



**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**

**NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK SİNTİLATÖRLER**

**Prof. Dr. Haluk Yücel**

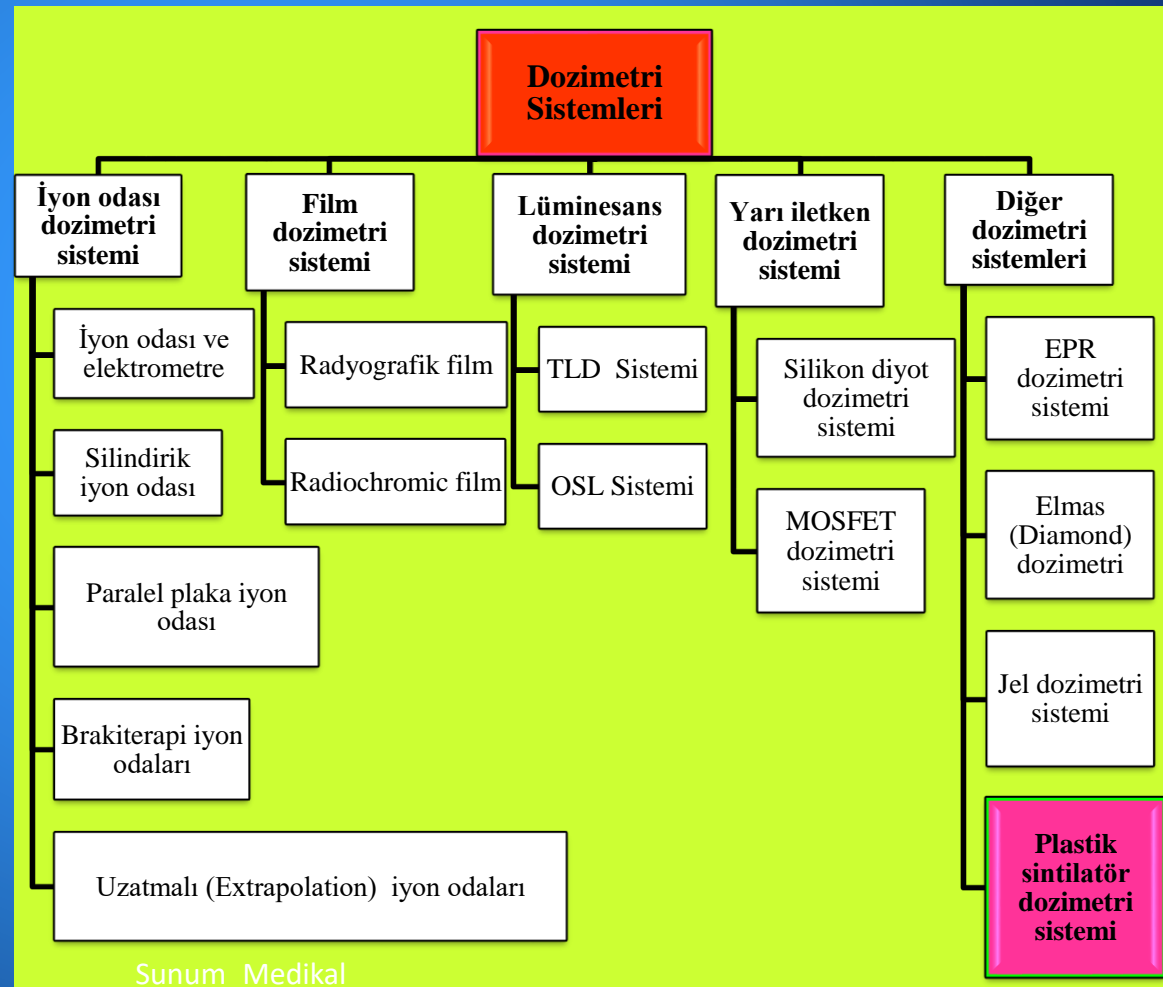
# MEDİKAL DOZİMETRELER: PLASTİK SİNTİLATÖRLER

## 1.GİRİŞ

**Son yıllarda, gerçek zamanlı okuma yapabilen dozimetri sistemleri (real-time reading dosimetry), diğer bir ifade ile teşhis ve tedavi sırasında okuma değeri verebilen medikal dozimetrelerin geliştirilmesiyle ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.**

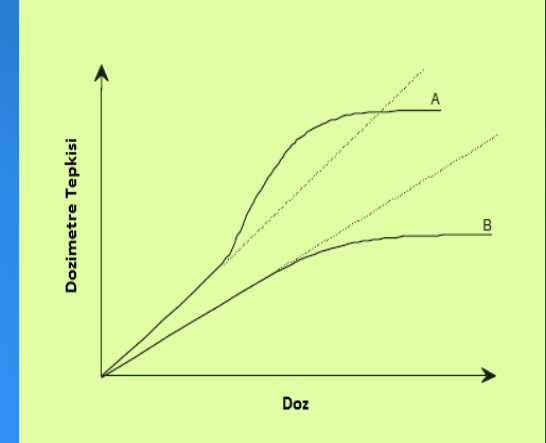
# MEDİKAL DOZİMETRELER: PLASTİK SİNTİLATÖRLER

- ❌ İyon odaları
- ❌ Film dozimetreler,
- ❌ Lüminesans dozimetreler (TLD ve OSL )
- ❌ “Elektronik” dozimetreler
- ❌ Plastik Sintilatör Dozimetreler (PSD)
- ❌ Yarıiletken dozimetreler



# DOZİMETRELERDE ARANAN ASGARI ÖZELLİKLER

- Doğruluk ve kesinlik
  - Doğrusallık (linearity) (Doz~Okuma)
  - Doz hızına bağımlılık
  - Enerji bağımlılığı
  - Yöne bağımlılık
  - Uzaysal çözünürlük(doz; noktasal nicelik olduğundan) ve fiziksel boyut
- Örnek: TLD noktasal dozimetre  
Film:2D boyutlu  
Jel: 3D boyutlu
- Doz değeri okuma uygunluğu
  - Dozimetrelerin kullanım kolaylığı



# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

✓ **Medikal dozimetrelerin enerji bağımlılığı**

**Radyoloji ve radyoterapide kullanım için bir dozimetrenin fotonun enerjisinden bağımsız bir tepki vermesi, uygun bir hassasiyet (sensitivity) gösterebilmesi ile hafif ve kullanışlı dedektörlere sahip olması gerekmektedir.**

**Özellikle teşhis (diagnostic) radyolojisinde X-ışını foton dozlarının ölçülmesi için gerçek zamanlı dozimetri sistemleri giriş yüzey dozu (entrance surface dose) izlenmesi veya CT fantomlarında doz profillerinin belirlenmesi uygulamalarını kapsamaktadır. Bu nedenle, bu özellikler önemlidir.**

# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

## ✓ İYON ODALARINA ALTERNATİF DOZİMETRELER

Medikal amaçla, iyon odaları teşhis radyolojisinde sıkça kullanılır ve bu iyon odaları 1,5-10 mmAl HVL aralığında %5' den daha fazla farklılığa neden olacak bir düzeltme faktörünü gerektirmeden yapılabilirler.

