

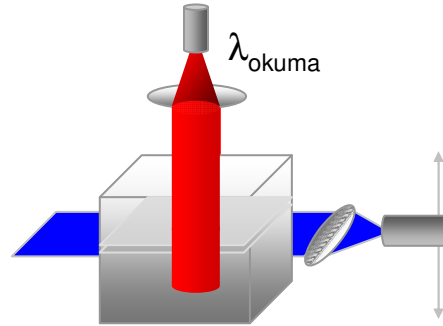
Optoelektronik

Doç. Dr. Hüseyin Sarı

Ankara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Fizik Mühendisliği Bölümü

1. Ders

Sunuş ve Motivasyon



Bu bölümü bitirdiğinizde,

- Bazı temel optoelektronik kavram ve tanımlar,
- Optoelektronik teknolojisine duyulan ihtiyaç,
- Işığın veri iletiminde, işlemede ve saklamada üstünlükleri

konularında bilgi sahibi olacaksınız.

Birinci Ders: İçerik

- Optoelektronik Teknolojisi-Motivasyon
- Tanımlar
 - Elektro-Optik
 - Optoelektronik
 - Fotonik
- Elektromanyetik Spektrum
- İletişim Teknolojisi
 - Modülasyon
 - Modülasyon Teknikleri
- Neden Işık?
 - Bant Genişliği
 - Veri Saklama
 - Veri İletimi
 - Optoelektronik Tümlşik Devreler
- Elektromanyetik Dalganın Özellikleri
- Dönemlik Ders İçeriği

Optoelektronik Teknolojisi: Motivasyon

Optoelektronik, iletişim sektörü başta olmak üzere hızla büyüyen ve her geçen gün hayatımızdaki önemi artan bir teknolojidir. Optoelektronikğin hayatımıza girerek yaşam şeklimizi değiştirdiği bazı uygulama alanları:

- **Günlük Hayatta**
 - » **Barkod okuyucular**
- **Eğlence Sektörü**
 - » **Manyetik kayıt ortamı → CD, VCD, DVD**
- **Savunma Sanayi**
 - » **Takip sistemleri, gece görüş cihazları**
- **İletişim Sektörü**
 - » **Bakır tel → Optik fiberler**
 - » **Modülatörler → Elektro-Optik modülatörler**
- **Sağlık Sektörü**
 - » **Neşter → lazer**
- **Bilimsel Araştırmalar**
 - » **Lazer ile soğutma (1 μ K)**

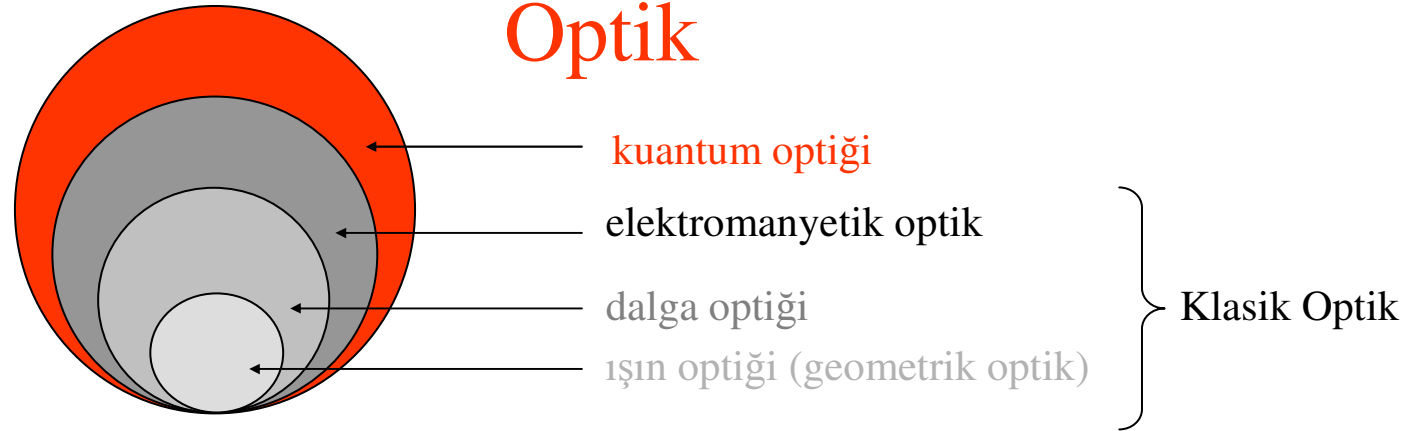
Tanımlar

Optoelektronik teknolojisinde yaygın olarak kullanılan bazı kavramlar vardır. Karşılaşılabilecek bazı kavramlar şunlardır:

- Optoelektronik
- Elektro-Optik
- Akusto-Optik
- Magneto-Optik
- Fotonik

Bu kavramlardan bazıları zaman zaman biri diğeri yerine ve yanlış olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde, fiziğin optik dalını alt sınıflara ayırıp her bir alt sınıfın uğraş alanını tanımladıktan sonra optoelektronikte kullanılan bazı kavramların tanımları verilecektir.

Optik



Işın Optiği (Geometrik Optik): Işığın herhangi bir ortamda ve ışığın dalgaboyundan büyük cisimlerle etkileşmesi sırasındaki davranışını basit geometrik kurallarla açıklayan optik bilim dalı (rn. yansıma, kırılma; ancak girişim ve kırınım olayını açıklayamaz!)

Dalga Optiği: Işığın birçok özelliğini skaler dalga kuramı ile açıklayan optik bilim dalı (rn. girişim, kırınım; ancak ışığın kutupluluk özelliğini ve ara yüzeydeki davranışını açıklayamaz!)

Elektromanyetik Optik: Işığın davranışını elektrik ve manyetik alan vektörleri ile açıklayan optik bilim dalı (rn. kutuplanma; ancak fotoelektrik etkiyi açıklayamaz!)

Kuantum Optiği: Işığın kesikli (kuantum) doğasını da dikkate alarak madde ile etkileşmesini konu edinen optik bilim dalı (rn. fotoelektrik etki)

Bunların dışında karşılaşılabilecek diğer optik başlıklar ise:

- » *Paraksiyel Optik*
- » *Demet Optiği*
- » *Fourier Optiği*
- » *Matris Optiği*

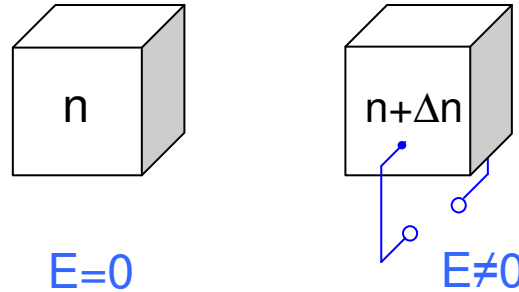
Tanımlar-1: Elektro-Optik

Elektro-Optik (Electro-Optics)

Elektrik alan uygulanarak malzemelerin optik bazı özelliklerinin değiştirilmesi elektrooptik; bu etkiyi kullanarak üretilen teknoloji de elektrooptik teknolojisidir.

Örneğin sıvı kristaller (gerilim altında polarizasyon etkisini değiştiren kristaller) elektro-optik ilkeye göre çalışan bileşenlerdir.

Ancak bir yarıiletken lazeri bu kategoriye koyamayız!



Bir malzemenin optik özelliği (kırılma indisi, n) uygulanan dış elektrik alan ile değişikliğe uğrayabilir. Bu etki Elektro-Optik etki olarak tanımlanır.

