да се използват следните стойности и схема:

$$T_a = T_t = 293K, \lambda_1 = 8\mu m, \lambda_2 = 12\mu m, \varepsilon_t = 0,95, \alpha^{(s)} = 0,03km^{-1}, \\ \alpha^{(a)} = 0,4km^{-1}, \Omega_r = 6 \cdot 10^{-3} sr, A_r = 7,85 \cdot 10^{-5} m^2, \tau_r = 1$$



Примери за сензори

<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=mlx+90640>

## MLX90640 32x24 IR array

Datasheet

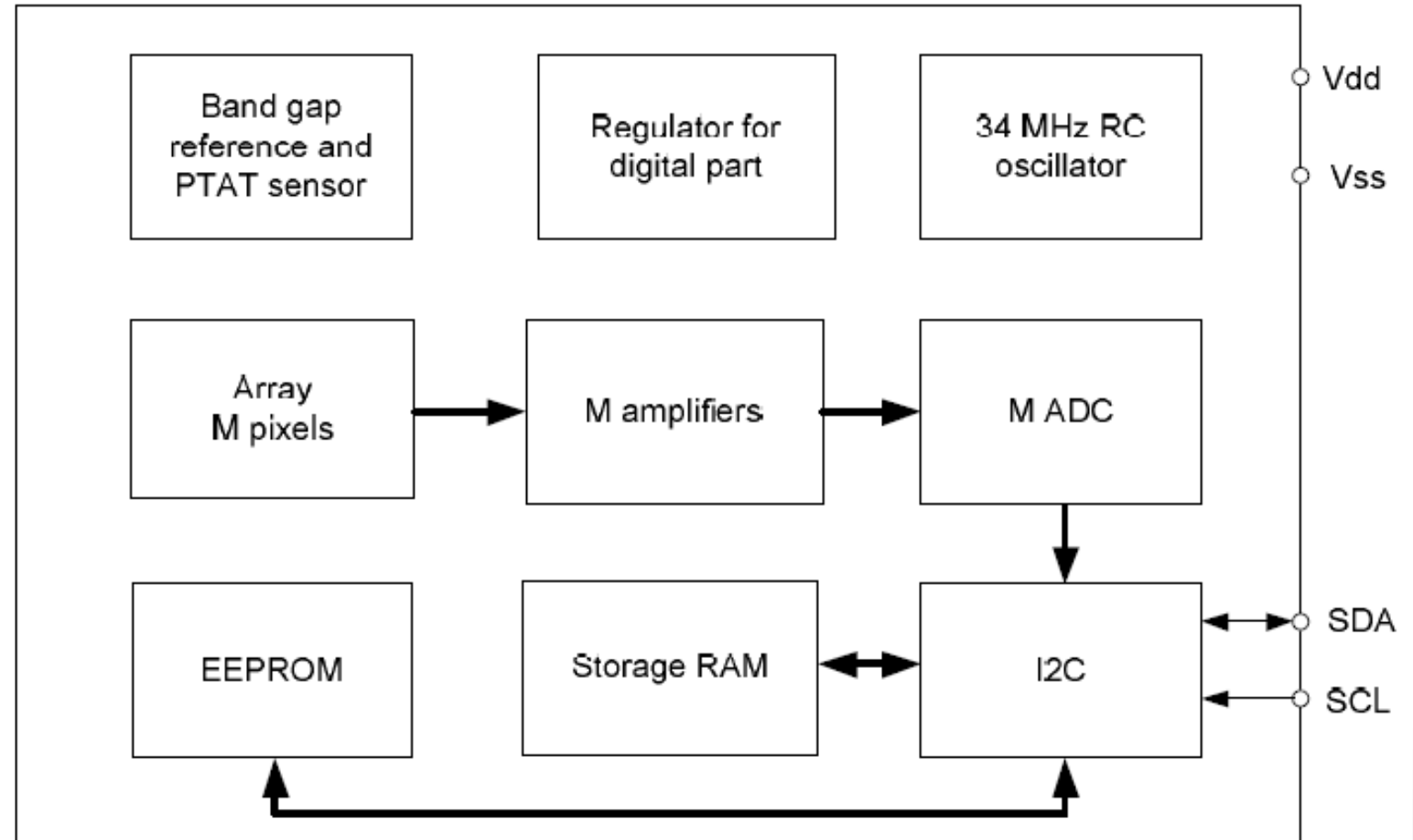
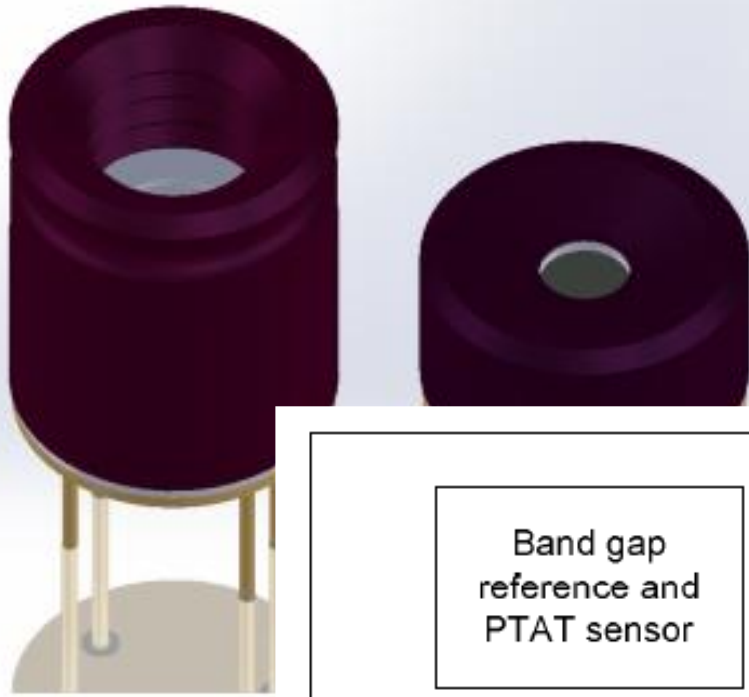
---

