

Radyasyon Ölçüm Cihazları

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU



Ayhan AKKAŞ
ÇNAEM- 2013

SUNU İÇERİĞİ

- Radyasyon Ölçüm Sistemleri
- Radyasyon Ölçüm Cihazlarının Genel Özellikleri
 - ✓ Verim
 - ✓ Cevap Verme Süresi
 - ✓ Enerji Bağımlılığı
 - ✓ Ölü Zaman
- Dedektörlerde Kullanılan Modlar
- Gazlı dedektörler
 - ✓ İyon odalı dedektörler
 - ✓ Orantılı Sayaç dedektörleri
 - ✓ Geiger Müller tipi dedektör

- Sintilasyon Dedektörleri

- ✓ İnorganik Sintilasyon Dedektörleri
- ✓ Organik Sintilasyon Dedektörleri
- ✓ Sintilasyon dedektörlerin karşılaştırılması

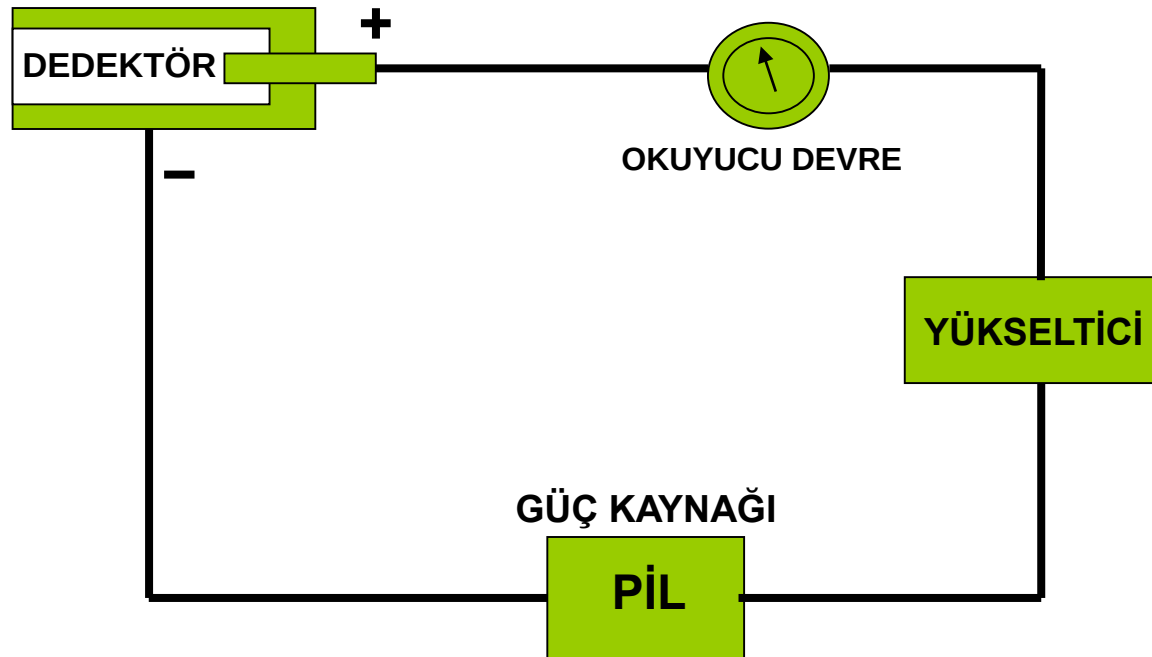
- Yarıiletken Dedektörler

- Nötron Dedektörleri

- ✓ Nötron Dedektörlerinin Çalışma Zorlukları
- ✓ Nötron Enerji Aralığı
- ✓ ^3He Dedektörleri
- ✓ Bor (10) Katkılı Dedektörler
- ✓ ^3He 'ün BF_3 'E Göre Avantaj Ve Dezavantajları
- ✓ Bor Kaplamalı Orantılı Sayaç

- 
- İnsan duyu organları ile hiçbir şekilde iyonizan radyasyon algılanamamaktadır.
 - Detektörler kısaca, içersinden geçen bir radyasyonun enerjisinin hepsini veya bir kısmını elektriki işaret haline getiren cihazdır.
 - Kullanılacak ölçüm sistemleri ihtiyaca göre belirlenir.

RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ



Radyasyon Ölçüm Cihazlarının Temel Özellikleri

- Verim
- Cevap Verme Süresi (Response Time)
- Enerji Bağımlılığı (Energy Dependence)
- Ölü Zaman (Dead Time)

VERİM

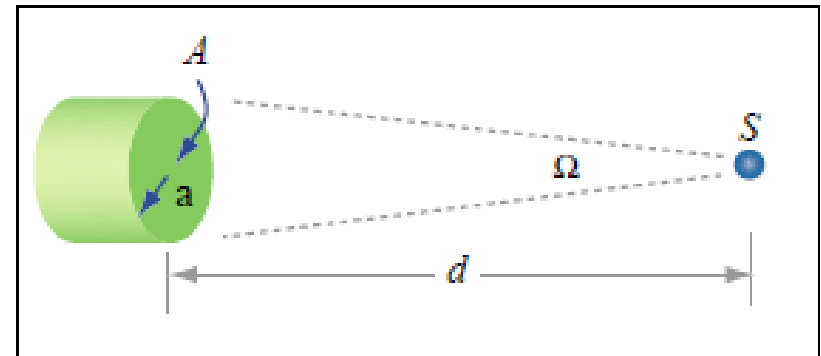
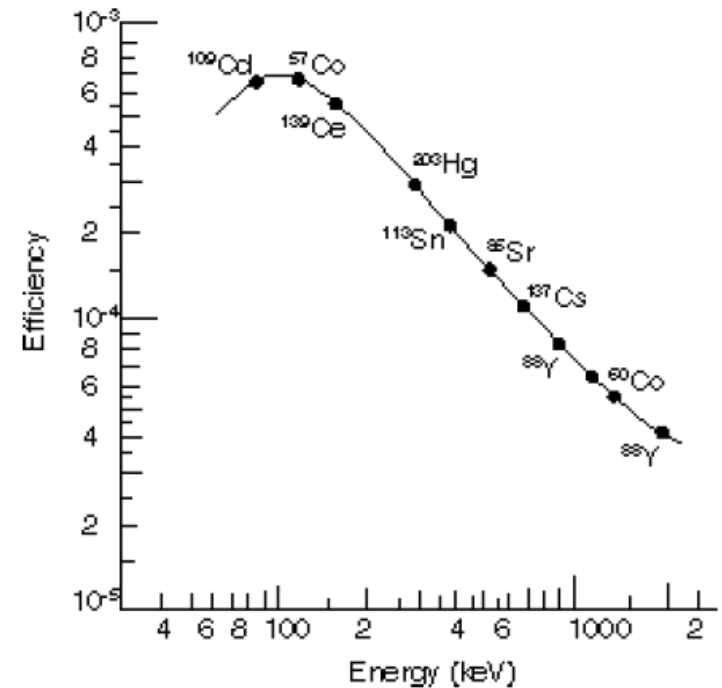
İç verim :

$$\varepsilon_{\text{int}} = \frac{\text{Kaydedilen puls sayısı}}{\text{Dedektöre gelen quanta sayısı}}$$

Absolute verim :

$$\varepsilon_{\text{abs}} = \frac{\text{Kaydedilen puls sayısı}}{\text{Kaynaktan çıkan quanta sayısı}}$$

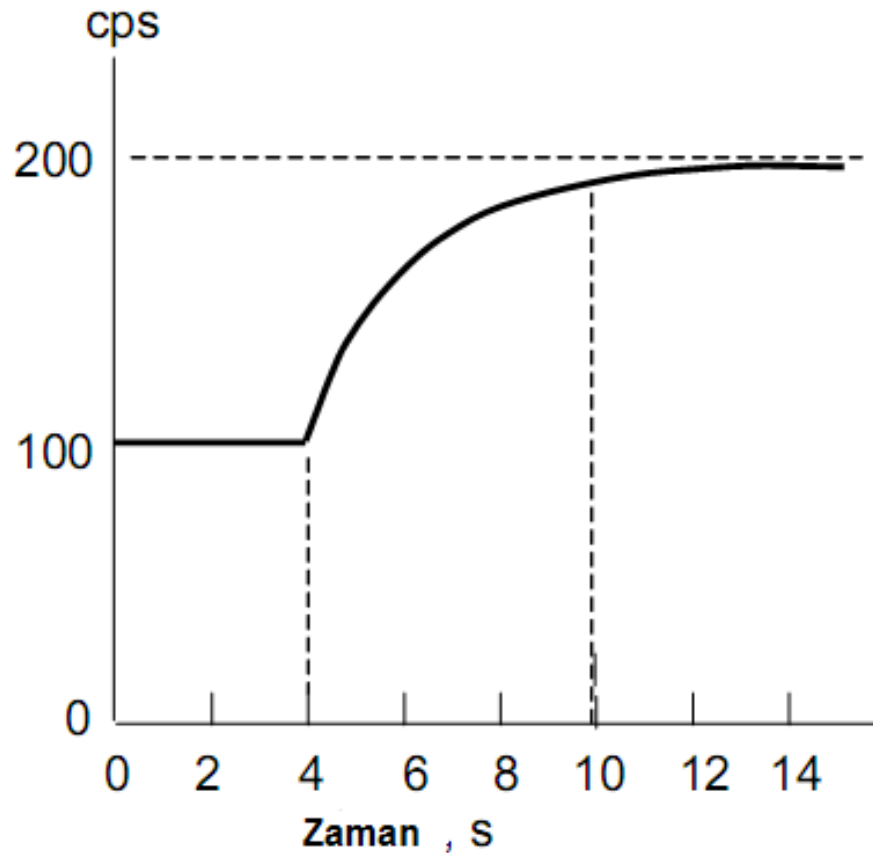
$$\varepsilon_{\text{int}} = \varepsilon_{\text{abs}} \cdot (4\pi/\Omega)$$