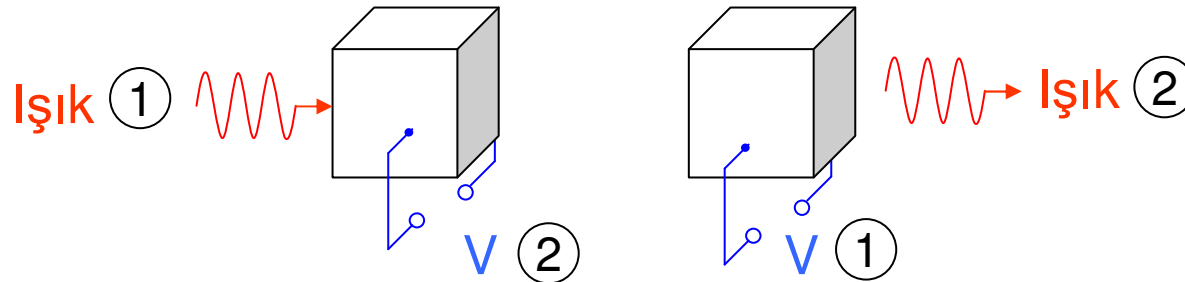
Tanımlar-2: Optoelektronik

Optoelektronik (Optoelectronics)

Optoelektronik (OE), ışıkla etkileşen elektronik aygıtları inceleyen ve bu aygıtların pratiğe uygulanmasını konu alan bilim dalıdır. Bu tanımda kastedilen ışık, elektromanyetik dalga spektrumunun görünür bölge de dahil olmak üzere, kızılaltı ve morötesi bölgesini kapsamaktadır.

Alternatif bir tanım ise; elektrik enerjisini ışık enerjisine (elektron \rightarrow foton) veya ışık enerjisini elektrik enerjisine (foton \rightarrow elektron) dönüştürme işlevini konu alan, aygıtların tasarım, üretim ve testlerini yapan bilim dalıdır.

Örneğin, optik mikroskop veya dürbün optoelektronik konusuna değildir! Elektron-foton veya foton-elektron dönüşümüne dayanan yarıiletken lazerler, ışık yayan diyotlar (LED), CCD (Charge Coupled Device), foton dedektörleri optoelektronik özellik gösteren aygıtlar olup bu aletlerin incelenmesi ve geliştirilmesi optoelektronik konusudur.



Tanımlar-3: Fotonik

- Fotonik (Photonics)

Morötesi ve kızılaltı bölgeler arasındaki dalgalı boylarındaki ışığı kapsayan elektronik teknolojisine verilen isimdir. *Optoelektronik ile eş anlamlı kullanılmaktadır.*

Fotonik, isim olarak, iletimin elektronlarla gerçekleştirildiği elektronik teknolojisinin fotonlarla (ışık ile) gerçekleştirildiği teknolojiye benzetilmesidir.

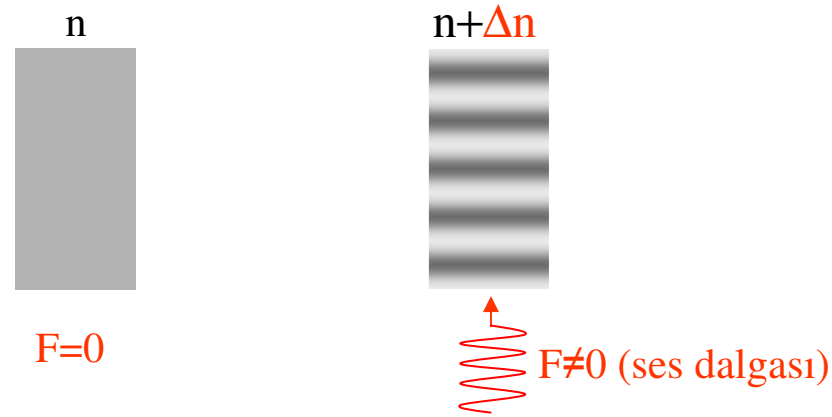
Elektron-ik: elektrik yüklerinin (boşlukta ve madde ortamında) kontrolü.

Foton-ik: fotonun (boşlukta ve madde ortamında) kontrolü.

Tanımlar-4: Diğer Tanımlar

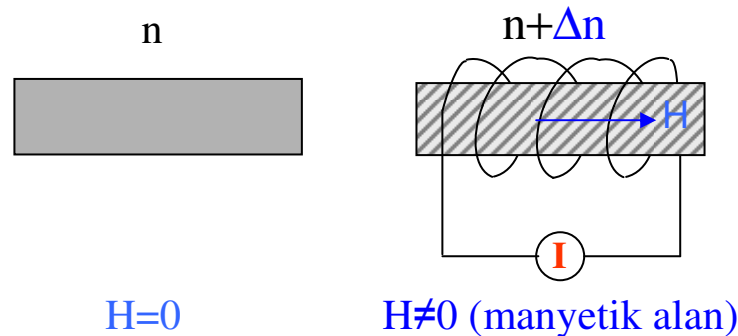
- **Akusto-Optik (Acousto-Optics)**

Maddenin optik özelliklerinin ses dalgası (mekanik) ile değiştirilmesi esasına dayanan bilim dalıdır.



- **Magneto-Optik (Magneto-Optics)**

Maddenin optik özelliklerinin manyetik alan ile değiştirilmesi esasına dayanan bilim dalıdır.



Tanımlar-5: Optoelektronik ve X-Optik

- Optoelektronik (Fotonik)

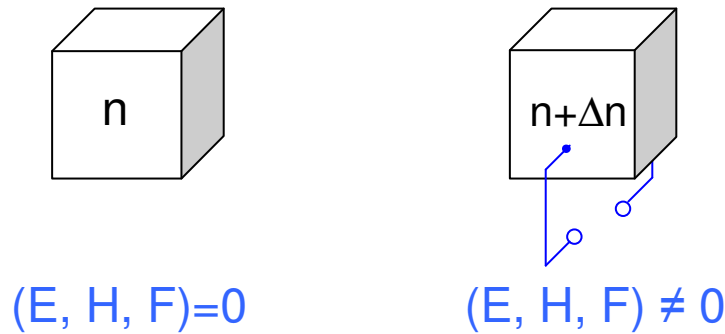
Optik enerjiyi elektronik enerjiye, elektronik enerjiyi optik enerjiye dönüştürme



(Örnek: lazerler, dedektörler, güneş pilleri vb.)

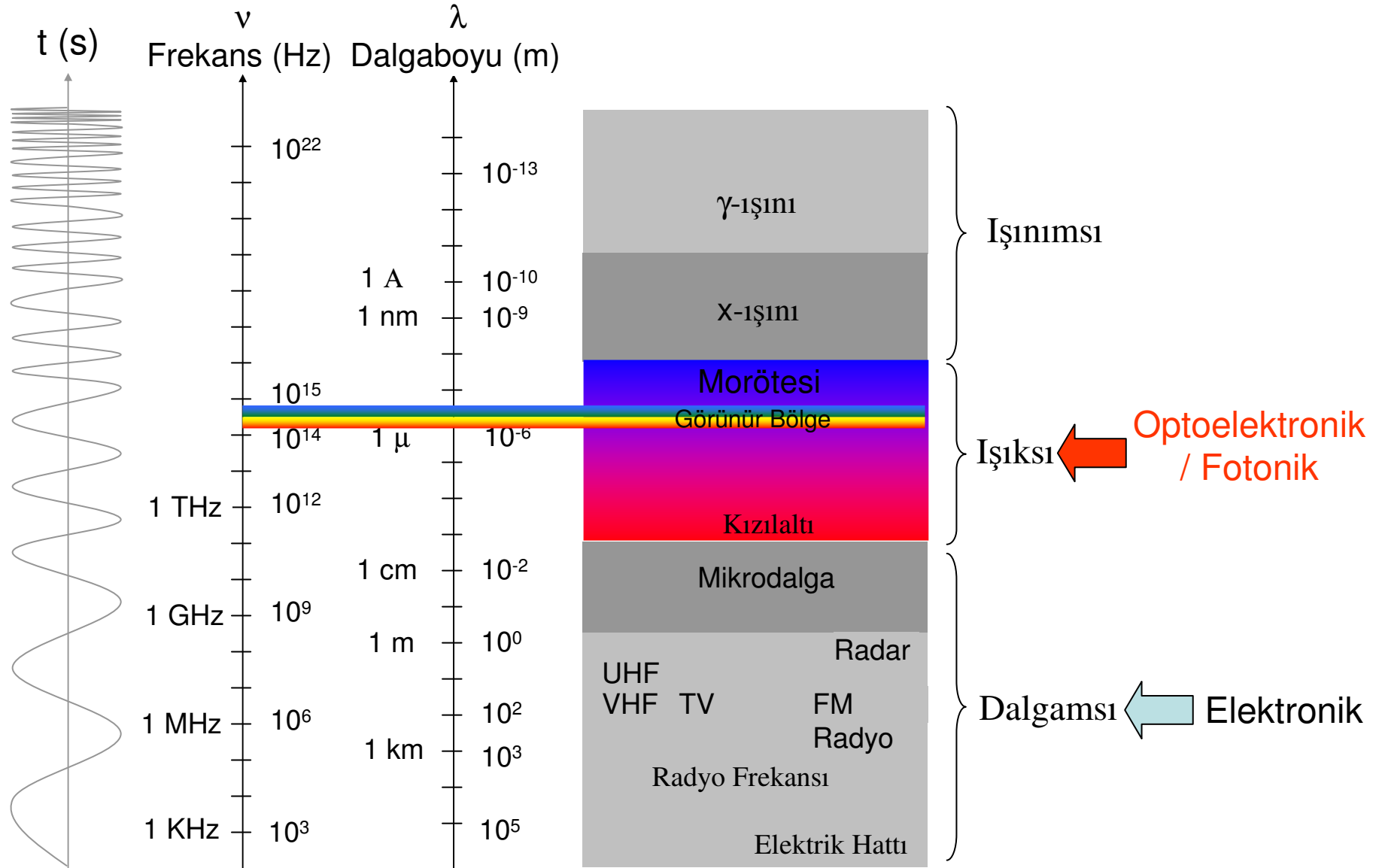
- X-Optik [X≡Elektrik (E), Manyetik (H) veya Akustik (F)]