Ancak küçük hacimli iyon odalarında hassasiyet diagnostik tetkiklerde gerçekleşen doz hızlarında yeterli derecede başarısızdır (Nowotny ve Taubeck 2009).

# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

## ✓ İYON ODALARINA ALTERNATİF DOZİMETRELER:

Bu yüzden diğer başka dedektörlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde radyasyon terapisinde, yüksek enerjili fotonların gerçek zamanlı dozimetrik ölçümlerinde ve brakiterapideki radyasyon alanlarında vücut içi (in-vivo) kullanılmak üzere çeşitli dedektörler geliştirilmektedir.

Bunlar arasında plastik sintilatörler gibi organik katı sintilatörlerden bu amaçla yararlanılmaktadır (Beddar 1992).

# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

**Katı formdaki -plastik sintilatörler (PS) özellikleri;**

- ✓ **Kolayca kesilebilir, eğilebilir, şekil verilebilir ve oldukça ucuz fiyatla temin edilebilir.**
- ✓ **200-2500 keV geniş bir enerji aralığında suya eşdeğer ve**
- ✓ **Çok küçük boyutlu ( $< 2 \text{ cm}^3$ ) minyatür hacimlerde yapılabilir**
- ✓ **Yüksek duyarlıklı dedeksiyon ortamı,**
- ✓ **Yüksek doz hızı ve enerjiden bağımsız tepki verebilen ve**
- ✓ **Gerçek-zamanlı çıkış okuması (real-time readout) gibi özelliklerin bir kombinasyonuna sahiptirler.**



# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

**Tüm bu özellikler, PS dedektörlerinin katı formda, su eşdeğeri veya yaklaşık doku eşdeğeri olarak iki boyutlu veya üç boyutlu dozimetre olarak kullanılmalarını elverişli hale getirmiştir.**

# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

**PS malzemesi,**

- ✓ Bir fotoçoğaltıcı tüpe (PMT),
- ✓ Bir fotodiyota veya
- ✓ Yüke duyarlı kuplaj cihazına (CCD- Charge Coupled Device)

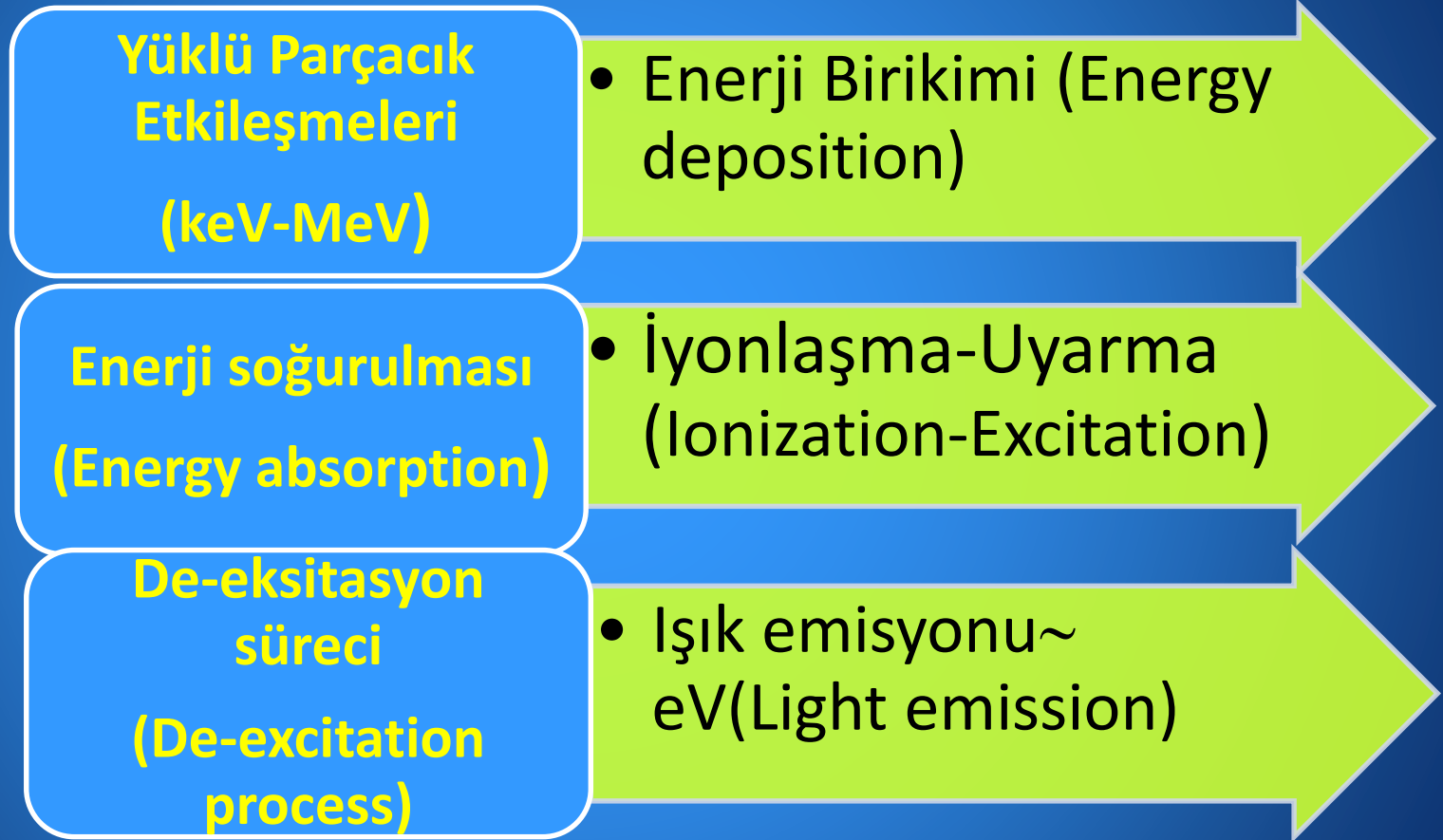
**optik olarak bağlanarak içinde iyonlaştırıcı radyasyon etkisiyle oluşan sintilasyon ışığının iletilmesine kolayca imkan verir.**

# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

PS tabakalarındaki oluşacak sintilasyon fotonlarının, bir ışık kılavuzu (optical light guide) kullanılmaksızın, sadece optik bir fiber kabloya kuplajı yapılarak örneğin hastadan daha uzaktaki (8-10 m) operatör odasındaki ışığa duyarlı bir fotodedektöre taşınması da mümkündür.

Bu özellik, PS malzemesini **aktif bir dozimetre** (medikal) olarak oldukça ilgi çekici hale getirmektedir.

