

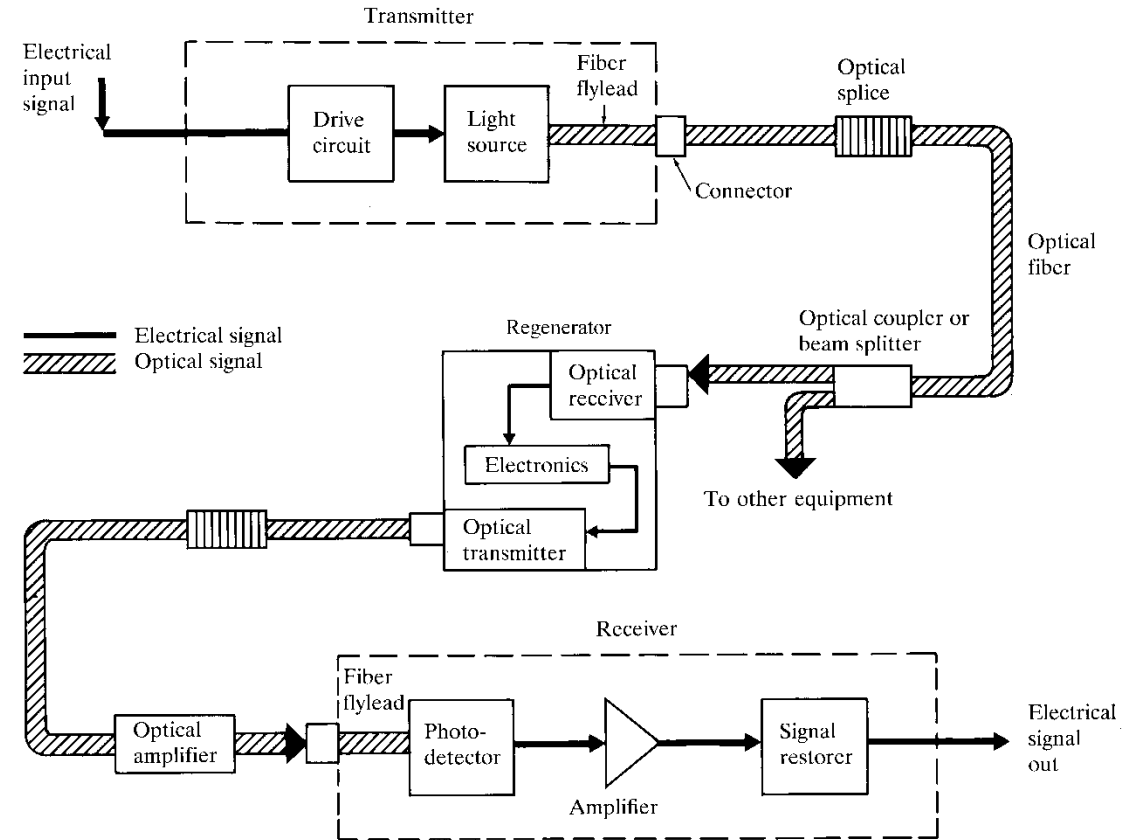
Optik Ağ Bileşenleri

DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEVİN

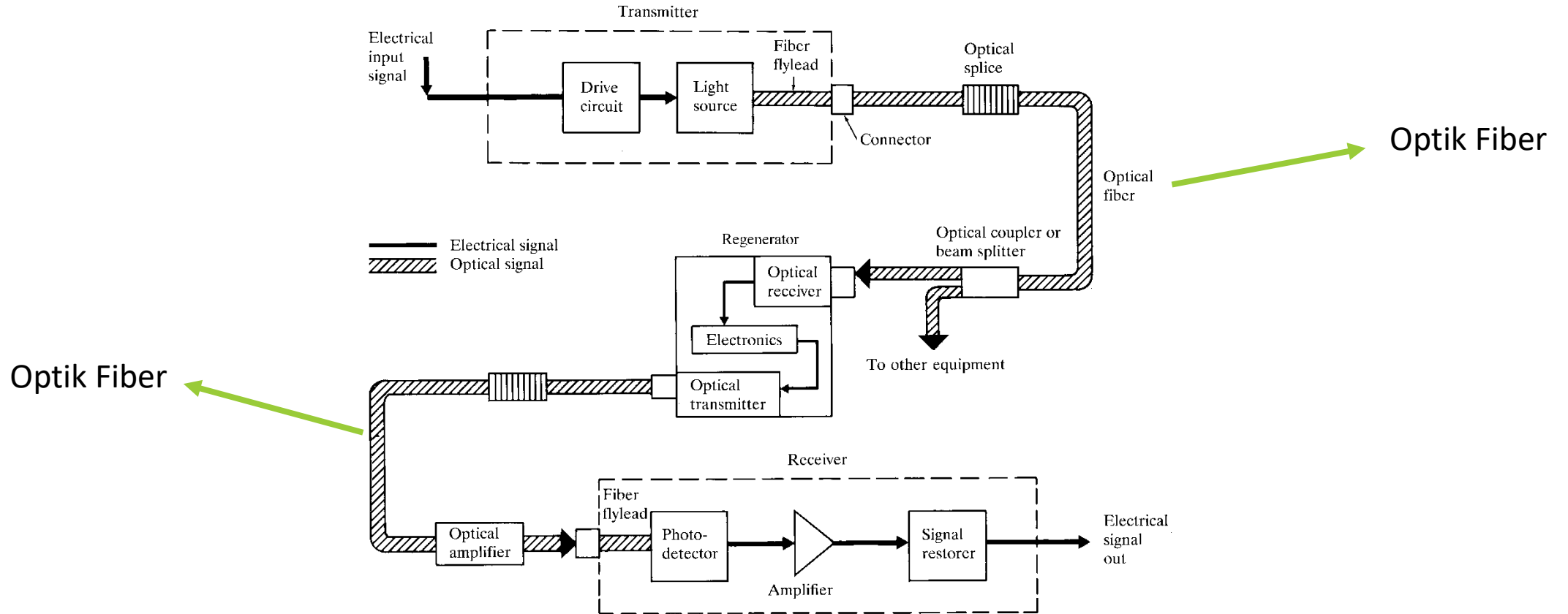
Amaç

- ☐ Fiber optik ağı oluşturan bileşenleri tanımak
- ☐ Optik Fiber
- ☐ Optik İleticiler
- ☐ Optik Modülatör/Modülasyon
- ☐ Optik Alıcılar ve Filtreler
- ☐ Optik Yükselticiler
- ☐ Anahtarlama Elemanları
- ☐ Dalgaboyu Çeviriciler

Fiber Optik Haberleşme

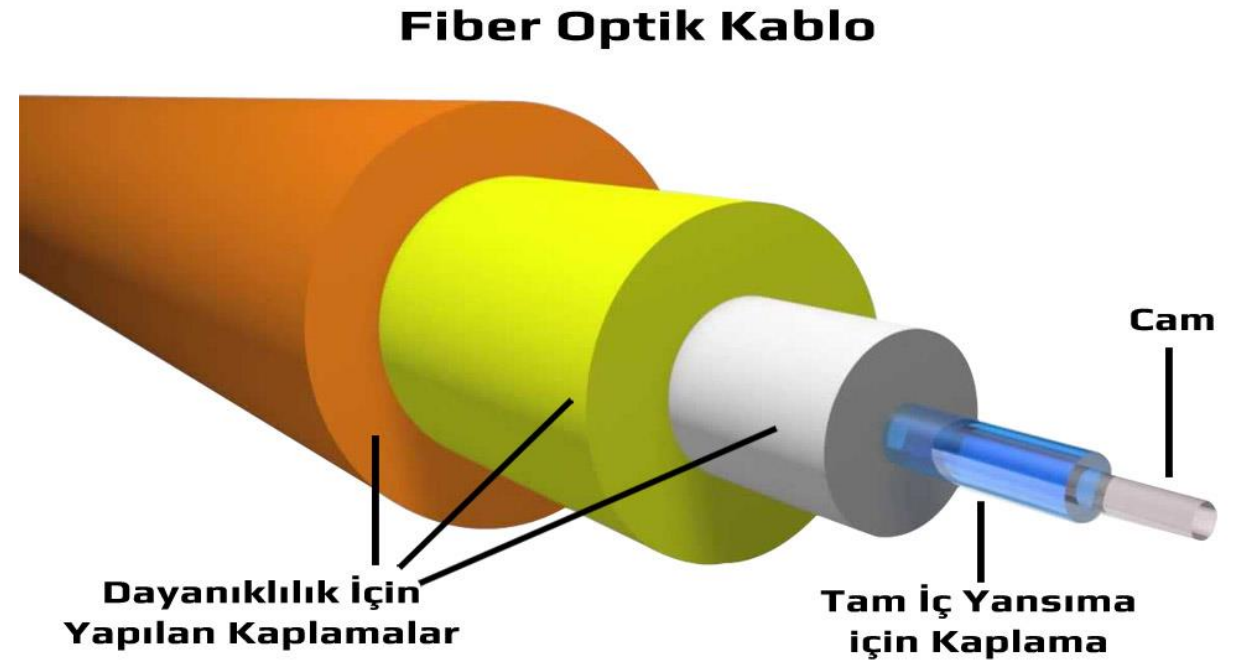


Fiber Optik Haberleşme



Optik Fiber

- Günümüzde kullanılan fiber'ler en az üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar ;
- Core (Çekirdek)
- Clad (Kabuk)
- Coating (Kaplama)



Optik Fiber

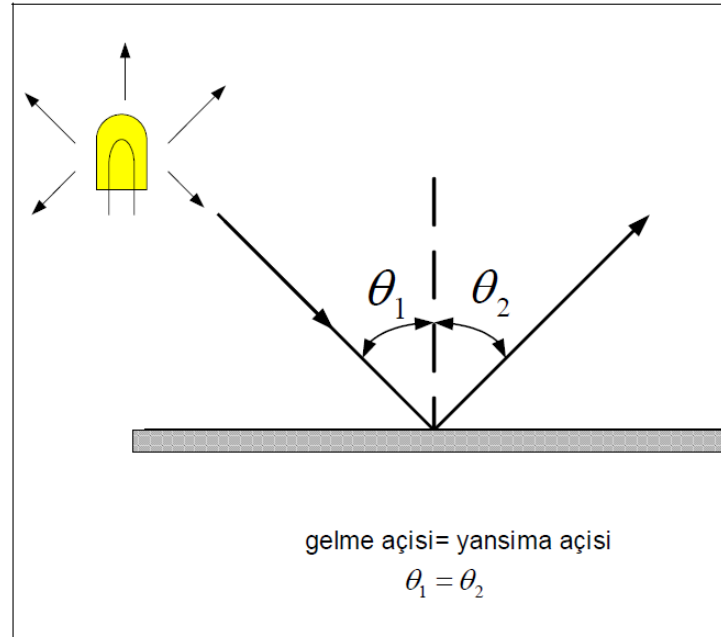
- ❑ **Core (Çekirdek):** Core merkez bölgedir ve ışığın yolculuk ettiği ince cam tabakasıdır.
- ❑ **Cladding (Kabuk/Cam kaplama):** Çekirdeği korur Işığa rehberlik eder. Merkezin dışını saran optik malzemeden üretilmiş, merkezden yansıyan ışığı tekrar merkeze geri gönderen kısım.
- ❑ **Coating (Kaplama):** En dış yüzeydir ve fiberi dış etkilere (nem, ısı, vb.) karşı koruyan en dış tabakadır. Birkaç katmandan oluşabilir (plastik kaplama, iç kaplama)

Optik Fiber

➤ Fiberin çalışma prensibi temel optik kuralları olan **yansımaya ve kırılmaya** kanunlarına dayanır.

