

# FZM450 Elektro-Optik

## *9. Hafta*

### **İşığın Modlasyonu**

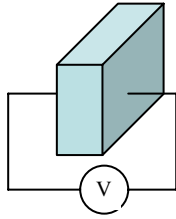
## 9. Hafta Ders İçeriđi

- Temel Modlatr Kavramları
  - LED ışık modlatrler
- Elektro-optik modlatrler
- Akusto-Optik modlatrler
  - Raman-Nath Tipi Modülatörler
  - Bragg Tipi Modülatörler
- Mađneto-Optik Modülatörler

# Elektro-Optik Etki

*Elektro-Optik etki: Pockel ve Kerr Etkisi*

Uygulanan dış elektrik alanın bir fonksiyonu olarak kırılma indisindeki değişme



$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right) = rE + PE^2$$

Pockel Etkisi

Pockel Etkisi

Burada  $r$  *doğrusal* elektro-optik sabit (Pockel Sabiti)

$P$  *karesel* elektro-optik sabittir (Kerr Sabiti)

Katılarda  $rE$  ile ilgili kırılma indisindeki (doğrusal) değişim “Pockel Etkisi”

$PE^2$  ile ilgili değişime (karesel terimden) ise “Kerr Etkisi” olarak isimlendirilir

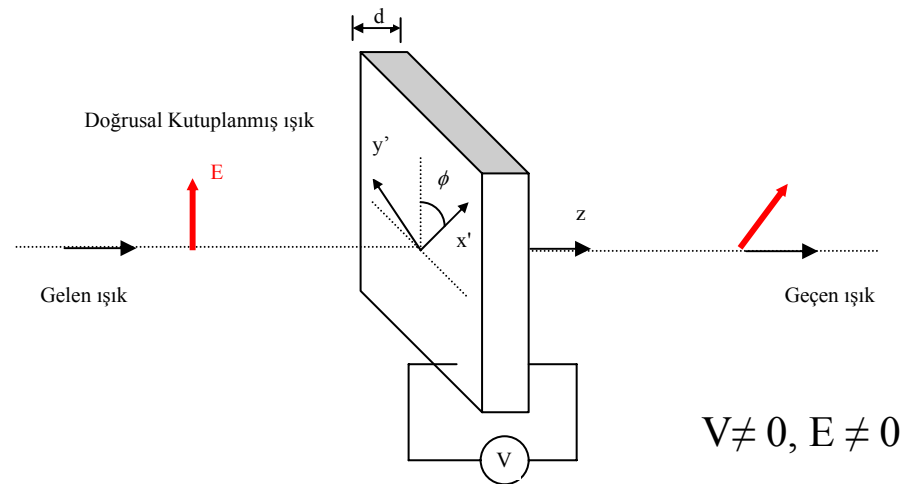
# Elektro-Optik Etki-Pockel Etkisi

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right) = -2\frac{\Delta n}{n^3} = r_{63}E$$

Eğer KDP'ye elektrik alan z-ekseni boyunca uygulanırsa x- ve y- eksenleri 45° lik dönme ile yeni x' ve y' eksenleri halini alır ve kırılma indisleri bu yeni yönler için

$$n_{x'} = n_o + \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_z$$

$$n_{y'} = n_o - \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_z$$



# Işık Modülatörleri

Işık modülatörlerini modülasyon şekline göre, örneğin modülasyon için kullanılan maddelerin kullanılan özelliklerine göre elektro-optik, manyeto-optik, akusto-optik modülatörler olarak sınıflandırabilir