Dış etkilerle maddenin optik parametrelerini değiştirme



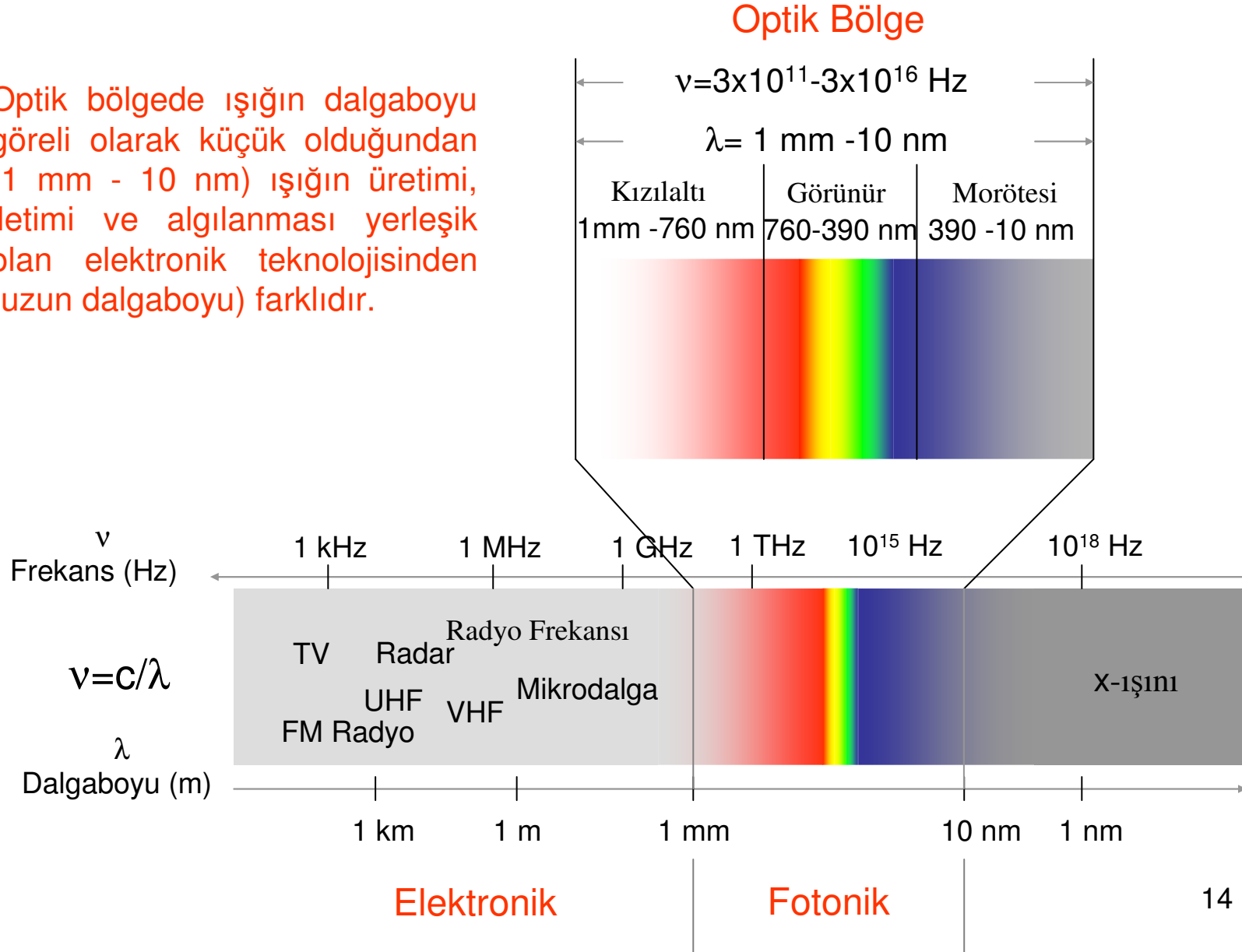
(Örnek: sıvı kristaller, dalga plakaları vb.)

Elektromanyetik Spektrum



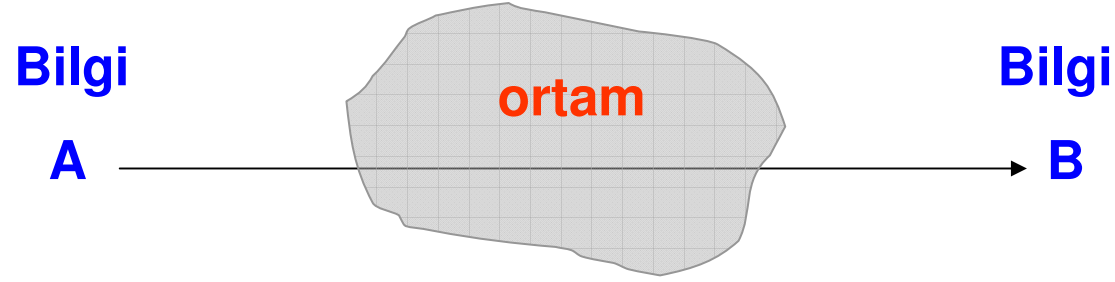
Optik Bölge-Optoelektronik Teknolojisi

Optik bölgede ışığın dalgaboyu görece olarak küçük olduğundan (1 mm - 10 nm) ışığın üretimi, iletimi ve algılanması yerleşik olan elektronik teknolojilerden (uzun dalgaboyu) farklıdır.