### 1. Features and Benefits

- Small size, low cost 32x24 pixels IR array
- Easy to integrate
- Industry standard four lead TO39 package
- Factory calibrated
- Noise Equivalent Temperature Difference (NETD) 0.1K RMS @1Hz refresh rate
- I<sup>2</sup>C compatible digital interface
- Programmable refresh rate 0.5Hz...64Hz
- 3.3V supply voltage
- Current consumption less than 23mA
- 2 FOV options – 55°x35° and 110°x75°

### 2. Application Examples

- High precision non-contact temperature measurements
- Intrusion / Movement detection
- Presence detection / Person localization
- Temperature sensing element for intelligent building air conditioning
- Thermal Comfort sensor in automotive Air Conditioning control system
- Microwave ovens
- Industrial temperature control of moving parts
- Visual IR thermometers



Оптични мултиплексори и демултиплексори.  
Многоканални влакнесто-оптични комуникационни  
системи, грубо и плътно вълново мултиплексиране,  
максимална информационна пропускателна способност  
на оптичния канал.



# Обзор

[https://books.google.bg/books?id=vpRsBgAAQBAJ&dq=multiplexer+fiber+optics&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=vpRsBgAAQBAJ&dq=multiplexer+fiber+optics&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

[https://books.google.bg/books?id=5BgSzW8QLloC&dq=multiplexer+wdm&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=5BgSzW8QLloC&dq=multiplexer+wdm&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

[https://books.google.bg/books?id=PIglCQAAQBAJ&dq=multiplexer+dwdm&hl=bg&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bg/books?id=PIglCQAAQBAJ&dq=multiplexer+dwdm&hl=bg&source=gbs_navlinks_s)

<https://www.fs.com/c/dwdm-mux-demux-178>

<https://www.al-enterprise.com/en/trends>

<https://documentation.nokia.com/html/365-372-325R10.0/index.html?i=365-372-325R10.0-establish-dwdm-linear>

<https://www.ciena.com/insights/what-is/What-Is-WDM.html>

[https://www.juniper.net/documentation/en\\_US/release-independent/tcx/topics/reference/general/fmd96-wavelength-plan.html](https://www.juniper.net/documentation/en_US/release-independent/tcx/topics/reference/general/fmd96-wavelength-plan.html)

# Обзор

[https://books.google.bg/books?id=y\\_NBQAAQBAJ&pg=PA152&dq=multiplexer+fiber+optics&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewiV3tj0tKvuAhVKposKHc2UAPwQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q=multiplexer%20fiber%20optics&f=false](https://books.google.bg/books?id=y_NBQAAQBAJ&pg=PA152&dq=multiplexer+fiber+optics&hl=bg&sa=X&ved=2ahUKewiV3tj0tKvuAhVKposKHc2UAPwQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q=multiplexer%20fiber%20optics&f=false)

The screenshot shows a web browser window displaying a Google search for "multiplexer fiber optics". The search results page highlights the book "Fiber Optics: Principles and Practices" by Abdul Al-Azzawi. The book cover features a fiber optic cable with a glowing end. The text on the page includes the author's name, publisher (CRC Press), publication date (19.12.2017), page count (416), and a 5-star rating. A snippet of the book's description is visible, starting with "Since the invention of the laser, our fascination with the photon has led to one of the most dynamic and rapidly growing fields of technology...". There are buttons for "Преглед на извадката", "Добавяне в моята библиотека", and "Напишете рецензия". A search bar at the bottom of the book entry contains the text "Търсене между кориците".

Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

Fiber Optics: Principles and Pra X +

https://books.google.bg/bo 120% Търсене

For quick access, place your bookmarks here on the bookmarks toolbar. [Manage bookmarks...](#)

Google multiplexer fiber optics

КНИГИ

Преглед на извадката Добавяне в моята библиотека Напишете рецензия

СДОБИЙТЕ СЕ С ПЕЧАТНАТА КНИГА

Няма налична електронна книга

CRC Press  
Всички книгопродавци »

► Моята библиотека  
► Моята история  
Книги в Google Play

**Fiber Optics: Principles and Practices**

Abdul Al-Azzawi  
CRC Press, 19.12.2017 г. - 416 страници  
★★★★★  
1 Рецензия

Since the invention of the laser, our fascination with the photon has led to one of the most dynamic and rapidly growing fields of technology. New advances in fiber optic devices, components, and materials make it more important than ever to stay current. Comprising chapters drawn from the author's highly anticipated book Photonics: Principles and Practices, Fiber Optics: Principles and

