

RADYASYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Prof. Dr. Haluk YÜCEL

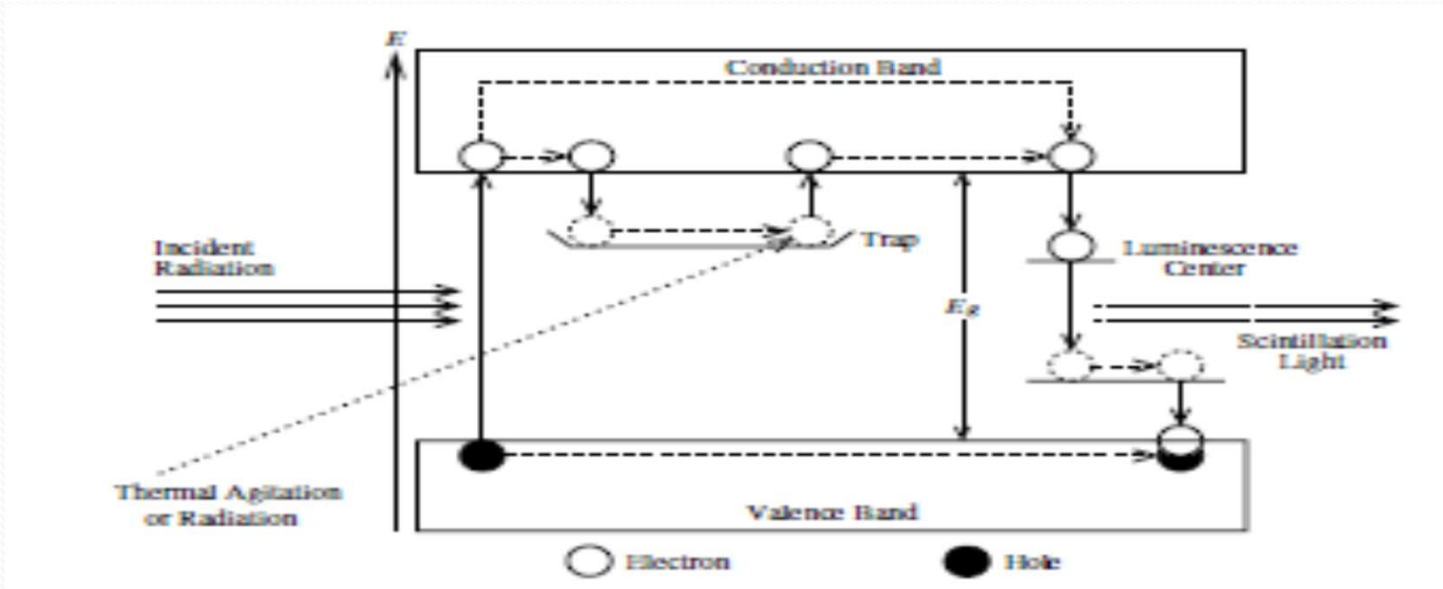
101516 Dersi

SİNTİLASYON DEDEKTÖRLERİ

İdeal bir sintilasyon maddesinin özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

