

RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Prof. Dr. Turan Olğar

Ankara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Fizik Mühendisliği Bölümü

Gaz Dolu Dedektörler

Orantılı Sayaçlar

Hava da dahil olmak üzere hemen hemen her gazla çalışabilen iyon odalarının aksine, orantılı sayaç düşük elektron afiniteli bir gaz içermelidir, böylece az miktarda serbest elektronlar gaz moleküllerine bağlanır. Orantılı sayaçta gaz çoğalımı, bir iyon odası ile etkileşme sonucu üretilen yük miktarına göre yüzlerce veya binlerce kat daha büyük etkileşme başına yük ürettiğinden, orantılı sayaçlar sayaç yada spektrometre olarak puls modunda çalıştırılabilir. Orantılı sayaçlar, standart laboratuvarlarda, sağlık fiziği laboratuvarlarında ve fizik araştırmaları için yaygın şekilde kullanılırlar. Medikal merkezlerde nadiren kullanılırlar.

Gaz Dolu Dedektörler

Orantılı Sayaçlar

- İyon odalarından daha hassastırlar (Gaz çoğaltma faktörü).
- Düşük şiddetteki alanlarda kullanılırlar, hassasiyetleri yüksek
- Enerji bağımlılıkları az.
- Puls ya da akım modunda çalışırlar (1mSv/saat – 10 Sv/saat).
- Farklı iyonizasyon yeteneğindeki parçacıkların (alfa ve beta gibi) ayrı dedeksiyonları mümkündür.
- Ancak, çok stabil yüksek voltaj kaynağı gerekir ve pahalıdırlar

Gaz Dolu Dedektörler

Geiger-Mueller Dedektörleri

GM sayaçları belirli özelliklere sahip gazlar içerir. Bir GM detektöründe etkileşme sonucu gaz çoğalımı milyarlarca iyon çifti oluşturduğundan, GM dedektöründen gelen sinyal, az miktarda ek amplifikasyon gerektirir. Bu nedenle GM dedektörleri genellikle ucuz ölçüm sayaçları için kullanılır.

GM dedektörleri, x ve gama ışınlarının dedeksiyonunda kullanışlı değildir. Çünkü x ve gama ışınları gazla etkileşmeden geçer. Ayrıca GM dedektörlerde etkileşme sonucu oluşan puls büyüklüğü, pulsa neden olan enerji miktarından bağımsızdır. Dedektörde 1 keV'lik enerji bırakan etkileşme sonucu oluşan puls, 1 MeV'lik enerji bırakan etkileşme sonucu oluşan puls ile aynı boyuttadır. Bu nedenle GM dedektörleri spektrometre veya hassas doz hızı ölçerler olarak kullanılamaz.

Gaz Dolu Dedektörler

Geiger-Mueller Dedektörleri

GM dedektörleri, Cs-137 den elde edilen 662-keV'lik gama ışınları için ışınlama hızını verecek şekilde kalibre edilirse, 80 keV gibi düşük enerjili fotonlar için 5 kat daha yüksek tepki verecektir. Işınlama hızının daha doğru bir şekilde ölçümü için, hava dolu bir iyon odası kullanılmalıdır. Bir GM tüpünün düşük enerjili x ve gama ışınlarına aşırı tepki vermesi, dedektörün etrafına orta derecede yüksek atom numaralı (Örneğin, kalay) ince bir malzeme tabakası yerleştirilerek kısmen düzeltilir. Azalan foton enerjisiyle malzemenin artan zayıflama katsayısı (fotoelektrik olay nedeniyle), dedektörün enerji yanıtını düzleştirir. Bu GM dedektörlerine, enerji kompenseli dedektörler denir.

Gaz Dolu Dedektörler

Geiger-Mueller Dedektörleri

GM dedektörleri onlarca ile yüzlerce mikrosaniye arasında değişen çok uzun ölü zamanlara sahiptir. Bu nedenle, GM sayaçları, sayım doğruluğunun saniye başına birkaç yüz sayımdan daha fazla doğru ölçümleri gerektirdiği yerlerde nadiren kullanılır.

Gaz Dolu Dedektörler

Geiger-Mueller Dedektörleri

- Çok düşük radyasyon alanlarında (halkın bulunduğu), kaçak testi ve radyoaktif kontaminasyon için kullanılırlar.
- Düşük foton enerjilerinde enerji bağımlılıkları vardır (50 keV-1.25 meV arasında %15).
- Puls tipi radyasyon alanlarında kullanılmazlar, sonuçlar önemli ölçüde düşük değerlerde çıkar.
- Uzun ölü zamanları nedeniyle saniyede birkaç yüz sayımdan fazla sayım hızlarında kullanılmazlar.
- Sadece radyasyonun varlığı ile ilgili bilgi verirler.
- End window sayaçlarda pencere kapağının kaldırılması ile beta parçacıklarında sayılabilir.