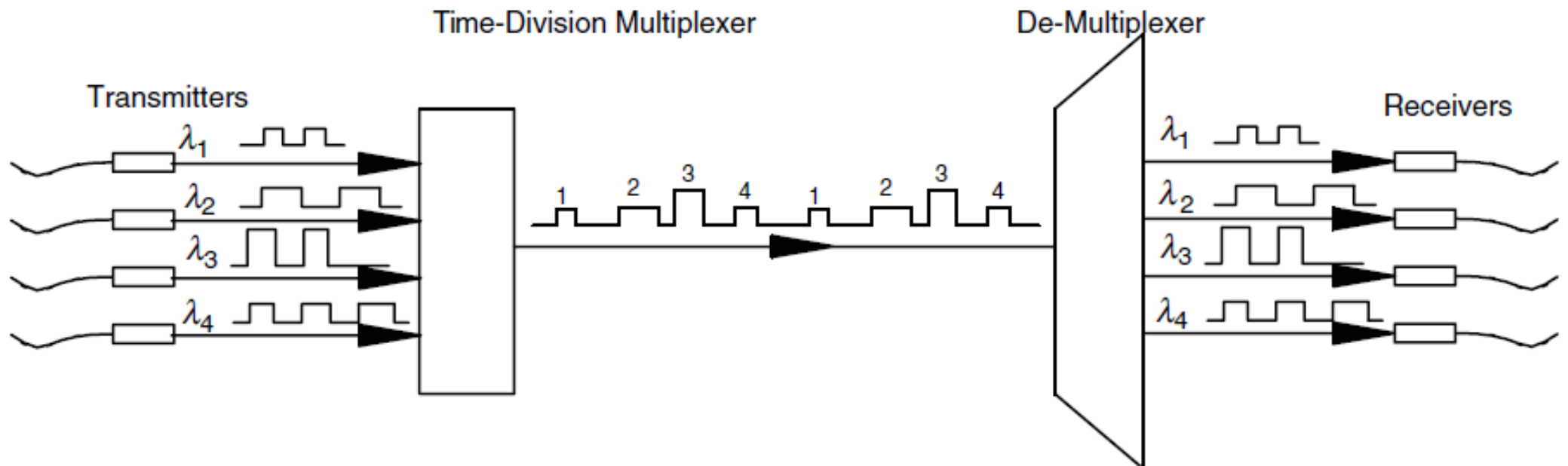
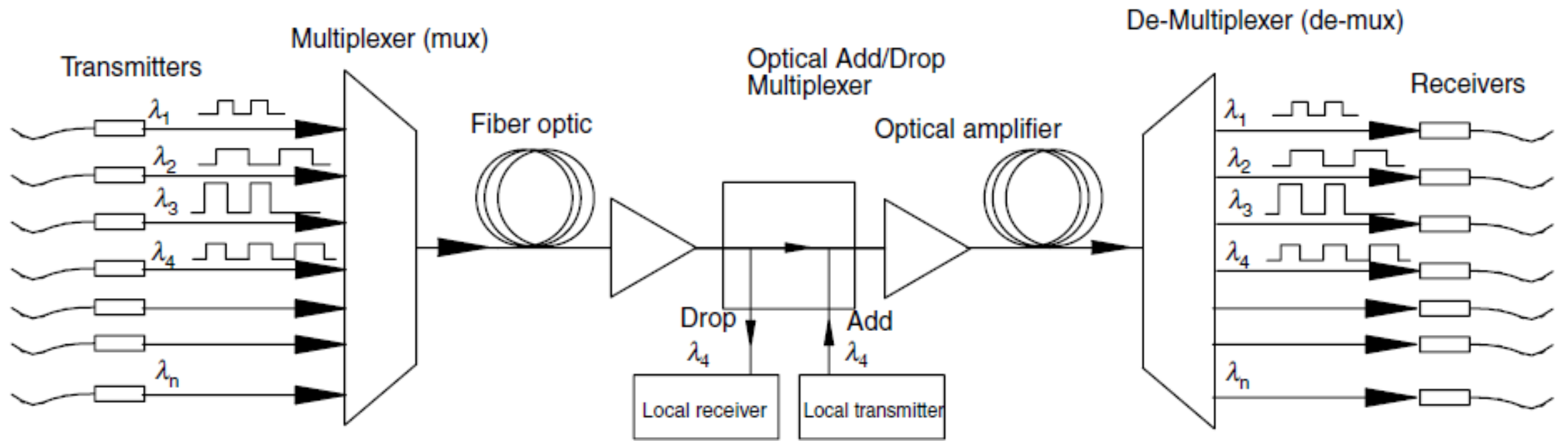
Още »