➤ **Yansımaya Kanunu:**

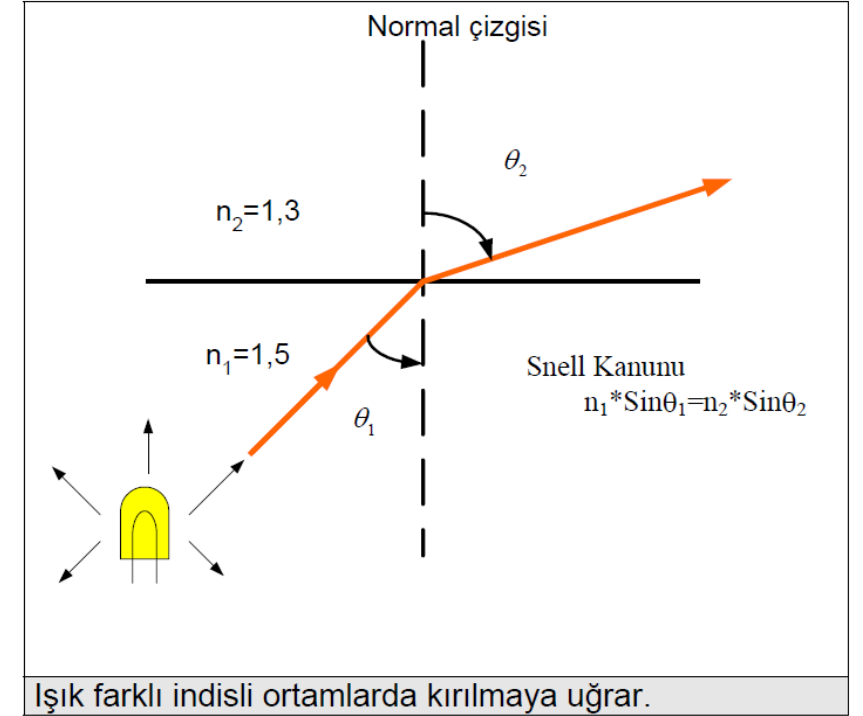
➤ Yansıtıcı parlak bir yüzeyde ışığın gelme açısı, yansıma açısına eşittir.



Optik Fiber

➤ Kırılma Kanunu:

- Işık çok yoğun (kırılma indisi daha büyük olan) bir ortamdan az yoğun (kırılma indisi daha küçük olan) bir ortama geçerken, normal çizgisi denilen düzleme dik çizgiden uzaklaşarak yoluna devam eder.
- Bir ışık ışınının, farklı kırılma indislerine sahip iki geçirgen ortamın sınırına geldiğinde nasıl hareket ettiği **Snell yasası** ile açıklanabilir.



Kırılma İndisi

□ İndis

Bir ışık ışınının madde içerisinde ilerlemesine gösterilen zorluk katsayısıdır.

□ Kırılma İndisi

Işığın boşluktaki hızının madde içerisindeki ışık hızına oranına kırılma indisi denir. n harfi ile gösterilir ve aşağıdaki formül ile gösterilir.

$$\square n = \frac{c}{v}$$

□ c : boş alanda ışık hızı

□ v : belli bir ortamda ışık hızı

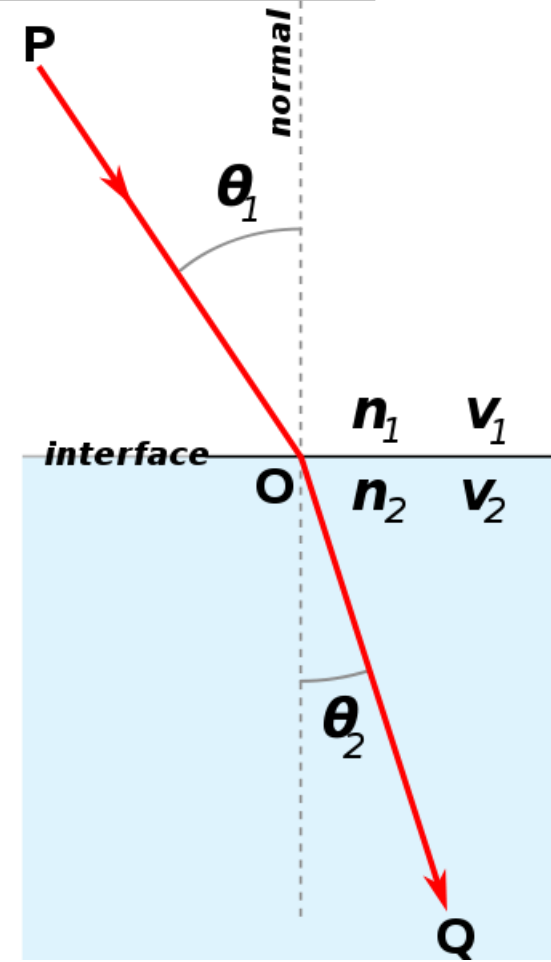
ORTAM	KIRILMA İNDİSİ
Vakum	1.0
Hava	1.0003
Su	1.33
Cam Fiber	1.5-1.9
Elmas	2.0-2.42
Silisyum	3.4
Galyum Arsenit	3.6

Optik Fiber / Snell Yasası

□ Snell yasası ışığın geldiği ortamın kırıcılık indisiyle geliş doğrultusunun normalle yaptığı açının sinüsünün, ışığın gittiği ortamın kırıcılık indisiyle gidiş doğrultusunun normalle yaptığı açının sinüsüyle çarpımına eşitlenmesiyle oluşan formüle dayalı fiziğin optik dalında yer alan bir yasadır (http://tr.wikipedia.org/wiki/Snell_yasasi).

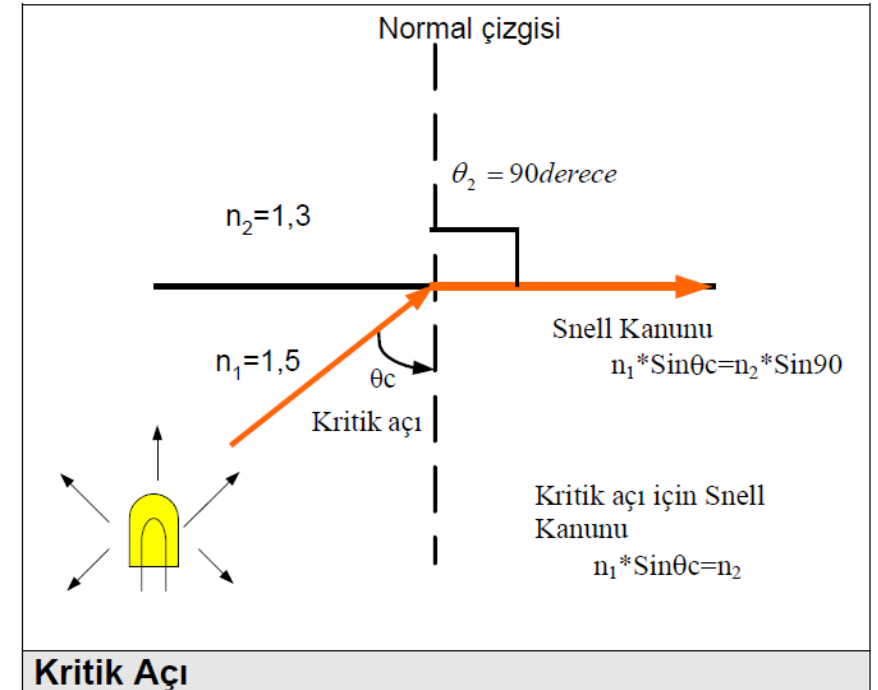
- Işığın geliş açısının ve kırılma açısının sinüslerinin ışığın geldiği ortamın ve kırıldığı ortamın kırılma indisleri oranı ile ters orantılıdır.
- Ortamın kırılma indisi (n) ışığın ortamdaki hızı ile ters orantılıdır.

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



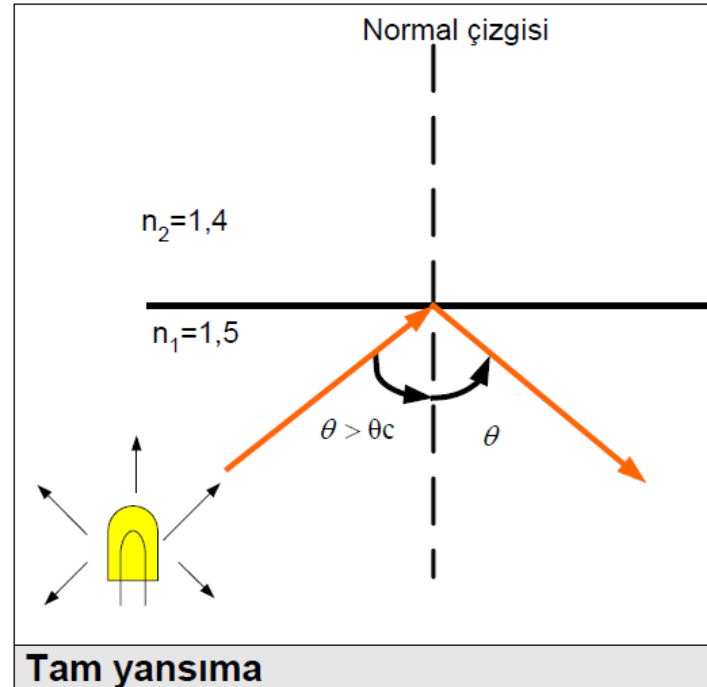
Optik Fiber

- Bir ışın demeti az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken geliş açısına bağlı olarak, yansır ya da kırılarak ortam dışına çıkar.
- Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama giden ışığın kırıldıktan sonraki yansıma açısının 90 derece olduğu gelme açısına **kritik açı** denir.
- $Kritik\ açı = \theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$



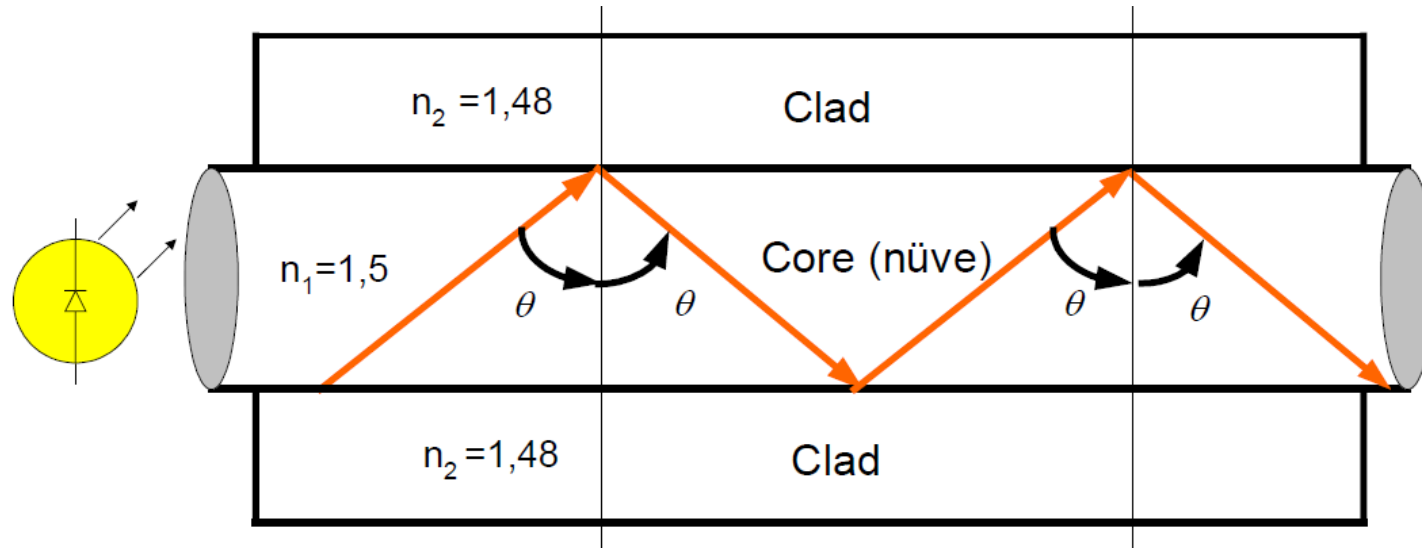
Optik Fiber

- ❑ Kritik açıdan daha büyük bir gelme açısı ile çok yoğun ortamdan az yoğun ortama giden ışık ikinci ortama geçemez.
- ❑ Bu durumda gelme açısı yansıma açısına eşit olur ve tam yansıma gerçekleşir.



Optik Fiber

- Fiber optik kabloda ışık çekirdek(nüve)-kabuk arasında tam yansıma ile yayılır.
- Çekirdek içinde kritik açıdan küçük açı ile giren ışık ışınları kabuğa çarparak tam yansıma ile yayılır.
- *Kritik açı* $= \theta_c = \sin^{-1} \frac{1.48}{1.5} = \arcsin \frac{1.48}{1.5} = 80.63^\circ$



Optik Fiber / Malzemesine Göre

1- Cam Fiber

Nüvesi ve kılıfı camdan imal edilir. Veri iletimi açısından en iyi performansı gösterir. Yapımında kullanılan cam ultra saf silikon dioksit veya kuartz kristalidir.