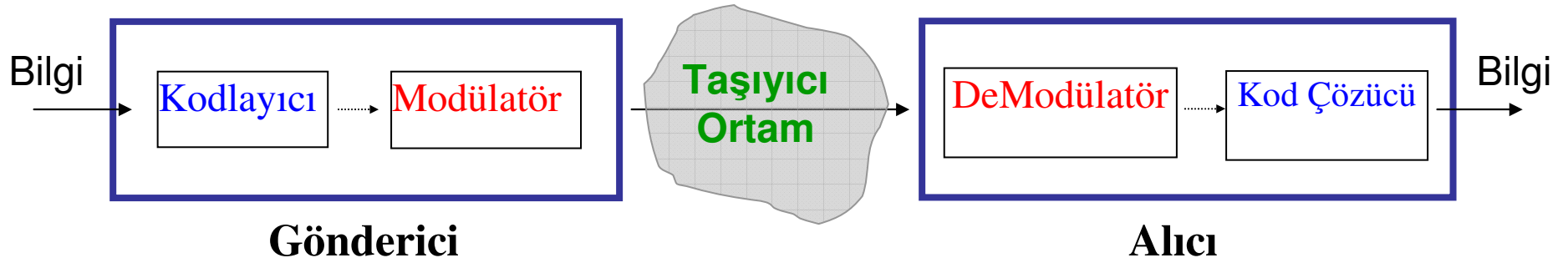
İletişim Teknolojisi-1

- İletişim, A noktasındaki bir bilginin (sayısal, analog) başka bir B noktasına taşınmasıdır. Taşıma işleminde mesafeler cm (elektronik yongalar) mertebesinde binlerce km'ye kadar (kıtalararası iletişim) uzanabilir.



- Bilgi taşınırken yapılması gereken, bilgiyi ortam koşullarından etkilenmeden en doğru bir şekilde (kayıpsız) iletmektir. Bunun için bilgi, farklı işlemlerden geçirilerek değişik sinyal formuna dönüştürülür (modüle edilir).

İletişim Teknolojisi-2

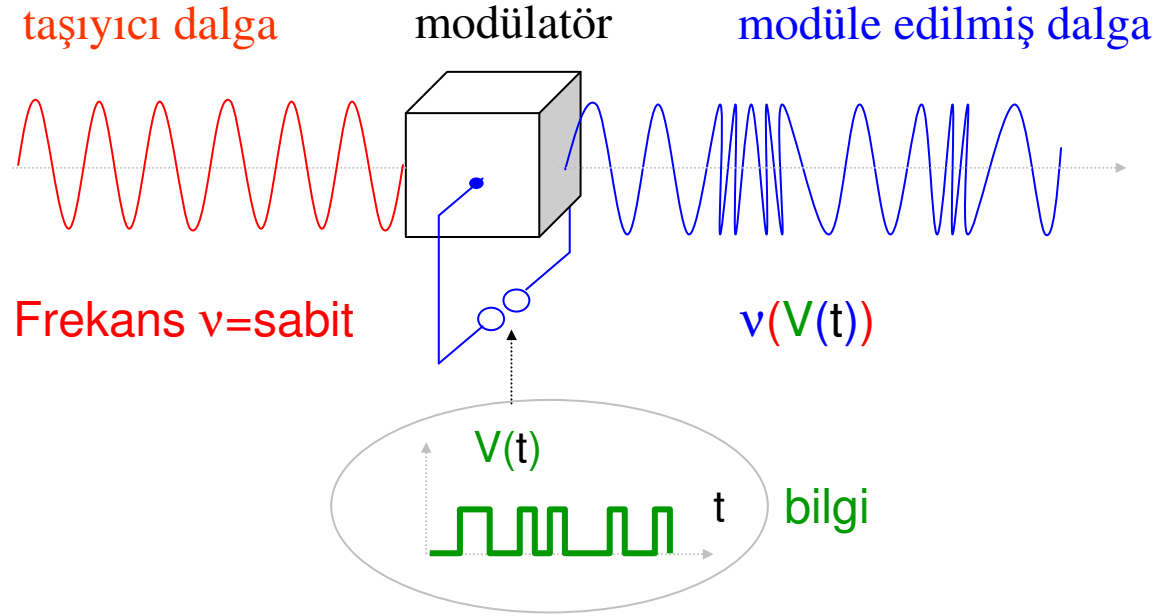


- İletilecek bilgi (sayısal veya analog olabilir) öncelikle bir kodlama işlemine tabi tutulur.
- Kodlanan bilgi daha sonra bu bilgiyi uzak mesafelere kadar taşıyacak olan periyodik bir sinyalin (taşıyıcı dalga) üzerine bindirilerek (modülasyon) taşıyıcı ortam boyunca (örneğin boş uzay, fiber kablo) iletimi sağlanır.
- Taşıyıcı ortam boyunca iletilen (bilgiyi içeren) sinyal uygun alıcı tarafından algılanır (anten, ışık dedektörü).
- Algılanan sinyal, bindirme işleminin tersi bir işlemle (demodülasyon) bilgi ve taşıyıcı sinyale ayrıştırılır.
- Kodlanmış bilgi çözülür.
- Bu aşamalar neredeyse her türlü iletişim teknolojisinde (dumanla haberleşmede, telgraf, RF, optik vs) için aynıdır.

Modülasyon

Modülasyon (iletişimde), bir dalganın değişik parametrelerini (örneğin genlik, frekans, faz gibi) kontrollü olarak (bilgi ile orantılı) değiştirerek bilgi yükleme işlemine denir.

Zayıf olan bilgi sinyalinin uzak mesafelere iletilmesi, güçlü olan bir taşıyıcı dalganın belli parametrelerini bilgi sinyali ile orantılı olarak değiştirilip (modülasyon) gönderilmesi ile mümkündür.



Örnek olarak, yukarıda verilen modülasyon şemasında, sabit parametreleri olan (frekans, genlik ve faz) güçlü bir taşıyıcı dalganın diğer parametreleri sabit tutularak sadece frekansı bilgi sinyali ile orantılı olarak değiştirilmiştir. Bu sayede bilgi, üstüne bilgi bindirilmiş güçlü sinyal aracılığı ile uzun mesafelere ortam şartlarından etkilenmeden iletilebilmektedir.

Modülasyon Teknikleri-1

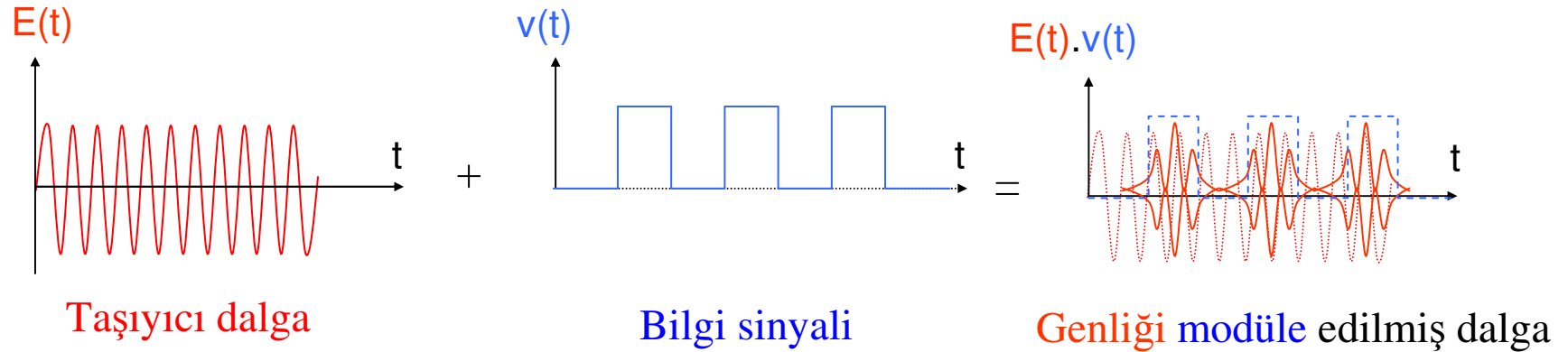
Taşıyıcı dalganın hangi parametresi bilgi sinyali ile orantılı olarak değiştiriliyorsa modülasyon işlemine farklı isimler verilir. Modülasyon işlemi eğer dalganın;

- Genliği değiştirilerek yapılıyor ise *Genlik Modülasyonu* (Amplitude Modulation-AM),
- Frekansı değiştirilerek yapılıyor ise *Frekans Modülasyonu* (Frequency Modulation-FM),
- Faz açısı değiştirilerek yapılıyor ise *Faz Modülasyonu* (Phase Modulation-PM) denir.

Modülasyon Teknikleri-2

Genlik Modülasyonu (AM)

Taşıyıcı dalganın genliği bilgi sinyali ile orantılı olarak değiştirilerek oluşturulan modülasyon tekniğidir.