# Doz Birikimi ve Sintilasyon Süreci (Dose deposition and scintillation)



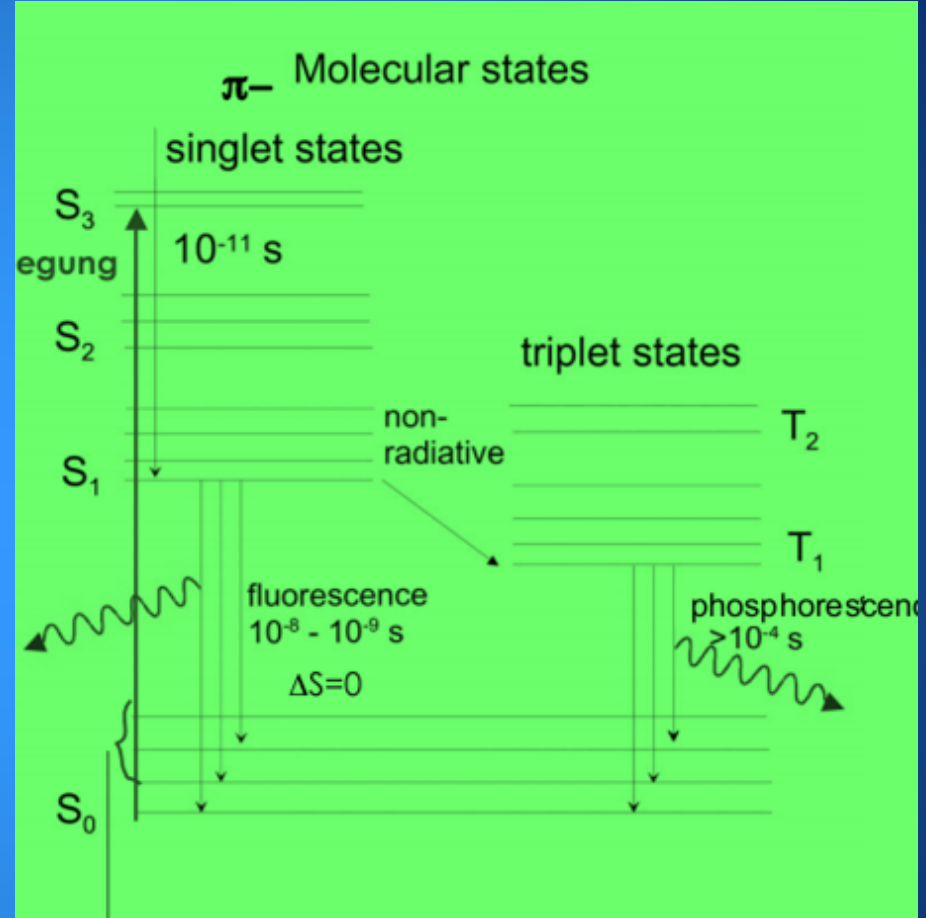
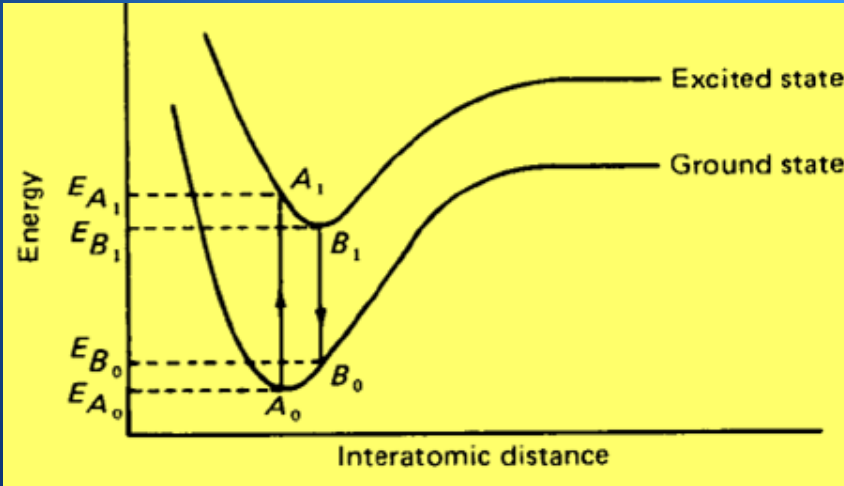
# SİNTİLATASYONA YOL AÇAN PROSESLERİN ZAMAN ÖLÇEĞİNDE SIRALAMASI

Faz	Karakteristik zaman (s)
<b>1. Enerji dönüşümü:</b> Radyasyonun ilk enerjisi ile birlikte elektron ve deşiklerin açığa çıkması	$10^{-18}$ - $10^{-9}$
<b>2. Termalizasyon:</b> Elektron ve deşiklerin inelastik etkileşme prosesleri ve bunların termalleşmesi	$10^{-16}$ - $10^{-12}$
<b>3. Luminesans merkezlerine transfer:</b> Eksiton(uyarım) sevipleri ve uyarılmış luminesans merkezlerinin oluşması	$10^{-12}$ - $10^{-8}$
<b>4. Işık emisyonları:</b> Uyarılmış luminesans ve sintilasyon ışığının emisyonu	$>10^{-10}$