Ω = dedektörün kaynağı gördüğü katıaçı

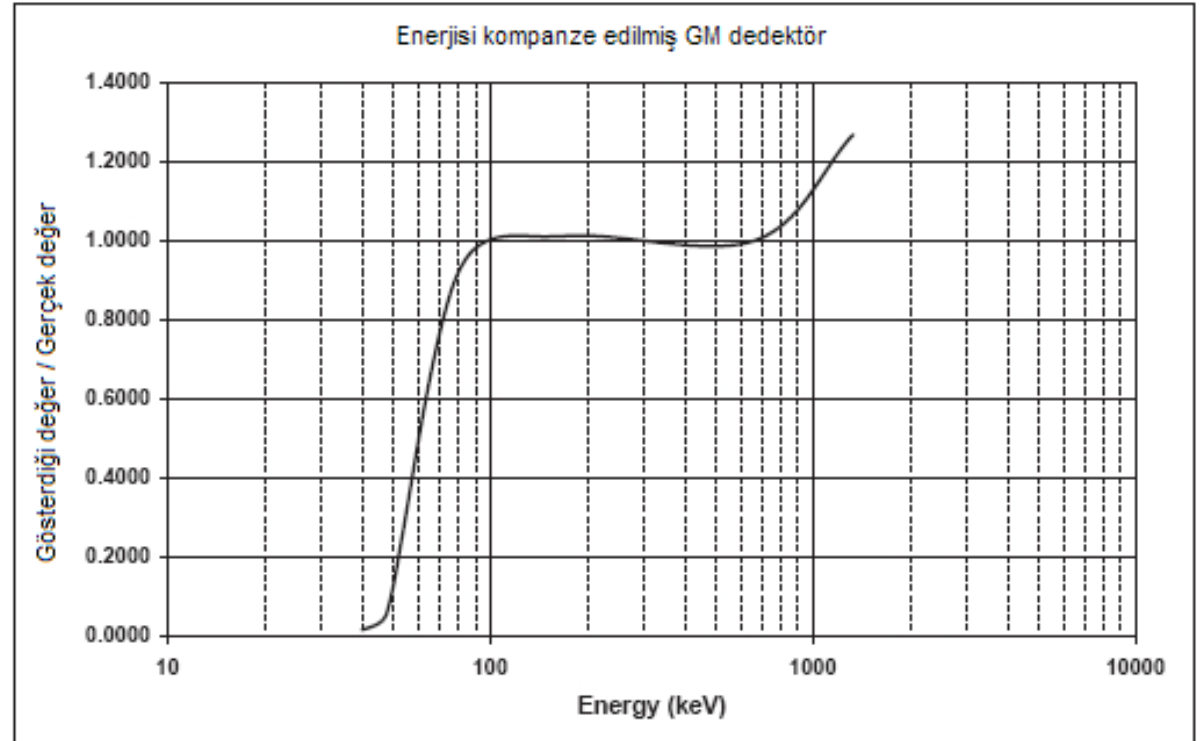
Cevap Verme Süresi (Response Time)

Dedektörün doğru okuması için geçen zaman olarak tanımlanabilir.



Enerji Bağımlılığı (Energy Dependence)

Örneğin, GM tipi dedektörler özelliklerine göre farklılık gösterse de genel olarak 50keV- 3MeV arası enerjilerde kullanılır. Bu değerler arasında %25'lik aralıkta doğru doz hızı değeri gösterir.



Ölü Zaman (Dead Time)

- Cihazın arka arkaya gelen iki etkileşimi de anlamlandırabilmesi için gerekli zamana denir.
- Ölü zamanı büyük olan cihazlar özellikle yüksek şiddetteki radyasyon alanlarında kullanılmamalıdır.

ÖLÜ ZAMAN (DEAD TIME)

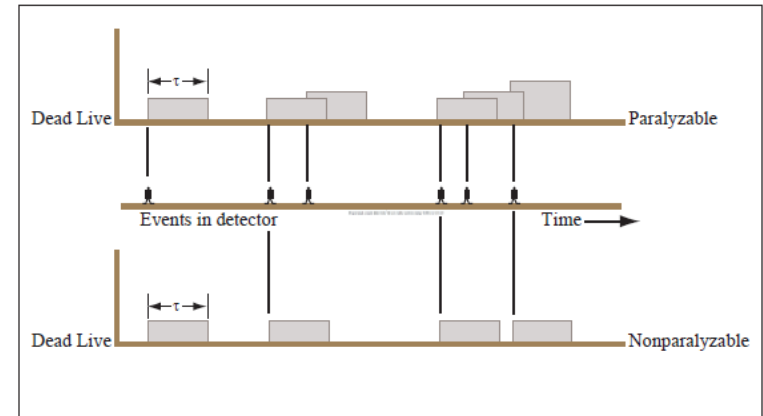
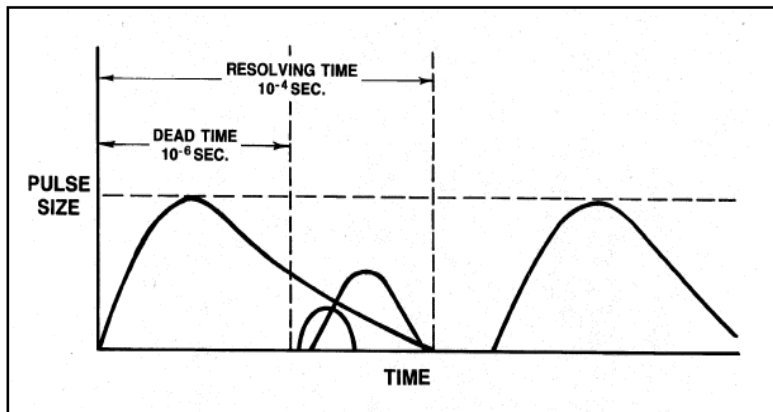


Image by MIT OpenCourseWare.

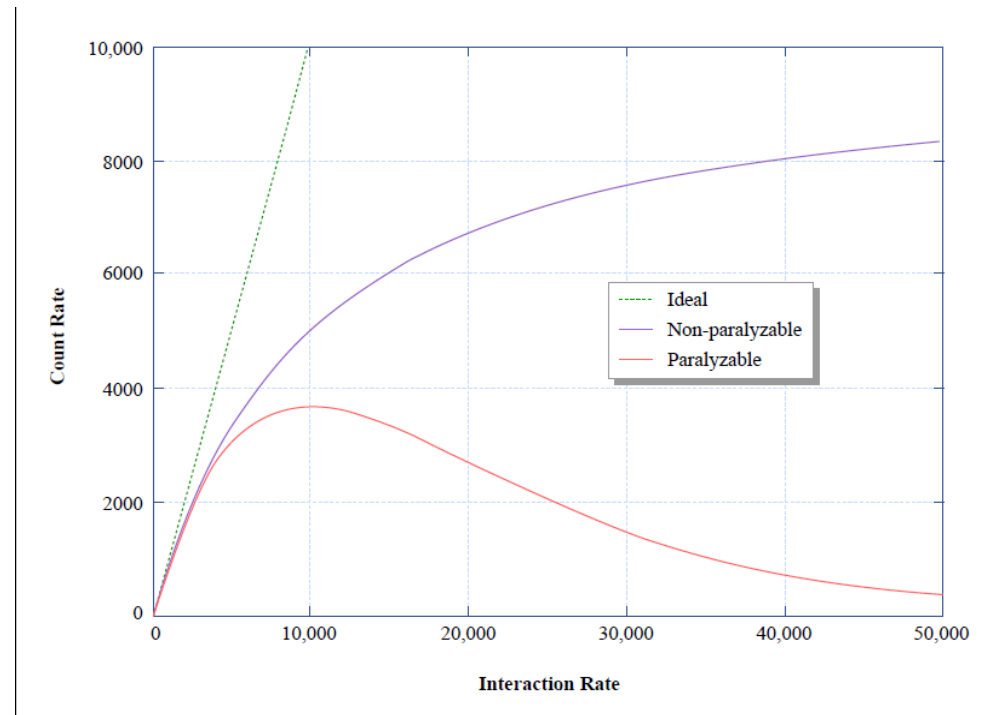
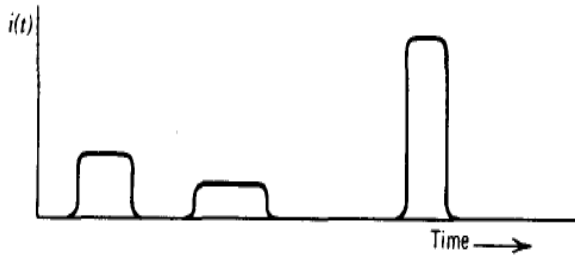


Image by MIT OpenCourseWare.