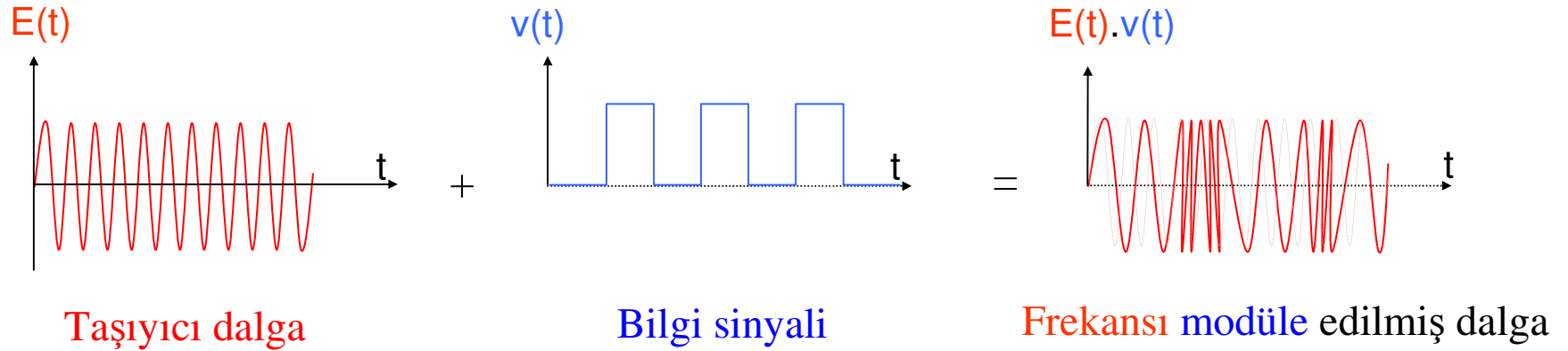


- Bant aralığı daha az,
- Sinyal/gürültü oranı FM modülasyonuna göre daha küçüktür.

Modülasyon Teknikleri-3

Frekans Modülasyonu (FM)

Taşıyıcı dalganın frekansı bilgi sinyali ile orantılı olarak değiştirilerek oluşturulan modülasyon tekniğine denir.

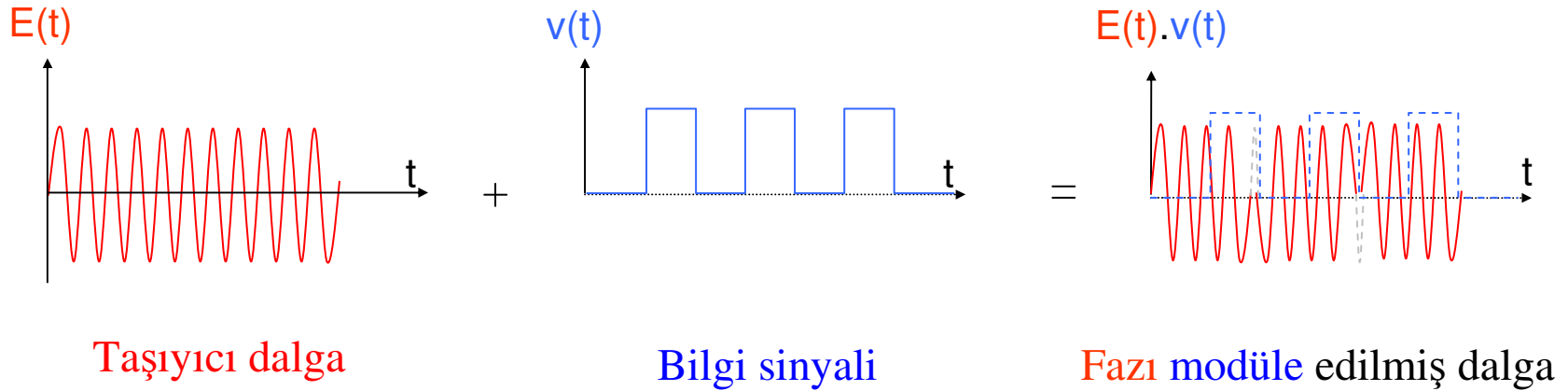


- Bant aralığı daha fazla,
- Sinyal/Gürültü oranı AM modülasyonuna göre daha büyüktür.

Modulasyon Teknikleri-4

Faz Modülasyonu (PM)

Taşıyıcı dalganın fazı bilgi sinyali ile orantılı olarak değiştirilerek oluşturulan modülasyon tekniğine denir.



Neden Işık ?

Başta iletişim olmak üzere günümüz teknolojisinde kullanılan elektromanyetik bölge (RF, Mikrodalga) artan veri transferi talebini karşılayamamakta (özellikle internetin günlük hayatımızda daha da fazla girmesi ile) ve gerek bilgi işlemede gerekse iletmede doyuma ulaşmıştır. Bu teknolojik çıkmazdan, daha yüksek frekanslara sahip elektromanyetik dalgalar (ışık) kullanarak çıkmak mümkündür. Bu anlamda ışık dalgasının elektronik teknolojisine nazaran sunduğu bir çok sayısız üstünlükleri vardır:

– Sinyal Kalitesi

Lazerlerle (tek renkli ışık) birlikte sinyalin bozulmadan ve parazit etkilerden etkilenmeden optik fiberler içersinde uzun mesafeler boyunca iletilmesi mümkündür.

– Güvenli ve Ucuz Bilgi İletimi

Işık sayesinde bilgi daha güvenli ve ucuz iletilebilir. Optik fiberlerde ışık uzun mesafeler boyunca, az kayıpla ve güvenli olarak iletilebilmektedir.

– Yüksek Bant Genişliği

Optik fiber içinden ışık (yüksek frekans, 10^{14} Hz) ile, iletimin elektronlarla yapıldığı metal tellere göre birim zamanda çok daha fazla bilgi iletilebilir. Optik fiberler, yaklaşık GHz mertebesinde (yüksek bant aralığı) bilgi taşıma kapasitesine sahiptirler; Optik fiberler, metalik telefon hatlarına göre 100 milyon kez daha fazla bilgi taşıyabilmektedirler.

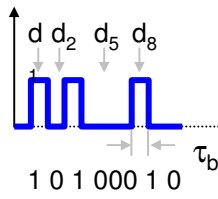
Tipik bir televizyon kanalının frekansının 4 MHz olduğunu düşünürsek, optik dalgalarla yaklaşık 75 milyon TV kanalı iletilebilir

Neden Işık?: Bant Genişliği

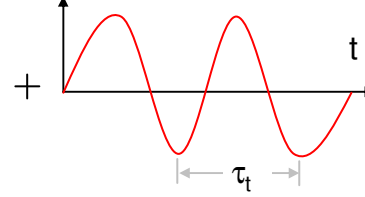
TV yayınlarını düşük frekanslı (RF) bir taşıyıcı dalga (kHz) ile göndermek sıkıntı yaratır. Çünkü TV yayınında radyo yayınına (ses) ek olarak görüntü bilgisi de olduğundan birim zamanda iletilecek bilgi radyo yayınına göre çok daha fazladır.

Taşıyıcı dalganın (a) frekansı ($1/\tau_t$) düşük olduğu için taşıyıcı dalga bilgi sinyalini (0 veya 1 bit) ($\tau_t \gg \tau_b$) modüle edecek yeterli sıklıkta titreşim yapamamaktadır!