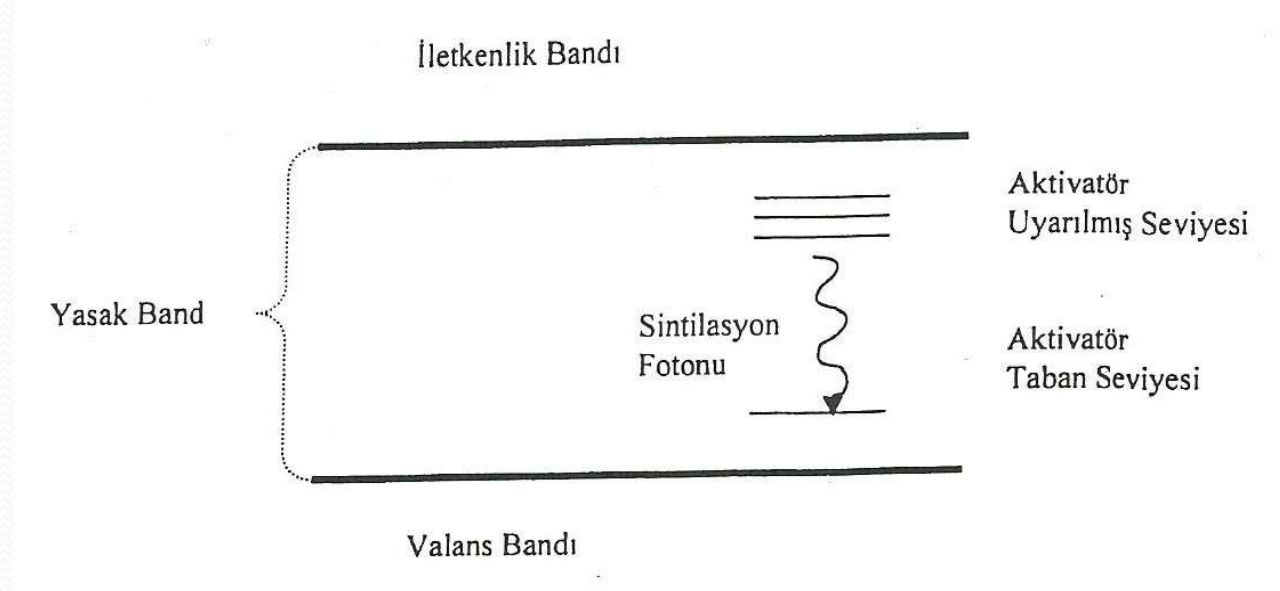
- Yüklü parçacıkların kinetik enerjilerini yüksek bir sintilasyon etkinliği ile dedekte edilebilecek ışığa çevirmelidir.
- Bu dönüşüm doğrusal olmalıdır yani, ışık verimi soğurulan enerji ile geniş bir aralıkta orantılı olmalıdır.
- Işığın etkin bir şekilde toplanması için ortam kendi salınımının dalga boyunu geçirgen olmalıdır.
- Hızlı sinyal pulslarının oluşumu için oluşan luminesansın (aydınlanmanın) azalım zamanı kısa olmalıdır.
- Materyalin optik kalitesi iyi olmalı ve istenilen boyutta dedektör yapılabilmelidir.
- Sintilasyon ışığının fotoçoğaltıcı tüpe (PM tüp) etkin bir şekilde aktarımı için kırılma indeksi camın indeksine yakın olmalıdır.