Dedektörlerde Kullanılan Mod'lar

- **Puls modu**: Radyasyon şiddeti yeterince düşük olduğunda her bir etkileşimin neden olduğu akımları puls' lar halinde ayrı ayrı dedekte etmek mümkün olur.

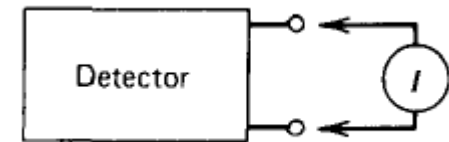
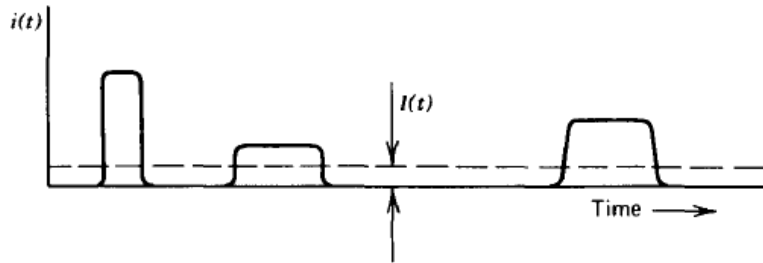


Çoğu uygulamada her bir etkileşim ile meydana gelen akım, gelen radyasyonun bıraktığı enerji ile orantılıdır.

Gelen radyasyonun enerjisi ölçülmek istediğinde bu mod kullanılır. (Radyasyon Spektroskopisi)

Radyasyon şiddeti yüksek olduğunda bu mod kullanılmaz olur.

Akım Modu: output = akım → Dedektör içerisinde belli bir zaman aralığında etkileşimle oluşan elektriksel yükün ortalamasını kullanır.

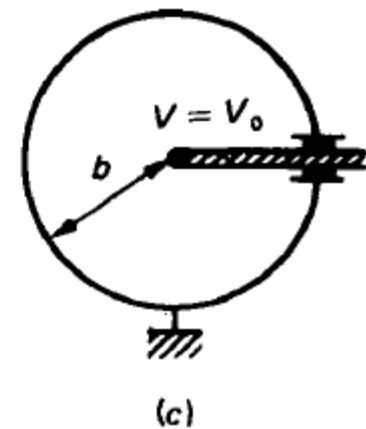
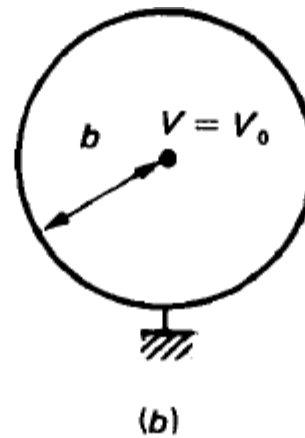
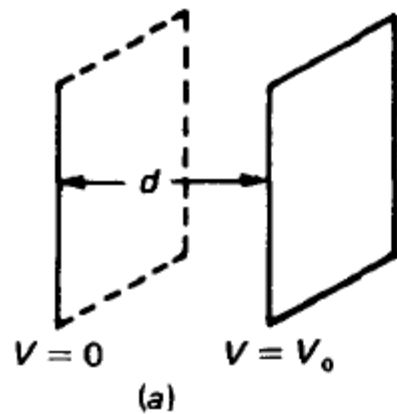
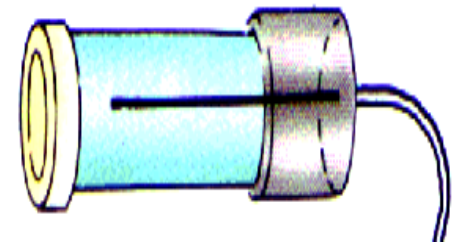
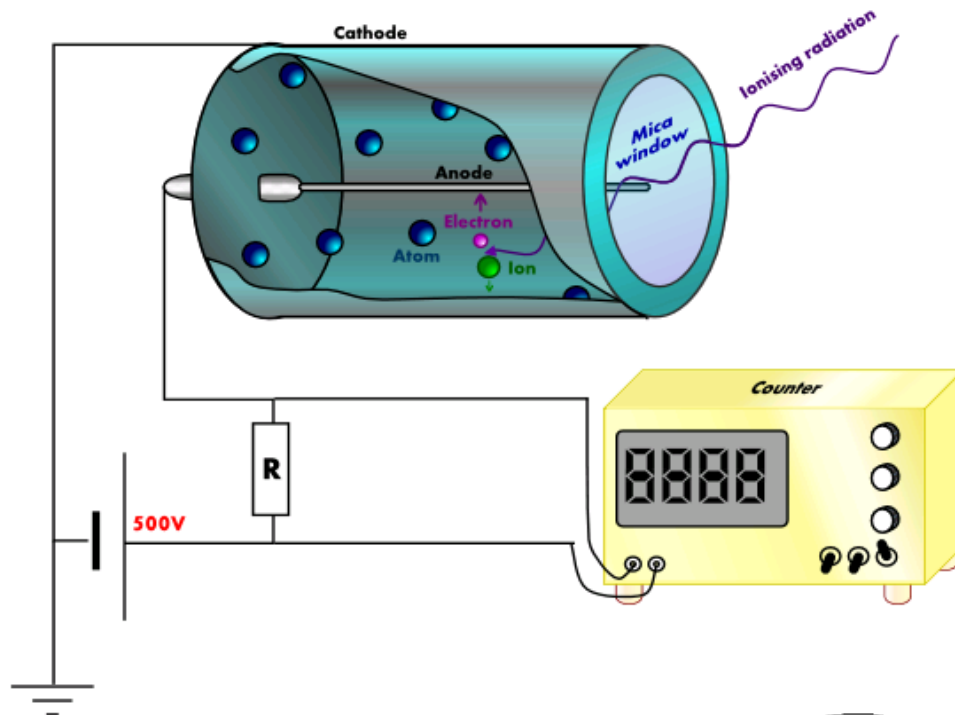