# SİNTİLYASYON MEKANİZMASI

## $\pi$ -Moleküler seviyelerin De-eksitasyonu

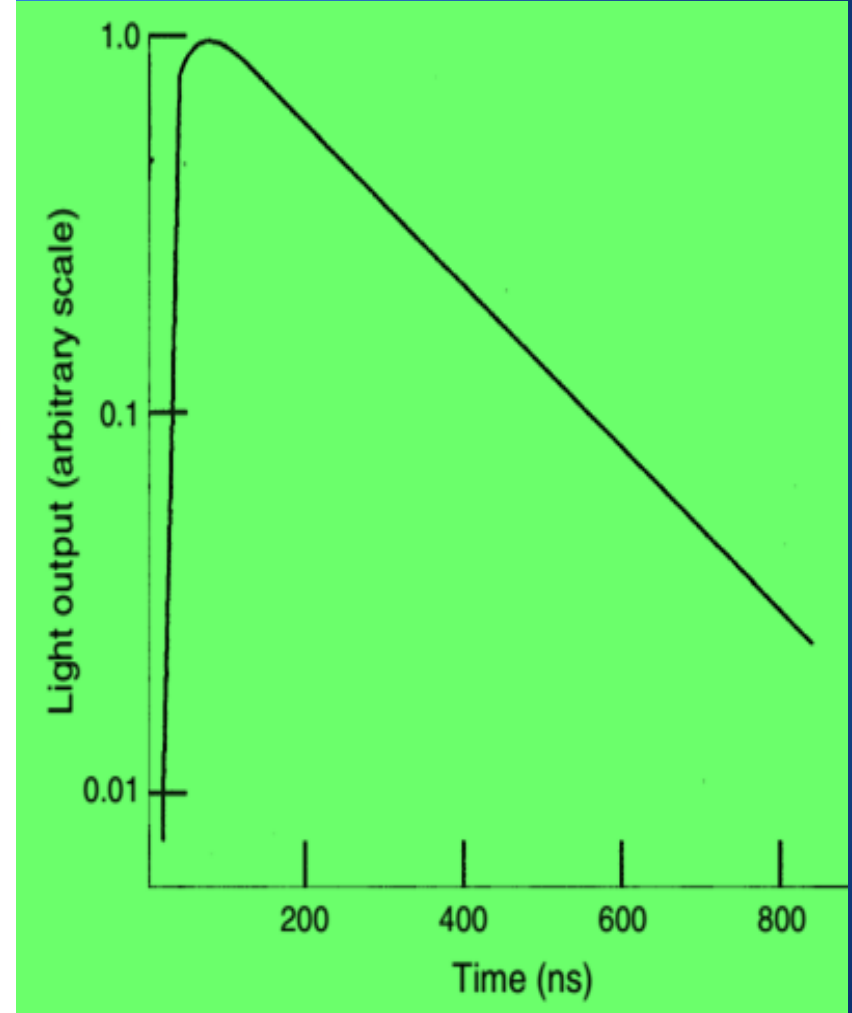
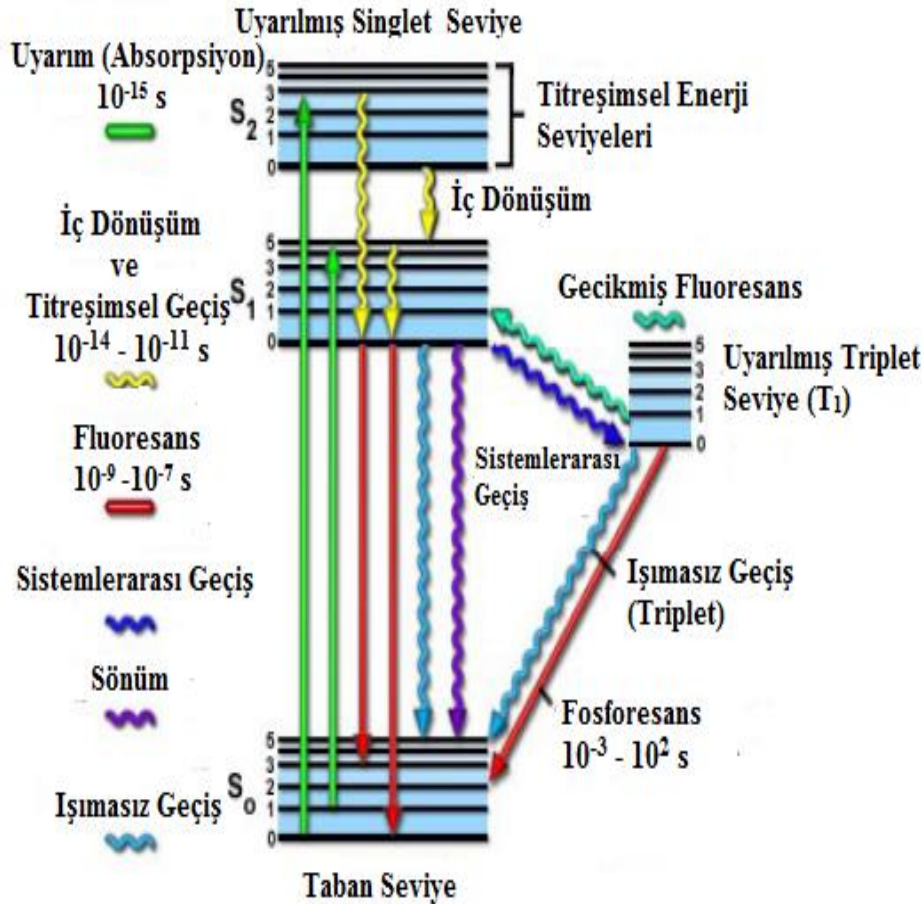
- ✓ Floresans  $S_1 \rightarrow S_0$ ,  $\tau \sim 10^{-8}$  s
- ✓ Fosferasans  $T_1 \rightarrow S_0$ ,  $\tau \sim 10^{-4}$  s
- ✓ Erken floresans
- $T_1 + T_1 \rightarrow S_1 + S_0 + \text{Fononlar}$
- ✓ Ani (prompt) floresans
- $S_1 \rightarrow S_0$   $\tau \sim 10^{-8} - 10^{-9}$  s

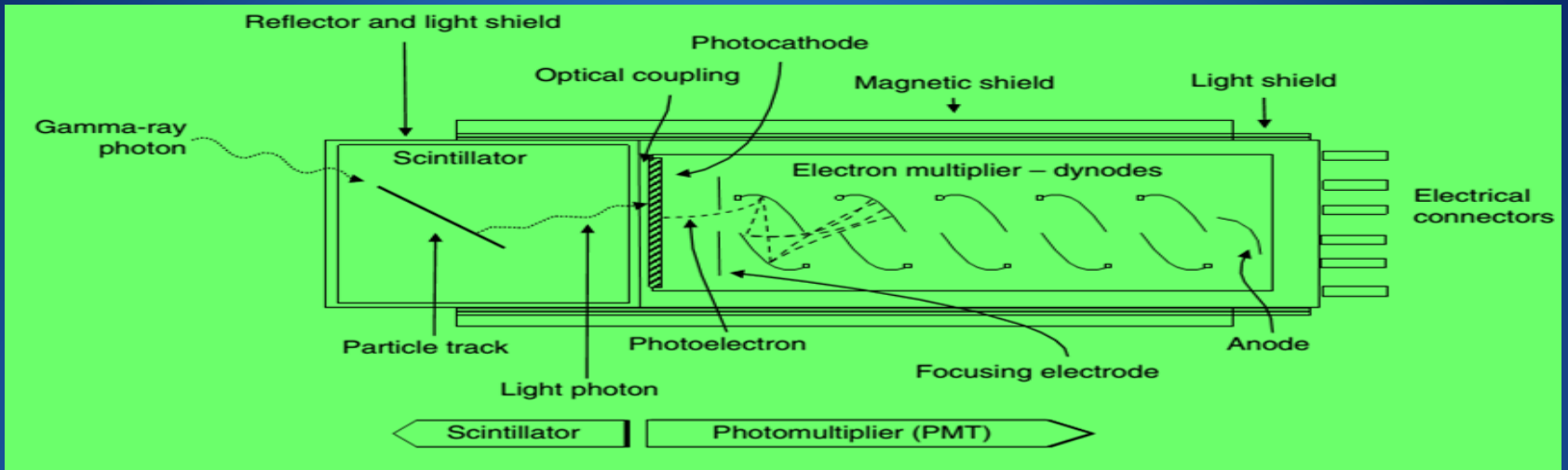


Organik kristallerdeki floresans işlemi, tek bir molekülün enerji seviye yapısındaki geçişlerden ortaya çıkar ve kristalin fiziksel yapısından bağımsızdır