İNORGANİK KRİSTALLER

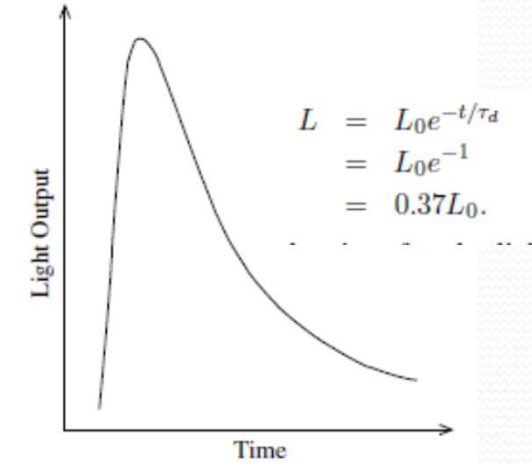


Aktive edilmiş bir sintilatörün enerji bant yapısı

SİNTİLYASYON-BANT KAVRAMI

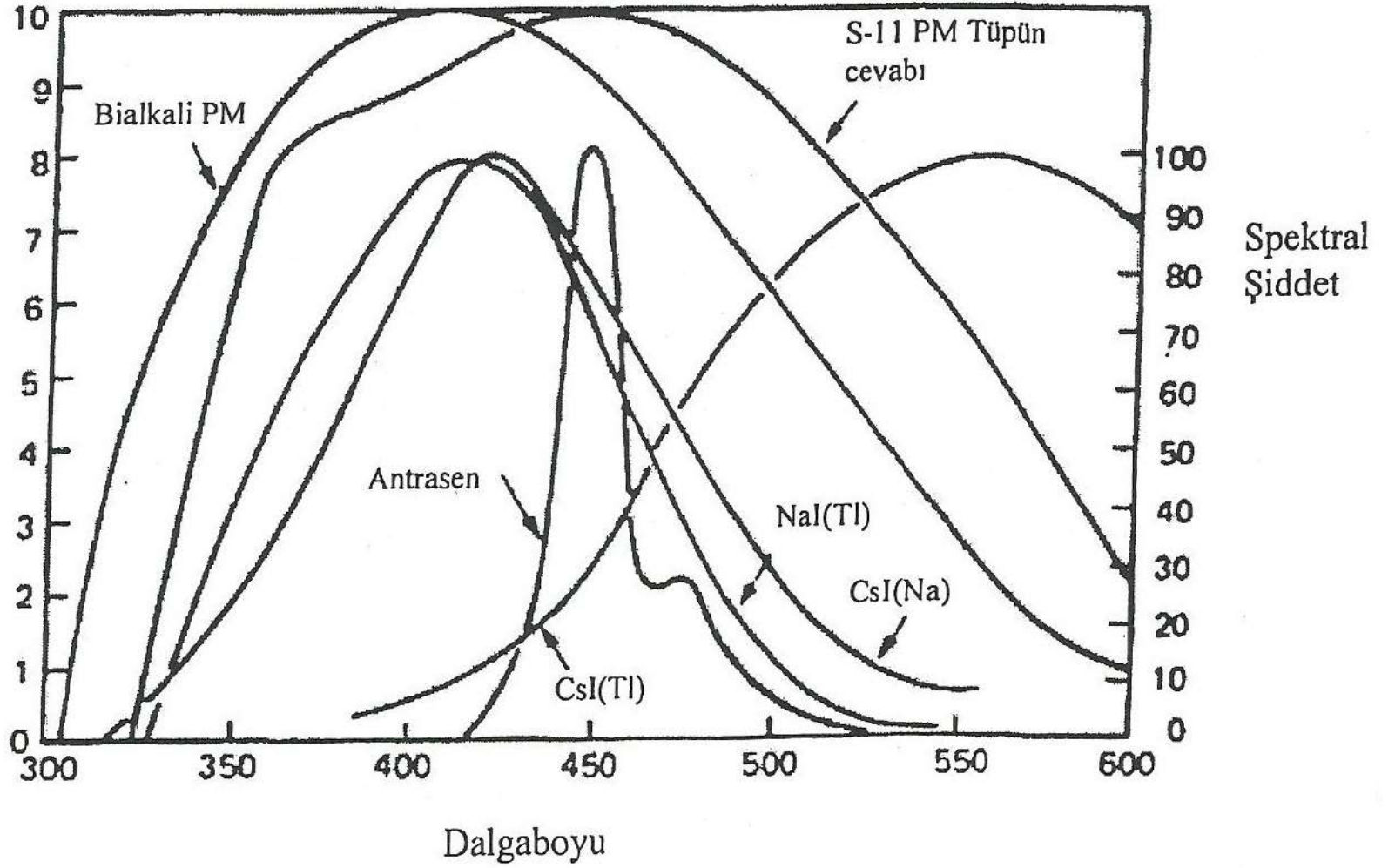


$$\begin{aligned} L &= L_0 (1 - e^{-t/\tau_r}) \\ &= L_0 (1 - e^{-1}) \\ &= 0.63L_0. \end{aligned}$$



Aktive edilmiş bir sintilatörün enerji bant yapısı ve pulsun oluşması

PM Tüp Spektral
Hassasiyet



Bazı kristallere ait salınım spektrumları ile iki farklı fotokatotun soğurma bantları