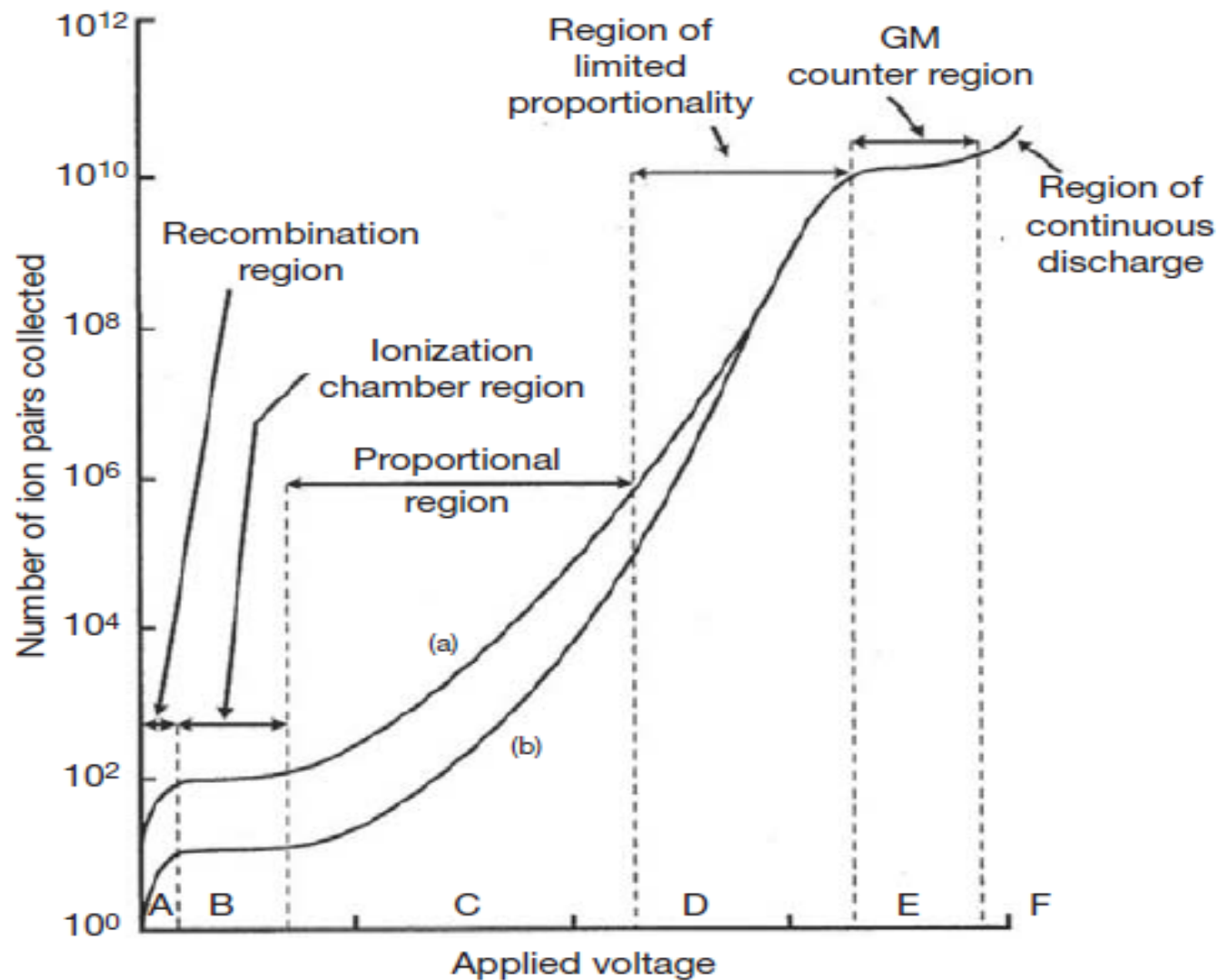
$$I(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t i(t') dt'$$

Bu mod' da çalışan cihazlar dedektörün cevap verme süresi boyunca meydana gelen akımların ortalamasını alarak değer verir.

Bu mod daha çok yüksek radyasyon şiddetlerinde kullanılır.

GAZLI DEDEKTÖRLER





İyon Odası

Yüksek şiddetteki radyasyon alanlarında kullanılır.

Genelde akım modu kullanılır, çok sık olmasa da puls modu da kullanılır.

Silindirin duvarları, 55-100 keV enerjili fotonları kısmen soğurduğundan hassasiyeti düşer.

Düşük akım elde edildiğinden yükseltilmesi gerekir. Bu da dedektörün hassas ve daha pahalı olmasına neden olur.



Orantılı Sayaçlar

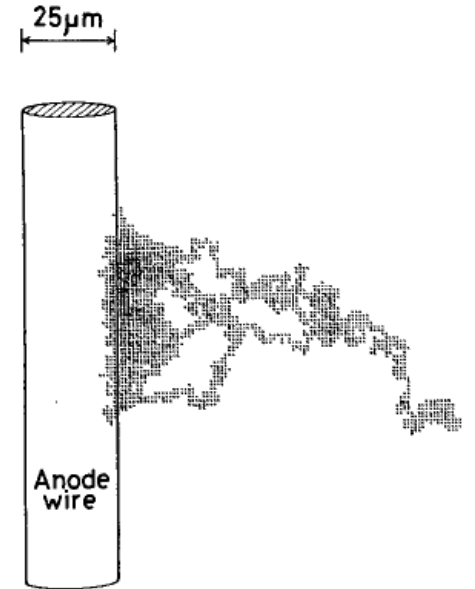
Orantılı sayaçlar, iyon odası tipi dedektörlere göre daha hassastır.

Özellikle düşük şiddetteki radyasyon ölçümlerinde kullanılır.

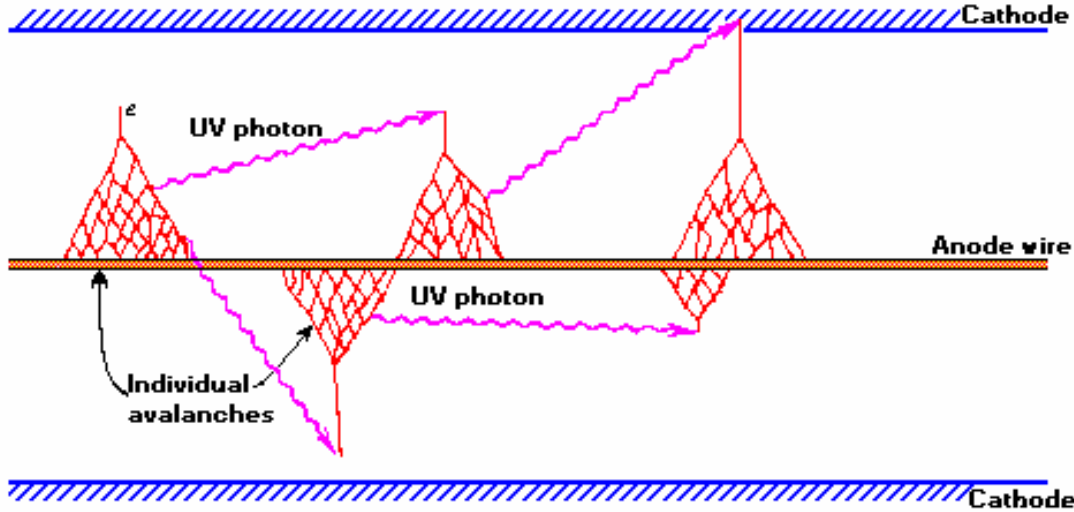
Radyasyon tipi ayırt edilebilir.

Daha çok kontaminasyon ölçümlerinde kullanılır.

Uygulanan gerilimin değerinin sabit kalması gerekir.



Geiger-Müller



Daha çok puls modunda kullanılır.

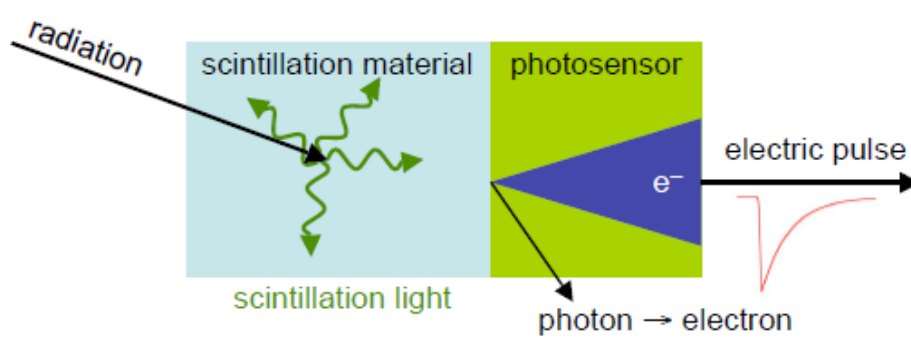
İyon odasına göre daha küçük radyasyon şiddeti bulunan alanlarda kullanılır.

Yapı itibari ile yükselticiye ihtiyaç duymadığından daha basit bir yapısı vardır.

Gelen radyasyonun tipini ayırt edemez.