Sintilaston Dedektörleri

Temel Prensipler

Sintilatörler, iyonlaştırıcı radyasyonla etkileşme sonucu görünür ışık veya ultraviyole radyasyon yayan malzemelerdir.

Sintilatörler, konvansiyonel film-ekran, birçok doğrudan dijital radyografik görüntü dedektörü, floroskopi, sintilasyon kameraları, Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Pozitron Emisyon Tomografi (PET) tarayıcılarında kullanılmaktadır.

Tek bir etkileşme sonucu yayılan ışık, izleyicinin gözleri karanlığa adapte olmuşsa gözle görülebilmesine rağmen, çoğu sintilasyon detektörü bir sinyal amplifikasyonu aracı içerir.

Sintilasyon Dedektörleri

Temel Prensipler

Konvansiyonel film ekranlı radyografide, film sinyali büyütmek ve kaydetmek için kullanılır. Diğer uygulamalarda, fotoçoğaltıcı tüpler gibi elektronik cihazlar (PMT'ler), fotodiyotlar veya görüntü güçlendiricili tüpler ışığı elektrik sinyaline dönüştürür. PMT'ler ve görüntü güçlendiricili tüpler de sinyali güçlendirir.

Bir sintilasyon detektörü, bir sintilatörden ve ışığı elektrik sinyaline dönüştüren PMT gibi bir cihazdan oluşur.

İyonlaştırıcı radyasyon bir sintilatör ile etkileşime girdiğinde, elektronlar bir uyarılmış enerji seviyesine çıkar. Sonuçta, bu elektronlar görünür ışık veya ultraviyole radyasyon emisyonu ile daha düşük bir enerji durumuna geri döner.

Sintilaston Dedektörleri

Temel Prensipler

Çoğu sintilatör görünür ışık veya ultraviyole radyasyon emisyonu için birden fazla moda sahiptir ve her modun kendine has karakteristik bozunma sabiti vardır. *Lüminesans* uyarmadan sonra ışığın emisyonudur. *Floresans* ışığın anında yayılmasıdır, buna karşılık *fosforesans* ışığın gecikmiş emisyonudur. Tüm sintilatörlerde, bir etkileşmeden sonra yayılan ışık miktarı etkileşim tarafından aktarılan enerji ile artmaktadır. Bu nedenle, sintilatörler spektrometre olarak puls modunda çalıştırılır. Bir sintilatör spektroskopi amaçlı kullanıldığında, enerji ayırma gücü (farklı enerjiler depo eden etkileşimler arasında ayırım yapabilme) öncelikle sintilatörün dönüşüm verimliliği ile belirlenir. Yüksek dönüşüm verimliliği (depo edilen enerjinin ışık yada ultraviyole ışığa çevrilen kesri) üstün enerji çözünürlüğü için gereklidir.

Sintilaston Dedektörleri

Temel Prensipler

- 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.

Sintilaston Dedektörleri

Temel Prensipler

Çeşitli sintilatör malzemeleri vardır. Birçok organik bileşik sintilasyon sergiler. Bu malzemelerde sintilasyon, moleküler yapının bir özelliğidir. Katı organik sintilatörler son derece hızlı ışık emisyonları nedeniyle parçacık fiziğinde zamanlama deneyleri için kullanılır. Organik sintilatörler, biyomedikal araştırmalarda yaygın olarak kullanılan sıvı sintilasyon sıvıları içerir.

^3H , ^{14}C ve ^{32}P gibi radyoaktif izleyiciler içeren numuneler bir vialde sıvı sintilatörler ile karıştırılır ve yayılan ışık PMT'ler ve ilgili elektronik devreler tarafından algılanır ve sayılır. Organik sintilatörler, bileşen elementlerinin düşük atom numaraları ve düşük yoğunlukları nedeniyle x ve gama fotonları için iyi bir dedektör değildirler ve tıbbi görüntüleme için kullanılmaz.