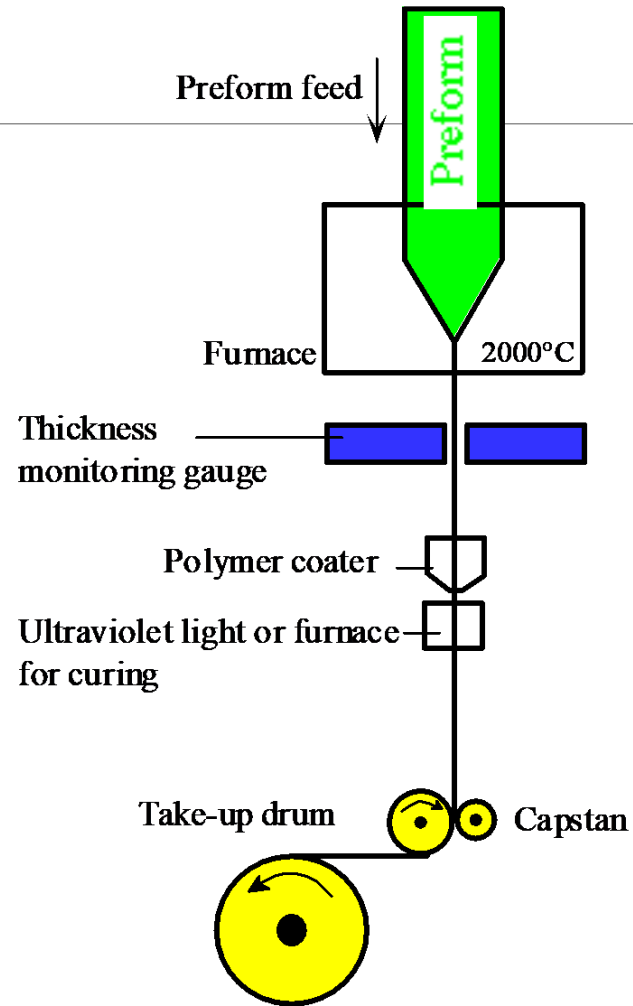
2- Plastik Kaplı Silisyum Fiber

Cam nüveye plastik kılıfa sahiptir. Fiyat olarak cam fiberlere göre daha ucuz ama performans açısından daha verimsizdir.

3- Plastik Fiber

En ucuz fiber tipidir. Nüvesi de kılıfı da plastiktir. Performansı en zayıf fakat fiyatı en uygun fiberdir. Genelde kaplamaları yoktur. Kısa mesafe iletişimi için uygundur.

Fiber Üretimi



Schematic illustration of a fiber drawing tower.

Optik Fiber / Işıık Moduna Göre

1. Single mod (Tekli mod): Tek modda (aşııda) ışık bilgisi gönderilir. 9- mikron core çapına ve 125- mikron cladding çapına sahiptir. (Mod: Optik Sinyalin elektromanyetik bileşenleri)

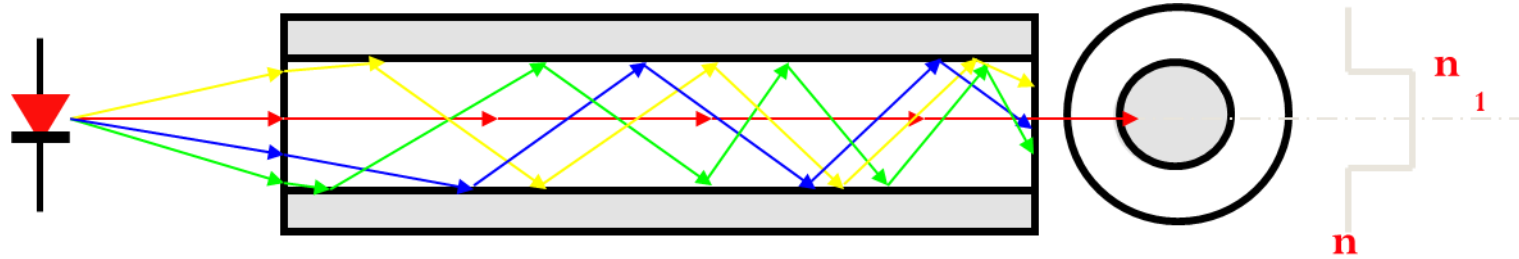
- Fiberin iç yapısının dar olmasından dolayı sadece tek bir aşıda ışık gönderilebildiğı için modal dağılım söz konusu değildir. Sadece temel modun yayılımını sağlar.
- Bu sayede zayıflaması düşük, bant genişliğı yüksektir ve çok uzak mesafelerde iletişim sağlanabilmektedir.
- 1300nm – 1625nm dalga boyları arasında iletişim yapılabilir. İletişim maliyeti, Multimod'a göre daha yüksektir. Dezavantajı, ışığı küçük çaplı fibere yoğunlaştırma zorluğu. LED yeterince ışığı fiber çekirdeğı ile birleştiremez. Bu yarı-iletken lazer ile yapılabilir.



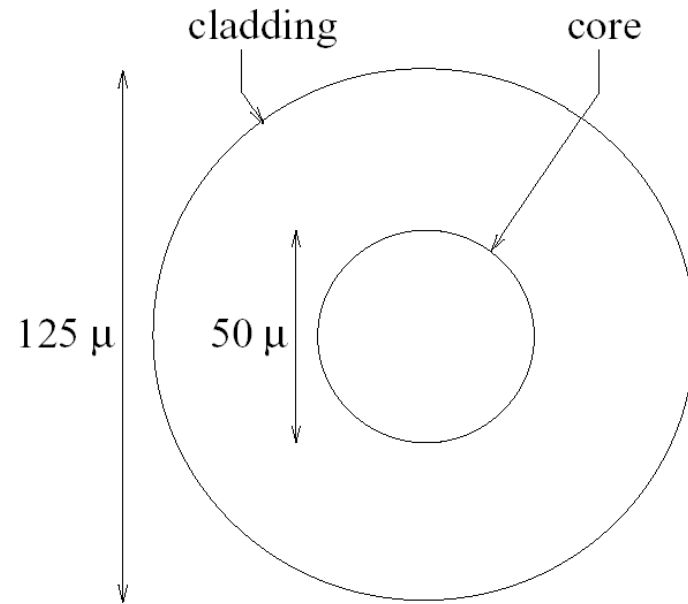
Optik Fiber

2. Multi Mod (Çoklu Mod): Multi modda birden fazla ışık bilgisi gönderilir.

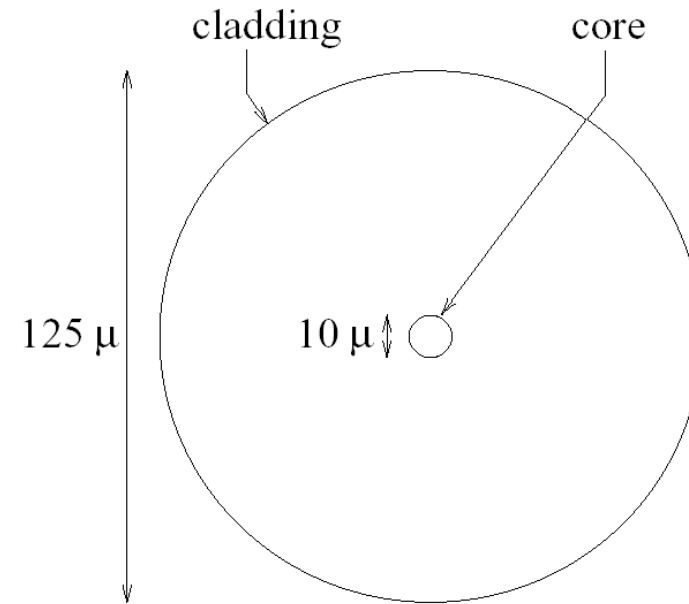
- Çoklu modda (açıda) birden fazla ışık bilgi gönderilir. Çeşitli modların uyarılmasına izin verir:
- 50- mikron ve 62.5-mikron core çapına ve 125-mikron cladding çapına sahiptir.
- Fiberin iç yapısının genişliğinden dolayı link boyunca farklı modda ışık gönderilebilir.
- Ancak modal dağılma nedeniyle zayıflaması yüksektir ve kısa mesafelerde kullanılabilmektedir.



Optik Fiber



(a) Multimode Optical Fiber

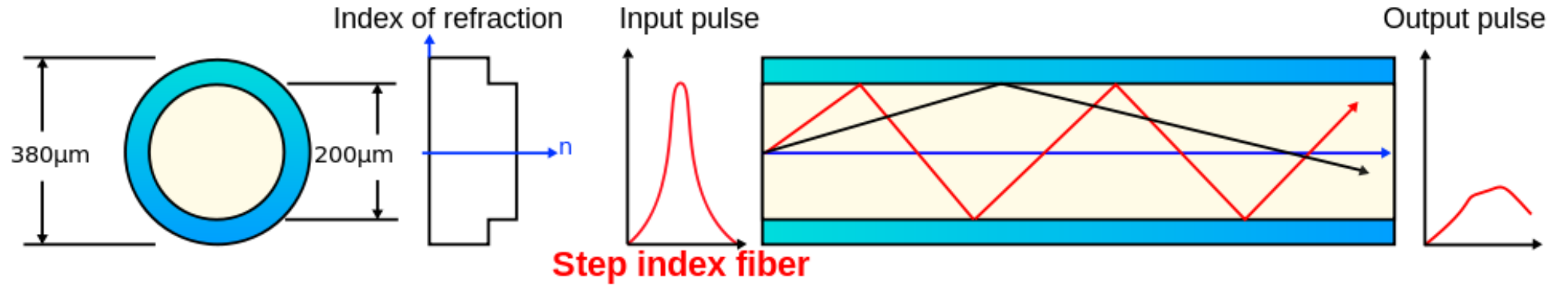


(b) Single-Mode Optical Fiber

Optik Fiber / İndise göre

1- Basamak İndisli Kablo (Step-Index Kablo)

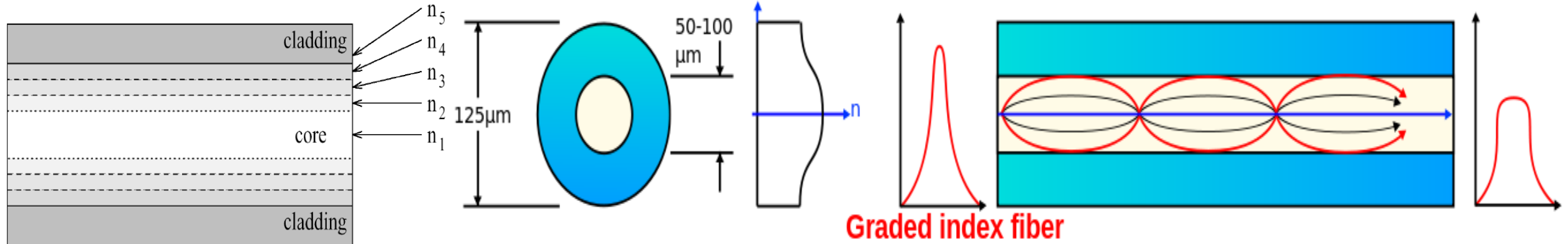
Step Index fiber uniform bir kırılma indisine sahip olup, core ve cladding kırılma indisleri arasında keskin bir fark vardır. Tipik bir step index fiberde core çapı 100-mikron, cladding çapı 140-mikrondur. Farklı açılarda gönderilen ışığın, core'daki iletim süreleri arasındaki yüksek farktan dolayı, sinyal dağılması ve dolayısıyla veri kaybı çok yüksektir. Bu yüzden step index fiberler kısa mesafe veri iletişimde ve telekom sektöründen ziyade otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.



Optik Fiber / İndise göre

2-Dereceli İndisli Kablo (Graded-Index Kablo)

Graded Index fiberde, fiberin kırılma indisi core'un merkezinden, cladding'e göre dereceli olarak azalır ve bu sayede farklı açılarda gönderilen ışığın core'daki iletim süreleri arasında fark minimize edilerek sinyal dağılması ve veri kaybı azaltılmaktadır. Fiber çapı ise core'da 50 veya 62.6-mikron, cladding'de ise 125- mikron olup, özellikle yerel alan ağlarında kullanılmaktadır



Fiberde Sinyalin Zayıflaması (Attenuation)

❑ Desibel (dB), belirli bir referans güç ya da miktar seviyeye olan oranı belirten, genelde ses şiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birimdir.

❑ Desibel daima iki değer arasındaki karşılaştırmadır.