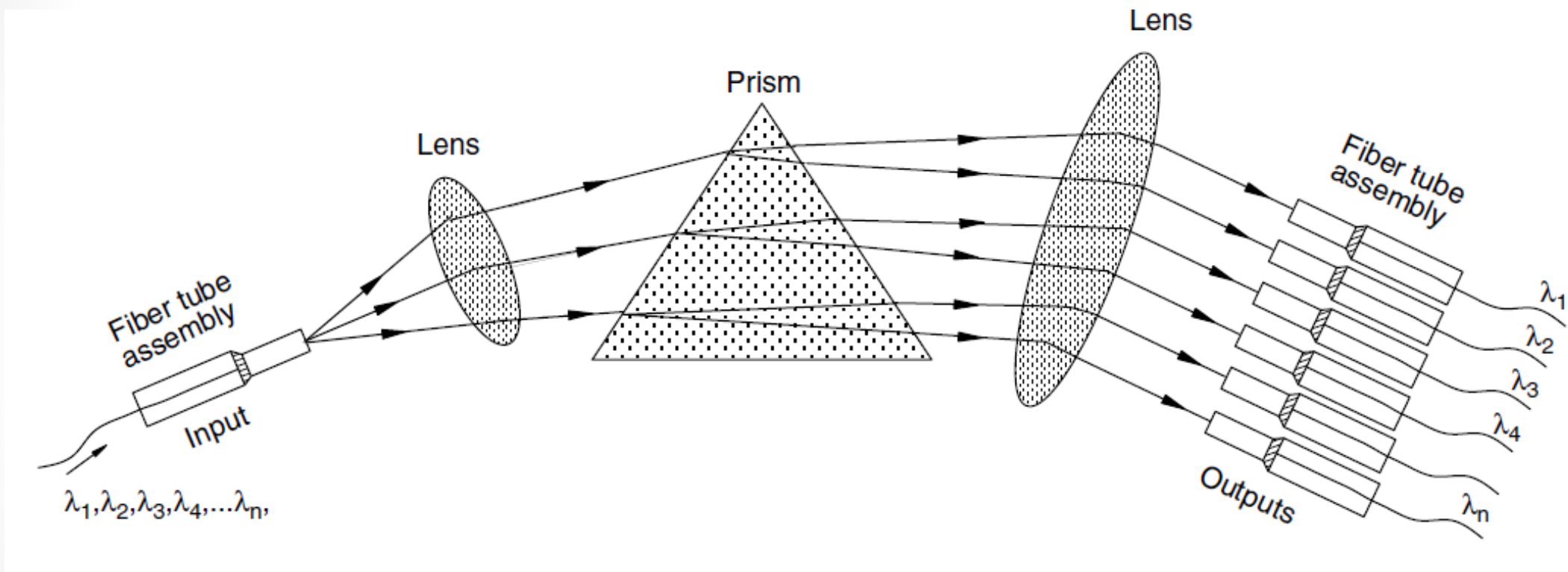
Търсене между кориците

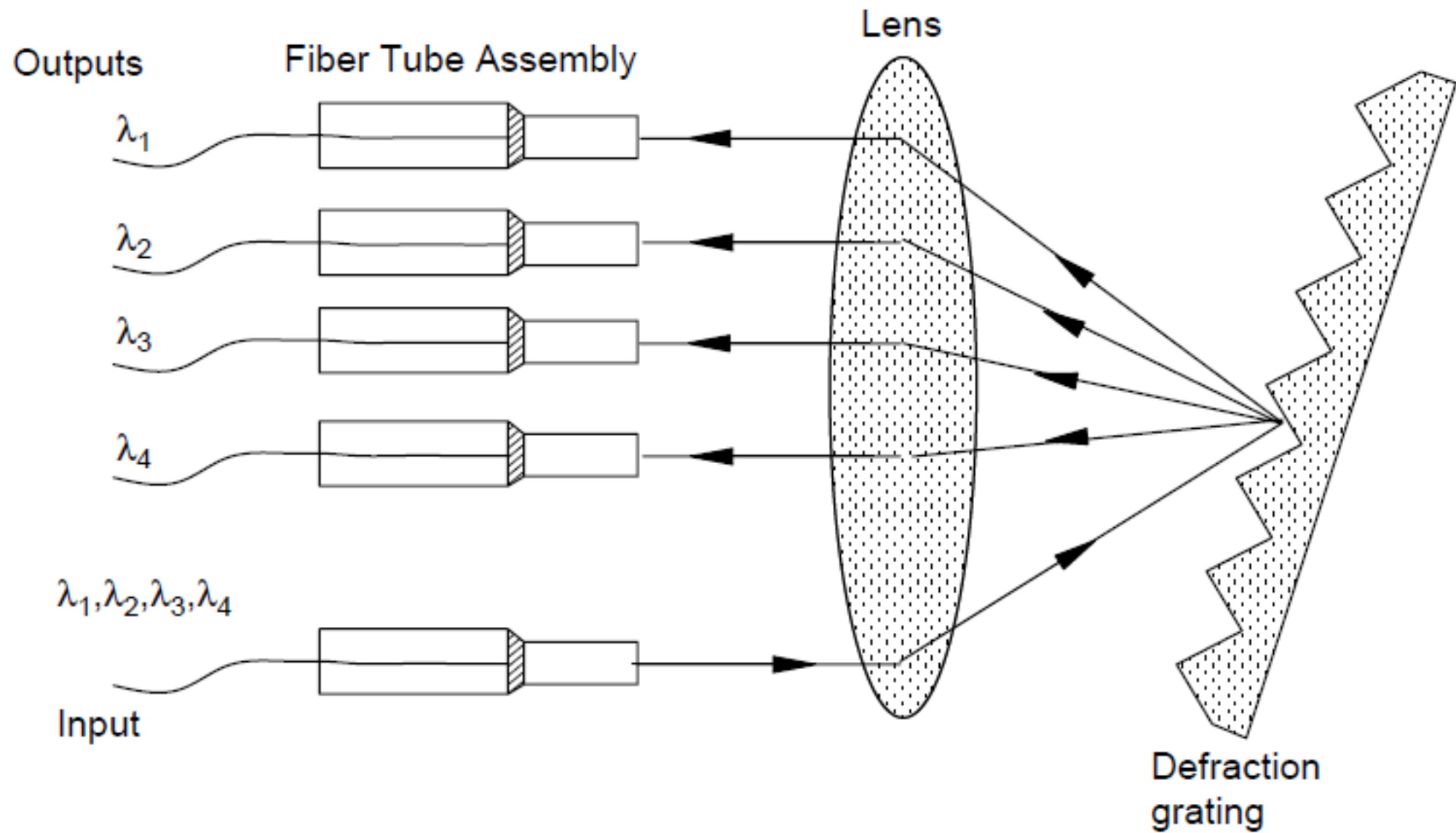
Визуализация »