Sintilaston Dedektörleri

Organik Sintilatörler

- Sintilasyon olayı molekülün enerji seviyesindeki geçişler ile gerçekleşir ve sintilatörün fiziksel yapısından bağımsızdır (katı, sıvı veya gaz halinde olabilir veya polimerlerin içine katılabilir)
- Yanıt süreleri son derece hızlıdır (10 nSn)
- Uyarılma enerjisi bir molekülden diğerine transfer edilir
- Sintilasyon etkinliğinin artırılması için organik sintilatör bir çözücünün içerisine katılır. Radyasyon önce çözücüde soğurular ve enerji sintilatöre transfer edilir. Çözücü-sintilatör karışımına bazen sintilatörden salınan dalga boyunu değiştiren bir madde daha ilave edilir. Böylelikle sintilatörün kendi ışığını soğurması önlenir ve PM tüpe uygun ışık oluşturulur.
- Çok düşük atom numaraları nedeniyle gama spektrumlarında fotopik yoktur Compton platosu kullanılır.

Sintilaston Dedektörleri

Temel Prensipler

Sintilasyon özeliği sergileyen birçok inorganik kristalli malzeme de vardır. Bu malzemelerde, sintilasyon kristalin yapınının bir özelliğidir: eğer kristal çözülürse, sintilasyon durur. Bu malzemelerin birçoğu, organik sintilatörlere göre daha büyük ortalama atom numaralarına ve daha yüksek yoğunluklara sahiptir ve bu nedenle mükemmel foton dedektörleridir. Radyolojide görüntüleme amaçlı ve radyasyon ölçümleri için yaygın olarak kullanılırlar.

Çoğu inorganik sintilasyon kristali, isteğe bağlı olarak eser miktarda aktivatör olarak adlandırılan safsızlık elemanları içerir. Bu aktivatörlerin atomları, uyarılmış elektronların taban durumuna dönmesi için kristallerde tercih edilen yerleri oluşturur.