- Elektro-optik etki**

Gerilim uygulayarak malzemenin optik parametrelerini değiştireme

- Akusto-optik etki**

Ses dalgaları ile malzemenin kırılma indisini değiştirme

- Bragg Tipi akusto-optik modülatörler
- Raman Nath tipi modülatörler

- Manyeto-optik etki**

Manyetik alan uygulayarak malzemenin optik özelliklerini değiştirme

Faraday Dönmesi

# Işık Modülatörleri

## Temel Modülasyon Kavramları

- Modülasyon Derinliği

$$\eta = \frac{I_o - I}{I_o}$$

$I_o$ =Modülasyon gerilimi uygulanmadan önceki geçirgenlik

$I$ =Modülasyon gerilimi uygulandığı durumda geçirgenlik

- Bant Aralığı

Modülasyon yapılacak sinyalin frekans aralığı

- Kayıplar

$$L_i = 10 \log\left(\frac{I_t}{I_o}\right)$$

- Güç Tüketimi

- Yalıtım

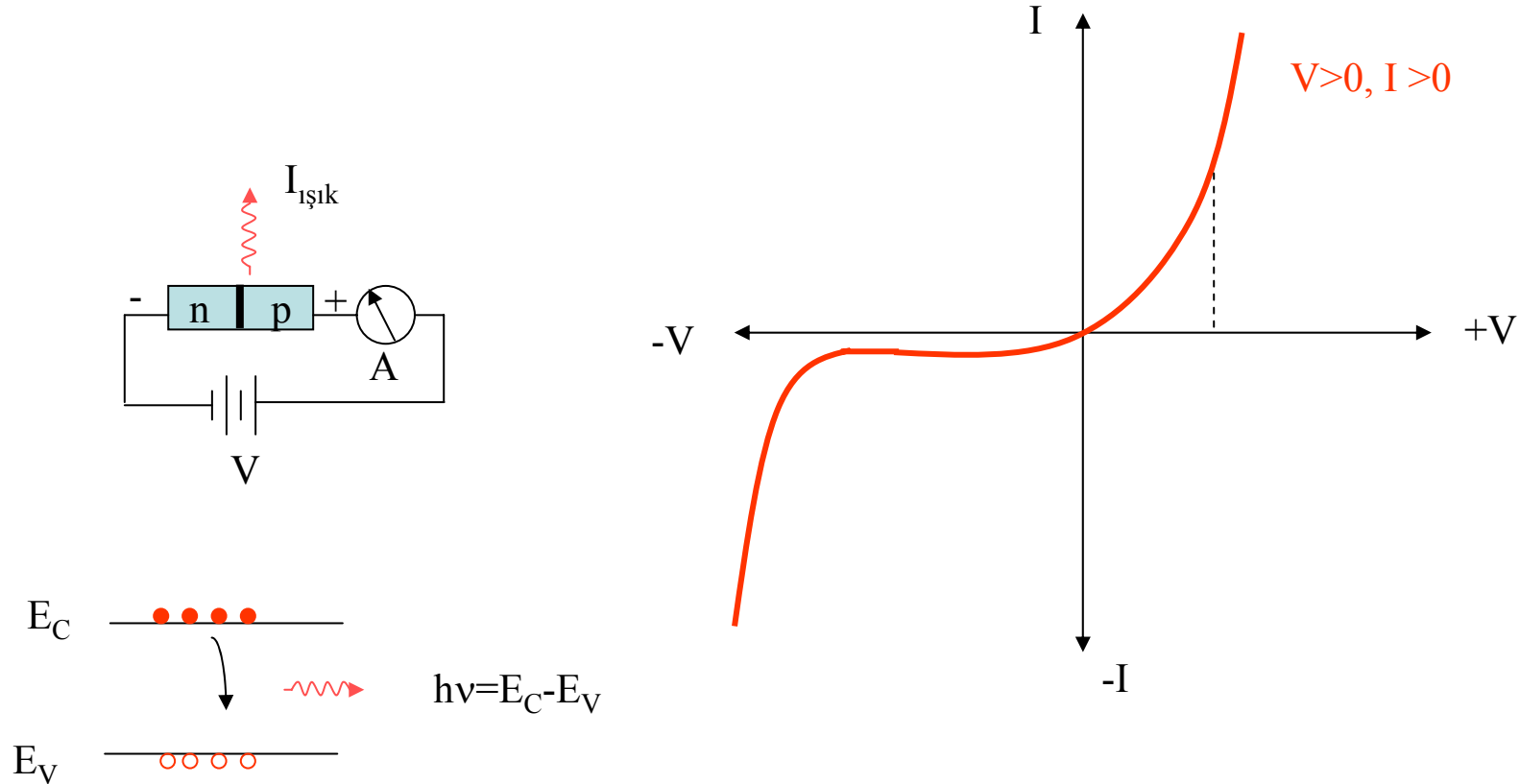
# Işık Modölatörleri

## Işık Modölasyon Türü

- Faz Modölasyonu
- Kutuplanma Modölasyonu
- Şiddet Modölasyonu

# Optoelektronik Modülatörler-LED

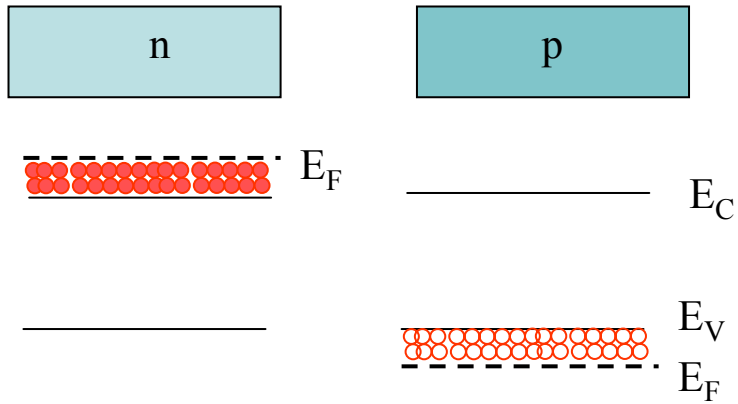
Uygun bir p-n eklemi I-V eğrisinin I. bölgesinde çalıştırılırsa eklem tüketim bölgesinde elektron ve deşikler belli bir eşik gerilimin üstünde eklem bölgesinde birleşerek dalgaboyu bant aralığına eşit ışık yayabilir



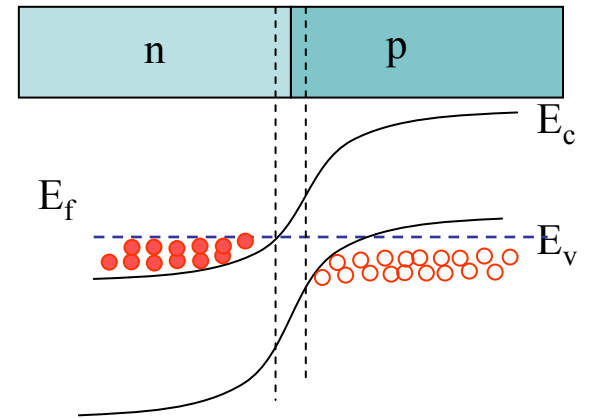


# Optoelektronik Modülatörler

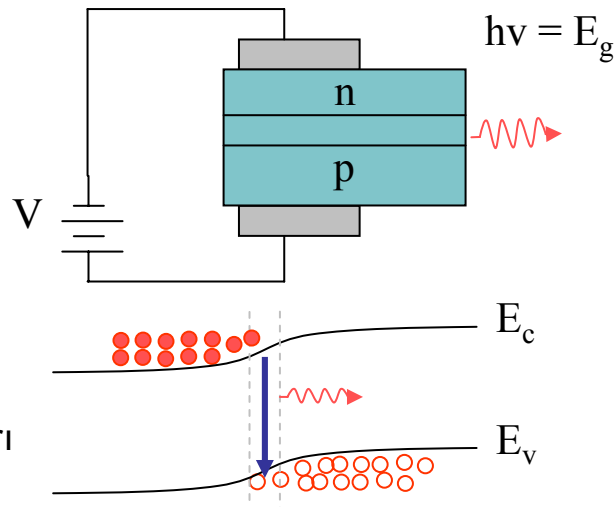
(a) Ayrık p ve n tipi yarıiletkenler ve enerji seviyeleri