(<https://tr.wikipedia.org/wiki/Desibel>)

❑ belin onda birine eşit bir ölçü birimi.

❑ Telefon kullanılmaya başlandığında ilgili kurumlar bir iletim birimi bulmak/kullanmak sorunu ile karşılaşmışlardı. Buradan yola çıkarak desibel kavramı ortaya çıktı.

Fiberde Sinyalin Zayıflaması

□ Bir sistemdeki kayıp/kazanç aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

□
$$LOSS = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

□ desibel cinsinden $LOSS_{dB} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$ (desibel için 10'la çarpılır)

□ Bir fiber optik kablo boyunca yayılan ışık darbesi exponansiyel (üstel) olarak zayıflar.

□ Örneğin bir vericinin gücü 1 W'tan 2 W'a çıkartılırsa, güçteki desibel cinsinden artış

□
$$Kazanç_{dB} = 10 \log \frac{P_{çıkış}}{P_{giriş}} = 10 \log \frac{2}{1} = 10 \log(2) = 3,0102 \cong 3 \text{ dB}$$

Fiberde Sinyalin Zayıflaması

□ 100 m uzunluğunda bir fiber $P_{in} = 10 \mu W$ ve $P_{out} = 9 \mu W$ değerindedir.

□ Kaybı dB cinsinden bulun.

$$\square \quad Kayıp_{dB} = 10 \log \frac{P_{çıkış}}{P_{giriş}} = 10 \log \frac{9 \mu W}{10 \mu W} = 10 \log(0.9) = -0.458 \text{ dB}$$

□ Kaybı dB / km cinsinden bulun.

$$\square \quad Kayıp_{dB/km} = \frac{-0.458 \text{ dB}}{0.1 \text{ km}} = -4.58 \text{ dB/km}$$

□ Negatif işaret kayıp anlamına gelir.

Fiberde Sinyalin Zayıflaması

□ Eğer $x = \log y$ ise $y = 10^x$

$$\square \quad LOSS_{dB} = 10 \log \left[\frac{P_{out}}{P_{in}} \right] \Rightarrow \frac{LOSS_{dB}}{10} = \log \left[\frac{P_{out}}{P_{in}} \right] \Rightarrow 10^{\frac{LOSS_{dB}}{10}} = \left[\frac{P_{out}}{P_{in}} \right]$$

$$\square \quad P_{out} = P_{in} * 10^{\frac{LOSS_{dB}}{10}}$$

□ Örnek : 8mW giriş gücü ise 1 km sonraki güç (Not: fiberdeki zayıflama katsayısı (dB/km) [1550 nm'de yaklaşık 0,2 dB/km)

$$\square \quad P_{out} = 8 * 10^{\frac{-0.2 * 1}{10}} \cong 7,63 \text{ mW}$$

$$\square \quad 5 \text{ km olsaydı } P_{out} = 8 * 10^{\frac{-0.2 * 5}{10}} \cong 6,35 \text{ mW}$$

Fiberde Sinyalin Zayıflaması

- ❑ Fiber optik sistemlerdeki optik güç tipik olarak, giriş gücünün 1 mwatt olduğunu varsayan bir desibel terimi olan dBm cinsinden ifade edilir.
- ❑ Buradaki optik güç, bir lazer kaynağının gücüne veya sadece sistemin herhangi bir yerindeki güce karşılık gelebilir.
- ❑ $P(dBm) = 10 \log\left(\frac{P}{1 \text{ mW}}\right)$
- ❑ Örnek; 10 dBm güç ile gönderilen bir sinyal 1 km sonra $(10-0,2)=9,8$ dBm olur
- ❑ $1 \text{ mW} = ? \quad P(dBm) = 10 \log\left(\frac{P}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \log\left(\frac{1 \text{ mW}}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \log(1) = 0 \text{ dBm}$
- ❑ $2 \text{ mW} = ? \quad 10 \log\left(\frac{2 \text{ mW}}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \log(2) \cong 3 \text{ dBm}$
- ❑ $10 \text{ mW} = ? \quad 10 \log\left(\frac{10 \text{ mW}}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \log(10) \cong 10 \text{ dBm}$
- ❑ $0.5 \text{ mW} = ? \quad 10 \log\left(\frac{0.5 \text{ mW}}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \log(0.5) \cong -3 \text{ dBm}$

Fiberde Sinyalin Zayıflaması

□ $dB_{op} \neq dB_{elc}$

□ $P_{el} \sim P_{op}^2$

□ 3 dB optik güç farkı \Rightarrow 6 dB elektrik güç kaybı

□ $dB = 10 \log \left(\frac{V_{out}^2}{V_{in}^2} \right) = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$

□ SNR (Signal-to-noise ratio) = $20 \log \left(\frac{A_{sinyal}}{A_{gürültü}} \right)$

□ Örneğin bir vericinin gerilimi 1 V ' tan 2 V' a çıkartılırsa, gerilimdeki desibel cinsinden artış;

□ $dB = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = 20 \log \left(\frac{2}{1} \right) = 20 \log(2) \cong 6 \text{ dB}$

Fiber içinde Dağılım (Dispersion)

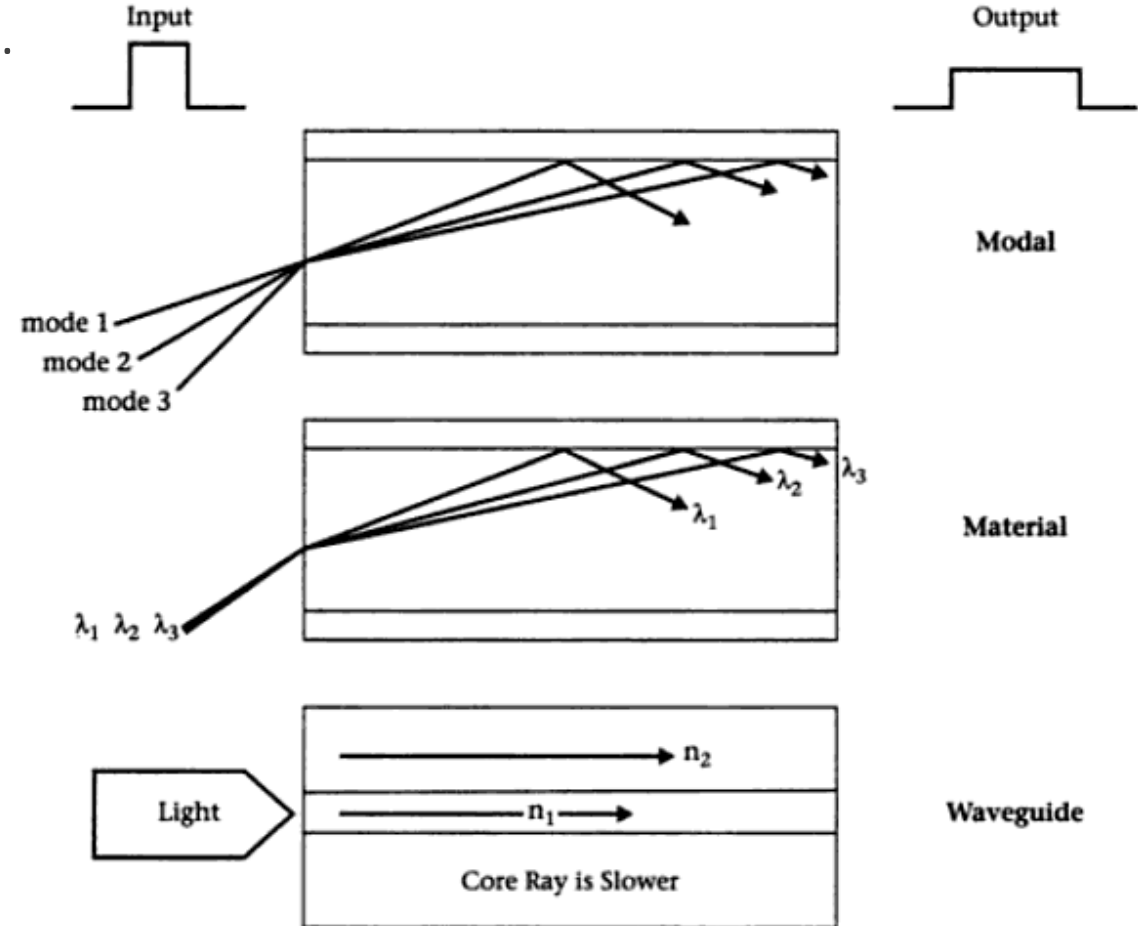
❑ **Dağılım:** Sinyal atımının (pulse) süresinin genişlemesi.

❑ Fiber optik kablo içinde ilerleyen ışık ışınları farklı yollar alarak çıkışa ulaşırlar.

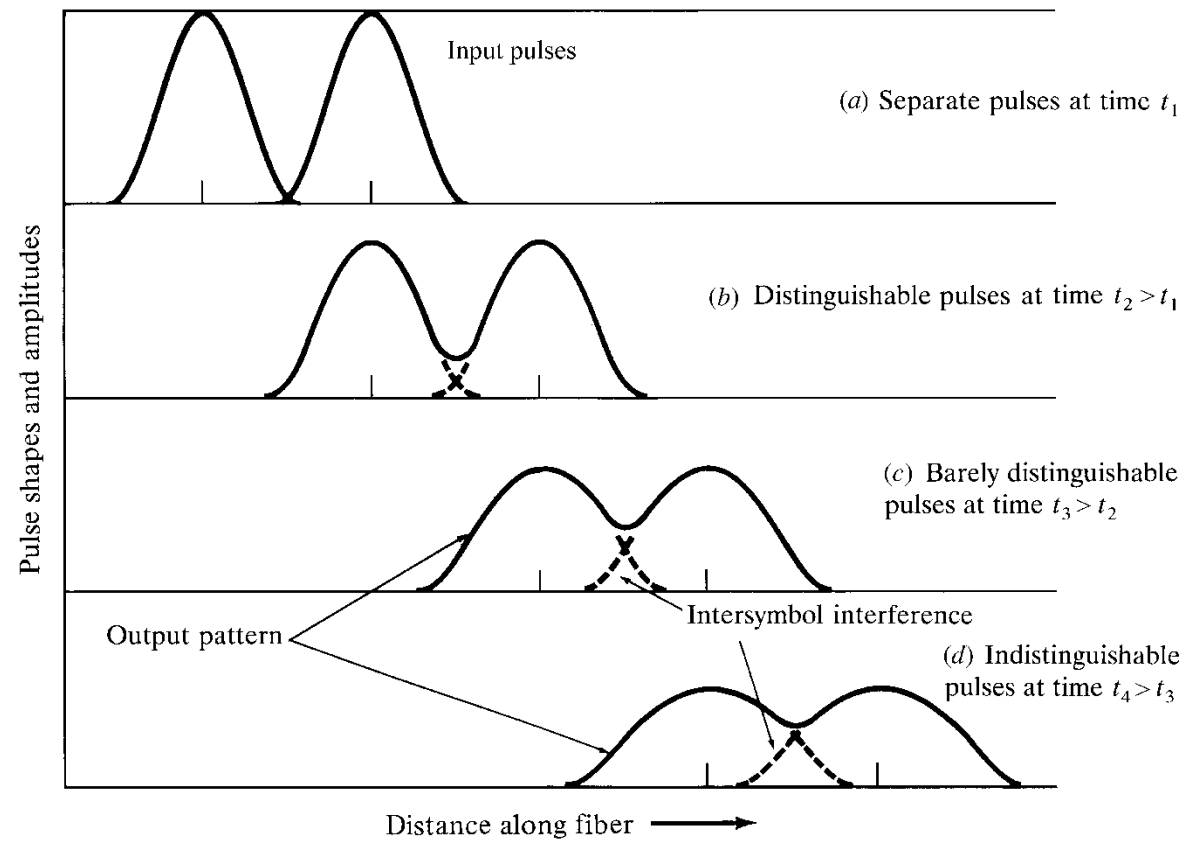
❑ Işık ışınlarının çıkışa farklı zamanlarda varması sebebiyle giriş sinyali genişleyerek bozulur.

❑ Bu bozulmaya dispersiyon/dağılıma denir.

1. Modal Dağılım
2. Materyal Dağılımı
3. Dalga kılavuzu dağılımı



Dağılma



Fiber içinde Dağılım (Dispersion)

❑ **Modlar arası Dağılım (Intermodal Dispersion):** Değişik modların farklı hızları olması. Her mod, fibere farklı bir açıyla girer ve böylece fiberdeki farklı yollarda hareket eder. Yalnızca çok modlu fiberlerde bulunur. Modal dispersiyon tek modlu fiber ile hafifletildi.