Sintilaston Dedektörleri

Temel Prensipler

İNORGANİK KRİSTALLER



Yüksek ışık verimi ve doğrusallık
Yavaş yanıt süreleri

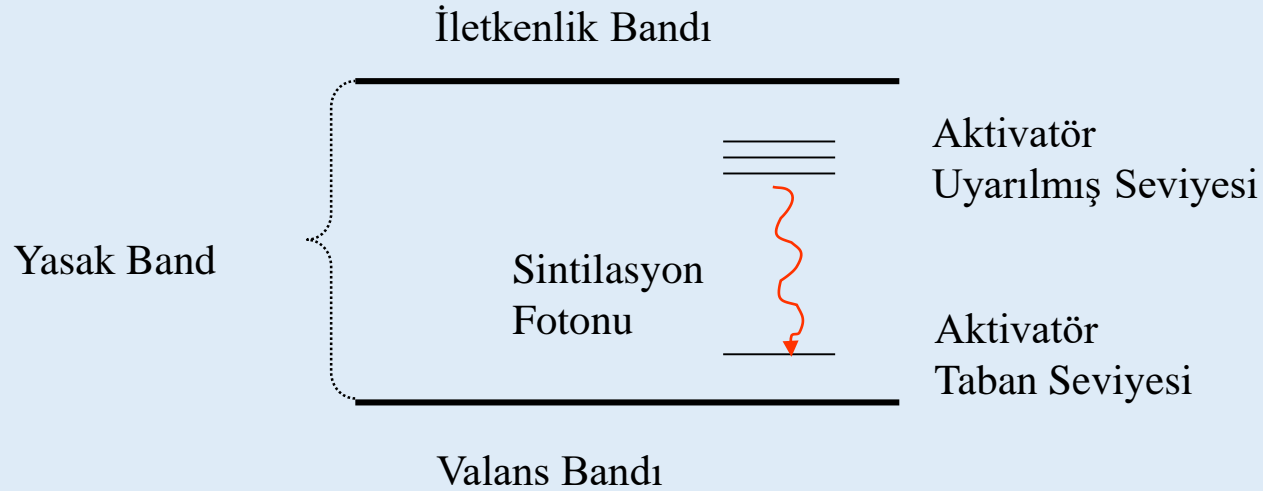
ORGANİK KRİSTALLER



Düşük ışık verimi
Hızlı yanıt süreleri

Sintilasyon Dedektörleri

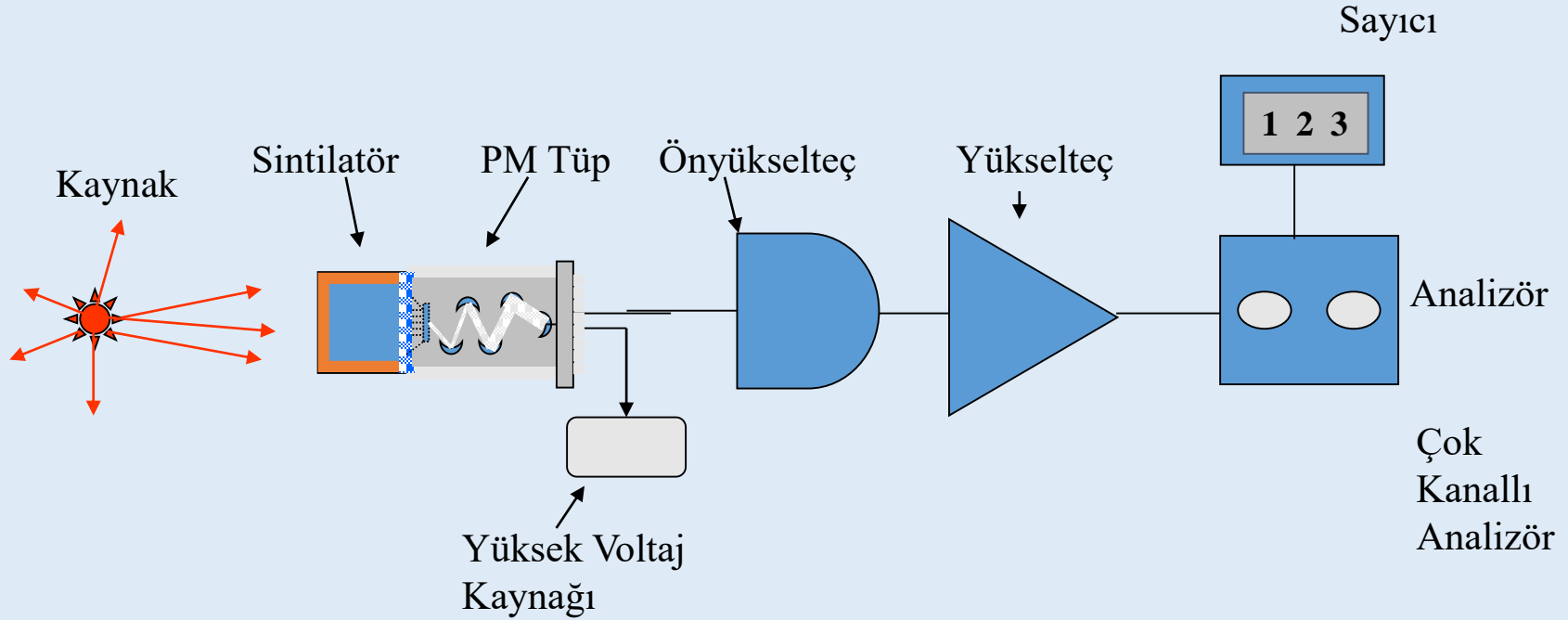
NaI (Tl) Kristalinde sintilasyon oluşumu