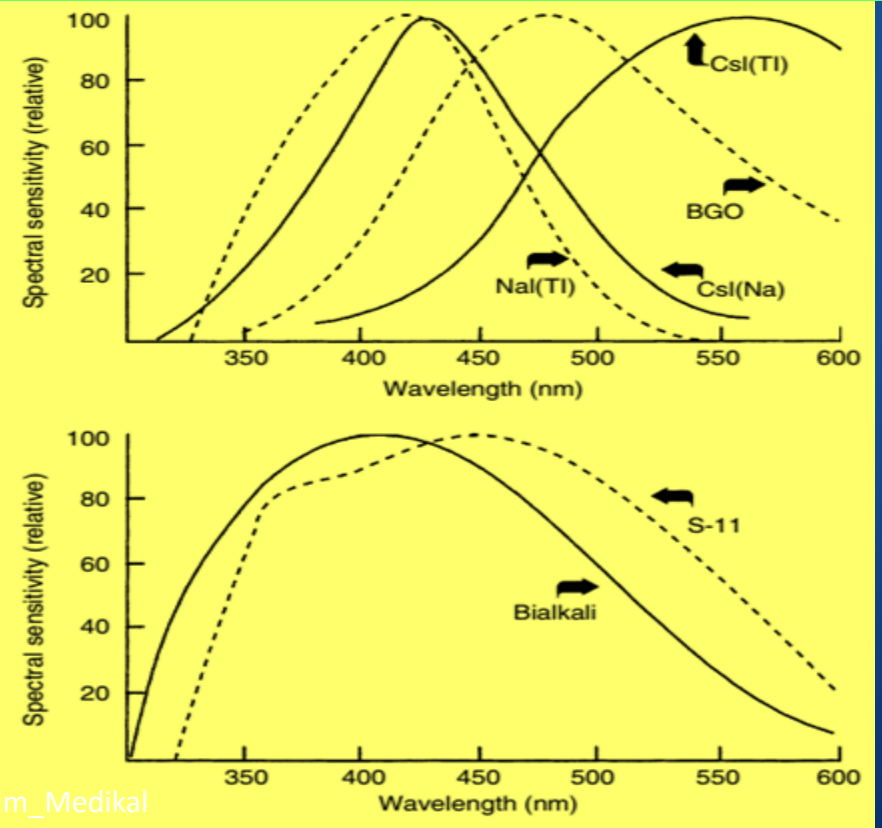
# SİNTİLAYON MEKANİZMASI

Jablonski Enerji Diyagramı





- ✓ Çarpan parçacıklar, sintilatör atom/moleküllerini uyarır,
- ✓ Uyarılmış seviyelerden görünür bölgede ışık yayınlanır.
- ✓ Işık kılavuzu veya reflektör yardımıyla, bu ışık fotokatod yüzeyine düşürülür.
- ✓ Oluşan elektronlar çoğaltılarak, elektriksel sinyale dönüştürülür.





# SİNTİLATÖRLER

## İNORGANİK

## ORGANİK

Material	Wavelength of maximum emission (nm)	Scintillation efficiency (relative, %)	Decay time ( $\mu$ s)	Density ( $10^3$ kg/m <sup>3</sup> )
NaI(Tl)	410	100	0.23	3.67
CaF <sub>2</sub> (Eu)	435	50	0.94	3.18
CsI(Na)	420	80	0.63	4.51
CsI(Tl)	565	45	1.00	4.51
Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	480	8	0.30	7.13
CdWO <sub>4</sub>	530	20	0.90	7.90
<sup>6</sup> LiI(Eu)	470	30	0.94	3.49

Organik malzemeler( örn.,plastikler)

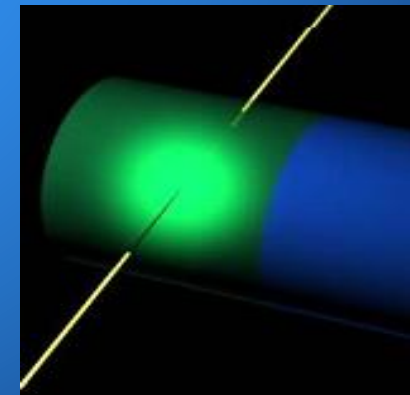
✓Düşük yoğunluklu

✓Yaklaşık su (doku) eşdeğeri

✓Yoğunluk:1.03-1.06 g/cm<sup>3</sup>

✓Düşük Z 'li

✓Uyarma ve emisyon spektrumları, katı, sıvı veya buhar fazlarında benzer



# PLASTİK SİNTİLATÖRLER

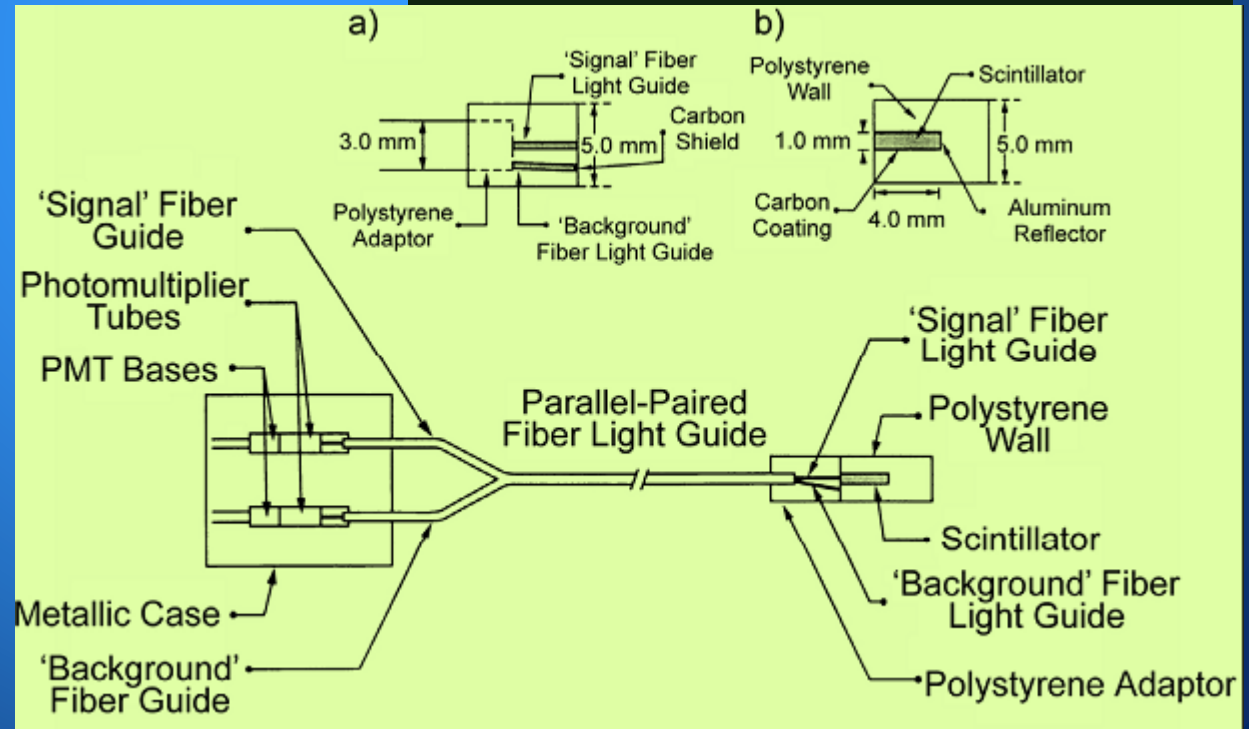
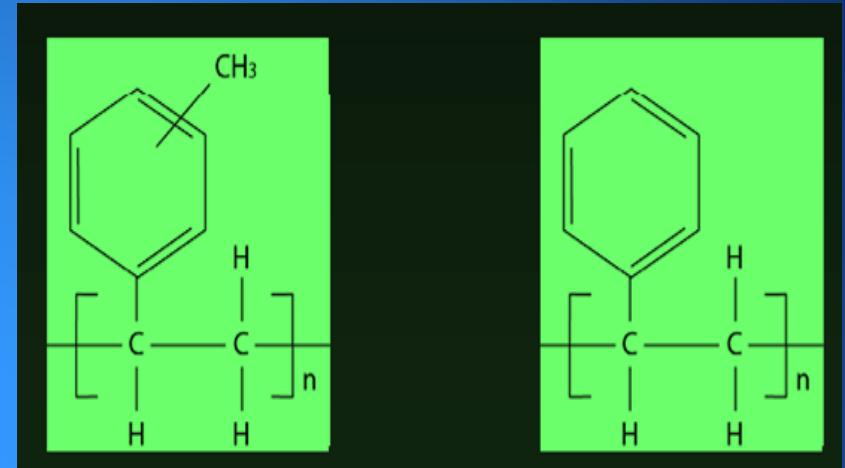
Kor ana kısım( bulk solvent)