(b) Sıfır gerilim altında p-n eklemi



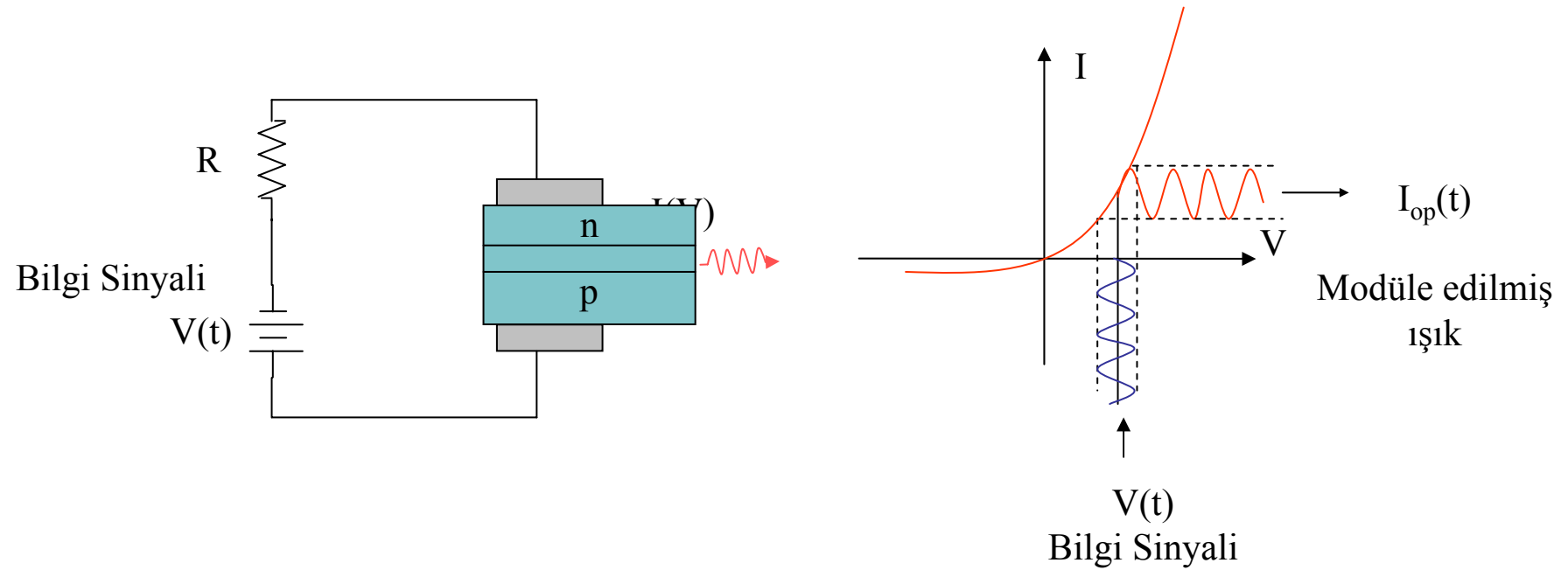
(c) İleri besleme durumu



# Optoelektronik Modülatörler-LED

Diyotlar I-V eğrisinin doğrusal olduğu aralıkta ışık modülatörü olarak kullanılabilir

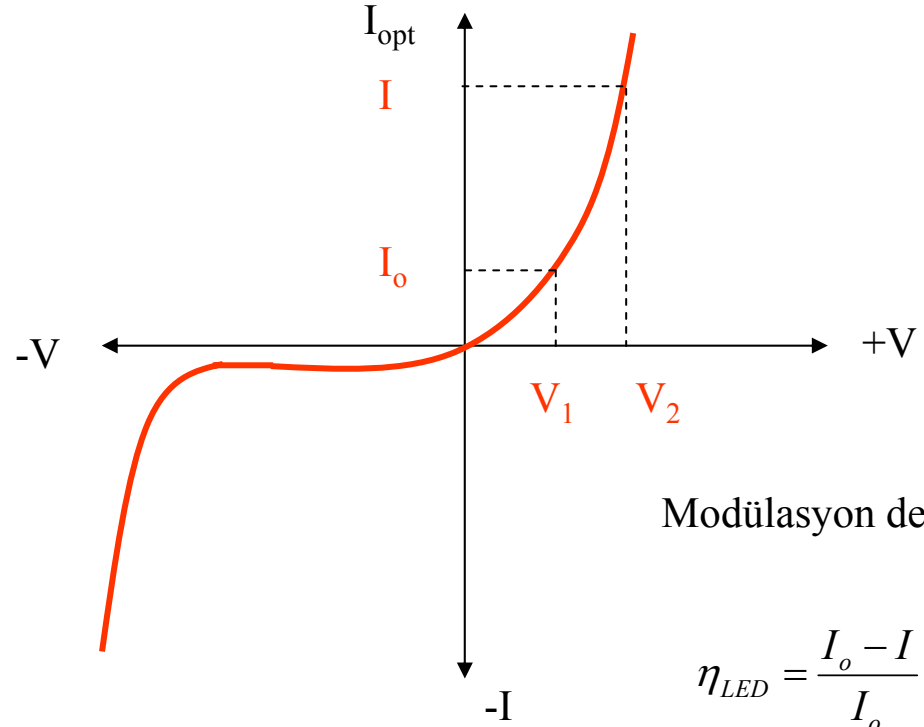
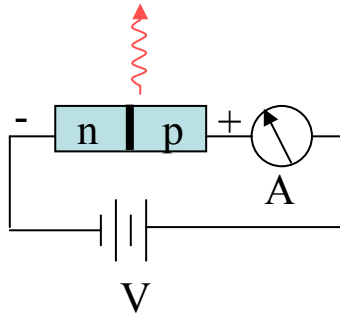
Bu aralıkta gerilimin (V) değişimi ile LED ışık şiddeti doğrusal olarak değişebilir



# Optoelektronik Modülatörler-LED

- Modülasyon Türü

Genlik Modülasyonu (Işığın frekansı ve kutupluluğu değiştirilmiyor)