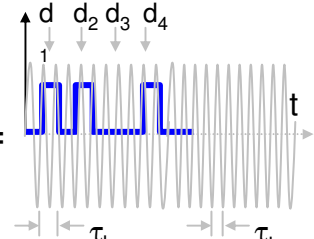
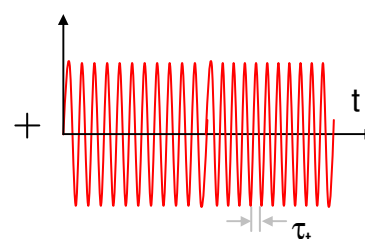
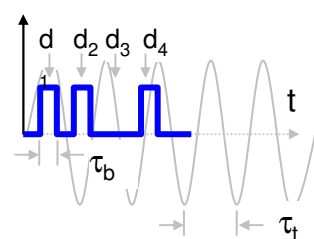
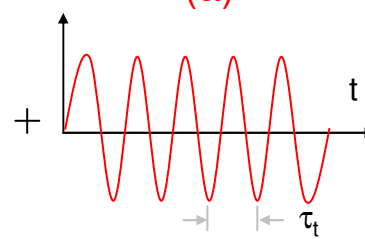
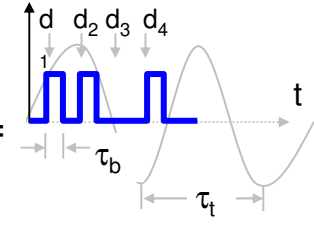
bilgi sinyali



Farklı frekanstaki ($1/\tau_t$) taşıyıcı dalgalar



Modüle edilmiş sinyal

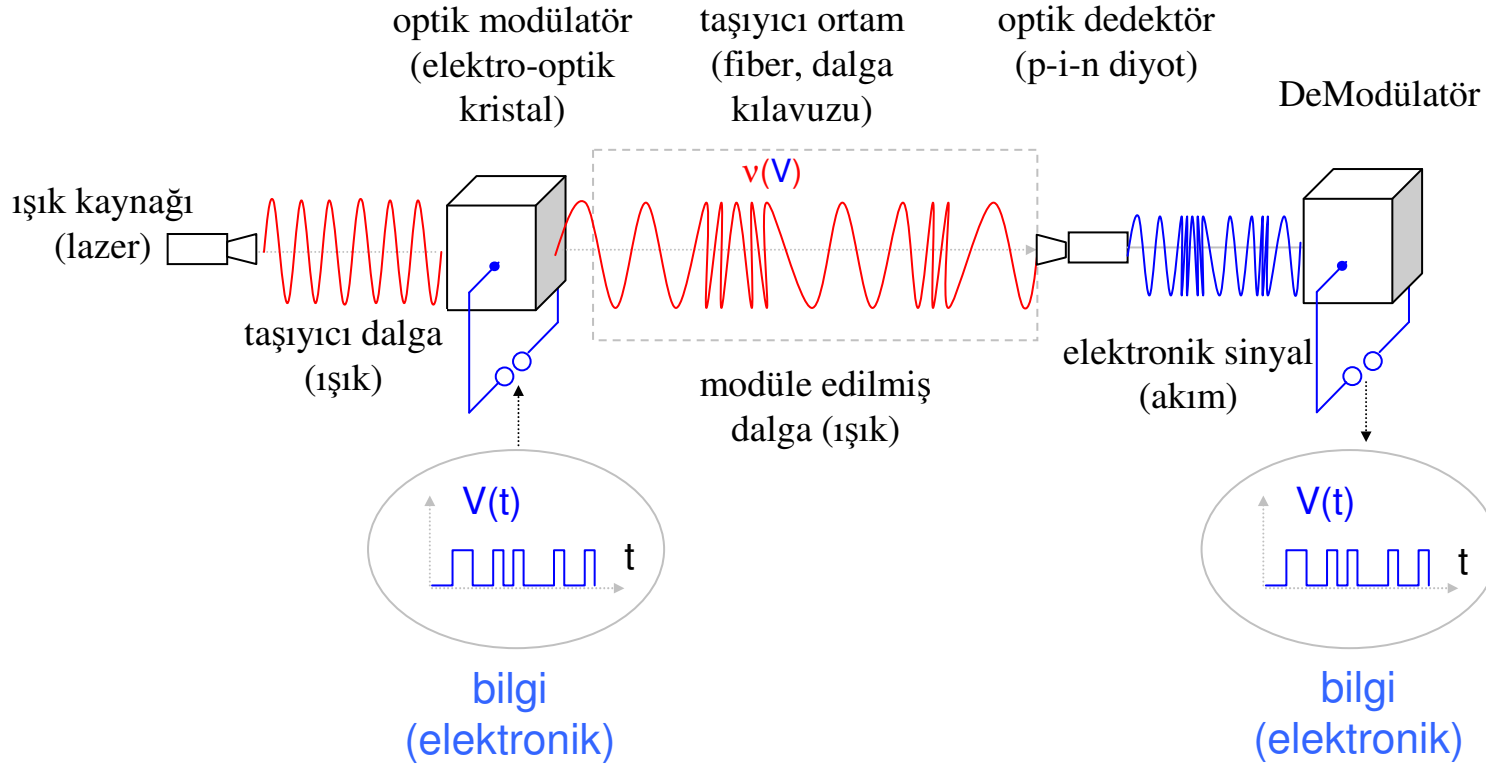


Frekansı en yüksek olan taşıyıcı dalga (c) bilgi sinyalinin (0 veya 1 bit) salınımından çok daha fazla salınım yaptığından birim zamanda daha fazla bilgiyi taşıyabilmektedir.

Birim zamanda iletilen bilgi (Bantgenişliği) taşıyıcı dalganın artan frekansı ile artar.

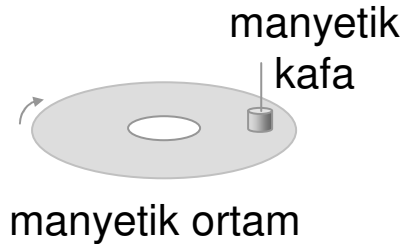
Neden Işık?: Optik İletişim

Işık, yüksek frekansından dolayı bilgi iletmede radyo dalgalarına göre çok daha fazla üstünlükler sunar. Optik iletişimde taşıyıcı dalga olarak uygun özellikte ışık (lazer) kullanılır. Işığı modüle etmek, yaymak ve algılamak için ise taşıyıcı dalganın dalgaboyuna duyarlı optoelektronik devre elemanları (elektro-optik modülatör, fiber kablo, ışık dedektörü) kullanılır.

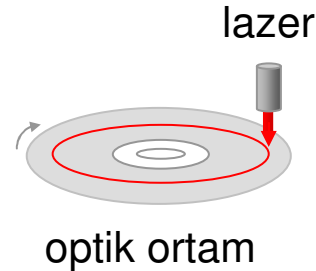


Neden Işık?: Veri Depolama

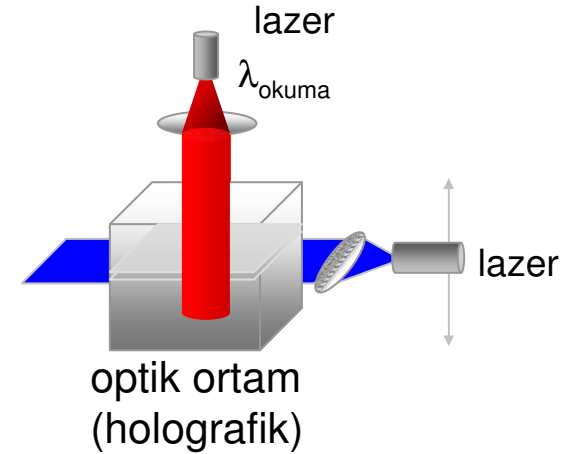
Işık, veri saklamada da üstün olanaklar sunar. Günümüzde hala en yaygın kullanılan kayıt ortamı manyetik ortamdır (sabit diskler); bu ortamda bilgiler yüzeye yazılır (a). Son zamanlarda manyetik ortamın yerini optik ortamlar (CD, DVD) almış olmasına rağmen bu yöntemde de veriler yine iki boyutta saklanmaktadır (b). Optiğin asıl kullanım potansiyeli ise bilgiyi iki boyutta değil hacim içinde saklayabilme özelliğinden (holografik kayıt) gelir. Bu sayede kayıt ortamının kapasitesi bir boyut kat daha arttırılmış olur; aynı zamanda veri yazma-okuma çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir (c).