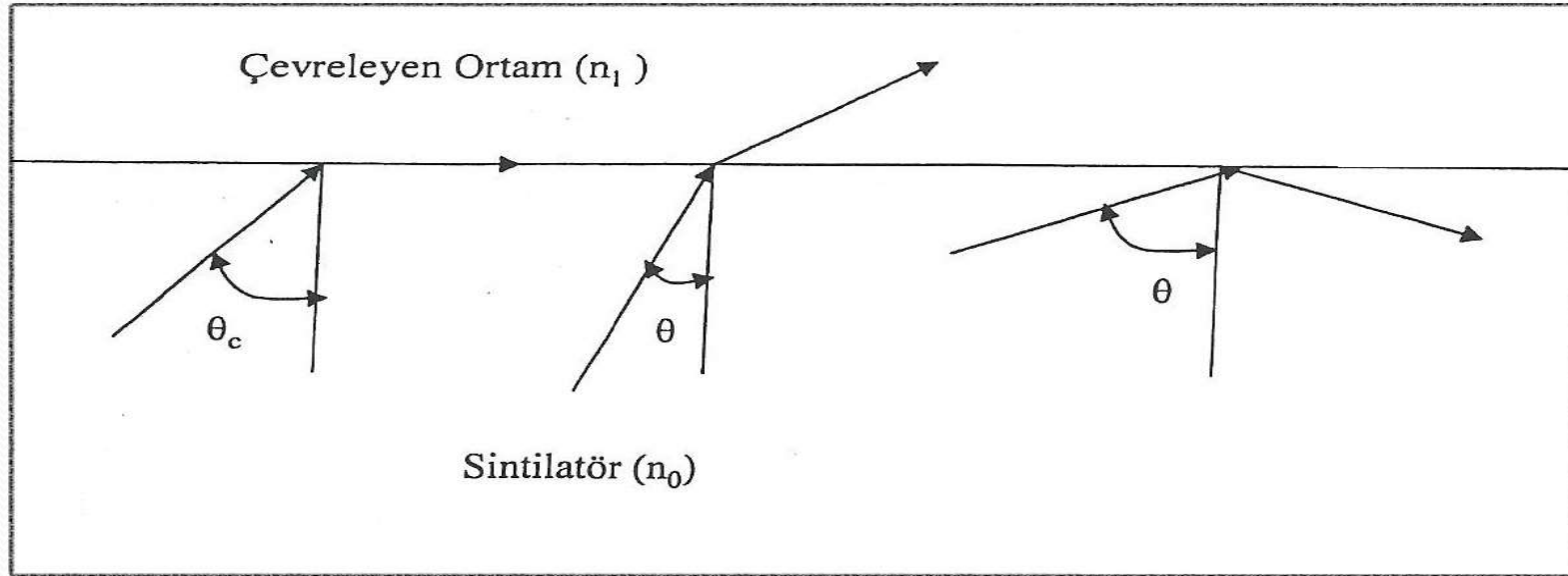
Material	Maksimum salınımın dalga boyu (nm)	Sintilasyon verimi (%)	Azalım zamanı (μs)	Yoğunluk (10^3 kg/m³)
NaI(Tl)	410	100	0,23	3,67
CaF ₂ (Eu)	435	50	0,94	3,18
CsI(Na)	420	80	0,63	4,51
CsI(Tl)	565	45	1,00	4,51
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂	480	8	0,30	7,13
CdWO ₄	530	20	0,90	7,90
⁶ LiI(Eu)	470	30	0,94	3,49

Bazı inorganik sintilatörlerin özellikleri

BAZI SİNTİLATÖRLERİN ÖZELLİKLERİ

- NaI(Tl)
- CsI(Tl) ve CsI(Na)
- Bizmut Germanyum (BGO)
- Baryum Florür (BaF_2)
- ZnS (Ag)