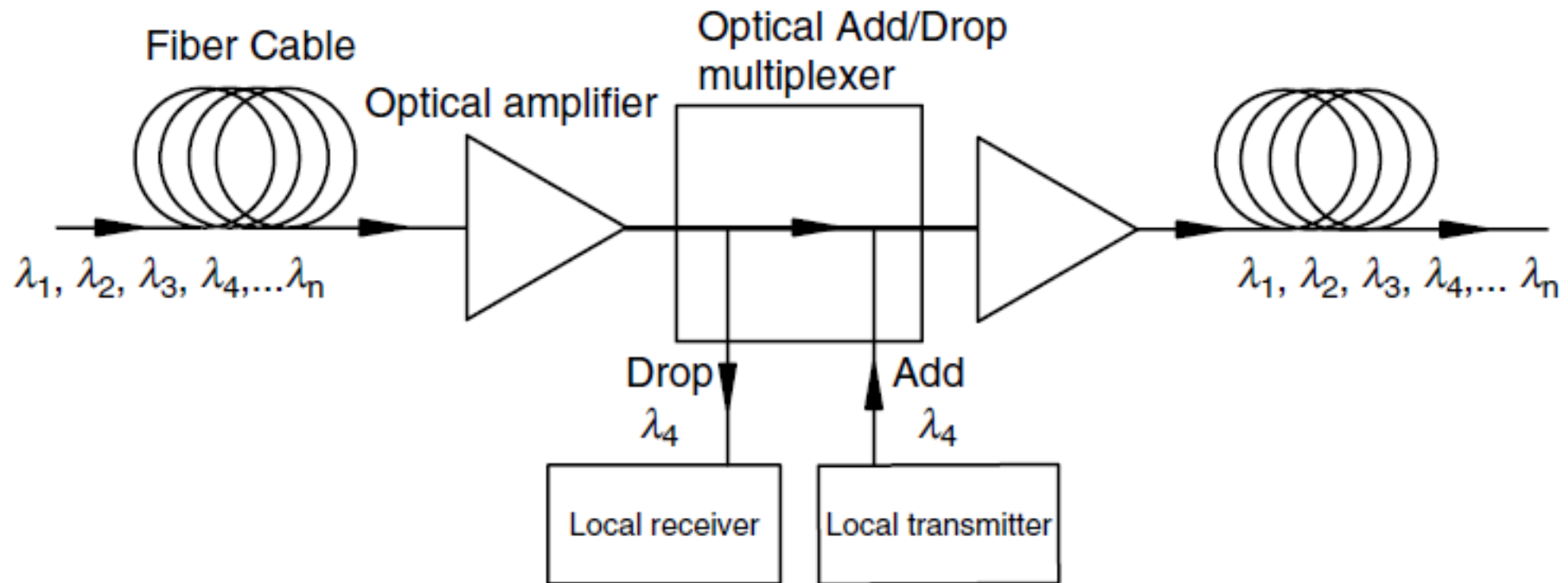
Какво казват хората Напишете рецензия

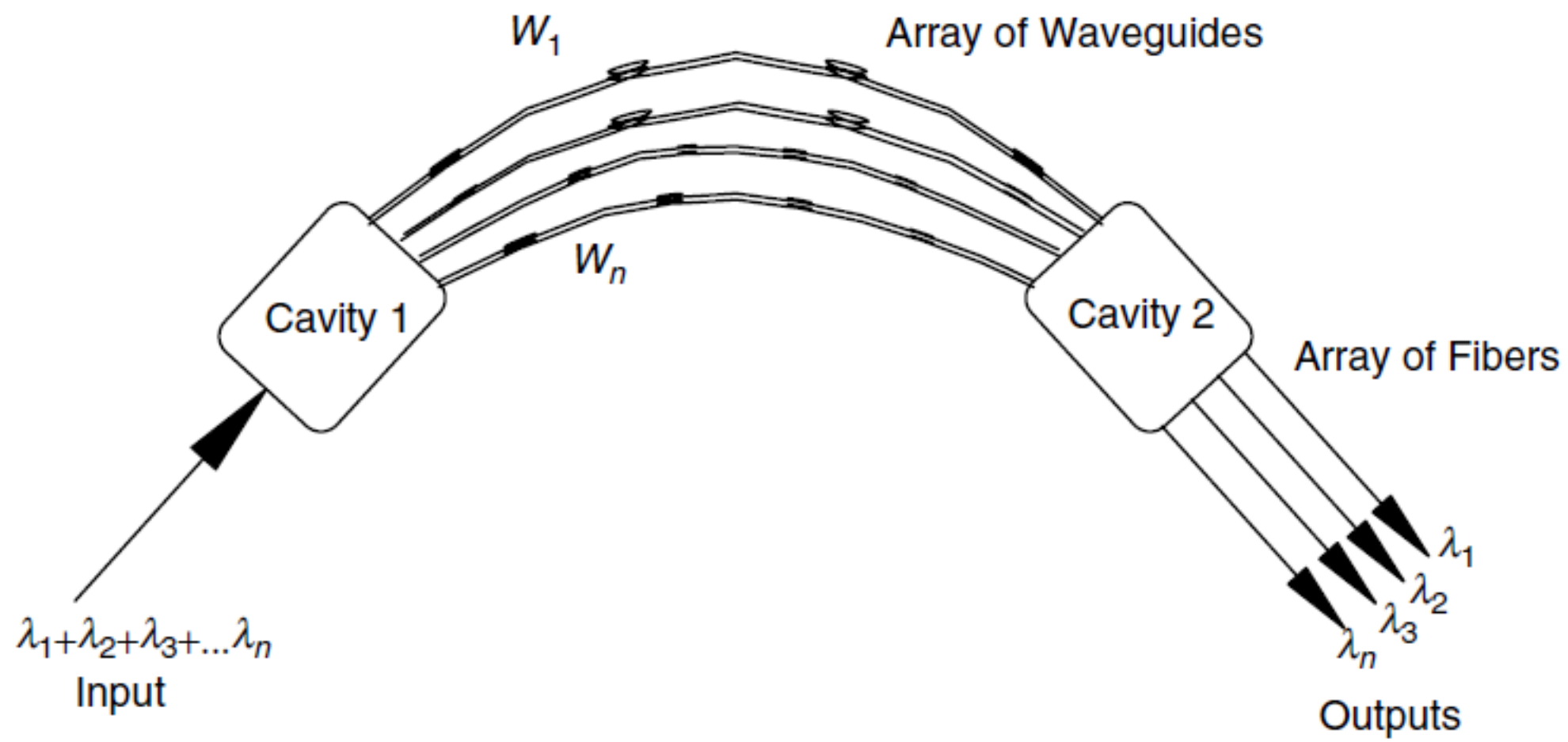
- Важен аспект на комуникационните системи с оптични влакна е, че сигналите с много различни дължини на вълната могат да се изпращат едновременно, без смущения в сигнала.
- Технологията, която комбинира редица дължини на вълната в един и същ влакнест кабел е известен като уплътнение по дължината на вълната (WDM).
- Устройствата мултиплексор и демултиплексор могат да бъдат или пасивни, или активни.
- Пасивните проекти се основават на използването на призма, дифракционна решетка или филтър.
- Активните дизайни се комбинират пасивни устройства с регулируеми филтри.