(a) manyetik kayıt (2B)



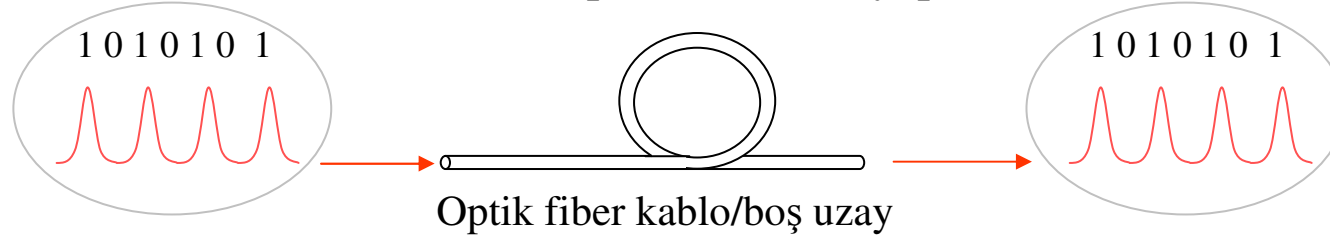
(b) optik kayıt (2B)



(c) holografik kayıt (3B)

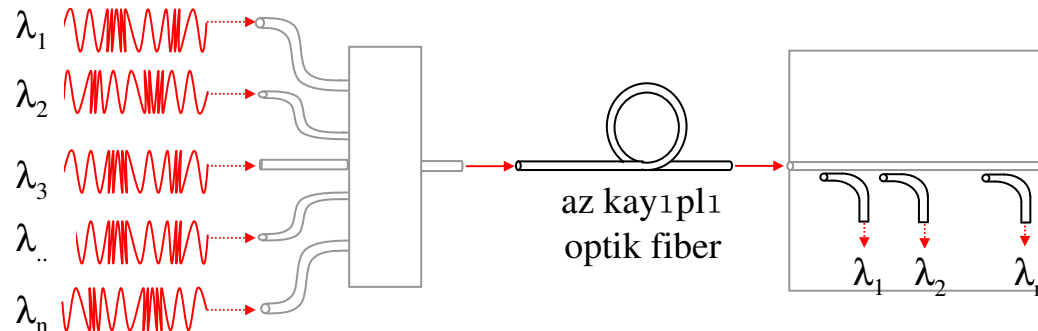
Neden Işık?: Veri İletimi

Işıkın, veri iletiminde de üstünlükleri vardır. Işık ile veri iletimi güvenli, hızlı ve düşük maliyetlidir. Işık ile veriler, uzun mesafeler arasındaki az kayıplı optik fiber kablolarla, kısa mesafelerde de optik telsizlerle yapılır.



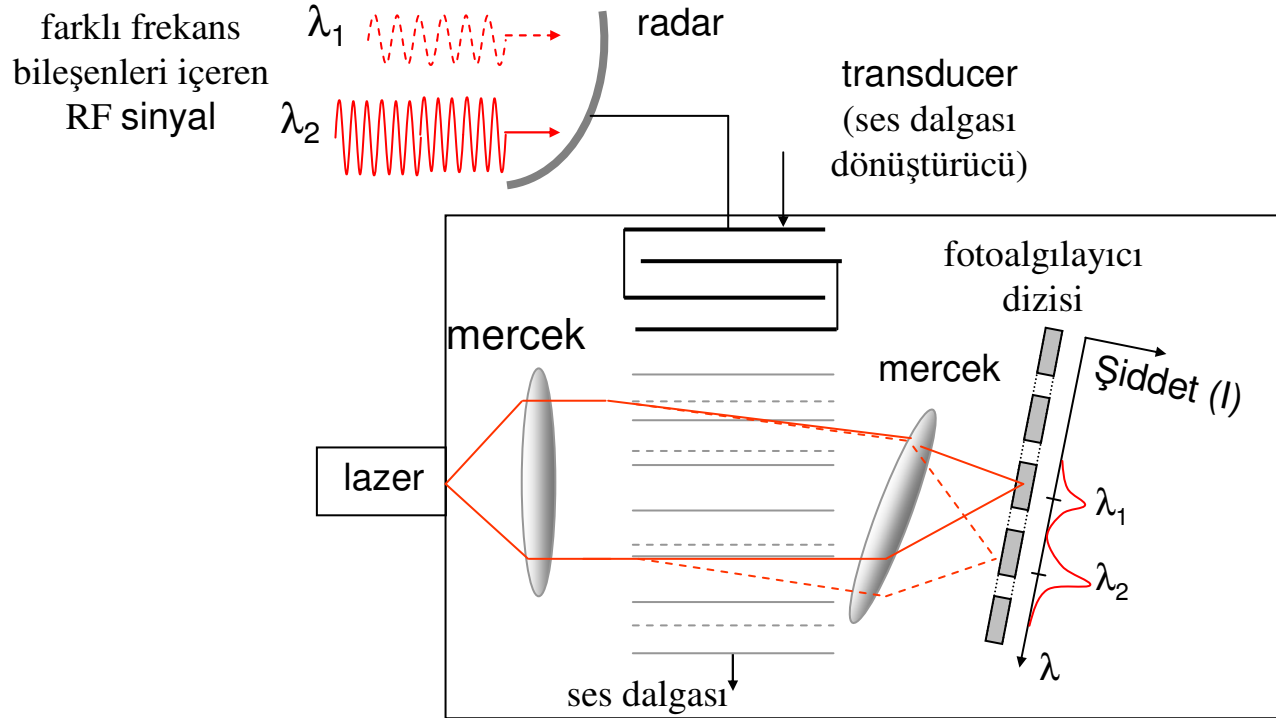
- Geleneksel bakır tellerdeki (elektron) frekans sınırlamasından dolayı oluşan kapasitif etkiler nedeniyle bantgenişliği düşüktür, fiber kablolarla (iletim fotonlarla yapıldığı için) ise bu tür etkiler yoktur.
- Optik fiberlerde yüksek bantgenişliğinden dolayı metal tellere göre daha fazla bilgi iletilir. Optik fiberler, metalik telefon hatları ile karşılaştırıldığında 100 milyon kez daha fazla bilgi taşıma kapasitesine sahiptir.
- Değişik modülasyon teknikleri ile bu kapasite daha da arttırılabilir. Örneğin, yoğun dalgaboyu kaydırmalı modülasyon tekniği (Wavelength-Division Multiplexing-WDM) ile yaklaşık 100 optik sinyal, her birinin kapasitesi 10 Gb/s ve sinyal güçlendirme mesafesi 400 km olan fiberlerde saniyede terabit (TB/s) mertebesinde bilgi iletmek mümkündür.

Yoğun dalgaboyu
kaydırmalı
modülasyon tekniği



Optoelektronik Tümeleşik Devreler

Optoelektronik devre elemanları, elektronik teknolojisinde olduğu gibi tümeleştirilerek sistemin performans ve güvenilirliği artırılabilir ve maliyet düşürülebilir.



Yukarıdaki düzenek, frekans ayrıştırma işlemi yapan bir optoelektronik tümeleşik devreyi göstermektedir. Devre, farklı frekansları içeren bir sinyali analiz ederek her frekansa ait şiddet dağılımını bulur. Bu işlem (savunma sanayinde) dost veya düşman sinyalleri ayırt etmek için oldukça kullanışlıdır.

Bu işlem, elektronik olarak da yapılabilir fakat optoelektronik tümeleşik devre kullanılarak yapıldığı zaman hem çok daha hızlı bir şekilde analiz yapılabilir hem de kullanılan devre elemanı miktarı azaltılabilir.