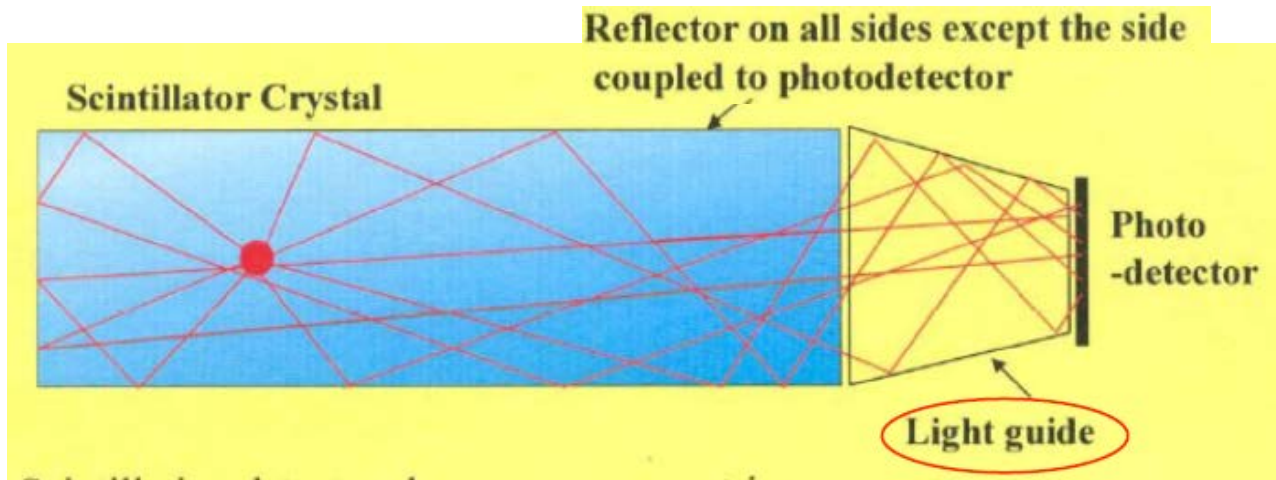
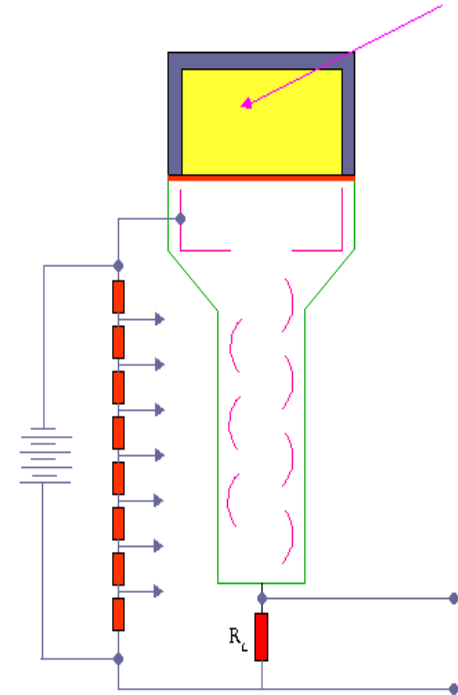
Diğer dedektörlere göre daha ucuz ve daha dayanıklıdır.

SİNTİLAYSON DEDEKTÖRLER



Sintilasyon Dedektörleri üç'e ayrılır ,

- Organik Sintilasyon Dedektörleri
- İnorganik Sintilasyon Dedektörleri
- Gaz Sintilasyon Dedektörleri



Sintilasyon Malzemesi

İnorganik

Monokristal ve Polikristal

Alkali Halitler
NaI(Tl), CsI(Tl),
CsI, CsI(Na),
CsI(CO₃), LiF(W),
LiF(Eu)

Diğerleri
ZnSe, CWO, BGO,
GSO

Soygazlar
Sıvılaştırılmış
Ar, Kr, Xe

Organik

Tek kristaller

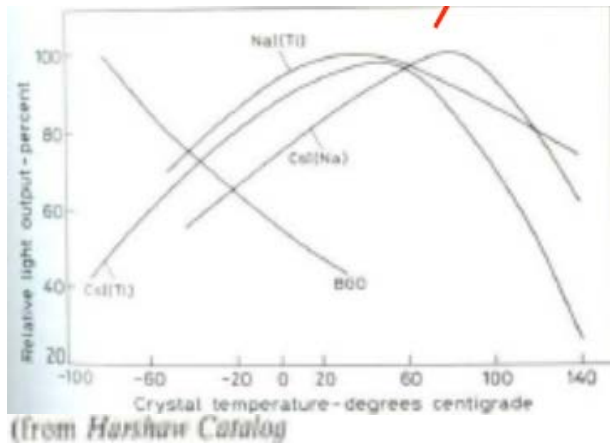
Plastik

Sıvı

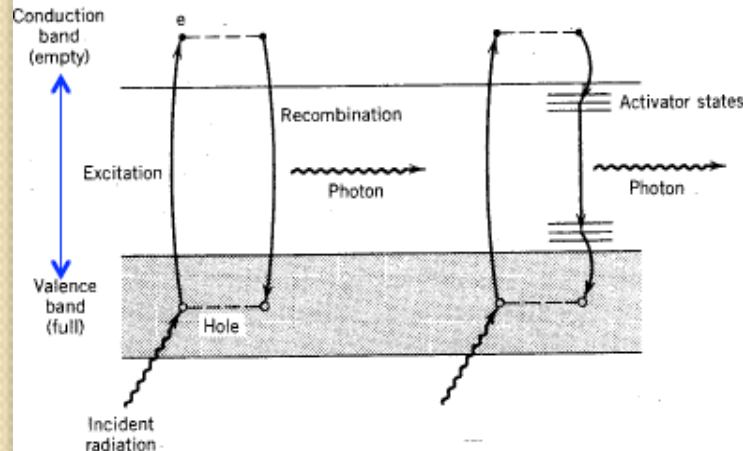
İnorganik Sintilasyon Dedektörleri

Birçok inorganik sintilasyon malzemesi, bir miktar safsızlık içeren alkali metallere, özellikle alkali iyotlardan yapılmaktadır.

NaI(Tl), CsI(Tl), CsI(Na), LiI(Eu) ve CaF₂(Eu)



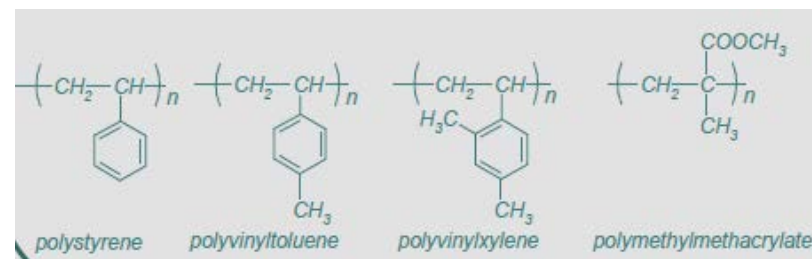
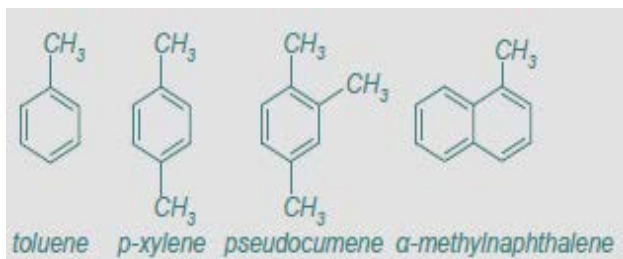
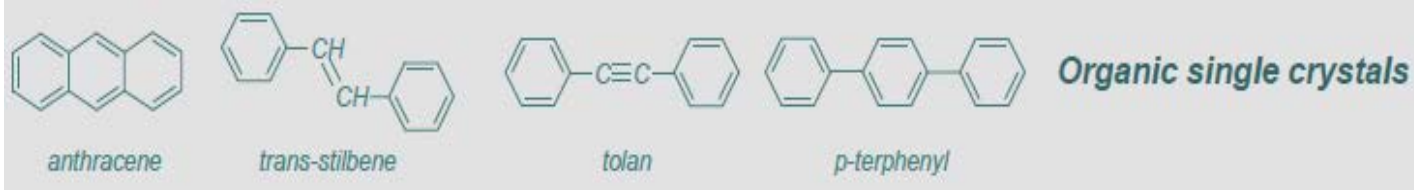
Sıcaklık bağımlılığı



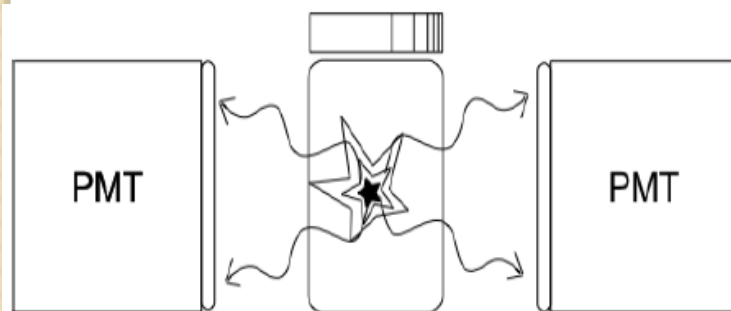
Material	Form	λ_{max} (nm)	τ_f (ns)	ρ (g/cm ³)	Photons per MeV
NaI(Tl) (20°C)	crystal	415	230	3.67	38,000
pure NaI (-196°C)	crystal	303	60	3.67	76,000
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (20°C)	crystal	480	300	7.13	8,200
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (-100°C)	crystal	480	2000	7.13	24,000
CsI(Na)	crystal	420	630	4.51	39,000
CsI(Tl)	crystal	540	800	4.51	60,000
CsI (pure)	crystal	315	16	4.51	2,300
CsF	crystal	390	2	4.64	2,500
BaF ₂ (slow)	crystal	310	630	4.9	10,000
BaF ₂ (fast)	crystal	220	0.8	4.9	1,800
Gd ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	440	60	6.71	10,000
CdWO ₄	crystal	530	15000	7.9	7,000
CaWO ₄	crystal	430	6000	6.1	6,000
CeF ₃	crystal	340	27	6.16	4,400
PbWO ₄	crystal	460	2, 10, 38	8.2	500
Lu ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	420	40	7.4	30,000
YAlO ₃ (Ce)	crystal	390	31	5.35	19,700
Y ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	420	70	2.70	45,000

(from Derenzo)

Organik Sintilasyon Dedektörleri



Liquid scintillators (LS)



Liquid scintillator cocktail

Plastic scintillators (PS)

-60°C – 20°C arasında sıcaklıktan bağımsızdır.