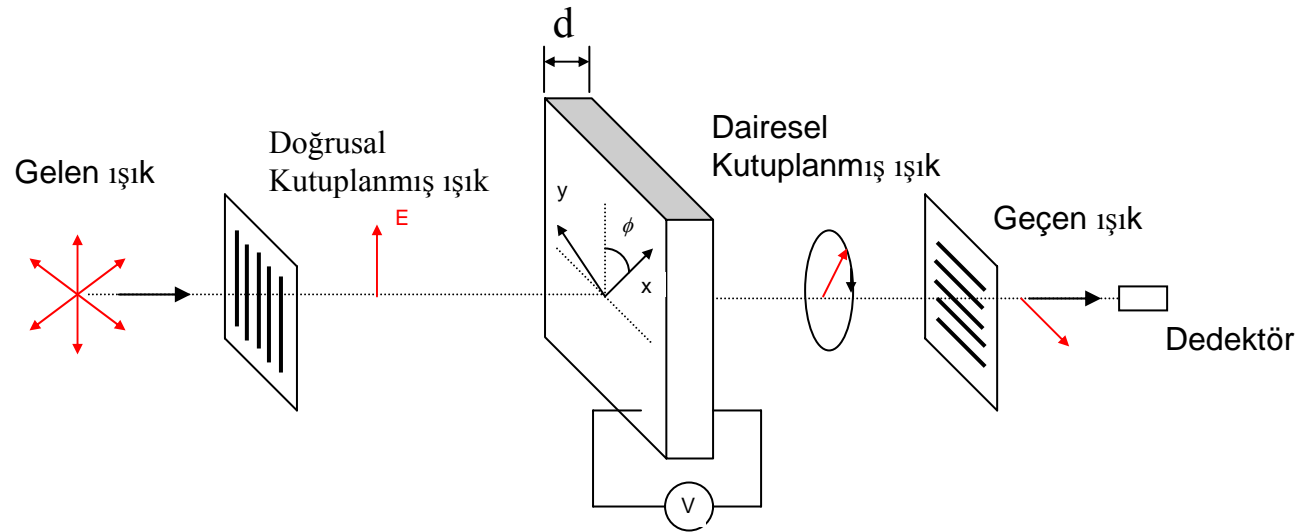
$$\eta_{LED} = \frac{I_0 - I}{I_0}$$

- Bant Aralığı

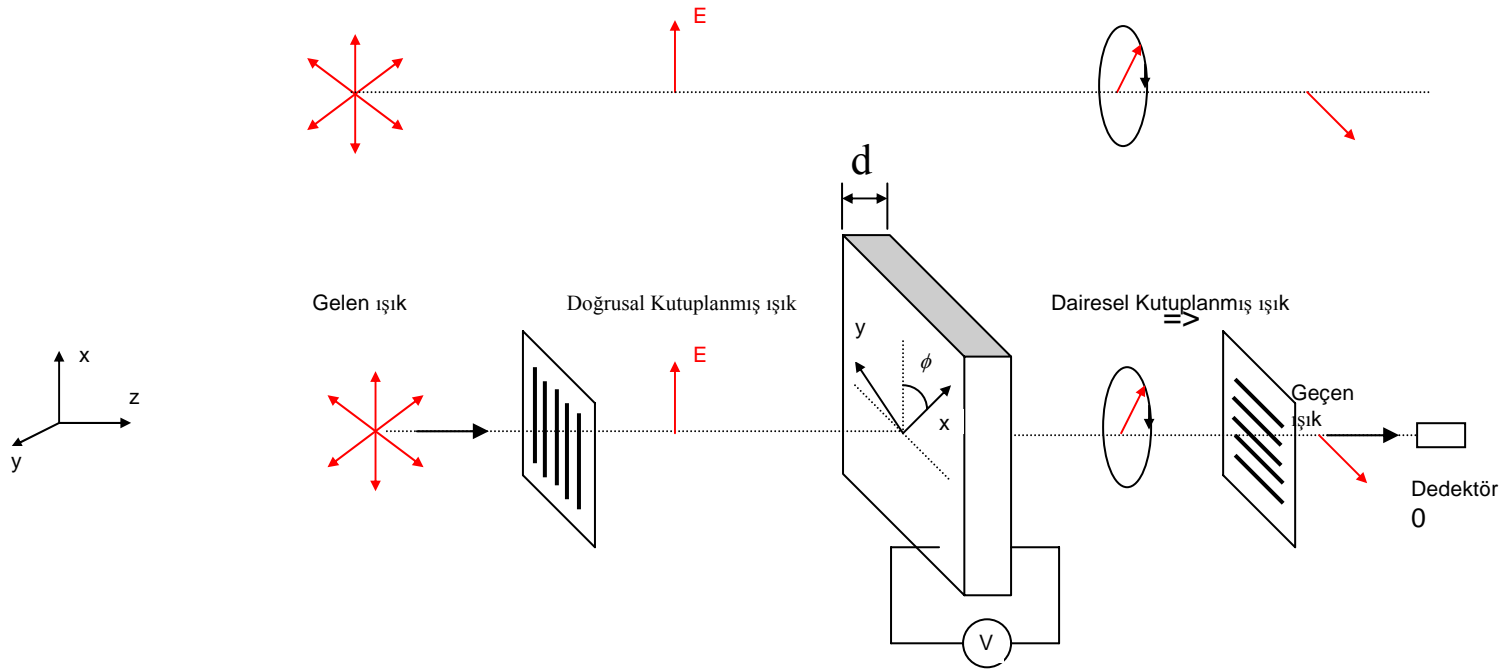
Bilgi sinyalinin değişim sıklığı

# Pockels Elektro-Optik Modülatör-1

- Katılardaki elektro-optik etkiyi kullanarak geliştirilen ışık modülatörlerdir (Pockels elektro-optik modülatörü )
- Pockel etki ile çift kırınım haline getirilen malzemeler kullanılır
- Uygun kalınlıktaki çift kırınıcı modülatör, birbirine  $90^\circ$  konumlandırılmış iki doğrusal kutuplayıcı arasına yerleştirilir
- Bu konfigürasyona sahip modülatörlerde şiddet modülasyonu yapılabilmektedir (modülatörü geçen ışık ( $I$ ) şiddetinin modülatöre gelen ışık şiddetine ( $I_0$ ) oranı bilgi sinyaline bağlı olarak değişmektedir)