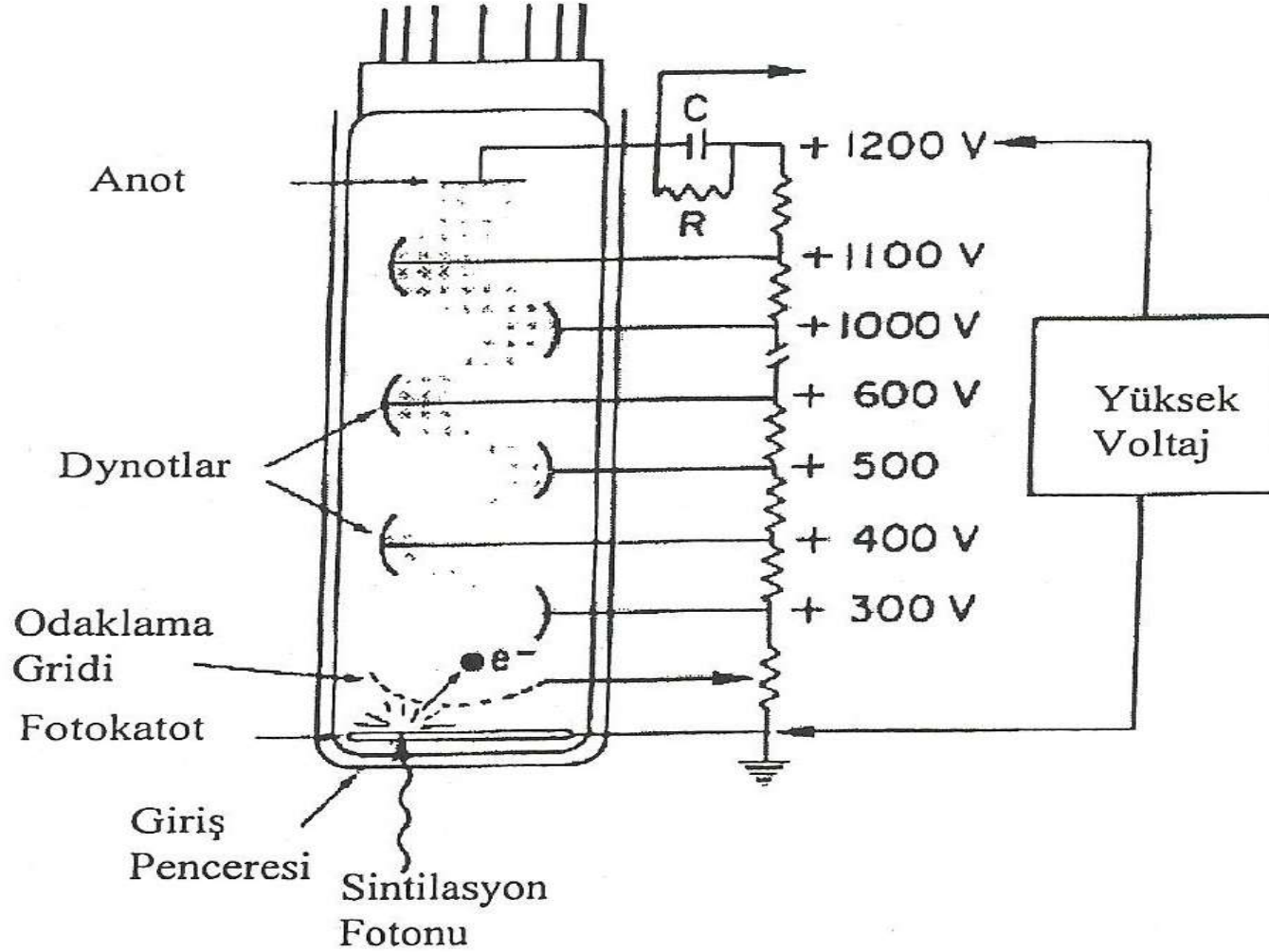
SİNTİLATÖRLERDE IŞIK TOPLANMASI



Optik özelliği farklı iki ortamın ara kesitindeki ışık yansıma ve kırılmaları

$$\theta_c = \sin^{-1} (n_1 / n_0)$$

FOTOÇOĞALTICI TÜPLER



Fotoçoğaltıcı tüpün yapısı

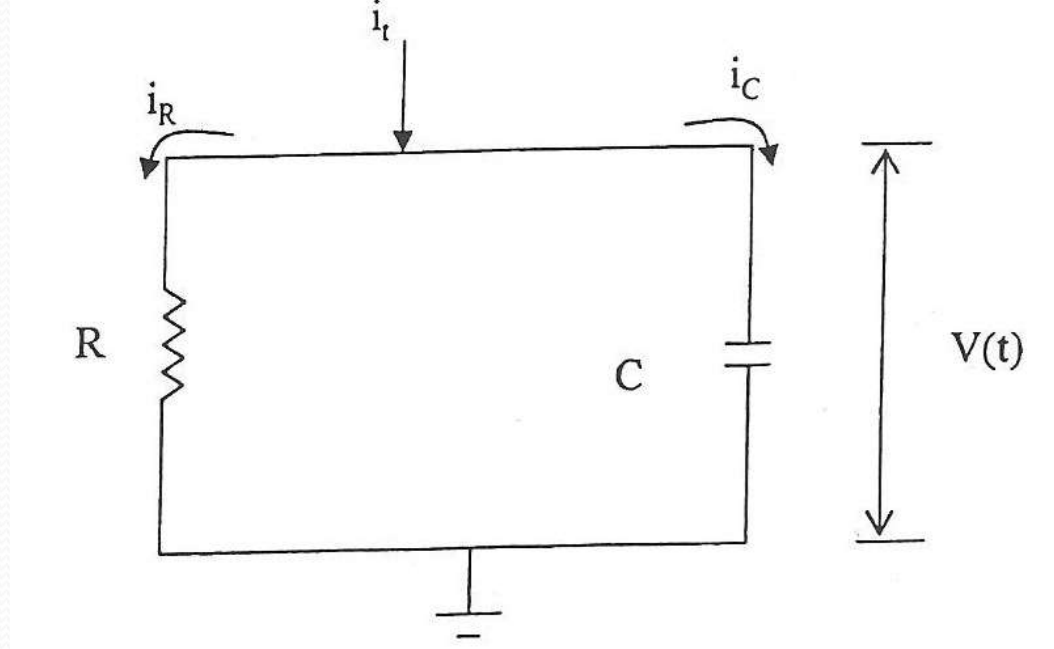
Kuantum Etkinliği ve Spektral Cevap

$$QE = \frac{\text{Salinan fotoelektron sayısı}}{\text{Gelen foton sayısı}}$$

İkincil Elektron çoğalımı

$$\delta = \frac{\text{Salinan ikincil elektron sayısı}}{\text{Gelen primer elektron}}$$

SİNTİLATÖRLERDE PULS



Fototüp anot devresini temsil eden RC devresi

Bir sintilasyon olayında meydana gelen ışık fotonlarının zaman içerisindeki davranışları basit bir üstel ifade ile temsil edilebilir. Bir sintilasyon olayından sonra meydana gelen puls bu analiz için dikkate alınacaktır.

Sintilasyon fotonlarının oluşumuna benzer olarak anotta oluşan akım:

$$i(t) = i_0 e^{-\lambda t}$$