Aktive edilmiş bir sintilatörün enerji bant yapısı

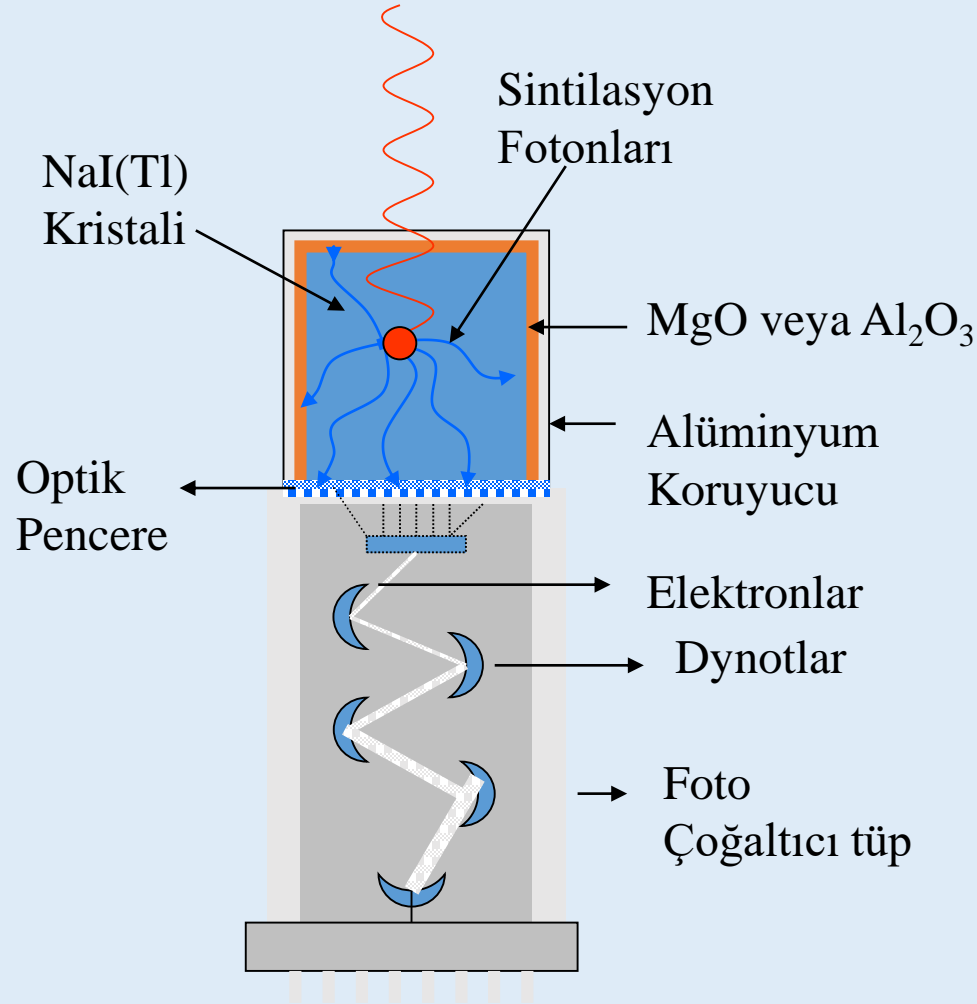
Sintilaston Dedektörleri

Sintilatör Elektronığının Basit Diyagramı



Sintilasyon Dedektörleri

NaI(Tl) Dedektörü



Sintilaston Dedektörleri

Işığın Elektrik Sinyaline Dönüştürülmesi-Fotoçoğaltıcı Tüpler

PMT'ler iki işlev gerçekleştirir: ultraviyole ve görünür ışık fotonlarının elektrik sinyaline dönüştürülmesi ve sinyali milyonlarca ila milyarlarca merteye yükseltmektir. Bir PMT, fotokatod içeren içi boşaltılmış bir cam tüp, tipik olarak dynot adı verilen 10 ila 12 elektrot ve bir anottan oluşur. Fotokatoda ışık çarptığı zaman elektron yayınlanır. Dynot başına voltajdaki artış yaklaşık 100 volt olacak şekilde bu elektronlar bir dynot zincirinde yaklaşık 1000 volta kadar kademeli şekilde hızlandırılır. Elektronlar ilk dynot ile fotokatot arasındaki 100 voltluk potansiyel fark altında hızlandırılarak, buna eşdeğer kinetik enerji (100 eV) kazanır. Bu elektronlar ilk dynota çarptığı zaman dynotta, elektron başına 5 elektron söker.