# Pockels Elektro-Optik Modülatör-1



Dedektöre ulaşan ışık şiddeti

$$T \propto E_y E_y^*$$

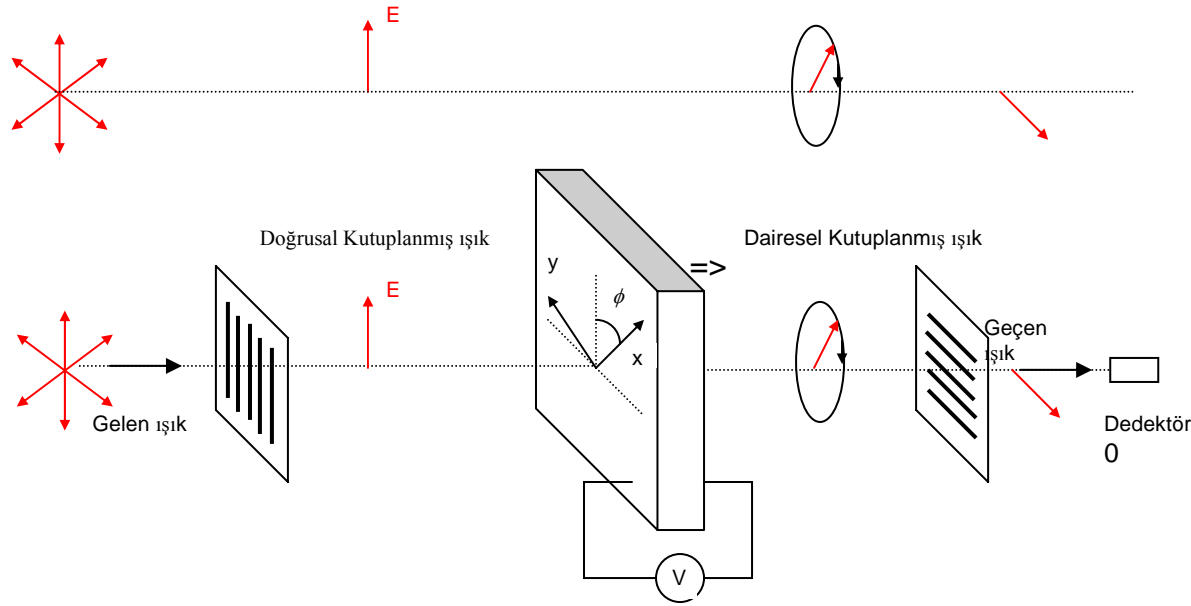
$$\varphi = k(\Delta n)d$$

$$\Delta n = \frac{rn_o^3}{2} E$$

$$I = I_o \sin^2(\varphi) = I_o \sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \cdot d\right) = I_o \sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{rn_o^3}{2} E\right) \cdot d\right)$$

$$I = I_o \sin^2\left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{rn_o^3}{2} \frac{V}{d}\right) d\right] = I_o \sin^2\left[\frac{\pi}{\lambda} rn_o^3 V\right]$$

# Pockels Elektro-Optik Modülatör-2



$$\frac{I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} rn_o^3 V\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_\pi}\right)$$

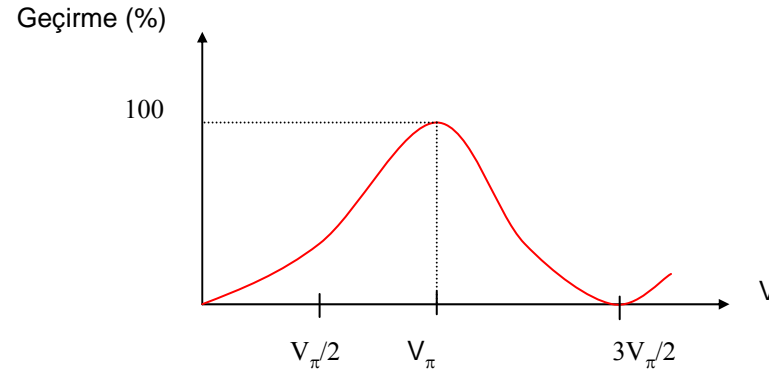
$$V_\pi \equiv \frac{\lambda}{2rn_o^3}$$

$V_\pi$ , Geçen ışığın şiddetinin gelen ışığın şiddetine eşit olduğu ( $I=I_o$ ) olduğu maksimum geçirme için gerekli gerilimdir.

$V_\pi$   $\pi$ 'lik bir faz farkına eşdeğerdir. Bu gerilime aynı zamanda yarım dalga gerilimi de denir.

# Pockels Elektro-Optik Modülatör-3

Tipik bir elektro-optik modülatörde çalışma gerilimi yaklaşık doğrusal olacak bölgede