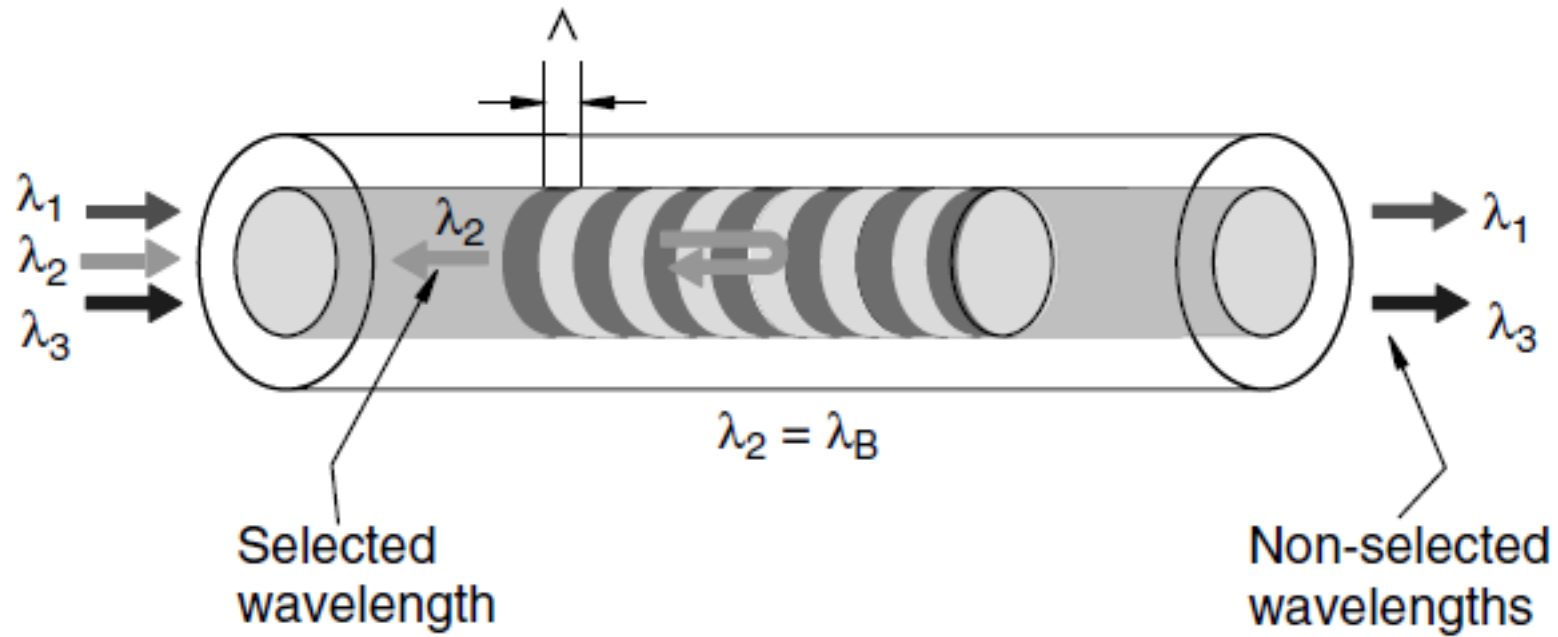




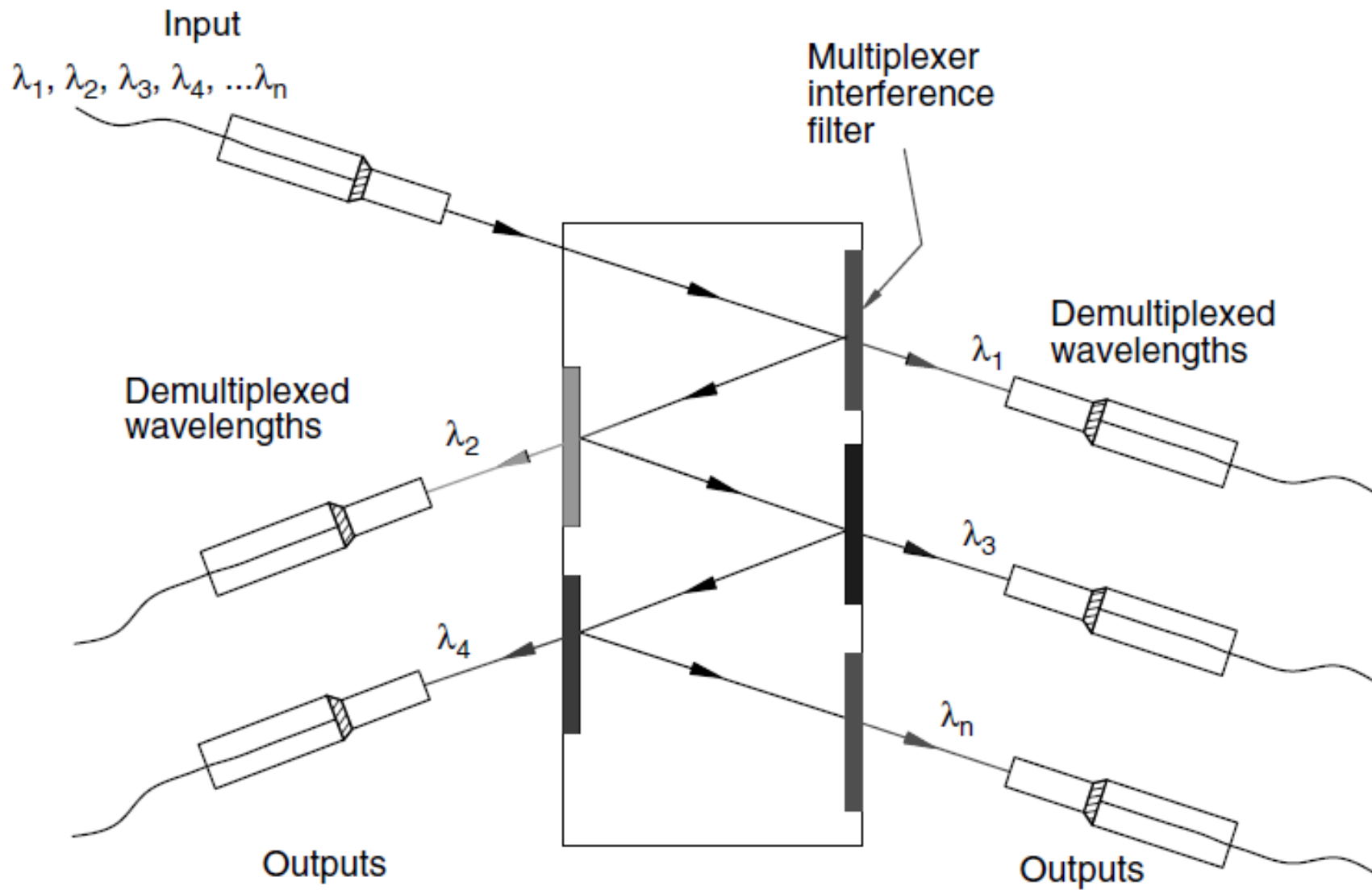




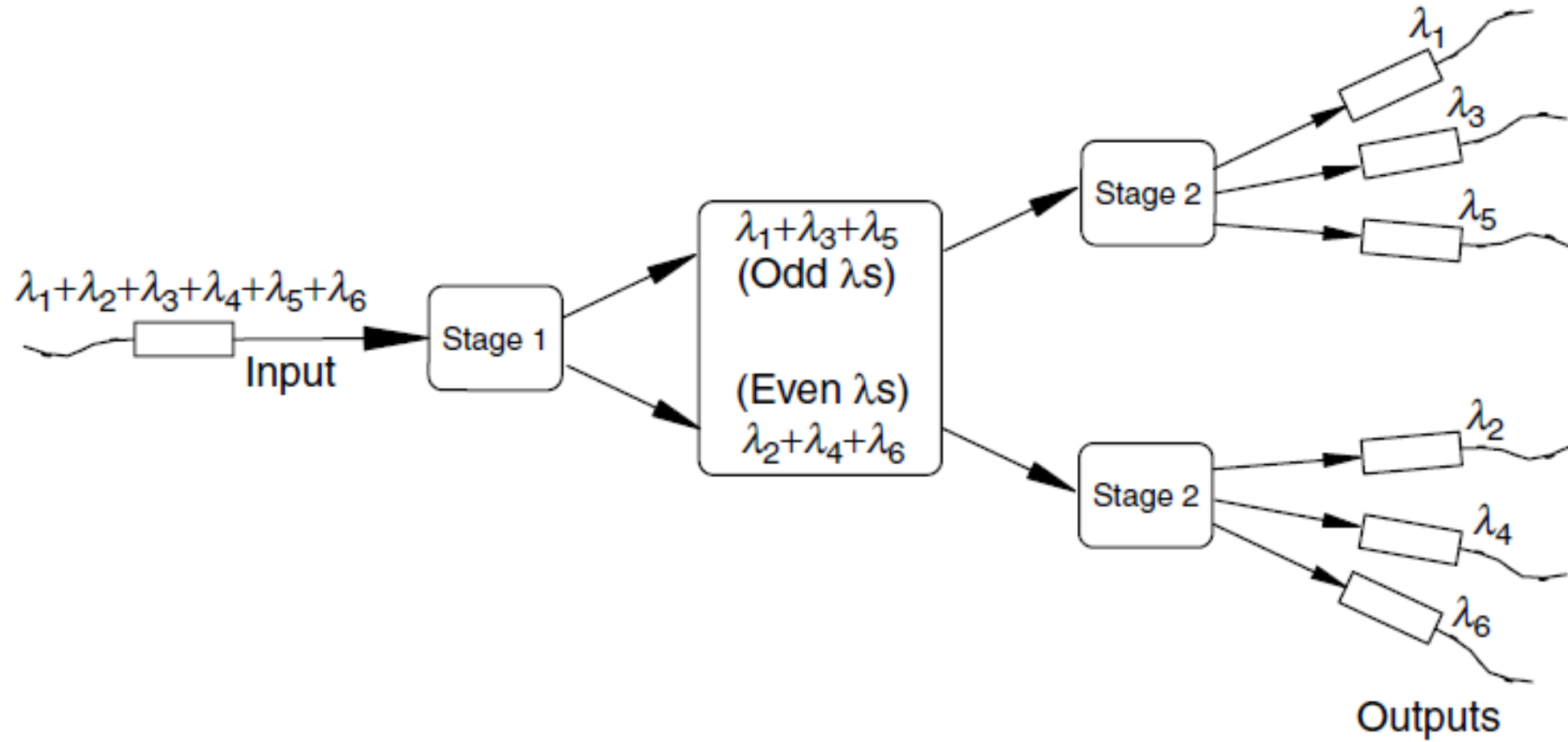




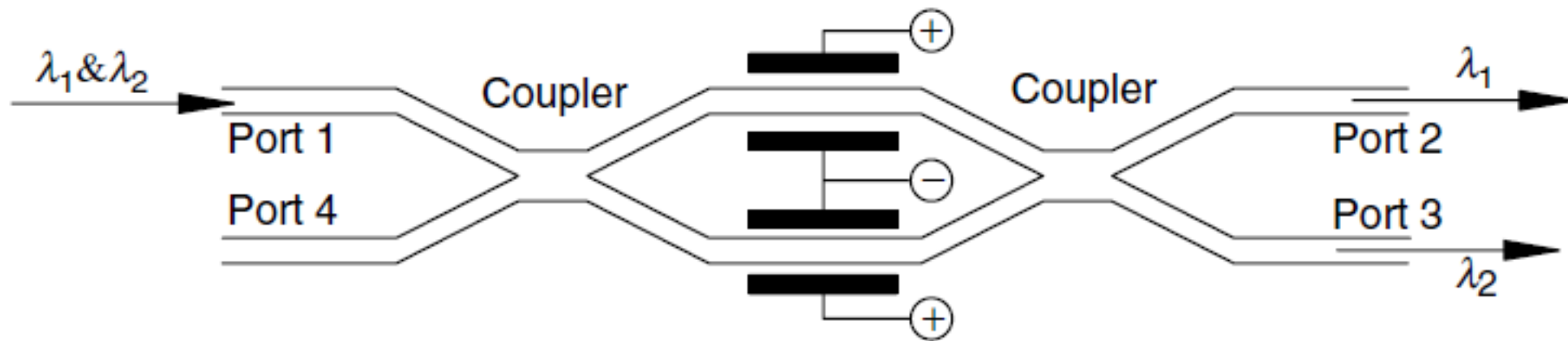