Sintilaston Dedektörleri

Işığın Elektrik Sinyaline Dönüştürülmesi-Fotoçoğaltıcı Tüpler

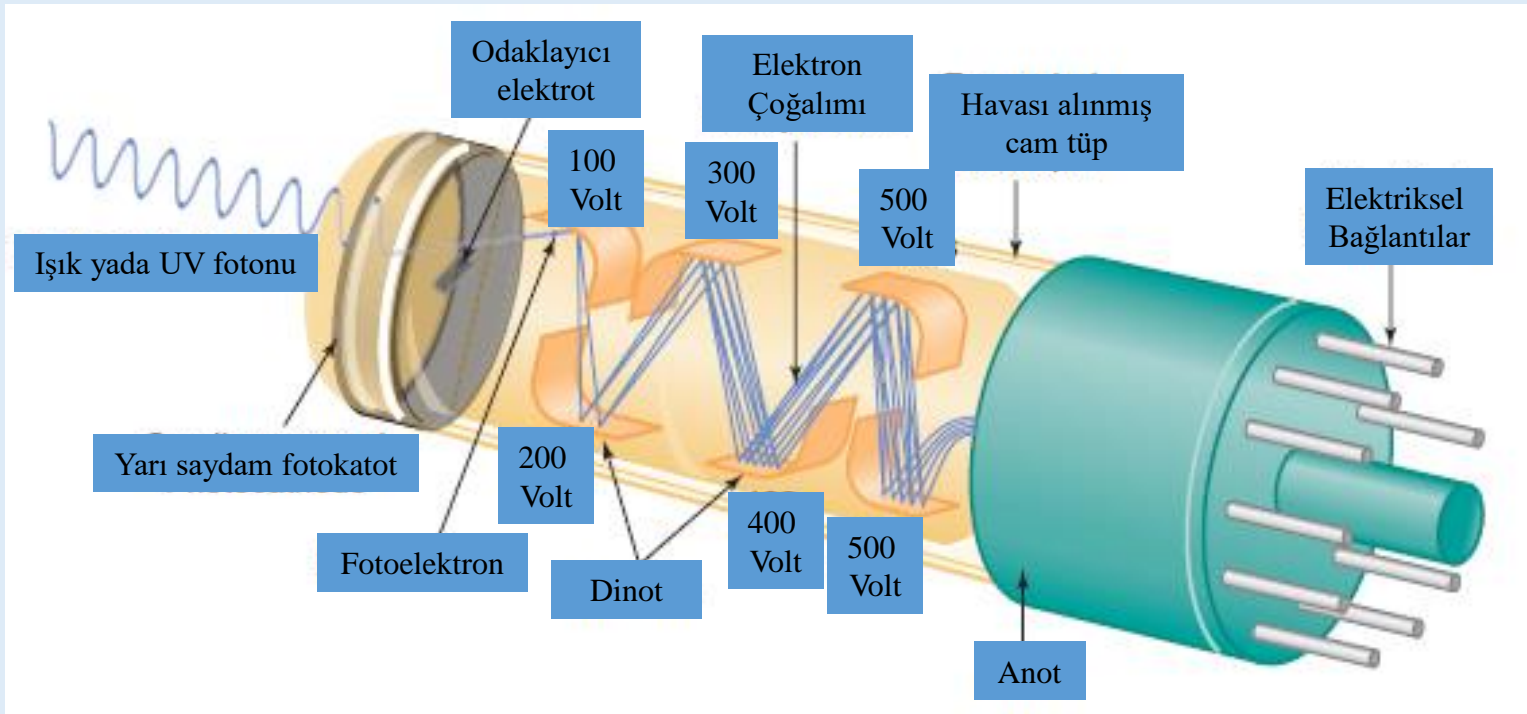
Birinci dynottan çıkan elektronlar ikinci dynot tarafından çekilir ve elektron başına bu dynottanda 5 elektron sökülür ve olay böyle devam eder. Eğer toplamda 10 dynot varsa ve her dynotta elektron sayısı 5 çarpanı ile artıyorsa toplam amplifikasyon,

$$5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 = 5^{10} \approx 10,000,000$$

Amplifikasyon, PMT'ye uygulanan voltaj değiştirilerek ayarlanabilir.

Sintilaston Dedektörleri

Işığın Elektrik Sinyaline Dönüştürülmesi-Fotoçoğaltıcı Tüpler



Sintilaston Dedektörleri

Işığın Elektrik Sinyaline Dönüştürülmesi - Fotodiyot

Fotodiyotlar, ışığı elektrik sinyallerine dönüştüren yarı iletken diyotlardır. Kullanım olarak, fotodiyotlar ters yönlüdür. Ters yön, voltajın polaritesinin esasen elektrik akımınının akmadığı yönde olmasıdır. Fotodiyot ışığa maruz kaldığında, ışığın yoğunluğu ile orantılı bir elektrik akımı üretilir. Fotodiyotlar bazen PMT yerine sintilatörlerle kullanılır.

Fotodiyotlar PMT'lerden daha fazla elektrik gürültüye sahiptir, ancak daha küçüktür ve daha ucuzdur.

Sintilaston Dedektörleri

- Yüksek atom numaralı fosforlar gama ışınlarının, plastik sintilatörler beta parçacıklarının sayımında kullanılırlar.
- İzotopların saptanması yani enerji ayırımının yapılması mümkündür.
- GM'e göre daha hassastırlar.
- Hem yüksek hem de background seviyesindeki düşük çevresel radyasyon seviyeleri için kullanılabilirler.
- Bu detektörün enerji yanıtı etkin dozun ölçülebileceği kalibrasyonun yapılmasına olanak vermez, dokuya eşdeğer enerji yanıtı yoktur.
- Çevresel gama ölçümleri için bir diğer detektör plastik sintilatördür. NaI göre daha az hassastır ve background ölçümleri için uygun değildir. Ancak etkin doza göre kalibre edilmesini sağlayacak enerji yanıtı doku eşdeğerindedir