$$\frac{I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_\pi}\right)$$

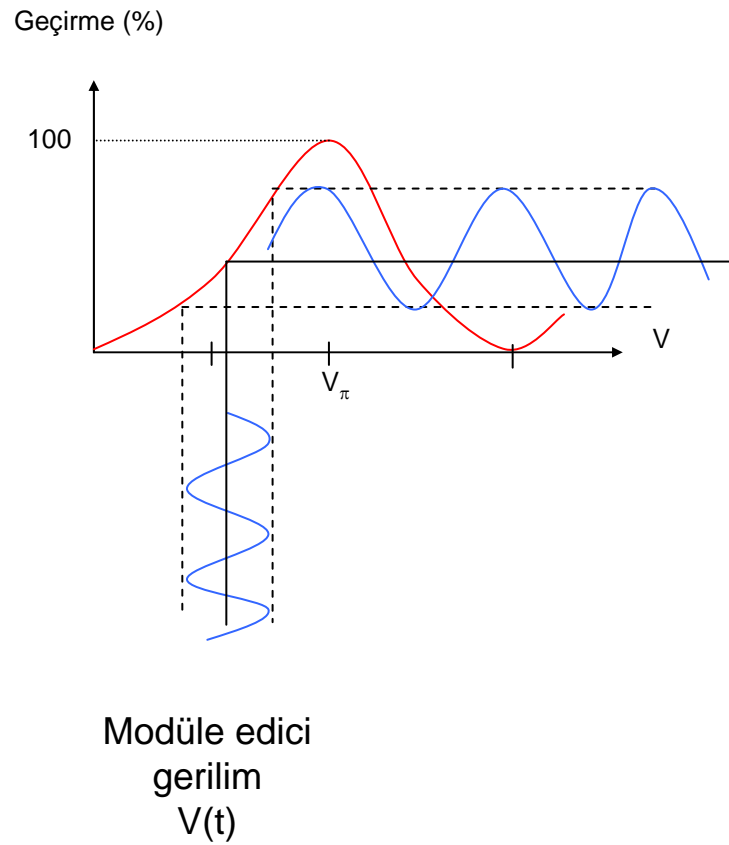
*Örnek:*

*Yarım Dalga Gerilimi:* 1,06  $\mu$  m dalga boyunda KDP için yarım dalga gerilimini

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2rn_o^3} = \frac{1,06 \times 10^{-6}}{2 \cdot (10,6) \cdot (10^{-12}) \cdot (1,51)^3} = 14,5kV$$

# Pockels Elektro-Optik Modülatör-4

Tipik bir elektro-optik modülatörde çalışma gerilimi yaklaşık olarak doğrusal olacak Bölgede yapılmalıdır



$$\frac{I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V(t)}{V_{\pi}}\right)$$



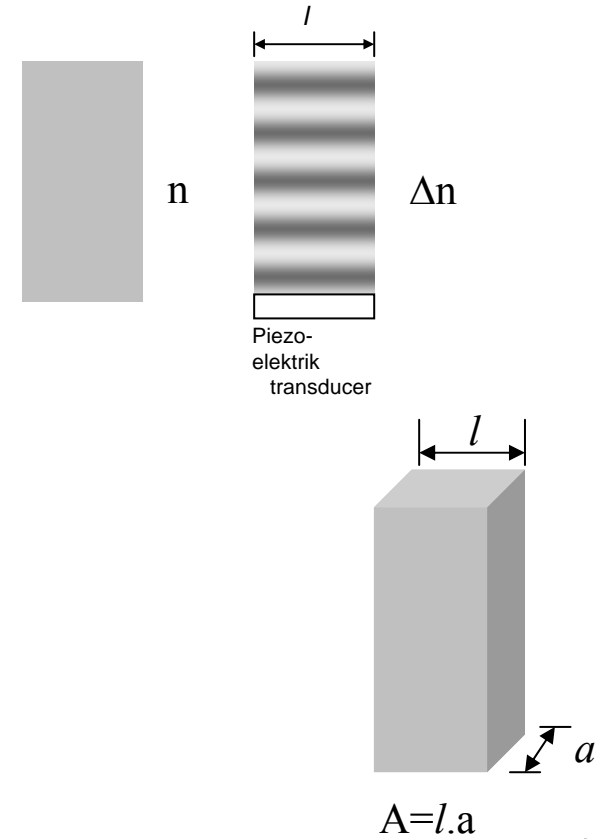
# Akusto-Optik Modülatörler-1

- Bir ortamın kırılma indisi akustik (ses) dalgası ile değiştirilerek yapılan etkiye akusto-optik etki denir
- Kırılma indisi  $n$  olan bir ortamdan geçen ses dalgası ortamda mekanik zorlama (gerilme) oluşturur
- Bu gerilme sonucu ortamın kırılma indisini de  $\Delta n$  kadar değiştirir. Bu değişmeyi ses dalgasının şiddeti ve diğer nicelikler cinsinden veren formül

$$\Delta n = \sqrt{\frac{n^6 p^2 10^7 P_a}{2 \rho v_a^2 A}}$$

Burada

$n$ , gerilmenin olmadığı durumdaki kırılma indisi,  
 $p$  uygun fotoelastik tensör elemanı,  
 $P_a$  watt olarak toplam akustik güç,  
 $\rho$  kütle yoğunluğu,  
 $v_a$  ise ses hızı,  
 $A$  dalganın geçtiği bölge için tesir kesit alanı



# Akusto-Optik Modölatör-2

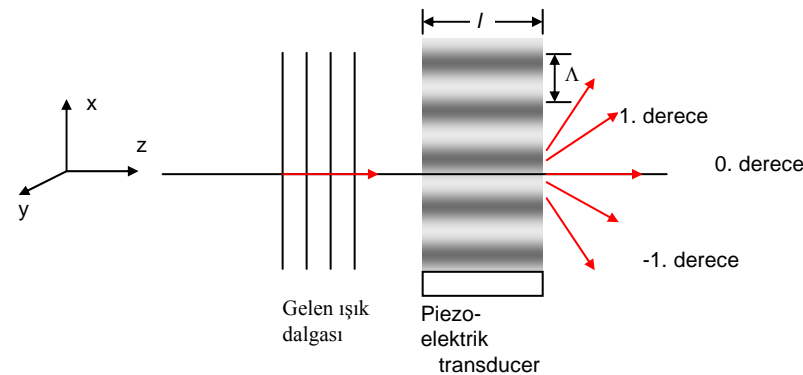
Elektrooptikte maddenin kırılma indisini ses dalgaları ile değiştirerek yapılan iki tür akusto-optik modölatör vardır. Bunlar

- Raman-Nath tipi modölatörlerdir (ışık yüzeye paralel)
- Bragg Tipi akusto-optik modölatörler (ışık yüzeye özel açıda geliyorsa)