λ , sintilatörün azalım sabitidir. Başlangıç akımı ise tüm puls boyunca toplanan Q yüküdür.

$$Q = \int_0^{\infty} i(t) dt = i_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = i_0 / \lambda$$

Bu nedenle,

$$i_0 = Q \lambda$$

$$i(t) = Q \lambda e^{-\lambda t}$$

Anotta beklenen $V(t)$ voltaj pulsunun çıkarılması için önce paralel RC devresine giden akımın, kapasitör ve R direncinden geçen akımların toplamı olduğu dikkate alınırsa:

$$i(t) = i_c + i_R$$

$$i(t) = C[dV(t) / dt] + [V(t) / R]$$

$i(t) = Q \lambda e^{-\lambda t}$ ifadesini kullanarak ve C'ye bölerek,

$$[dV(t) / dt] + [1 / RC] V(t) = (Q \lambda / C) e^{-\lambda t}$$


$$[dV(t) / dt] + [1 / RC] V(t) = (Q \lambda / C) e^{-\lambda t}$$

$V(0) = 0$ başlangıç şartı ile çözülmesiyle,

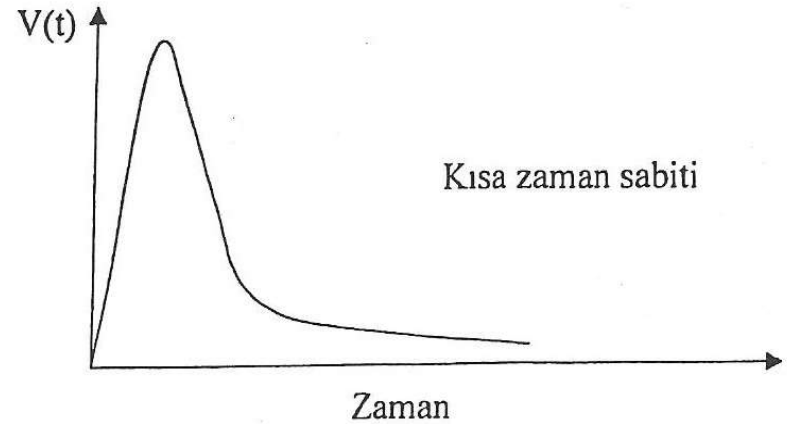
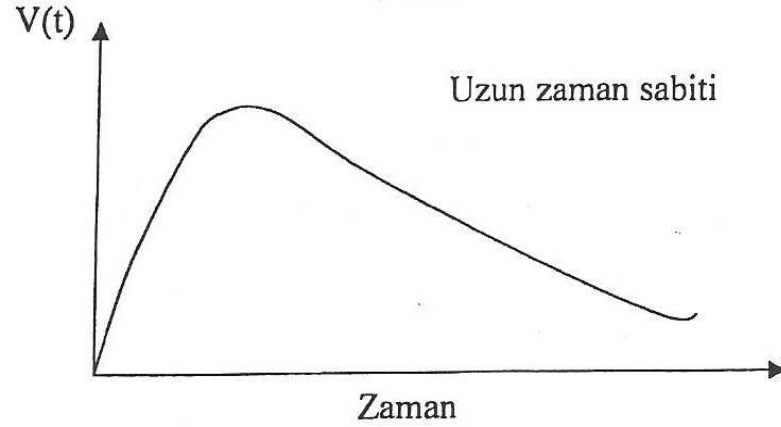
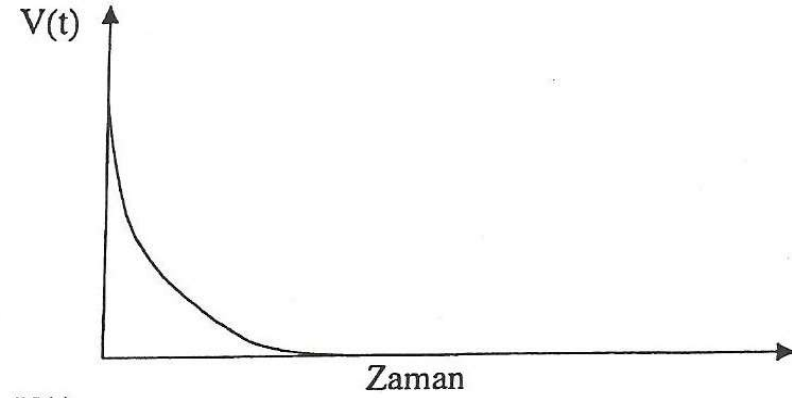
$$V(t) = [1 / (\lambda - \theta)] (\lambda Q / C) [e^{-\theta t} - e^{-\lambda t}] \quad \text{bulunur.}$$