❑ **Materyal Dağılımı (Material Dispersion):** Farklı renklerin (dalga boylarının) farklı hızlara sebep olması.

$$n^2(\lambda) = n_{host}^2(\lambda) + \frac{n^2(\lambda_0) - n_{host}^2(\lambda_0)}{n_{dopant}^2(\lambda_0) - n_{host}^2(\lambda_0)} \cdot [n_{dopant}^2(\lambda) - n_{host}^2(\lambda)] \quad (12)$$



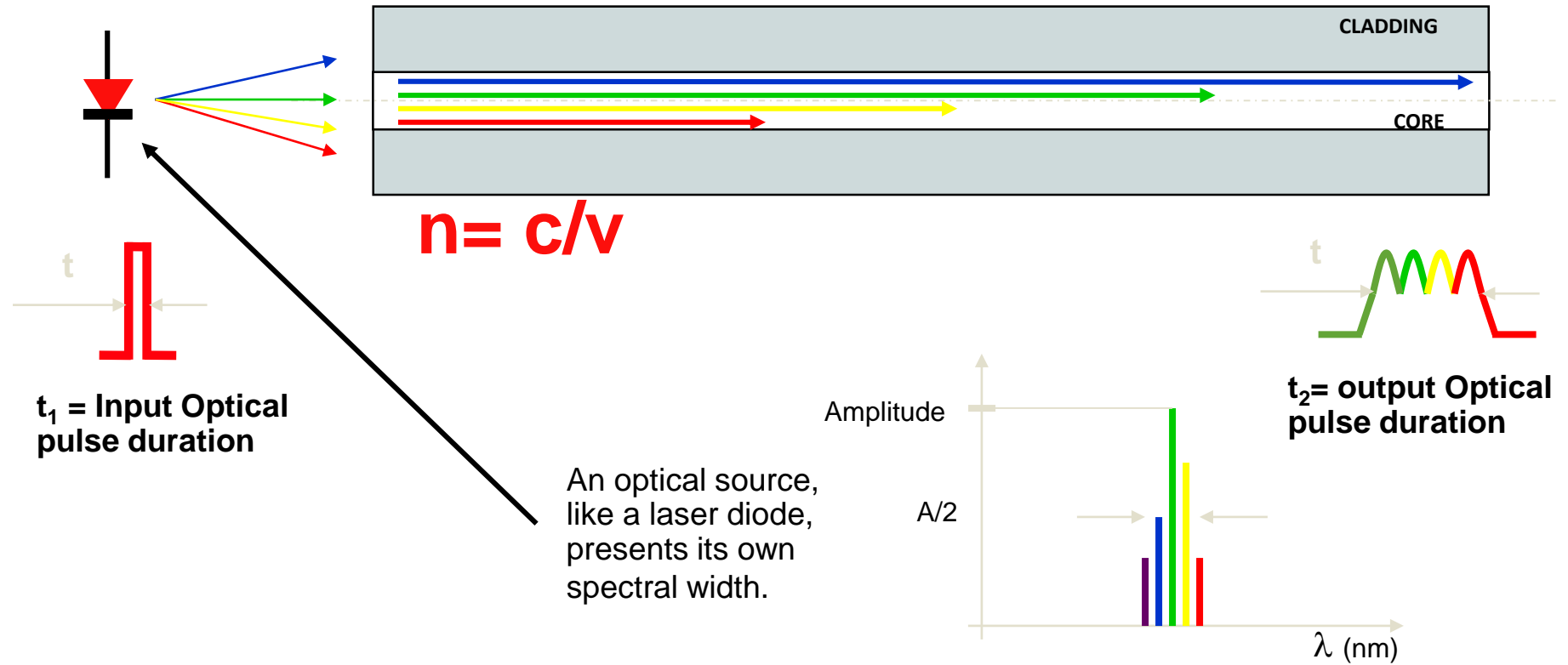
Dağılma

- ❑ **Dalga-kılavuzu dağılımı (Waveguide Dispersion):** Farklı kırılma indisine sahip ortamlarda ilerleyen ışıklar farklı hızlara sahiptir. Kaplamadaki sinyal, çekirdek modundaki sinyalden farklı bir hızda hareket eder, tek modlu fiberde önemlidir. Bazı ışıklar daha çok kaplamada hareket eder.

- ❑ **Kromatik Dağılım (Chromatic Dispersion): Materyal dağılımı + dalga-kılavuzu dağılımı**
 - ❑ Materyal dağılımı malzeme özelliklerine bağlıdır ve değiştirilmesi zor
 - ❑ Dalga-kılavuzu dağılımı, fiber kırılma indisi profilini değiştirerek değiştirilebilir

Dağılma

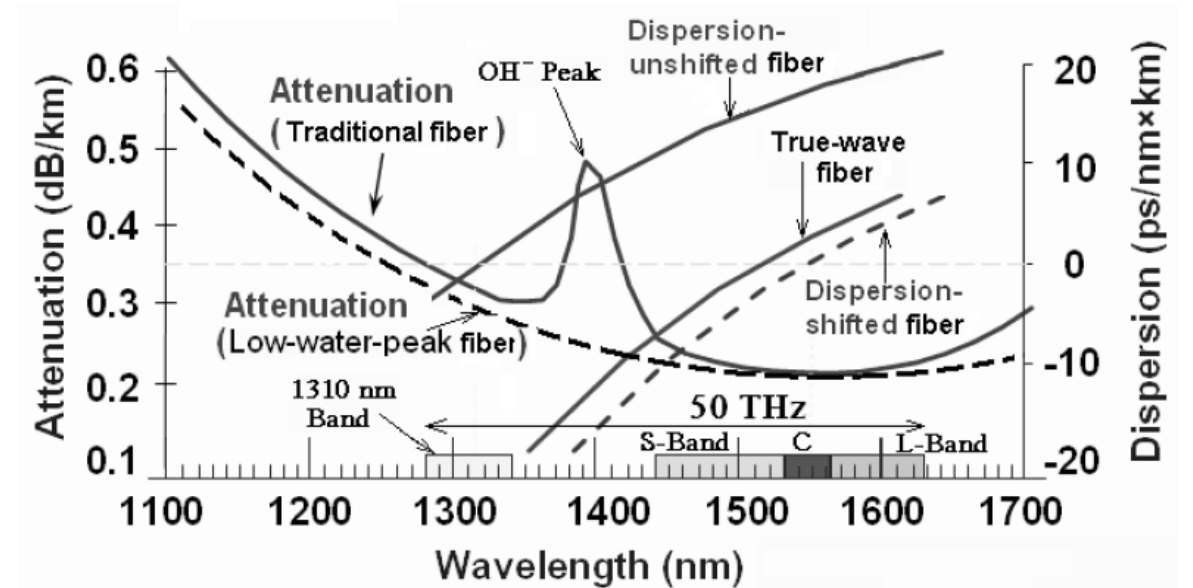
□ Kromatik Dağılım



Dağılma

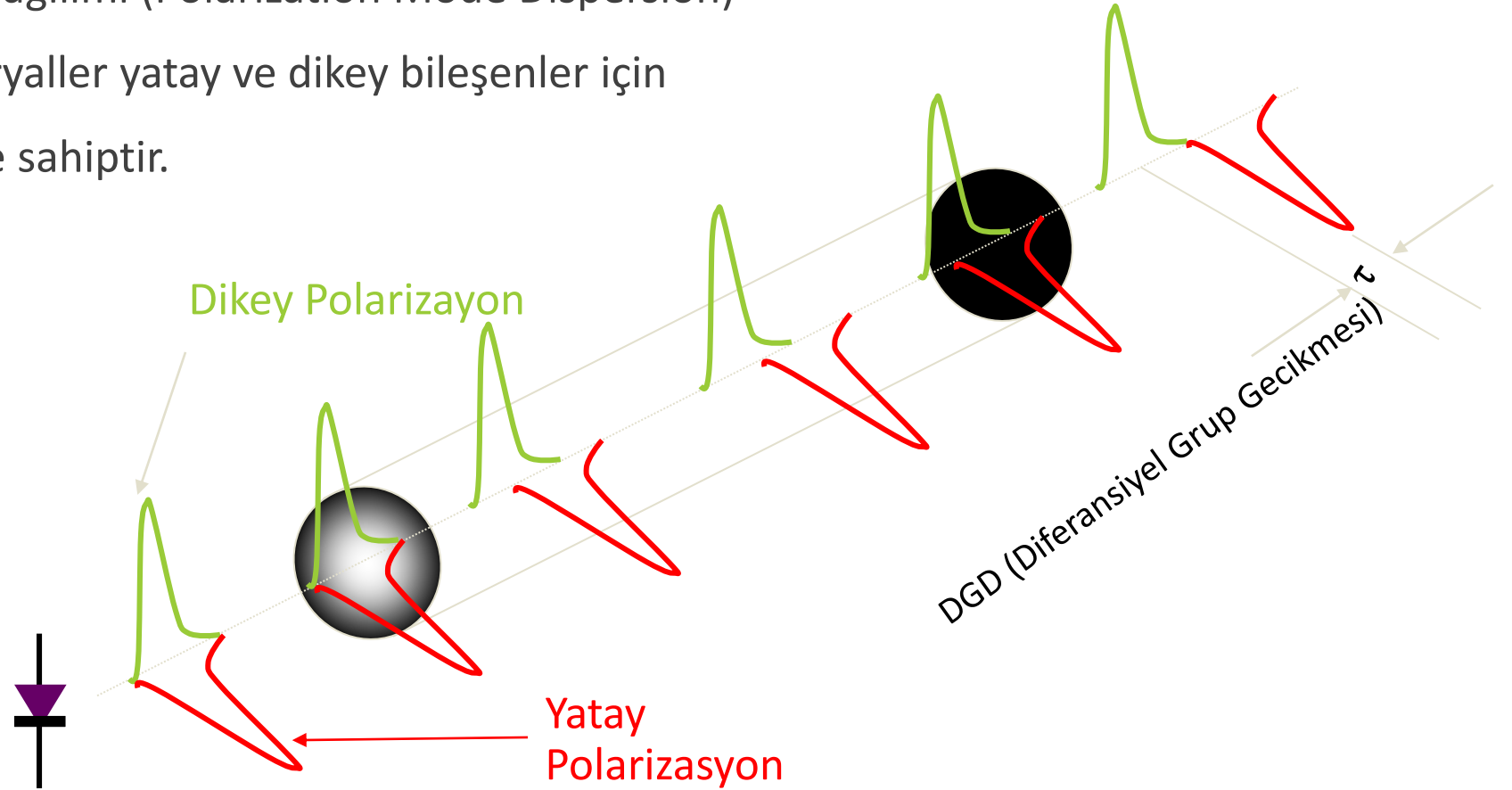
Fiber çeşitleri

- Dağılım –Kaydırılmamış Fiber
- Dağılım-Kaydırılmış Fiber
 - Belli bir dalgaboyunda sıfır dağılım
- Dağılım telafili Fiber
(Dispersion Compensated Fiber - DCF)
- Sıfırlanmamış dağılım-kaydırılmış fiber
(Non zero dispersion shifted fiber - NZDSF)