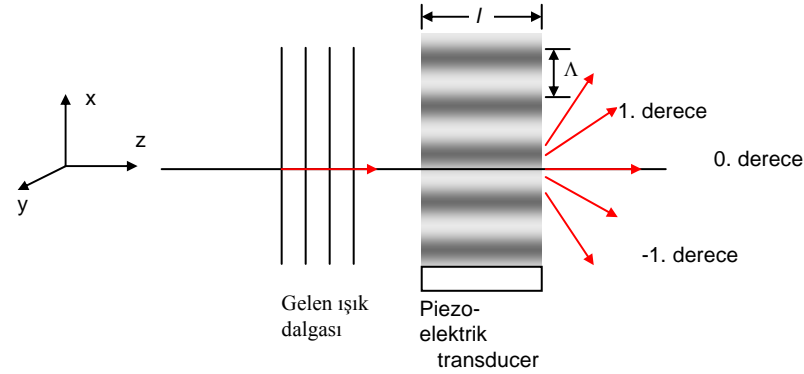
Böyle bir ortamın kırılma indisi akustik dalğanın dalga boyu olan  $\Lambda$ 'ya eşit ve peryodik olarak değişir

# Raman-Nath Türü Akusto-Optik Modülatörler-1

- Bu tür modülatörlerde ışık, ses dalga vektörüne dik konumda gönderilir.
- Ses dalgasından dolayı kırılma indisi  $\Lambda$  periyodu ile değiştirilmiş olan  $l$  uzunluğundaki maddeden geçen ışık kırınımına uğrayarak değişik açılarda gelen ışık doğrultusundan sapar.
- Ortamdan etkilenerek geçen ışığın şiddeti  $I$ , akustik dalganın oluşturduğu indis farkı ile orantılıdır
- Bu, akustik modüle edici dalganın genliği ilişkilidir.
- Sıfırıncı mertebeden yok edilen ışığın oranı
- Burada  $I_0$  akustik dalganın yokluğundaki geçen ışık şiddetini. Böylece akustik dalganın genlik değişimleri optik demetin ışık şiddeti değişimlerine dönüşür



# Raman-Nath Türü Akusto-Optik Modülatörler-2



$$\Delta\varphi = \frac{\Delta n 2\pi l}{\lambda_o} \sin\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right)$$

Burada

$\Delta n$ , ses dalgalarından dolayı kırılma indisindeki değişim,  
 $l$  etkileşme uzunluğu,

$\Lambda$ , ses dalgasının dalgaboyu,

$x$  ise ışığın geliş ekseninden olan uzaklıktır.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{M_2 10^7 P_a l}{2a}} \sin\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) \quad M_2 \equiv \frac{n^6 p^2}{\rho v_a^3}$$

Ses dalgaları ile indisi  $Dn$  kadar değiştirilmiş bölgeden geçen ışığın geliş ekseninden  $x$  kadar uzak noktalarda ışık dalgasının maruz kalacağı faz kayması

# Raman-Nath Türü Akusto-Optik Modülatörler-3

Birden çok kırınımın olmasını önlemek için etkileşme uzunluğunun ( $l$ ) küçük olması gerekir

$$l \ll \frac{\Lambda^2}{\lambda}$$

Burada

$\Lambda$ , ses dalgasının dalgaboyu,

$\lambda$  ise ışığın madde içindeki dalgaboyu

Kırınım şartı

$$m\lambda_o = \Lambda \sin(\theta_m)$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{M_2 10^7 P_a l}{2a}} \sin\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right)$$

Işık şiddetinin oranı

$$\frac{I}{I_o} = \begin{cases} \frac{[J_m(\Delta\varphi')]^2}{2}, & |m| > 0 \\ [J_o(\Delta\varphi')]^2, & m = 0 \end{cases}$$

Burada

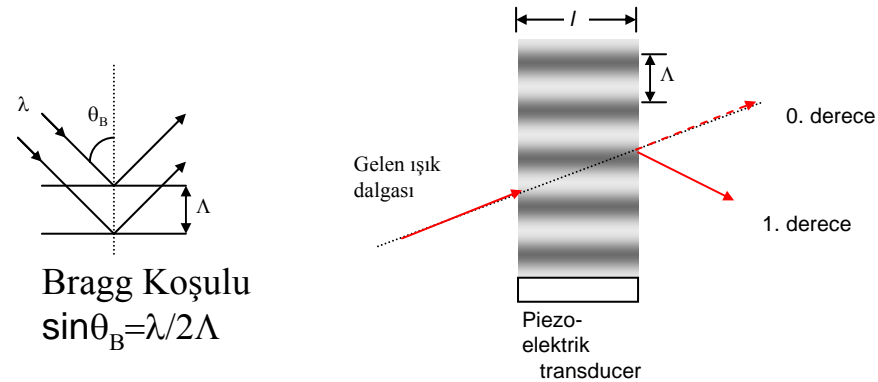
$$\Delta\varphi' = \frac{2\pi / \Delta n}{\lambda_o} \sqrt{\frac{M_2 10^7 P_a l}{2a}}$$

Modülasyon derinliği

$$\eta_{RN} = \frac{[I_o - I(m=0)]}{I_o} = 1 - [J_o(\Delta\varphi')]^2$$

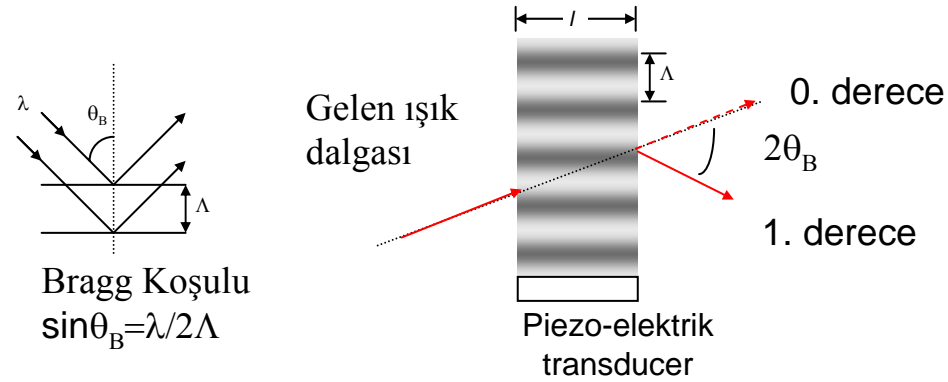
# Bragg Türü Akusto-Optik Modülatörler-1