Burada $\theta = 1 / RC$ anot zaman sabitinin tersidir.

1. Durum: Büyük Zaman Sabiti

$$V(t) = (Q / C) [e^{-\theta t} - e^{-\lambda t}]$$

Işık pulsunun beklenen davranışı (en üst) ve anot pulsu V(t)'nin iki farklı zaman sabitindeki davranışı



$\theta \ll \lambda$ olduğundan $V(t) = (Q / C) [e^{-\theta t} - e^{-\lambda t}]$ ifadesindeki ilk üstel ifade yavaşça azalır ve kısa zaman davranışı aşağıdaki gibi verilir:

$$V(t) = (Q / C) [1 - e^{-\lambda t}] \quad (t \ll 1 / \theta)$$

Yeteri kadar uzun bir süre sonra ikinci üstel ifade sıfıra azalacaktır ve uzun zaman davranışı;

$$V(t) = (Q / C) [e^{-\theta t}] \quad (t \gg 1 / \lambda)$$

Dikkat çeken önemli noktalar:

1. Pulsun ön kenarının zamana bağlı davranışı $[1 - e^{-\lambda t}]$ ile verilirken, doğuş zamanı sintilatörün (λ) azalım sabiti ile değişir.
2. Pulsun kuyruk kısmının davranışı $e^{-\theta t}$ ile verilir ve anot devresinin zaman sabiti ile $(RC = I / \theta)$ azalır.
3. Pulsun genliği basitçe Q / C ile verilir, bu değere ancak $\theta \ll \lambda$ şartında ulaşılır.

2. Durum: Küçük Zaman Sabiti

$$V(t) = (\lambda / \theta) (Q / C) [e^{-\lambda t} - e^{-\theta t}]$$

t'nin küçük değerlerindeki davranış,

$$V(t) = (\lambda / \theta) (Q / C) [1 - e^{-\theta t}] \quad (t \ll 1/\lambda)$$