Organik sintilasyon dedektörleri daha çok beta radyasyonu spektroskopisinde kullanılır.

Sintilasyon dedektörlerin karşılaştırılması

Organik

- Bozunma süresi ns mertebelerindedir.
- -60°C ile 20°C arasında sıcaklıktan bağımsızdır.

İnorganik :

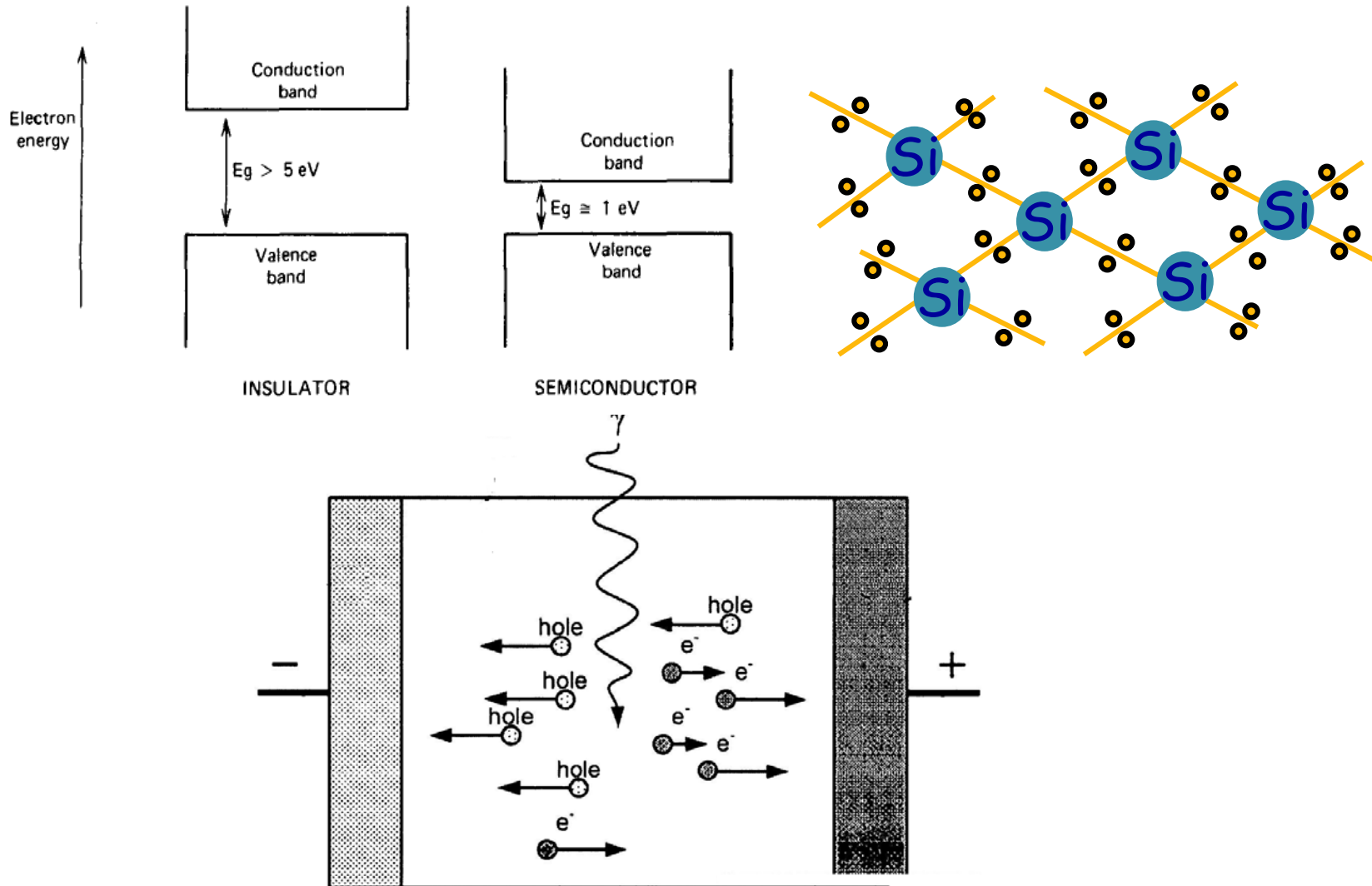
- Yoğunluğu daha büyük olduğundan gama radyasyonu verimi yüksektir.
- Bozunma süresi μs mertebelerindedir.
- Sıcaklık bağımlılığı daha yüksek.
- Kristal büyütmesi basit değil

Plastik Sintilatörler :

- Sintilasyon malzemesi plastik bir malzeme ile karıştırılarak elde edilir.
- İçeriğinde hidrojen olduğundan hızlı nötronların ölçümünde de kullanılır.
- Bozunma süresi ns mertebelerindedir.
- İstenilen şekle getirelebilir.



YARIİLETKEN DEDEKTÖRLER



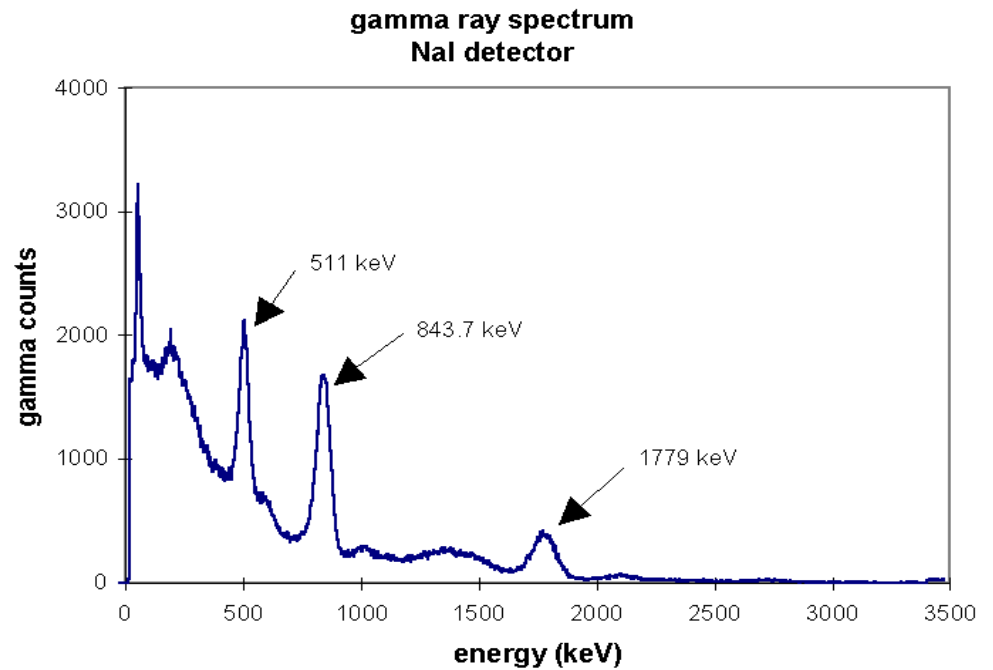
- ✓ HPGe
- ✓ GeLi (lithium drifted detectors)
- ✓ Yüzey Engelli Dedektörler
- ✓ Elektronik Dozimetreler