Dağılma

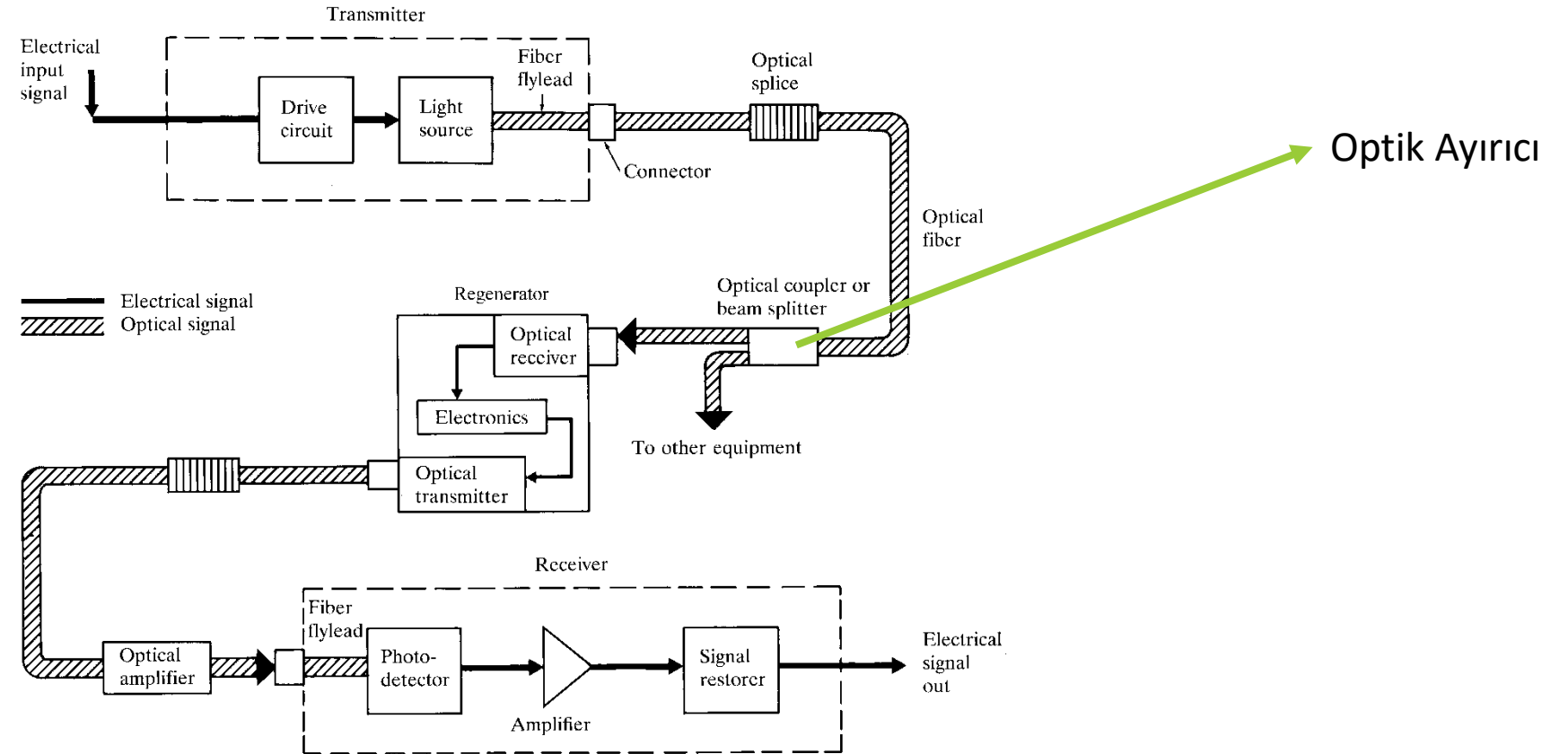
- Polarizasyon Mod Dağılımı (Polarization Mode Dispersion)
- Cam gibi bazı materyaller yatay ve dikey bileşenler için farklı yansıma indisine sahiptir.



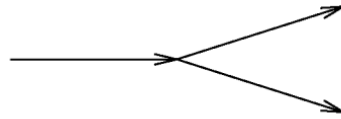
Fiberdeki doğrusal olmayan etkiler (Non-linearities in Fiber)

- ❑ Doğrusal olmayan yansıma (Non-linearrefraction)
- ❑ UyarılmışRamansaçılımı (StimulatedRamanScattering)
- ❑ UyarılmışBrillouinsaçılımı (StimulatedBrillouinScattering)
- ❑ 4-dalga karışımı (Four-wavemixing)

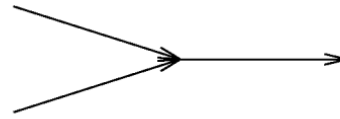
Fiber Optik Haberleşme



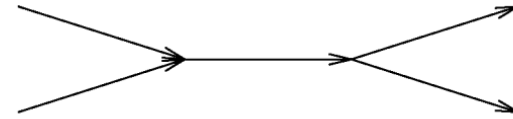
Ayırıcı, Birleştirici, Bağlaştırmacı (Splitter, Combiner, Coupler)



(a) splitter



(b) combiner



(c) coupler

❑ Kablo bağlantı tipi

❑ **Ayırıcı:** ayırma Oranı: Genelde iki port ayırıcı için güç kaybı (50:50) yarı-yarıya

❑ **Birleştiriciye** gelen bir giriş sinyali 3dB'lik bir güç kaybı yaşar. Bütün sinyaller çıkış düğümlerine iletilir

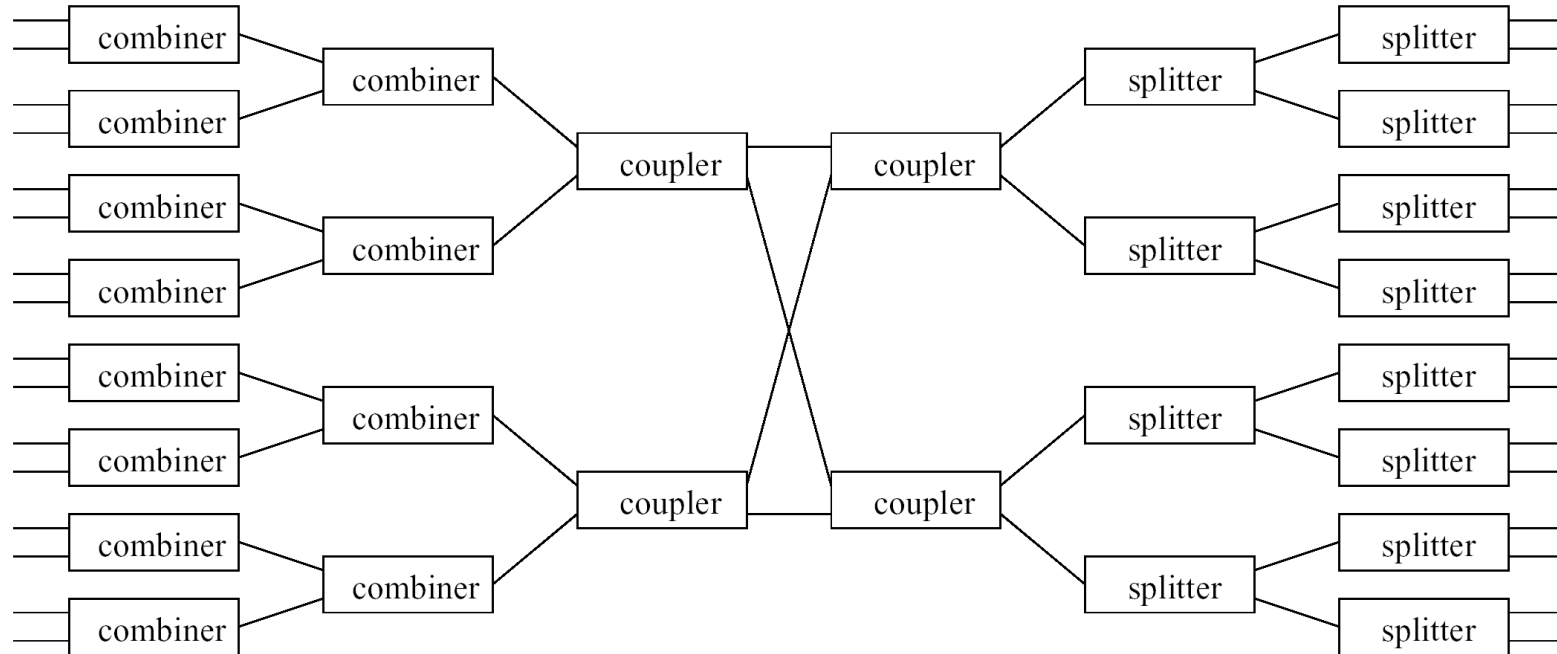
❑ Geri dönüş kaybı: Birleştirici girişlerine gücün bir kısmı geri yansır (40-50dB'in altında)