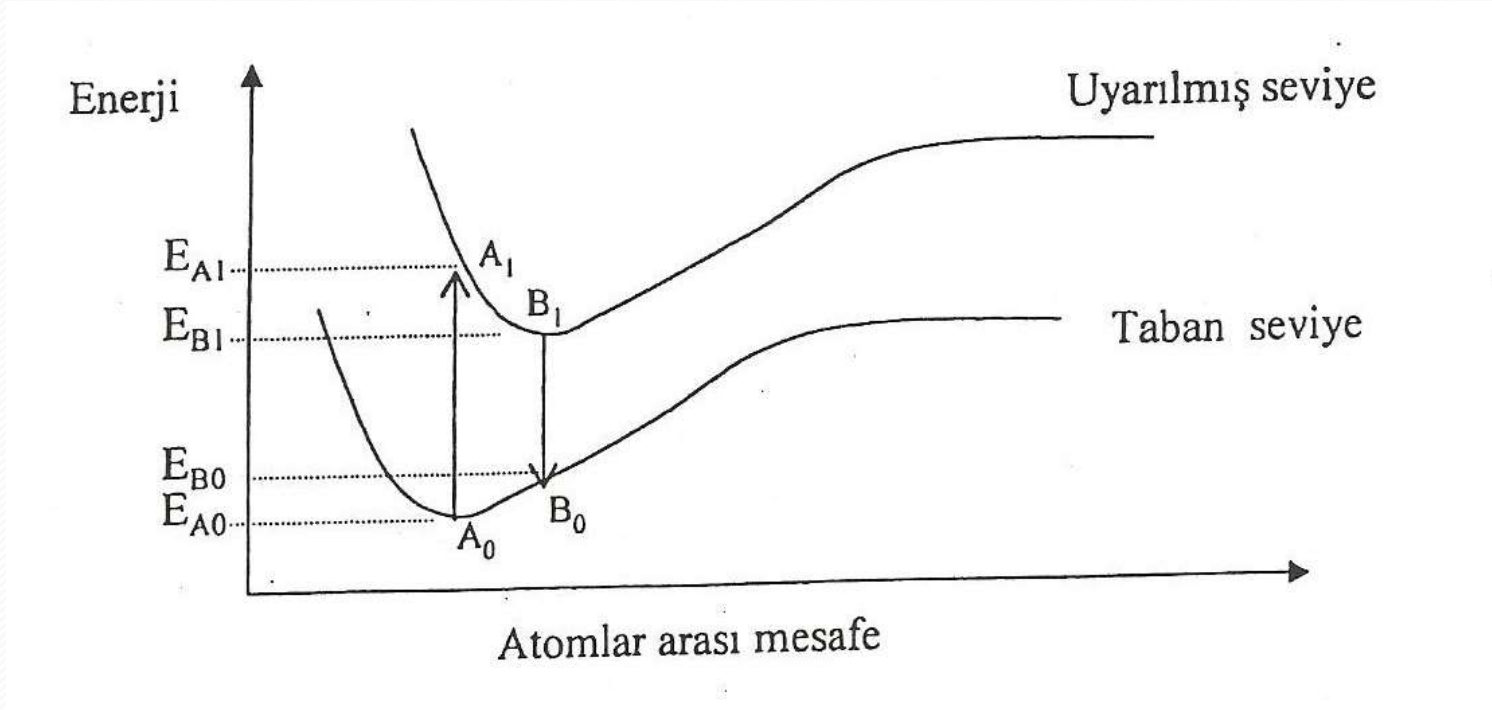
Halbuki büyük t için,

$$V(t) = (\lambda / \theta) (Q / C) [e^{-\lambda t}] \quad (t \gg 1/\theta)$$

Elde edilen sonuçlar:

1. Pulsun ön kenarının davranışı $[1 - e^{-\theta t}]$ ile verilir ve anodun zaman sabiti ile belirlenir $RC = 1 / \theta$
2. Pulsun kuyruk kısmı $[e^{-\lambda t}]$ ile verilmekte olup sintilatör ışığına benzerdir.
3. Pulsun maksimum genliği $[\lambda Q / \theta C]$ olup 1'inci durumdakinden hayli küçüktür.

ORGANİK KRİSTALLER



Molekülün basitleştirilmiş enerji diyagramı

Material	Maksimum salınımın dalga boyu (nm)	Sintilasyon verimi (%)	Azalış zamanı (μs)	Yoğunluk (10^3 kg/m³)
Antrasen	445	100	~30	1,25
Trans-Stilben	385	~60	4-8	1,16
NE 102	350-450	~65	2	1,06
NE 110	350-450	60	3	1,06
NE 213 (sıvı)	350-450	~60	2	0,867
PILOT B	350-450	68	2	1,06
PILOT Y	350-450	64	~3	1,06

Bazı organik sintilatörlerin özellikleri

ORGANİK SİNTİLATÖR TİPLERİ

- Saf organik kristaller
- Sıvı organik kristaller
- Plastik Sintilatörler