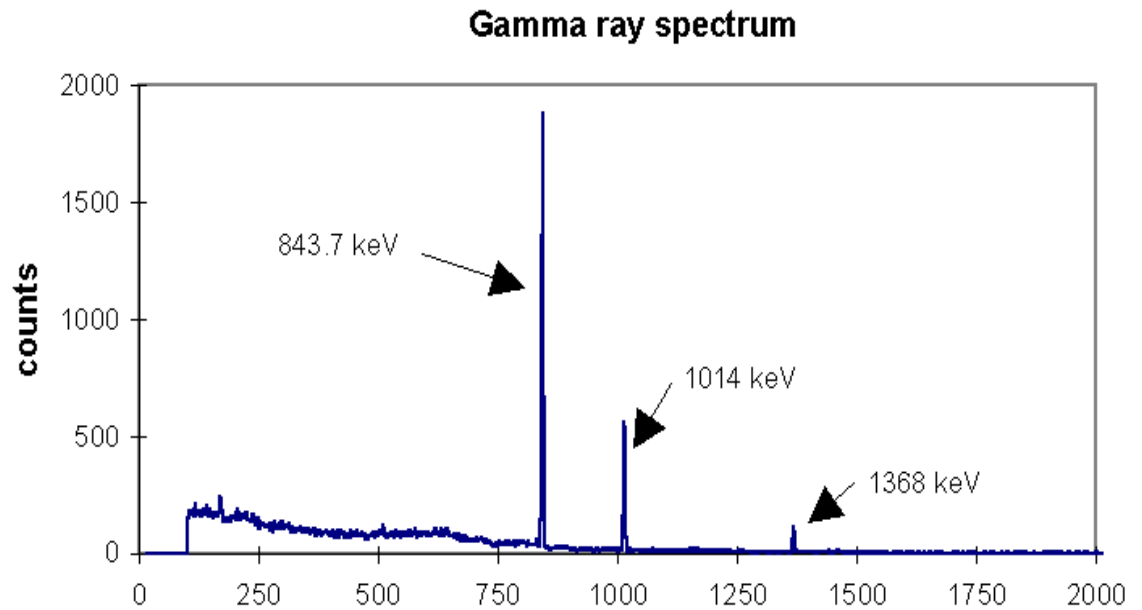
- Radyasyon yarıiletken üzerinde elektron-boşluk (hole) çifti oluşturur.
- Yüksek çözünürlü gama spektrometresi olarak kullanılır.
- Çeşitli malzemeler : Si, Ge, CdZnTe, HgI₂, TlBr
- Boyutları < 100 cm³
- Termal enerji ile elektron-hole çifti oluşturmaması için dedektör soğutulur.



Nal Sintilasyon



Ge Dedektör



NÖTRON DEDEKTÖRLERİ

Nötron dedektörleri özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebilir ;

- **Gazlı nötron dedektörleri**
 - i. ^3He orantılı sayaç tipi dedektör
 - ii. Boron katkılı BF_3 dedektörleri
 - iii. Fizyon odalı dedektörler
 - iv. Hızlı nötronlar için ^4He ve CH_4 orantılı sayaçlar
- Aktivasyon- nötron dedektörleri
- Reaktör güvenliği ve kontrol sistemleri

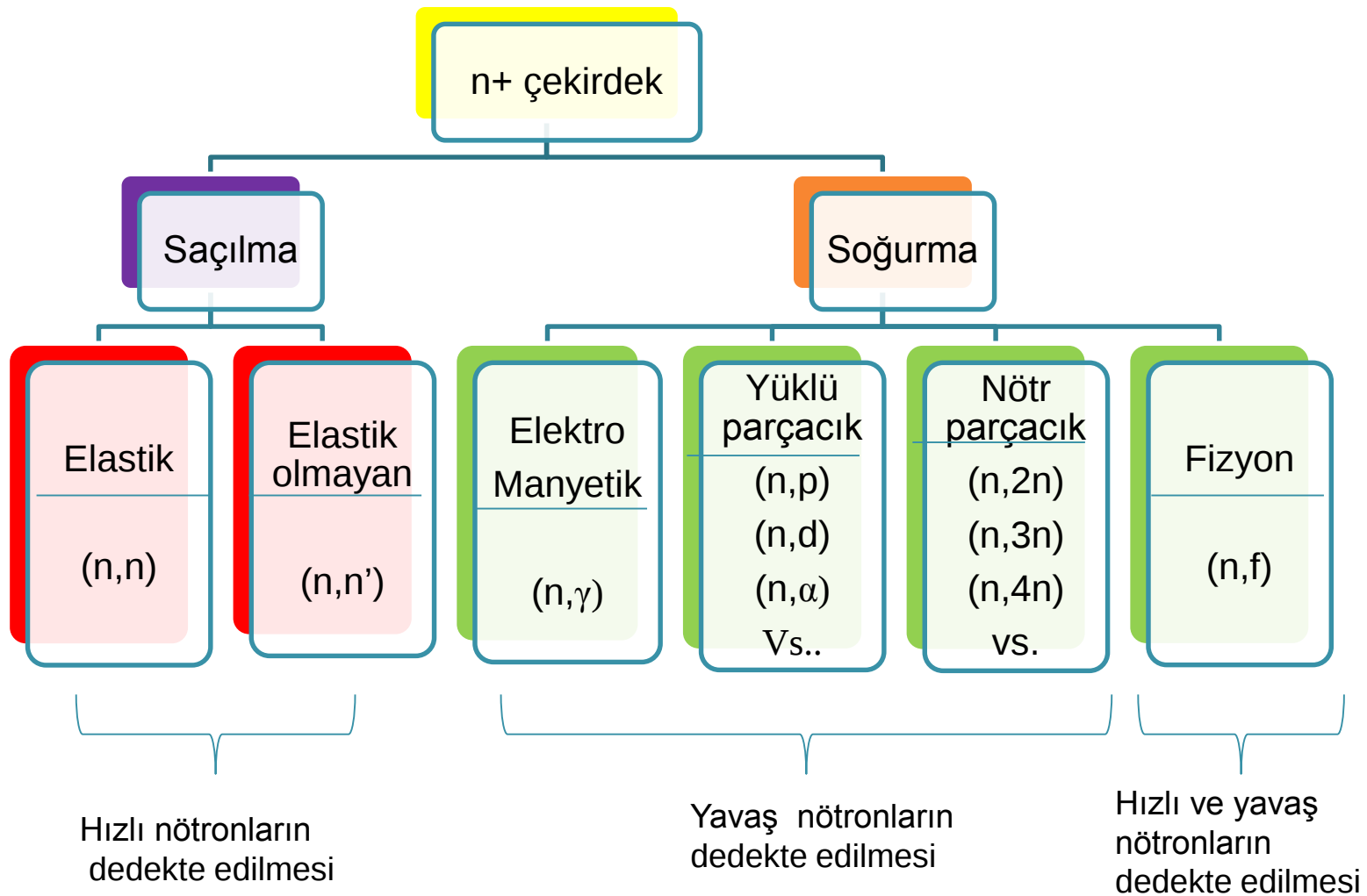
NÖTRON DEDEKTÖRLERİNİN ÇALIŞMA ZORLUKLARI

- Nötronlar nötr parçacıklar olduğundan iyonlaşma veya uyarmaya yoluyla direkt saptanamazlar, durdurulması zordur.
- Background radyasyon daha çok gama radyasyonundan kaynaklanır, gama radyasyonunu ayırmak oldukça güçtür.
- Nötronun saptanması için yüksek akıya sahip olması gerekir.
- Nötron enerjisi arttıkça dedektör verimi de düşer, bu nedenle hızlı nötronlarda yüksek verim yakalamak çok zordur.

NÖTRON ENERJİ ARALIĞI

Enerji Aralığı

- **Fast neutrons** : > 1 eV
- **Slow neutrons** : 0.4 eV ve daha düşük
- **Hot neutrons** : yaklaşık 0.2 eV
- **Thermal neutrons** : yaklaşık 0.025 eV
- **Cold neutrons** : 5×10^{-5} - 0.025 eV.



³He dedektörleri



$Q \gg$ termal nötron enerjisi $\Rightarrow$ reaksiyon enerjisi $\sim Q$

p ve ³H zıt yönlerde yönelirler

$$E_p = 0.574 \text{ MeV} \quad \text{ve} \quad E_H = 0.191 \text{ MeV}$$

trityum ve proton dedekte edilerek dolaylı olarak nötron ölçümü yapılmış olur



Standart ölçüleri : 1 cm, 2.5 cm , 5 cm

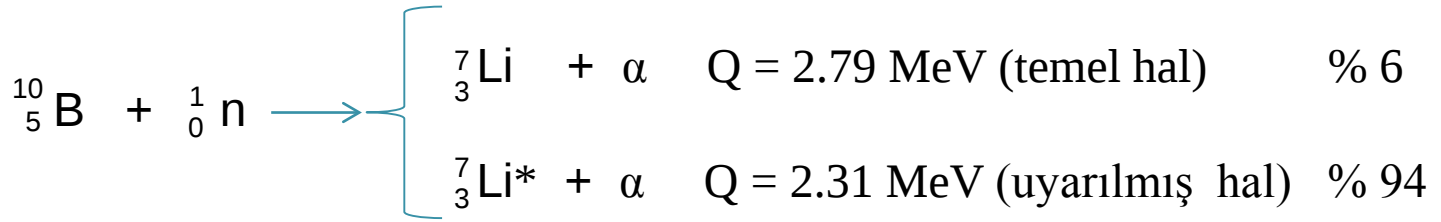
Helyum-3 basıncı : 1-20 bar arası

Verim : % 75 termal nötronlar

³He dedektörleri en sık 0.0001 ve 0.04 eV enerji aralığında kullanılır.