Bragg grating



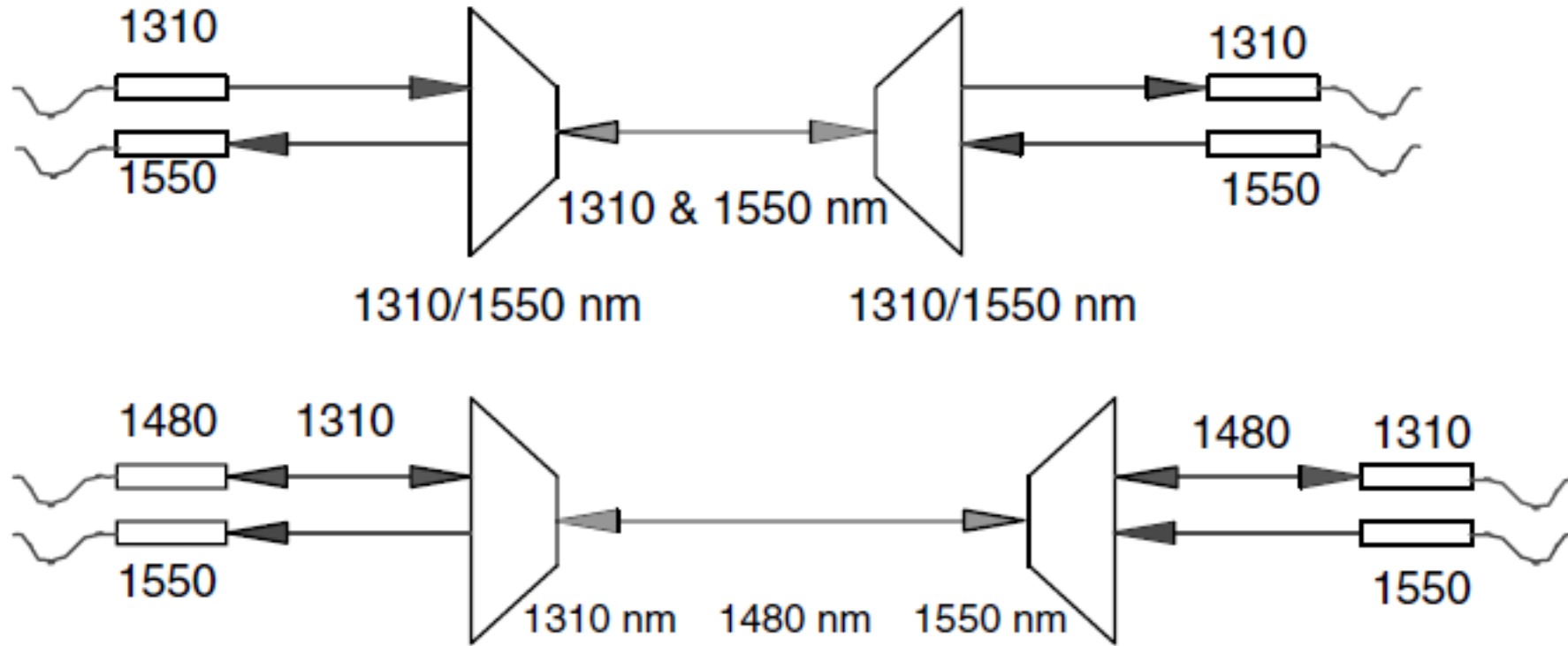
Multilayer interference filters



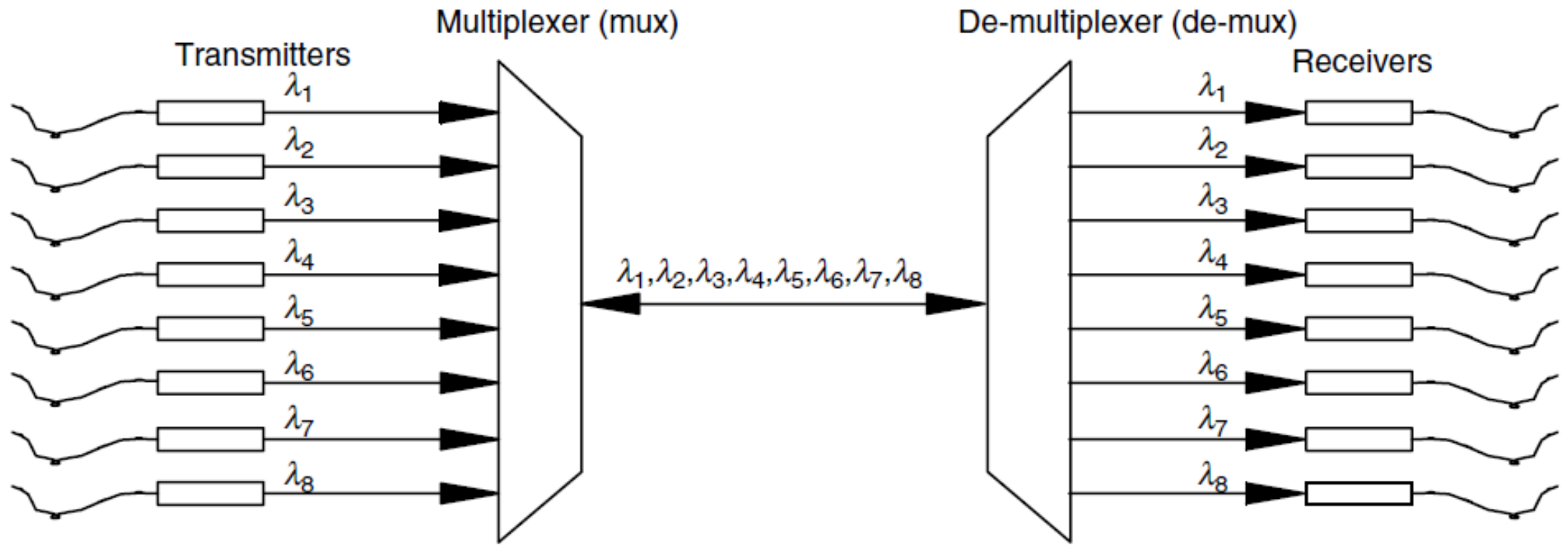
Periodic filters, frequency slicers, and interleavers multiplexing



Mach-Zehnder interferometer



2-Channel WDM device



8-Channel WDM device