✓PVT-Poliviniltoluen (plastik sintilatör)

✓PVB-Polistren (plastic scintillating fiber)

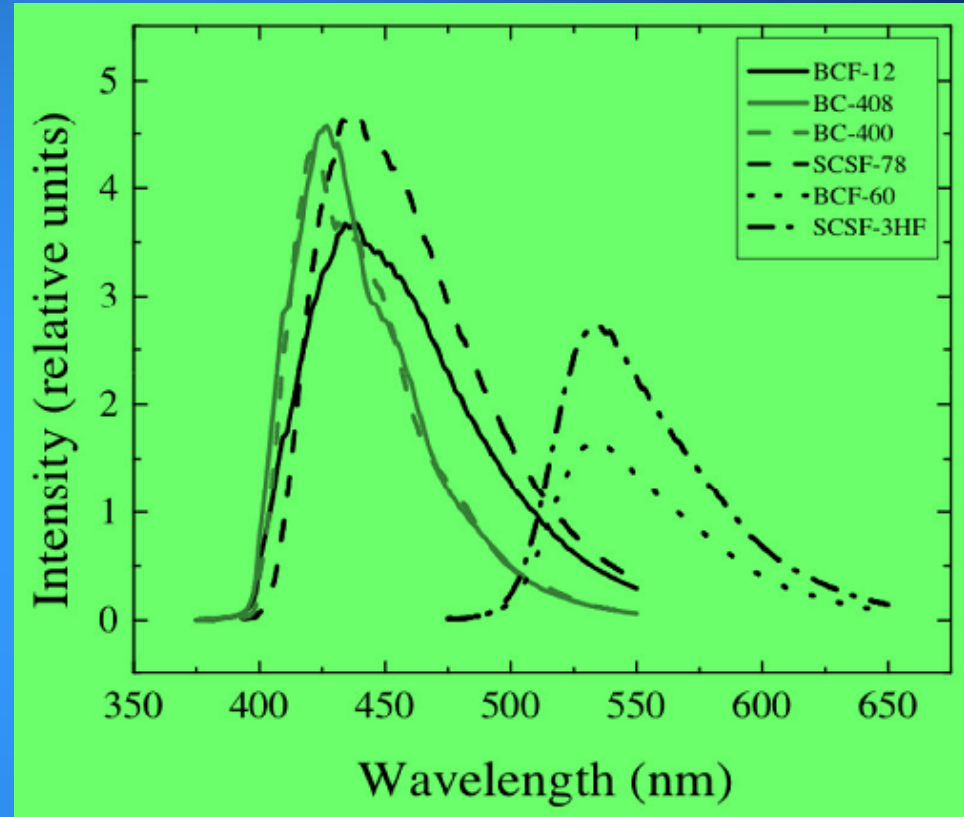
Kılıfı (scintillating fibers)

✓PMMA-  
Polymethylacrylate  
Işığın optik fibere  
iletilmesini  
güçlendirir.



# PLASTİKSİNTİLATÖRE FLUOR KATKILANMASI

Organik fluorlar( parıldayıcı/sintilasyon ışığı yayan malzemeler) ana kor sintilatör (bulk solvent) ile birlikte kullanılır. İki bileşenli bir sistem oluşur. Örnek;  
BC-400:>%97 PVT+<%3 organik fluor  
P-Terphenyl ( $C_6H_5$   $C_6H_4$   $C_6H_5$ )  
PVT (solvent) içine aktarılan enerji, organik fluor moleküllerine aktarılır 380-460 nm mavi ışık bölgesinde pik yapan bir görünür ışık spektrumu yayınlanır.



# DALGA BOYU KAYDIRICILAR

## Sintilatöre ikinci bir fluorun katılanması:

Üçlü sistemler:

Ana kor sintilatör (bulk solvent)+ Birinci Organik fluorlar ( parıldayıcı/sintilasyon ışığı yayan malzemeler)+ İkinci organik fluor

İkinci fluor; birinci fluordan yayınlanan ışığı soğurarak, bu defa daha uzun dalga boylarında yeniden yayınlar  
“Bunlara dalga boyu kaydırıcılar (wavelength shifters) adı verilir.

**Örnek:** (PVT)+(p-Terphenyl)+ (POPOP)

POPOP:[1,4 bis(5-phenyloxazol-2-yl) benzene]

Bu ikinci fluor, **yeşil** veya sarı renkte ışık yayınlar.

**Ancak ışık şiddeti nispeten azalır.**

## PLASTİK SİNTİLATÖR IŞIK VERİMİ

✓ PS içinde, ilk enerjinin sadece küçük bir kısmı fluoresans enerjisine dönüştürülür.

Örnek; BCF-12 plastik sintilatör fiber için 1MeV başına 8000 foton üretilir. Yani, 1 ışık fotonu için 125 eV'luk enerji harcanır.