❑ Giriş Kaybı: Kusurlu hizalama

❑ **Bağlaştırmacı:** gelen sinyali tüm kanallara dağıtır

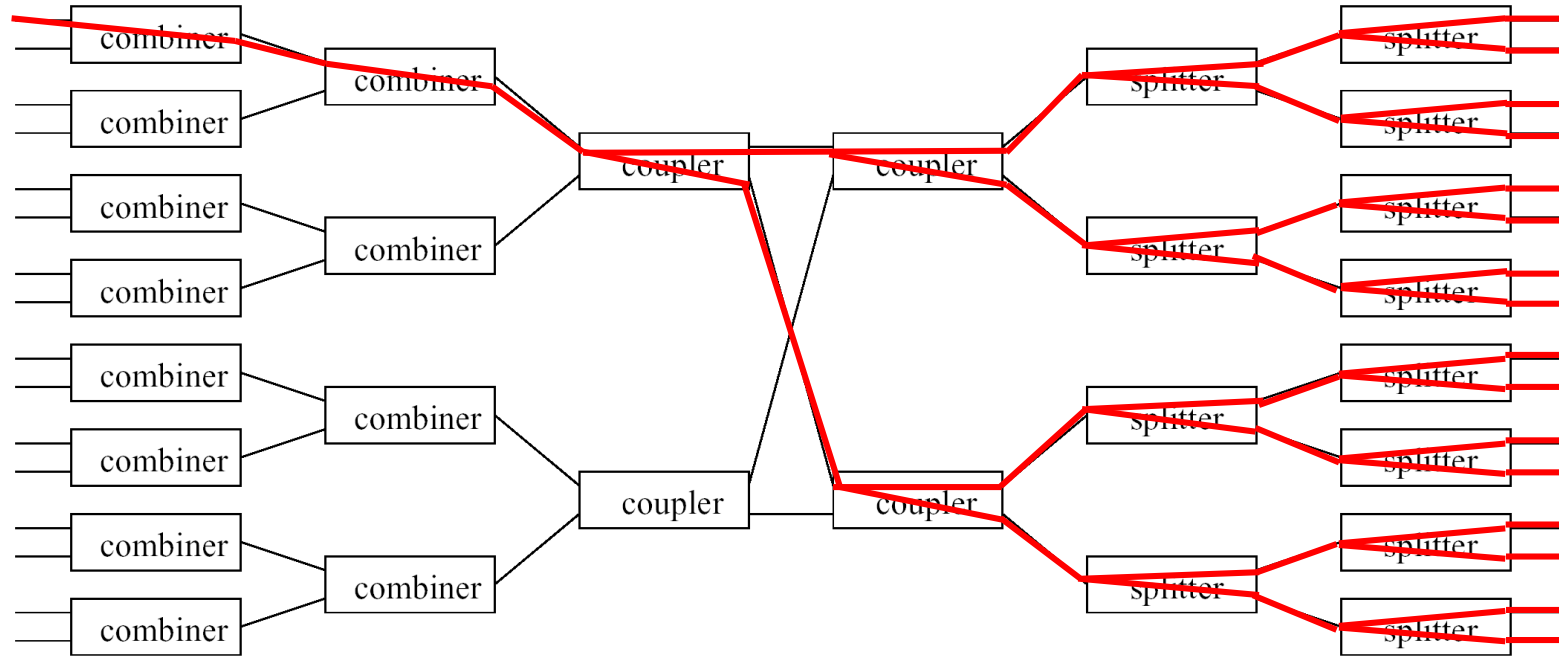
Pasif Yıldız Bağlaştırıcı

Passive Star Coupler



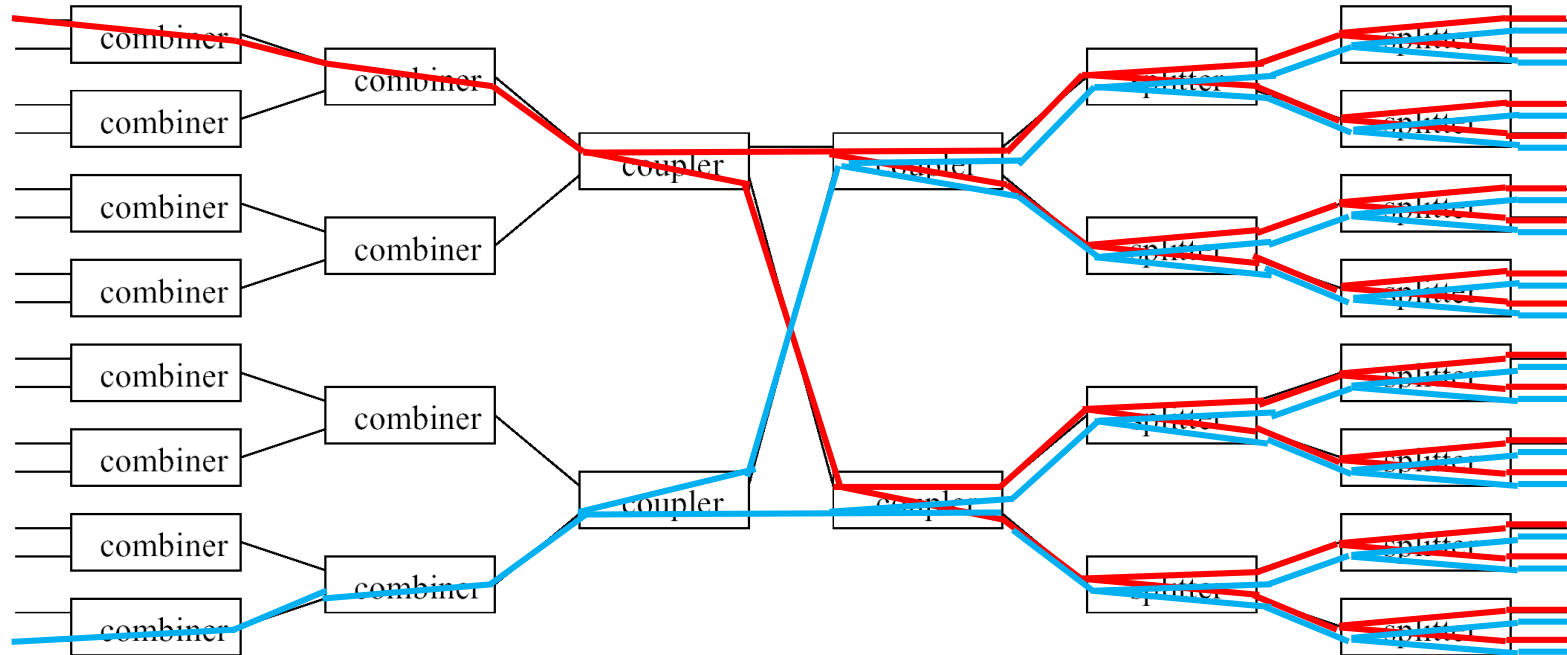
Pasif Yıldız Bağlaştırıcı

Passive Star Coupler



Pasif Yıldız Bağlaştırıcı

Passive Star Coupler



Bağlaştırıcı / Couplers



1x2 coupler



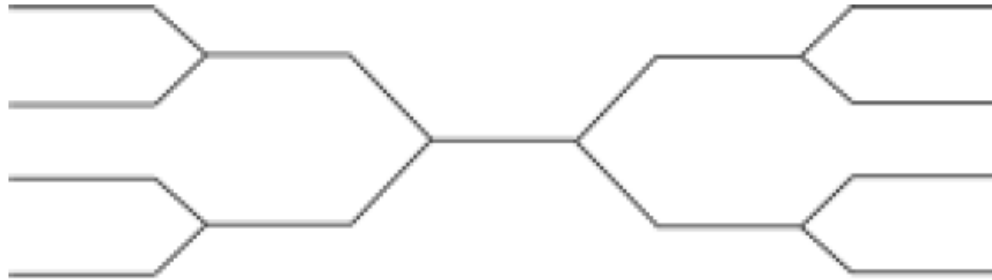
6x6 coupler

Örnek Soru

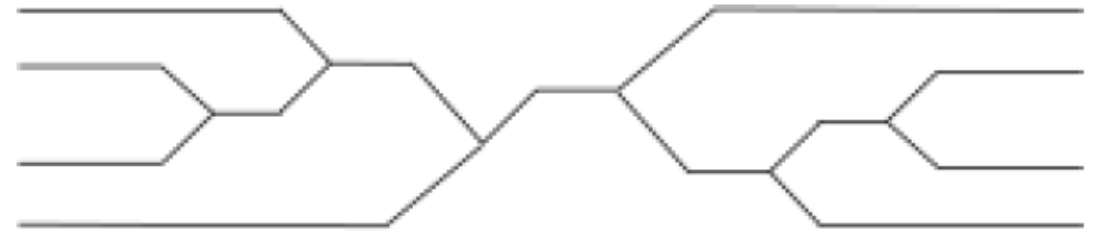
Aşağıda iki farklı 4x4 pasif yıldız dizaynı (homojen ve heterojen) görülmektedir.

Birleştiricilere gelen sinyallerinin her birinin 3dB güç kaybettiğini, ayırıcıların ise girişe gelen gücü yarı yarıya böldüklerini varsayın.

Bu durumda her bir dizayn için girişlerden birine 10mW'lık sinyal geldiğini varsayın.



Homojen Dizayn



Heterojen Dizayn

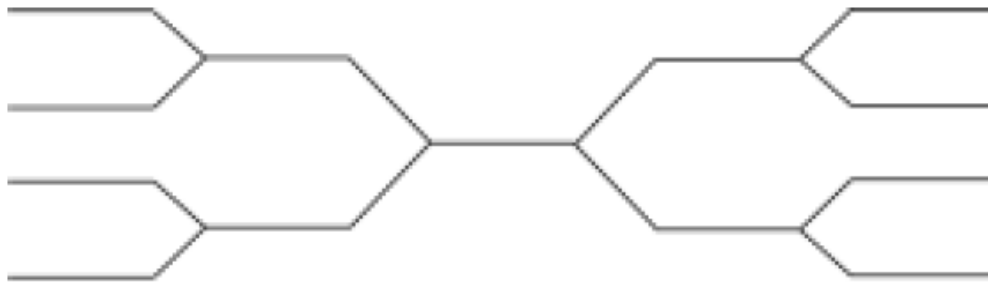
Örnek Soru

a) İki dizayn için de bu sinyalin 1. girişten geldiğini varsayın ve 1. çıkıştaki gücü hesaplayın. Çıkış gücünün giriş gücüne oranı dB cinsinden nedir?

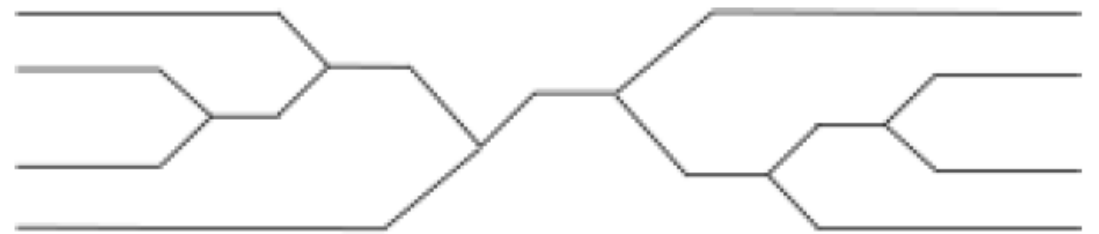
b) Homojen dizayn için tüm çıkış gücü / giriş gücü oranlarını hesaplayıp ortalamalarını bulun.

Not: Sinyal herhangi bir girişten geliyor olabilir.

c) (b) çıkısını heterojen dizayn için tekrarlayın ve elde ettiğiniz sonuca göre hangi dizaynı tercih ettiğinizi belirtin.



Homojen Dizayn



Heterojen Dizayn

Cevap

a) Homojen dizayn için: 1. Girişten giren 10 mW (yani 10 dBm) gücündeki sinyal orta noktaya gelene kadar iki birleştiriciden geçer ve $10\text{dBm} - 3\text{dBm} - 3\text{dBm} = 4\text{dBm}$ 'e, yani yaklaşık 2,5mW'a düşer.

Daha sonra her ayırıcıda güç yarıya düşer. Çıkışa kadar iki ayırıcıdan geçtiği için çıkıştaki güç 0,625 mW olur. Çıkış giriş oranı: $0,625\text{mW} / 10\text{mW} = 0,0625$, yani $10\log(0,0625) = -12,04$ dB.

Heterojen dizayn için 1. Girişe gelen 10 dBm gücündeki sinyal 2 birleştiriciden geçerek orta noktaya gelir ve gücü 4 dBm'e, yani yaklaşık 2,5 mW'a düşer.

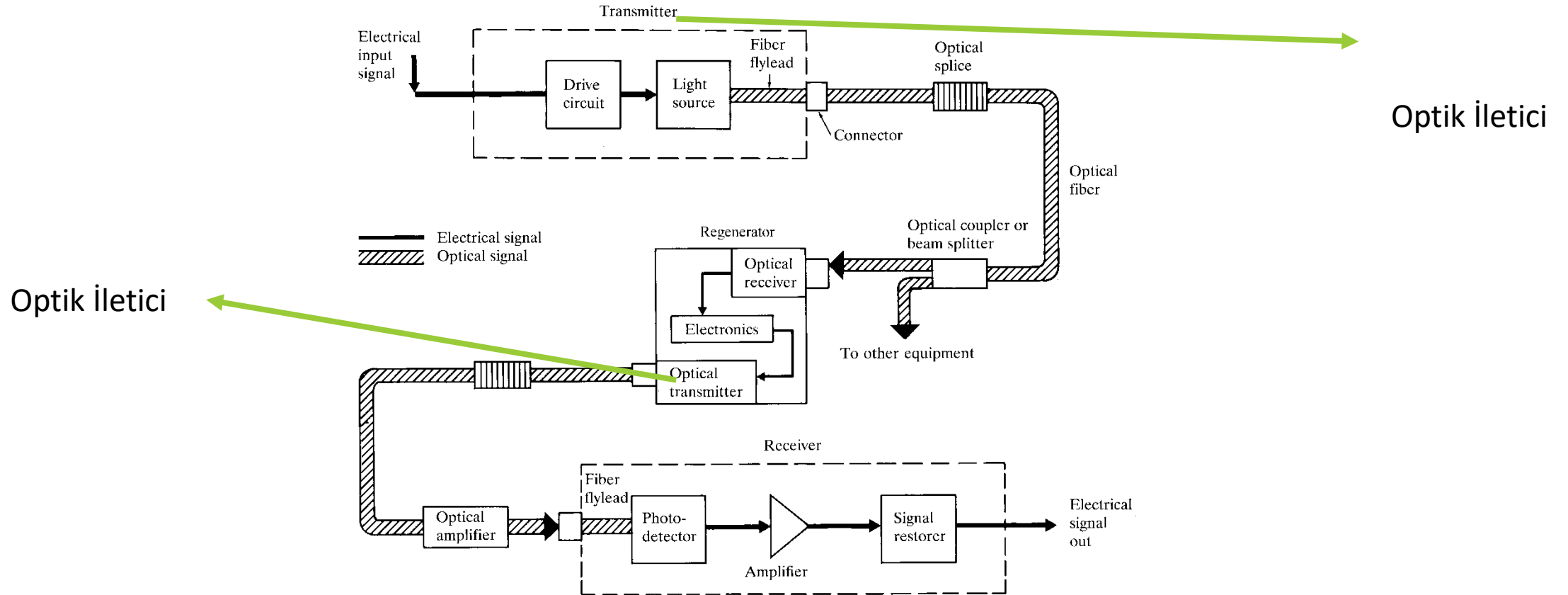
Daha sonra sadece bir ayırıcıdan geçerek 1. Çıkıştaki güç 1,25mW olur.

Çıkış giriş oranı: $1,25\text{mW} / 10\text{mW} = 0,125$, yani $10\log(0,125) = -9,0307$ dB.

b) Homojen dizayn için tüm giriş çıkış oranları eşit olacağında ortalaması 0,0625 olacaktır.

c) ?

Fiber Optik Haberleşme



Optik Verici/İletici: Lazer

- ❑ **LASER:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Uyarılmış Işıma ile Işık Yükseltici)
- ❑ Lazerler, fotonları uyumlu (aynı frekans, aynı yayılım yönü ve aynı faz) bir hüzme (ışın) şeklinde oluşturan optik kaynaklardır.
- ❑ Elektronların yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçişi ile bir ışık fotonu açığa çıkarır. ($E_3 - E_2 = h\nu$)
- ❑ Eğer elektron salınımı kendiliğinden yaparsa salınan fotonun yönü tamamen rastgeledir. Ancak eğer E_3 düzeyindeki elektron $E_3 - E_2$ enerjisindeki başka bir fotonla etkileşerek E_2 düzeyine inerse bu şekilde salınan fotonun yönü ve fazı geçişe etki eden fotonla aynı olacaktır. Bu ikinci geçiş biçimine **uyarılmış ışıma** (stimulated emission) denir.