Bor (10) katkılı dedektörler

Bor katkılı dedektörler $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ reaksiyonuna dayalıdır.



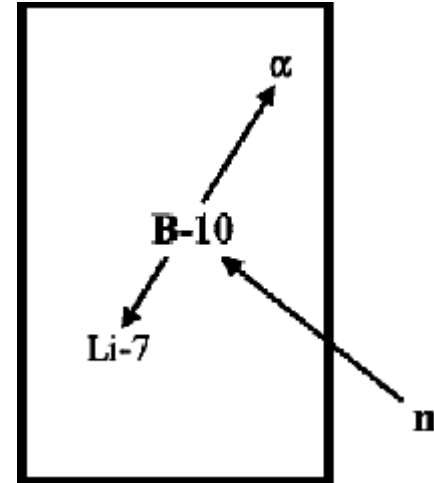
Li ve α zıt yönlerde yönelirler,

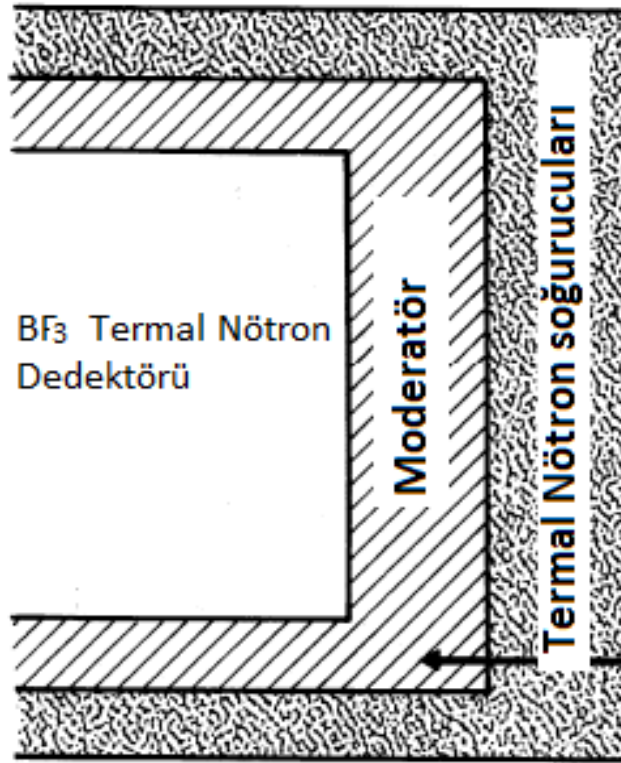
$$E_{\text{Li}} = 0.84 \text{ MeV} \quad \text{ve} \quad E_{\alpha} = 1.47 \text{ MeV}$$

Dedektör sinyali Li veya alfa parçacıklarının dedekte edilmesi ile meydana gelir.

Boron katkılı dedektör tipleri ;

- BF_3 orantılı sayaç,
- Bor kaplamalı iyon odası ve orantılı sayaç
- Bor yüklü sintilasyon dedektörleri





Termal nötronlar soğurulur ve dedektörün içine giremez.

Hızlı nötronlar moderatör madde tarafından yavaşlatılarak termal nötron olur.



^3He ' ün BF_3 'e göre avantaj ve dezavantajları



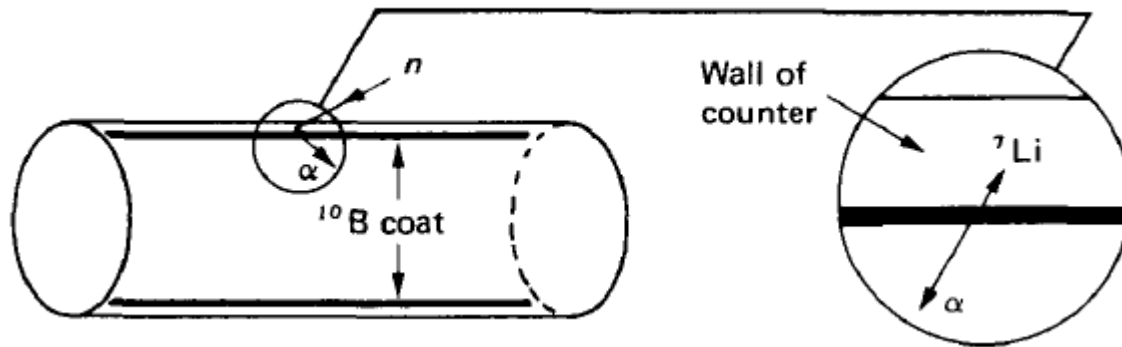
- He daha düşük atom numarasına sahip olduğundan reaksiyon ürün yelpazesi daha büyüktür daha büyük wall etkisi kararlı sayım yapmak daha zor.
- Gama ışınları ayırmada daha az etkili, bunun nedeni reaksiyon ürünlerinin düşük enerjide olmasından kaynaklanır.



- ^3He eldesinin dünya çapında azalması
 - Daha yüksek verim
 - Daha büyük basınçta çalışabilmesi
 - BF_3 ' e göre yaşlanma etkisinin daha iyi olması
 - Yüksek sıcaklıklarda (250 °C) çalışabilmesi

BOR KAPLAMALI ORANTILI SAYAÇ

- Bor odanın iç yüzeyine kaplanmıştır ve $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ reaksiyonu ile oluşan ürünler kullanılarak dedekte eder.
- ^7Li veya α parçacıklarından yalnız biri odanın içine girebilir.
- Nötron verimi ^3He ve BF_3 dedektörlerine göre daha düşüktür



Bor kaplamalı orantılı sayacın 'ün BF_3 'e göre avantaj ve dezavantajları



- Daha düşük gama hassasiyeti
- Daha düşük yaşlanma etkisi
- Daha hızlı sinyal üretmesi



- Daha düşük verim ($\sim\%10$)
- Uzun zamanlı sayımlarda daha az kararlı

NÖTRON DEDEKTÖRLERİN GAMA HASSASIYETİ

Dedektörlerin gama radyasyonu hassasiyeti uygun dedektör seçimi ile azaltılabilir.

Termal Nötron Dedektörleri	Etkileşim Olasılığı	
	Termal nötronlar	1 MeV gama radyasyonu
^3He (2.5 cm çaplı, 4 atm)	0.77	0.001
Ar (2.5 cm çaplı, 2 atm)	0.0	0.005
BF_3 (5.0 cm çaplı, 0,66 atm)	0.29	0.006

Hızlı Nötron Dedektörleri	Etkileşim Olasılığı	
	1 MeV nötronlar	1 MeV gama radyasyonu
^4He (5.0 cm çaplı, 18 atm)	0.01	0.001
Sintilasyon (5.0 cm kalınlık)	0.78	0.26

Özellik	Geiger Müller	İyon Odalı	Sintilasyon	Orantılı Sayaç	Yarıiletken
Radyasyon Tipi	α , γ , β ve x ışınları	α , γ , β ve x ışınları	α , γ , β , nötron ve x ışınları	α , γ , β , nötron ve x ışınları	α , γ , β ve x ışınları
Ortam	gaz	gaz	Sıvı, katı ve gaz	gaz	katı
Resolving Time	10^{-4}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-9}
Kullanım alanları	• Düşük şiddetteki radyasyon alanlarında • Alan monitörü • Personel elektronik dozimetre • Düşük seviye kontaminasyon kontrolü	• Orta ve yüksek şiddetteki radyasyon alanlarında • Alan monitörü	• Düşük seviye kontaminasyon kontrolü • Tritiyum için LSC	• Düşük seviye kontaminasyon kontrolü • Nötron ölçümlerinde	• Laboratuvar • Bazı alan uygulamalarında
Avantajları	• Çıkış sinyali büyük • Yeterli seviyede hassasiyet • Ucuz ve dayanıklı	• Enerji bağımlılığı düşük • Kullanması kolay	• Yüksek hassasiyet • Hızlı cevap • İyi enerji çözünürlüğü	• Hızlı cevap	• Çok iyi enerji çözünürlüğü • Çok küçük ölçekli zaman
Dezavantajları	• Büyük ölçekli zaman • Enerji bağımlılığı	• cevap verme süresi uzun • Düşük hassasiyet	• Kırılgan • Pahalı	• Stabil yüksek voltaj kaynağı gereksinimi	• büyük miktarda çıkış sinyalinin yükseltilmesine ihtiyaç var

TEŞEKKÜRLER