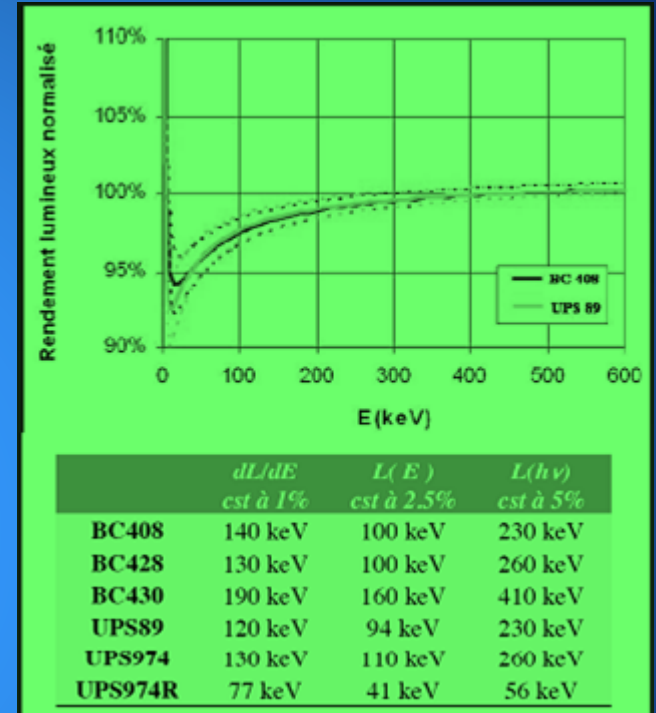
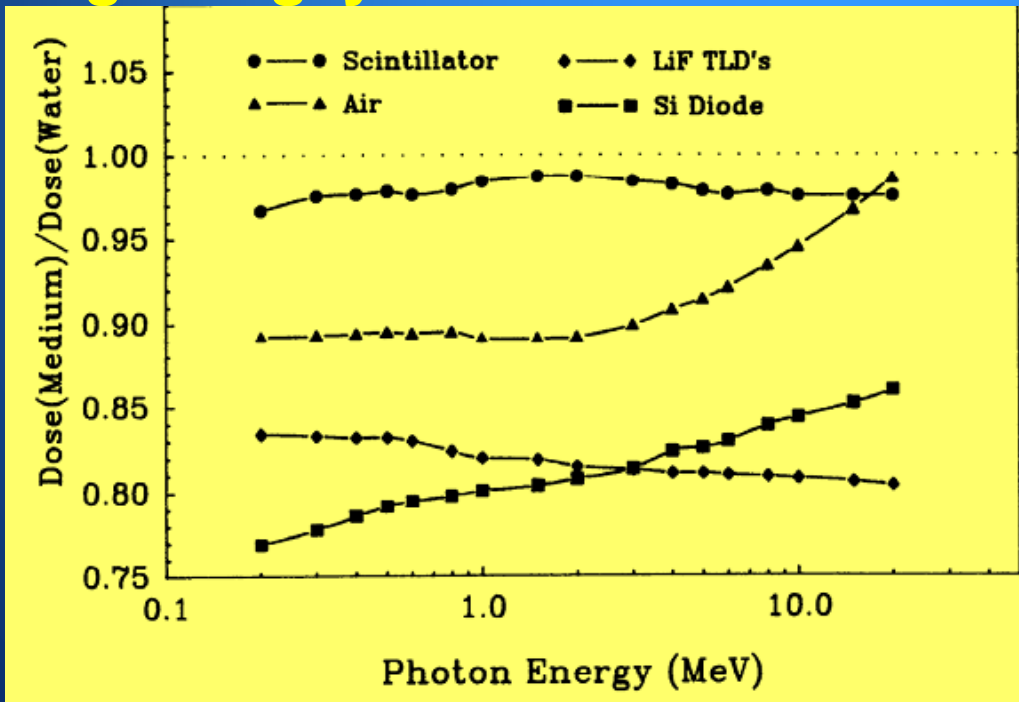
Üretilen görünür ışığın toplam enerjisi sadece 2,9 eV(@430 nm)

Işık verimi olarak %2,4'e karşılık gelir (Enerjinin %97,6'sı fononlar şeklinde harcanır

PS'nin ışık çıkış miktarı LET'e (yani elektron, pozitron, proton, döteron ve alfa yüklü parçacık tipine bağımlıdır.

# PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN ENERJİ LİNEERİTESİ

PS tepkisi, düşük enerjilerde (<100 keV) enerji bağımlılığı vardır  
 PS tepkisi, yüksek enerjilerde (radyoterapi >1,25 MeV) enerji bağımlılığı yoktur.



Frelin et al., 2008 Medical Phys.

$$(Z/A)_{\text{eff}} = \sum_i w_i \cdot (Z/A)_i$$

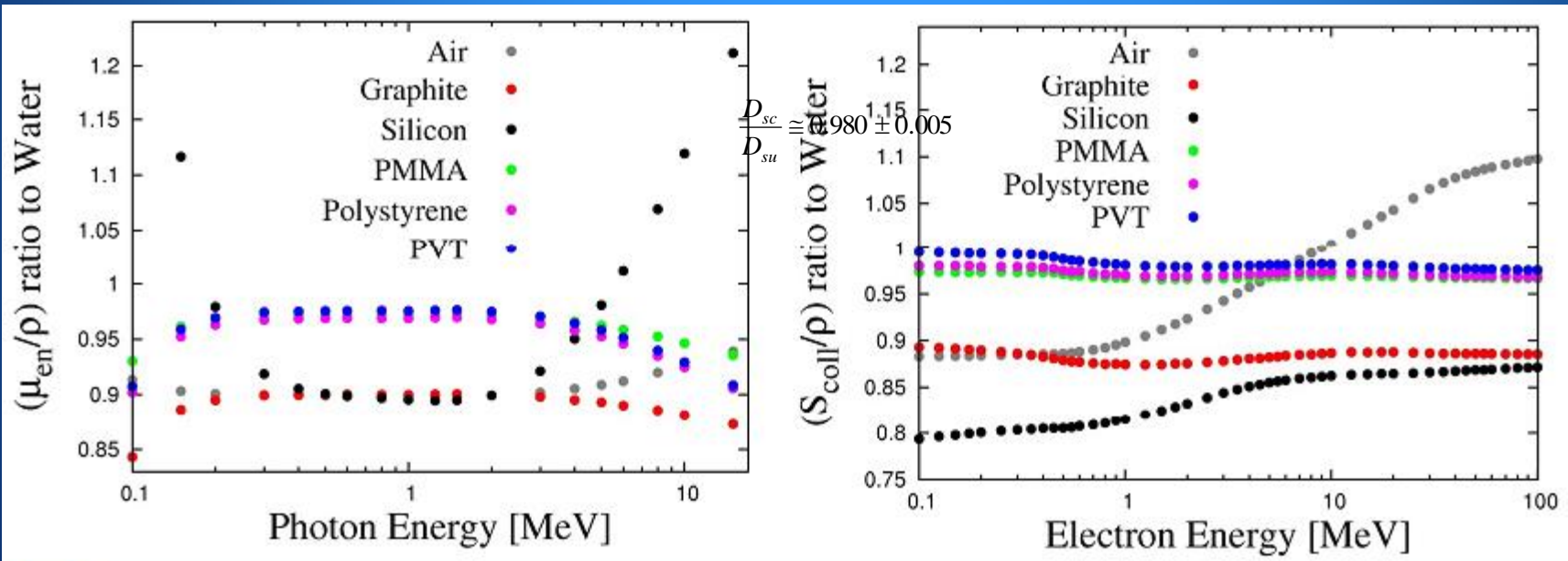
# PS'nin SUYA VE DOKUYA EŞDEĞERLİĞİ

Parametre	Sintilatör (BC-408)	Polystrene	Su	ICRP, Soft tissue (Yumuşak doku)
Density, $\rho$ (g cm <sup>-3</sup> )	1.032	1.06	1.00	1.00
Ratio of the number of electrons in the compound to the molecular weight*, $(Z/A)_{\text{eff}}$	0.5414		0.5551	0.5503
Electron density** (x10 <sup>23</sup> # of electrons/cm <sup>3</sup> ), $N_g$	3.364	3.238	3.343	3.314
Specific ionization energy (eV)	64.7		75.0	72.3
Composition, w (weight %)	H:8.47; C:91.53	H:7.74; C:92.6	H:11.19; O:88.81	H:10.45; C:23.22; N:2.50; O:63.02; Na:0.11; Mg:0.01; P:0.13; S:0.20; Cl:0.13; K:0.20; Ca:0.02; Fe:0.005; Zn:0.003