Optik Verici/İletici: Lazer

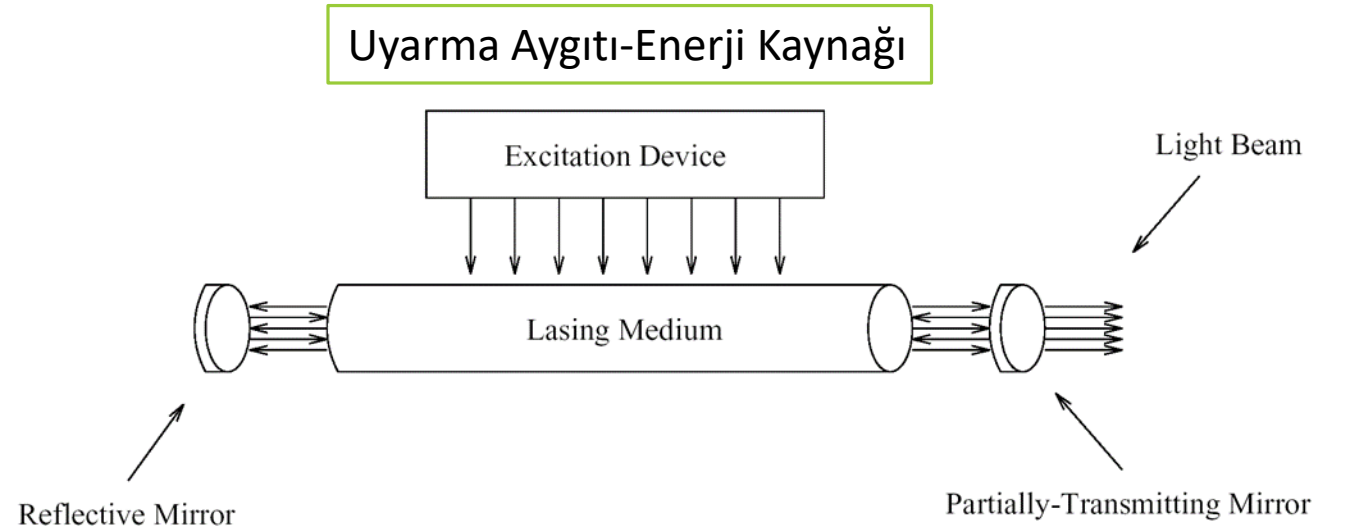
Bileşenler ; 1-) Enerji kaynağı (Uyarma elemanı)

2-)Gain medium (Kazancın sağlandığı ortam)

3-)Yansıtıcı

4-) Çıkış bağlayıcısı (output coupler), yarı-geçirgen

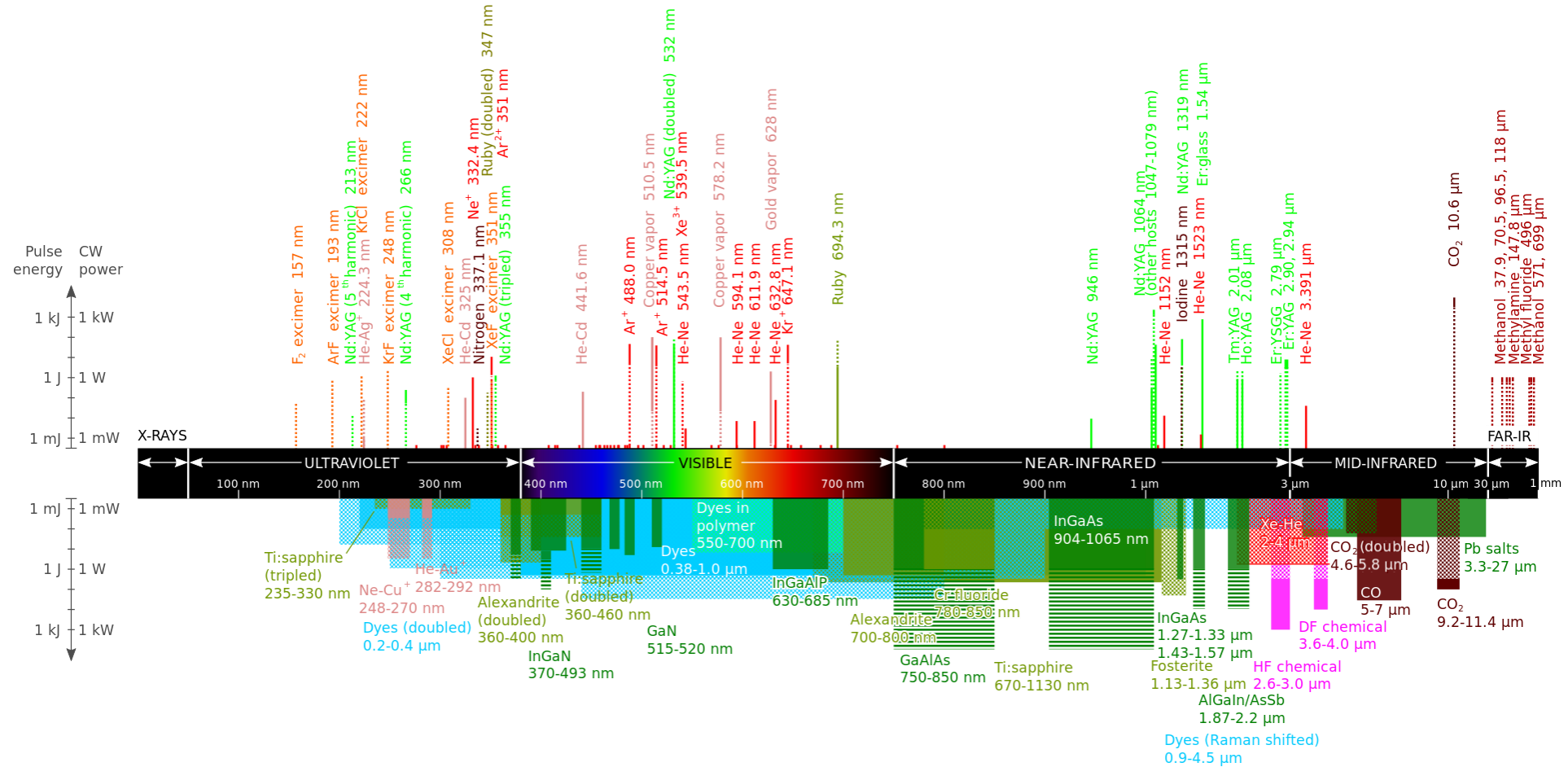
5-)Light Beam: Işık hüzmesi



Lazer Tipleri

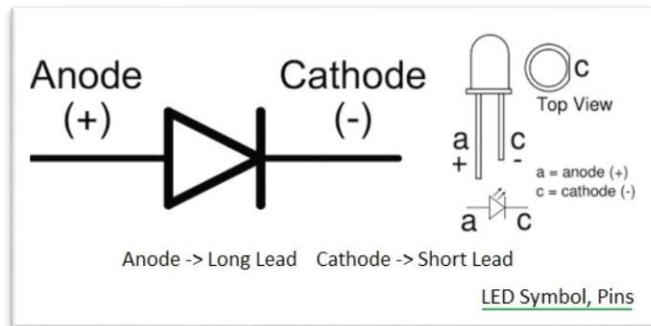
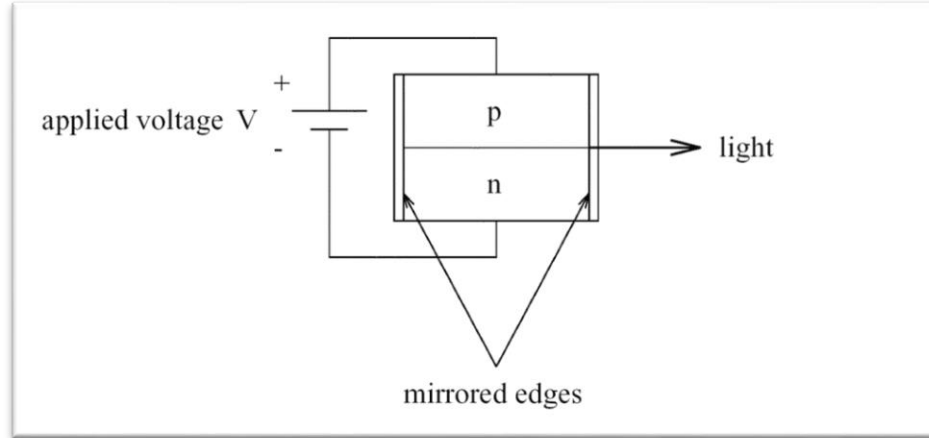
- ❑ Solid-state lasers (Katı-Hal lazerleri): Yakut vb katı haldeki elementler lazerleme ortamı olarak kullanılır.
 - ❑ Gas lasers (Gas Lazerleri): Helyum-neon (görünür kırmızı ışık yayar) vb..
 - ❑ Sıvı // Dye lasers (Boya lazerleri): Organik boyalar ile.. Organik çözücü içindeki organik boyanın seyreltik bir çözeltisidir. Mor ve kızıl ötesine yakın lazerler elde edilir.
 - ❑ Semiconductor lasers (Yarı-iletken lazerler): Yarı-iletken özelliğe sahip malzemeler ile gerçekleştirilebilir
- *Binlerce çeşit lazer tipi var...

Lazer Tipleri



Yarı-iletken diyot lazer ve LEDs

- Yarı-iletken diyot lazer (Semi-conductor Diode Laser): Gerilim uygulandığında , elektronların p-n arasında geçiş yapması sonucunda ışık ortaya çıkar



CHARACTERISTIC	LED	LASER DIODE
Cost	Low	High
Data rate	Low	High
Distance	Short	Long
Fibre type	Multimode fibre	Multimode and single mode fibre
Lifetime	High	Low
Temperature sensitivity	Minor	Significant

Yarı İletken

- ❑ Yarı iletken, üzerine yapılan mekanik işin etkisiyle iletken özelliği kazanabilen, 'NŞA'da yalıtkan olan maddelerdir.
- ❑ Normal durumda yalıtkan olan bu maddeler ısı, ışık, manyetik etki ve ya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında bir miktar değerlik elektronlarını serbest hale geçirerek iletken duruma gelirler.
- ❑ Yarı iletkenler germanyum, silisyum, selenyum gibi elementler.
- ❑ Yarı iletken devre elemanları; Diyot, Zener Diyot, Transistör, Led diyot(Light Emitting Diode", Işık Yayan Diyot), Foto diyot(Işık algılayıcısı)

Lazer Karakteristikleri

- **Spektral çizgi genişliği:** lazer tarafından üretilen ışığın spektral genişliği; kanal aralığını (dalga boyu) ve dağılımı (dispersion) etkiler.
- **Frekans dengesizliği:** Lazerin çeşitli frekanslar oluşturmaları
- **Boylamsal modların sayısı:** Lazer yükseltebileceği dalga boyu sayısı ($n\lambda = 2L$).
(*L: lazerin boyu) Genelde tek dalga boyunu yükseltmesi arzu edilir.
- **Ayarlama (Tuning) aralığı:** Lazerin çalışabileceği dalga boyu aralığı (10 nm, 50nm etc.)
- **Ayarlama süre:** Lazere bir dalga boyundan diğerine geçerken ki gerekli olan minimum süre.
- **Ayarlanabilirlik (Tunability):** Aralıksız ayarlanabilme (Analog gibi) veya aralıklı ayarlanabilme (1550nm veya 1560nm gibi)

Lazer Sınıflandırması

- ❑ **Mekanik olarak ayarlanan lazerler:** İki ayna arasındaki mesafeyi değiştirir.
- ❑ **Akusto-optik veya Elektro-optik (saptırıcı) olarak ayarlanan lazerler:** İki ayna arasındaki boşluğun kırılma indisini akustik dalgalar veya elektrik akımı ile değiştirir.
- ❑ **Akım-enjekte-ayarlı lazerler:** Dalgaboyu seçimine bir kırılma ızgarası kullanarak izin verir. Kırılma ızgarası değişik periyotlarda kırılma indisinin farklı olmasıdır ve bir elektrik akımı ile değiştirilebilir.
- ❑ **Lazer Dizisi (Array):** Her biri farklı bir frekansta çalışan tek bir bileşene entegre edilmiş bir dizi lazer .

Lazer Tipleri

Ayarlanabilir Verici (Tunable Transmitter)	Yaklaşık ayarlama aralığı (Approx. Tuning Range)	Ayarlama Zamanı (Tuning Time)
Mekanik	500 nm	1 - 10 ms
Akusto-optik	83 nm	$\sim 10 \mu s$
Elektro-optik	7 nm	1-10 ns (tahmini)
Akım-enjekte	10 nm	1-10 ns