- Bragg türü akusto-optik modülatörlerde ışık modülatöre dik değil de belli bir açı ile gelir
- Ses dalgaları ile kırılma indisi modüle olmuş olan ortam periyodu ses dalgalarının periyodu  $\lambda$  olan periyodik düzlemler olarak algılanabilir
- Bu ortama giren ışık aynen kristale giren x-ışınları gibi Bragg koşulunu sağlayan durumda yapıcı girişim ile 1. dereceden yansımayı oluşturur
- Diğer durumlarda ışık yansımadan geliş doğrultusunda kristalden çıkar



Bragg Türü modülatörde, ışığın madde ile ses dalgaları ile etkileşip kırınımına uğraması için etkileşme uzunluğunun büyük olması gerekir

# Bragg Türü Akusto-Optik Modülatörler-2



Geliş açısı Bragg açısına eşit olmalıdır

$$\lambda = 2\Lambda \sin(\theta_B)$$

Bragg tipi akusto-optik modülatörde kırınıma uğrayan ışığın ( $I$ ) kırınıma uğramadan geçen ışığın ( $I_o$ ) şiddetine oranı

$$\frac{I_o - I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \quad \text{şeklindedir}$$

$$\eta_B = \frac{(I_o - I)}{I_o} = \sin^2\left[\left(\frac{\pi}{\lambda_o}\right)\sqrt{\frac{10^7 M_2 P_a}{2a}}\right]$$

# Magneto-Optik Etki

## *Katılarda Faraday Dönmesi*

Bir izotropik dielektrik madde manyetik alana yerleştirildiğinde doğrusal olarak kutuplanmış ışık alan doğrultusunda gönderildiğinde ışığın kutuplanma doğrultusunun değiştiği gözlenir.

Burada manyetik alan dielektrik malzemeyi optik olarak aktif duruma getirmiştir. Kutuplanma doğrultusunun dönme açısı manyetik alan (H) ve ortamın uzunluğu ile orantılıdır.

$$\theta = VH$$

Burada V orantı sabitidir. Bu sabite **Verdet sabiti** denir

Bazı maddeler Verdet sabitleri

<i>Madde</i>	<i>V(q(dakika)Oe<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>)</i>
Elmas	0,012
NaCl	0,036
Cam	0,015-0,050



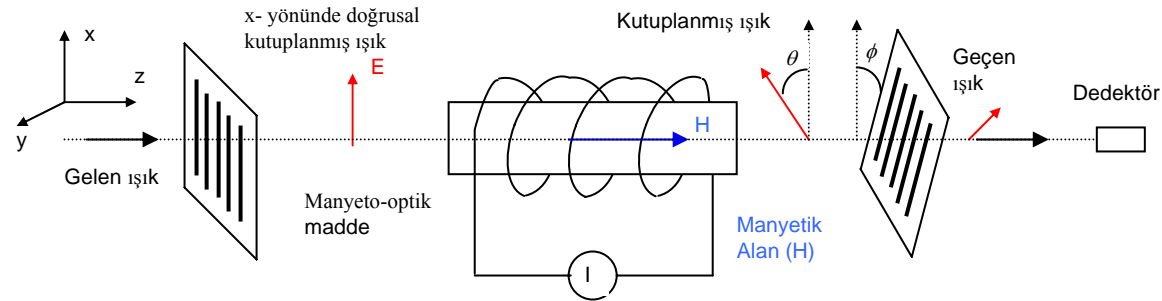
# Manyeto-Optik Modülatörler-1

- Bu tür ışık modülatörleri Faraday manyeto-optik ilkeye göre çalışmaktadırlar
- Manyeto-optik etkide anlatıldığı üzere manyetik alanın etkisi ile ışığın doğrultusu değiştirilebilir

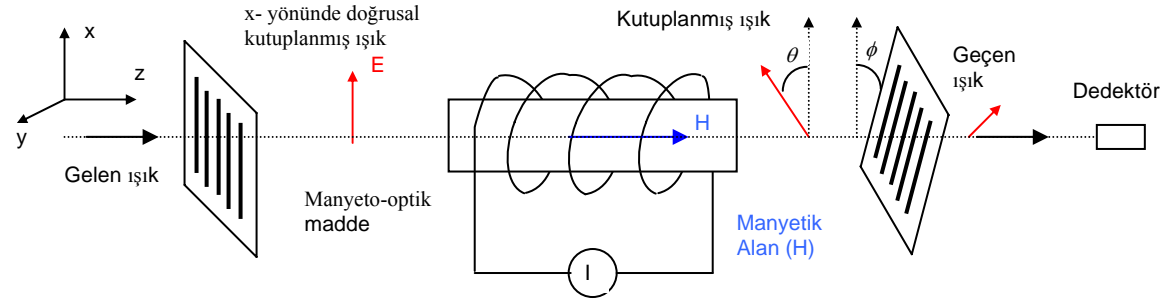
$$\theta = VHl$$

Burada

$\theta$ : ışığın kutuplanma doğrultusundaki dönme miktarı  
 $V$ : Verdet (manyeto-optik) sabiti,  
 $H$ : manyetik alan,  
 $l$ : ise ışığın ortamda katettiği yoldur



# Manyeto-Optik Modülatörler-2



$$\Delta I \propto 2\theta = VHI$$

Dedektörde algılanan ışık şiddeti  $\theta$  açısı ile orantılı olacaktır

Görüldüğü gibi dedektöre gelen ışığın genliği H alanı ile doğru orantılı olduğu için H alanını dışardan uygulanan akım veya gerilim ile değiştirerek ışığın genliğini modüle edebiliriz