## PS'nin SUYA EŞDEĞERLİĞİ

Burlin Kavite teorisine göre 125 keV üzeri enerjilerde

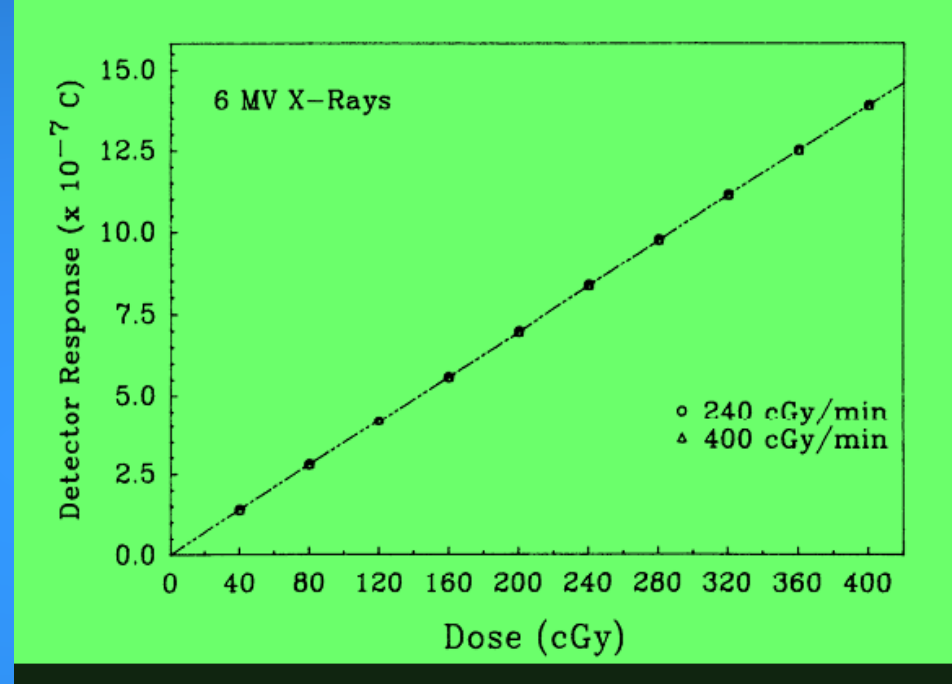
$$\frac{D_{sc}}{D_{su}} \cong 0.980 \pm 0.005$$





# PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN MEDİKAL DOZİMETRE OLARAK AVANTAJLARI

- ✓ Doza karşı lineer tepki
- ✓ Doz hızından bağımsız
- ✓ Enerjiden bağımsız (özellikle radyoterapide)
- ✓ Sıcaklıktan bağımsız
- ✓ Uzaysal çözünürlüğü iyi
- ✓ Gerçek zamanlı (real-time) okumaya elverişli
- ✓ In-vivo kullanıma elverişli

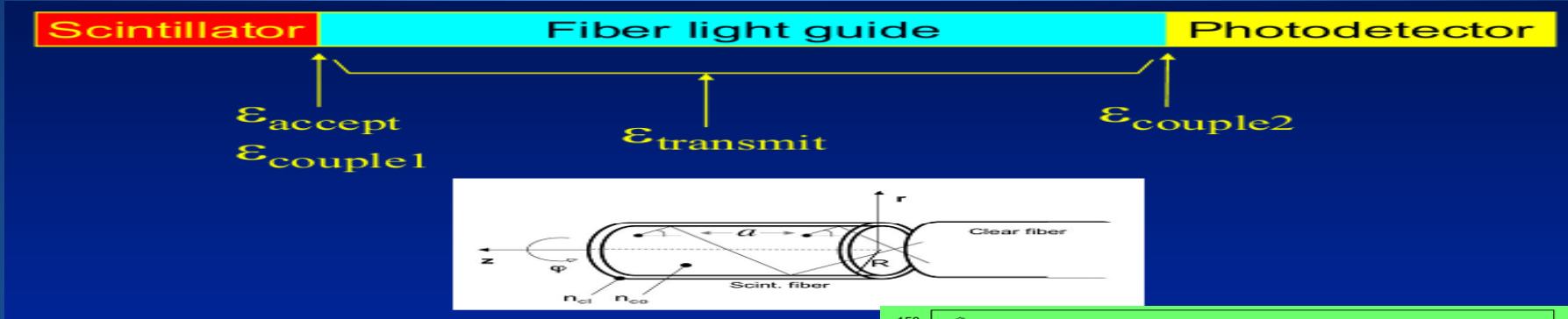


# PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN MEDİKAL DOZİMETRE OLARAK DEZAVANTAJLARI

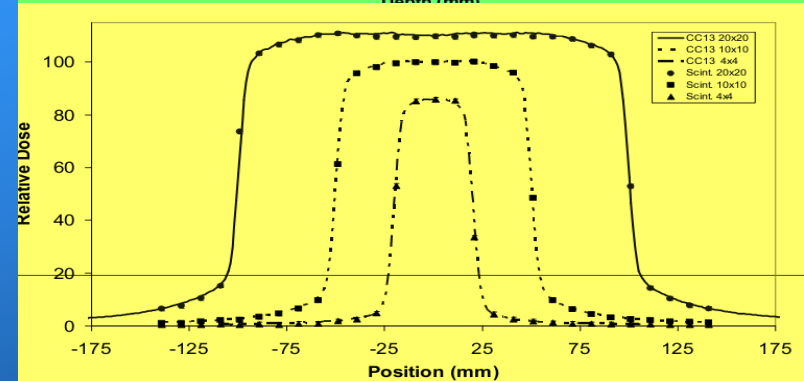
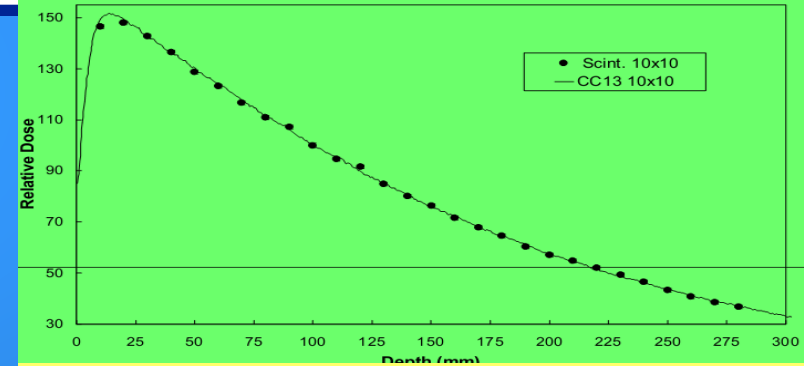
- ✓ Radyolojide sınırlı kullanıma sahip (Enerji bağımlılığı var !) Uygun PS'ler henüz araştırılıyor.
- ✓ A.S. Beddar (1992) yılından itibaren PS'ler yoğun araştırılıyor.

# PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN YAYGINLAŞAN UYGULAMA ALANLARI

PS dedektör konfigürasyonu:



- ✓ Geleneksel-EBRT (Elektron Demet Radyoterapi (Foton ve Elektronlar kullanılarak))
- Doz derinliği (Depth dose)
- Doz profili



# PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN YAYGINLAŞAN UYGULAMA ALANLARI

Radyocerrahi için PS dedektör konfigürasyonu:



- ✓ Brakiterapi
- ✓ IMRT
- ✓ Stereotactic Radyocerrahi
- ✓ Proton Dozimetri
- ✓ Günlük QA
- ✓ Diğer yeni klinik uygulamalar

# Sorularınız...

<http://www.nukbilimler.ankara.edu.tr/>