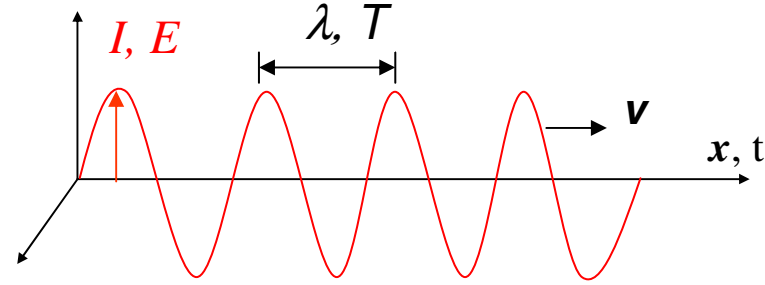
Taşıyıcı Dalga Olarak Işık

- Optoelektronik teknolojisinde taşıyıcı dalga olarak ışık kullanılır.
- Işık, frekansı çok yüksek ($\nu=3 \times 10^{11}$ - 3×10^{16} Hz) elektromanyetik bir dalgadır.
- Işığın yüksek frekansından dolayı taşıyacağı bilgi (bantgenişliği) yerleşik elektronik teknolojisinin kullandığı düşük frekanslı elektromanyetik dalganın taşıyacağı bilgiden çok daha fazladır.
- İletişimde olduğu kadar, optoelektronik teknolojisinde de kullanılan lazerlerin (tekrenklilik, eş fazlılık, kutupluluk) birçok farklı uygulama alanı vardır.
- Işığı optoelektronik teknolojisinde kullanabilmek ve potansiyel kullanım alanlarını öngörebilmek için bu frekans aralığındaki ışığın özelliklerinin, madde ile etkileşmesinin, boşlıkta ve madde ortamındaki davranışlarının nasıl olduğunun çok iyi bilinmesi gerekir.

Işığın Özellikleri

Işık, bir elektromanyetik dalgadır. Dolayısı ile ışığı karakterize eden belli parametreler vardır. Işığı kullanmak için bu parametrelerin iyi bilinmesi ve hangi parametrelerin pratik amaçlar için kullanılabilir olduğunun bilinmesi gerekmektedir.

- 1) Frekans (ν)
- 2) Dalgaboyu (λ)
- 3) Hız
 - a) faz hızı ($v_p=c$)
 - b) grup hızı (v_g)
- 4) Şiddet (I)
- 5) Kutuplanma (doğrusal, dairesel, eliptik)



Bir EM dalga olan ışığın hangi özelliklerini kontrol edebiliriz?

Frekans (ν), dalgaboyu (λ) ve hız (v) arasındaki bağıntı

$$v = \nu \cdot \lambda$$

Frekans, sadece ışık kaynağına bağlıdır ve (doğrusal ortamda) değiştirilemez!

Hız, ışığın yayıldığı ortama bağlıdır.

Dalgaboyu, dalganın yayıldığı ortama (ve hıza) bağlıdır.

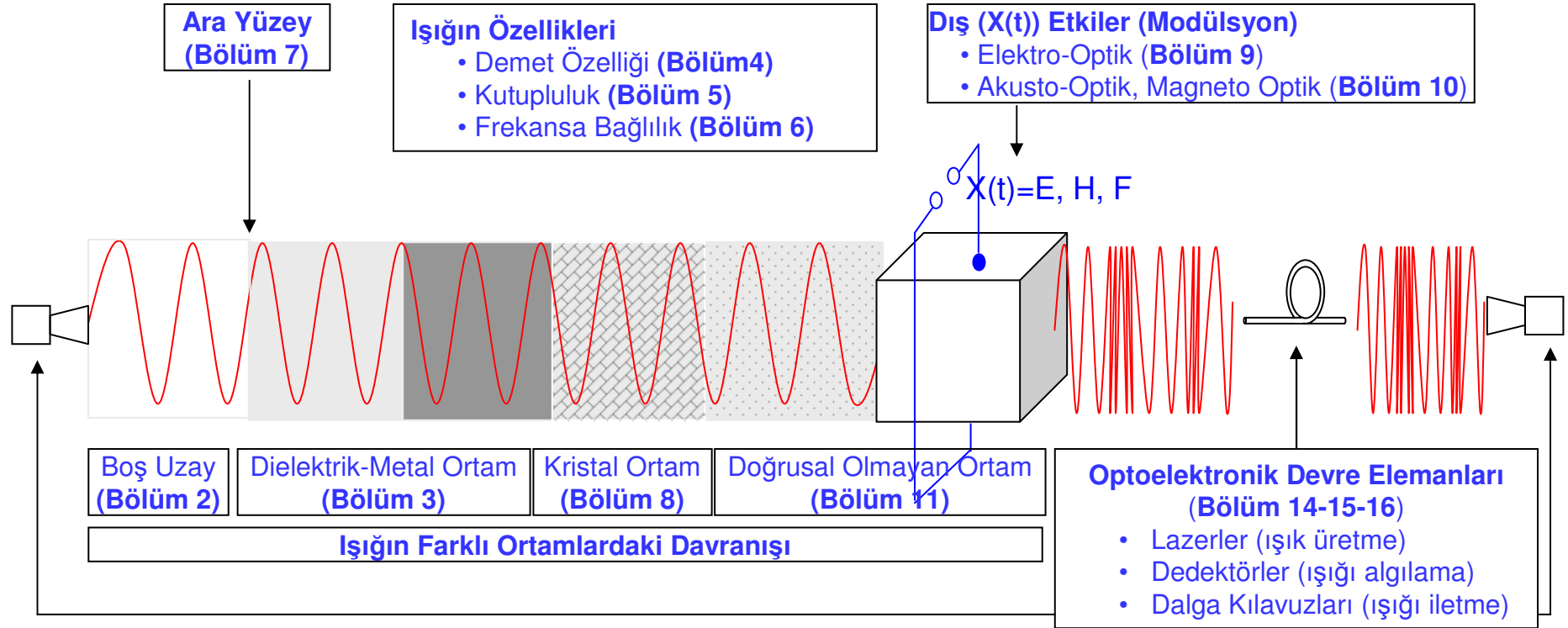
Şiddet, değiştirilebilir.

Kutuplanma doğrultusu, değiştirilebilir.

Optoelektronik Dersinin İçeriği

Bu ders kapsamında;

- Işığın boşlukta, madde ortamında ve ara yüzelerde davranışı,
- Işığın oluşturulan alanların uzay ve zamanda nasıl değiştiği,
- Malzemelerin optik özelliklerinin dış etkilerle nasıl değiştirilebileceği,
- Işığın üretmek, modüle etmek, iletmek ve algılamak işlemlerinin nasıl yapılacağı incelenecektir.



Özet

- Elektronun kontrolüne dayanan elektronik teknolojisinde olduğu gibi optoelektronik teknolojisinde taşıyıcı olarak foton (ışık) kullanılır,
- İletişim teknolojisinde yaygın olarak kullanılan düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar (radyodalga, mikrodalga) yerine daha yüksek frekanslara sahip dalgalar (ışık) kullanmak birim zamanda iletilecek bilgi kapasitesinin artmasına (bantgenişliği) ve güvenli veri akışına olanak sağlar; (uzun vadede) düşük maliyetlidir,
- Işığı kullanabilmek için ışığın özelliklerini ve bu özelliklerin hangi etkilerle ve hangi durumlarda değiştirilebileceğinin bilinmesi gerekmektedir,
- Bu ders kapsamında önce ışığın özellikleri öğrenilecek, daha sonra ise ışığın bazı parametrelerinin kontrollü olarak nasıl değiştirileceği ve teknolojik uygulamalarda nasıl kullanılabileceği anlatılacaktır.

UADMK - Açık Lisans Bilgisi

Bu ders malzemesi öğrenme ve öğretme yapanlar tarafından açık lisans kapsamında ücretsiz olarak kullanılabilir. Açık lisans bilgisi bölümü yani bu bölümdeki, bilgilerde değiştirme ve silme yapılmadan kullanım ve geliştirme gerçekleştirilmelidir. İçerikte geliştirme değiştirme yapıldığı takdirde katkılar bölümüne sadece ekleme yapılabilir. Açık lisans kapsamındaki malzemeler doğrudan ya da türevleri kullanılarak gelir getirici faaliyetlerde bulunulamaz. Belirtilen kapsam dışındaki kullanım açık lisans tanımına aykırı olduğundan kullanım yasadışı olarak kabul edilir, ilgili açık lisans sahiplerinin ve kamunun tazminat hakkı doğması söz konusudur.