

RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Prof. Dr. Turan Olğar

Ankara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Fizik Mühendisliği Bölümü

Radyasyon Dedeksiyonu ve Ölçümü

İyonize radyasyon madde içinde, uyarma ve iyonizasyon yoluyla enerji biriktirir. İyonizasyon elektronların, atomlardan yada moleküllerden ayrılmasıdır. Uyarma, elektronların atomlarda, moleküllerde veya bir kristalde uyarılmış durumlara yükselmesidir. Uyarma ve iyonizasyon kimyasal değişikliklere veya görünür ışık veya ultraviyole (UV) radyasyon emisyonuna neden olabilir. İyonlaştırıcı radyasyonla biriken enerjinin çoğu nihayetinde termal enerjiye dönüştürülür.

Dedektör Çeşitleri ve Temel Prensipleri

Radyasyon detektörleri dedeksiyon metotlarına göre sınıflandırılabilir. Gaz dolu bir dedektör iki elektrot arasındaki gaz hacminden oluşur. Radyasyon tarafından gazda üretilen iyonlar elektrotlar tarafından toplanır ve bir elektrik sinyaline neden olur. İyonlaştırıcı radyasyonun belirli malzemelerle etkileşimi ultraviyole radyasyon ve / veya görünür ışık üretir. Bu malzemelere sintilatör denir.

Yarı iletken detektörler özellikle saf silikon kristaller, germanyum veya diğer yarı iletken malzemelerdir. Bu malzemelere eser miktarda safsızlık atomu ilave edilerek diyot görevi görmesi sağlanır.

Dedektör Çeşitleri ve Temel Prensipleri

Bir diyot, bir yönde bir voltaj uygulandığında büyük bir elektrik akımının akmasına izin veren ancak voltaj ters yönde uygulandığında çok az akım geçiren iki terminalli bir elektronik cihazdır.

Radyasyon dedeksiyonu amacıyla kullanıldığında, voltaj akımının az aktığı yönde uygulanır. Kristalde bir etkileşim meydana geldiğinde, elektronlar uyarılmış duruma yükselir ve anlık bir elektrik akımı diyotta akmaya başlar.

Dedektör Çeşitleri ve Temel Prensipleri

Dedektörler ayrıca ürettikleri bilgi türüne göre de sınıflandırılabilir. Dedektördeki etkileşim sayısını gösteren Geiger-Mueller (GM) gibi detektörlere *sayaçlar* denir. NaI sintilasyon dedektörleri gibi gelen radyasyonun enerji dağılımı hakkında bilgi veren dedektörler, *spektrometreler* olarak adlandırılır. Dedektörde çoklu etkileşmeler sonucu depo edilen net enerji miktarını gösteren dedektörlere, *dozimetreler* denir.

Dedektör Çalışma Modları

Bir dedektör ve ilgili elektronik devre, dedeksiyon sistemini oluşturur. Elektronik devre, sinyali puls ve akım modu olmak üzere iki şekilde işler. *Puls modunda*, her etkileşimden gelen sinyal ayrı ayrı işlenir. *Akım modunda* ise, bireysel etkileşmelerin elektrik sinyallerinin ortalaması alınarak, net bir akım sinyali elde edilir.

Her iki sinyal işleme yönteminin avantajları ve dezavantajları vardır. GM dedektörleri puls modunda çalıştırılırken, çoğu iyonizasyon odası da dahil olmak üzere iyon odası araştırma sayaçları ve nükleer tıpta kullanılan doz kalibratörleri, akım modunda çalıştırılır. Sintilasyon dedektörleri nükleer tıp uygulamalarında puls modunda çalıştırılırken, direkt dijital radyografide, floroskopi ve x-ışını bilgisayarlı tomografide(BT) akım modunda çalıştırılır.

Dedektör Etkinliđ

Bir dedektörün verimliliği (hassasiyeti) radyasyonu algılama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Darbe modunda çalıştırılan bir dedeksiyon sisteminin verimliliği, kaynak tarafından yayılan bir parçacığın veya fotonun dedekte edilme olasılığı olarak tanımlanır.

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Dedekte Edilen Parçacık yada Foton Sayısı}}{\text{Kaynak tan Yayılan Parçacık yada Foton Sayısı}}$$

Bu bağıntı şöyle de yazılabilir.

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Dedektöre Ulaşan Parçacık yada Foton Sayısı}}{\text{Kaynak tan Yayılan Parçacık yada Foton Sayısı}} \times \frac{\text{Dedektörde Dedekte Edilen Parçacık yada Foton Sayısı}}{\text{Dedektöre Ulaşan Parçacık yada Foton Sayısı}}$$

$$\text{Etkinlik} = \text{Geomterik Etkinlik} \times \text{İçsel Etkinlik}$$

Dedektör Etkinliđi

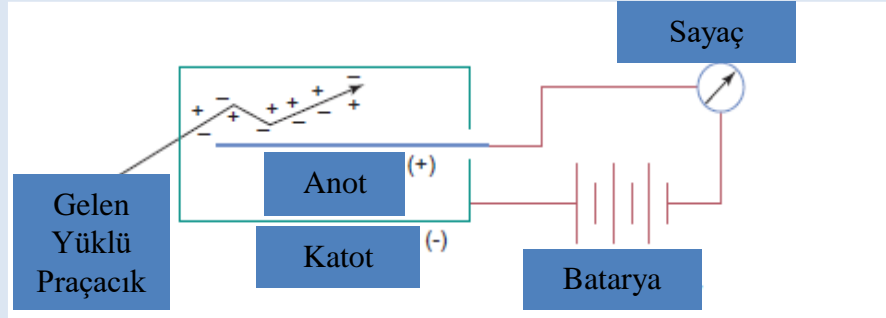
Bir dedektörün foton dedeksiyonundaki içsel verimliliği (hassasiyeti), kuantum dedeksiyon etkinliği olarak da bilinir ve fotonun enerjisine, dedektörün atom numarası, yoğunluğu ve kalınlığına bağlıdır. Mono enerjili paralel bir foton demeti homojen kalınlığa sahip dedektör üzerine gelirse, dedektörün içsel etkinliği aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$\text{İçsel Etkinlik} = 1 - e^{-\mu x} = 1 - e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x}$$

Gaz Dolu Dedektörler

Temel Prensipler

Gaz dolu bir dedektör, iki elektrot arasında gaz dolu bir hacme sahiptir.



İyonize radyasyon gazda iyon çiftleri oluşturur. Elektrotlar arasına uygulanan elektriksel potansiyel farkından (voltaj) dolayı, pozitif iyonlar (katyonlar) negatif elektroda (katot) çekilirken, elektronlar veya anyonlar pozitif elektrota (anot) doğru çekilir. Anoda ulaştıktan sonra elektronlar, devre içinde katyonlarla yeniden birleştikleri katoda doğru ilerler. Bu elektrik akımını hassas bir ampermetre veya başka bir elektrik devresi ile ölçülebilir.

Gaz Dolu Dedektörler

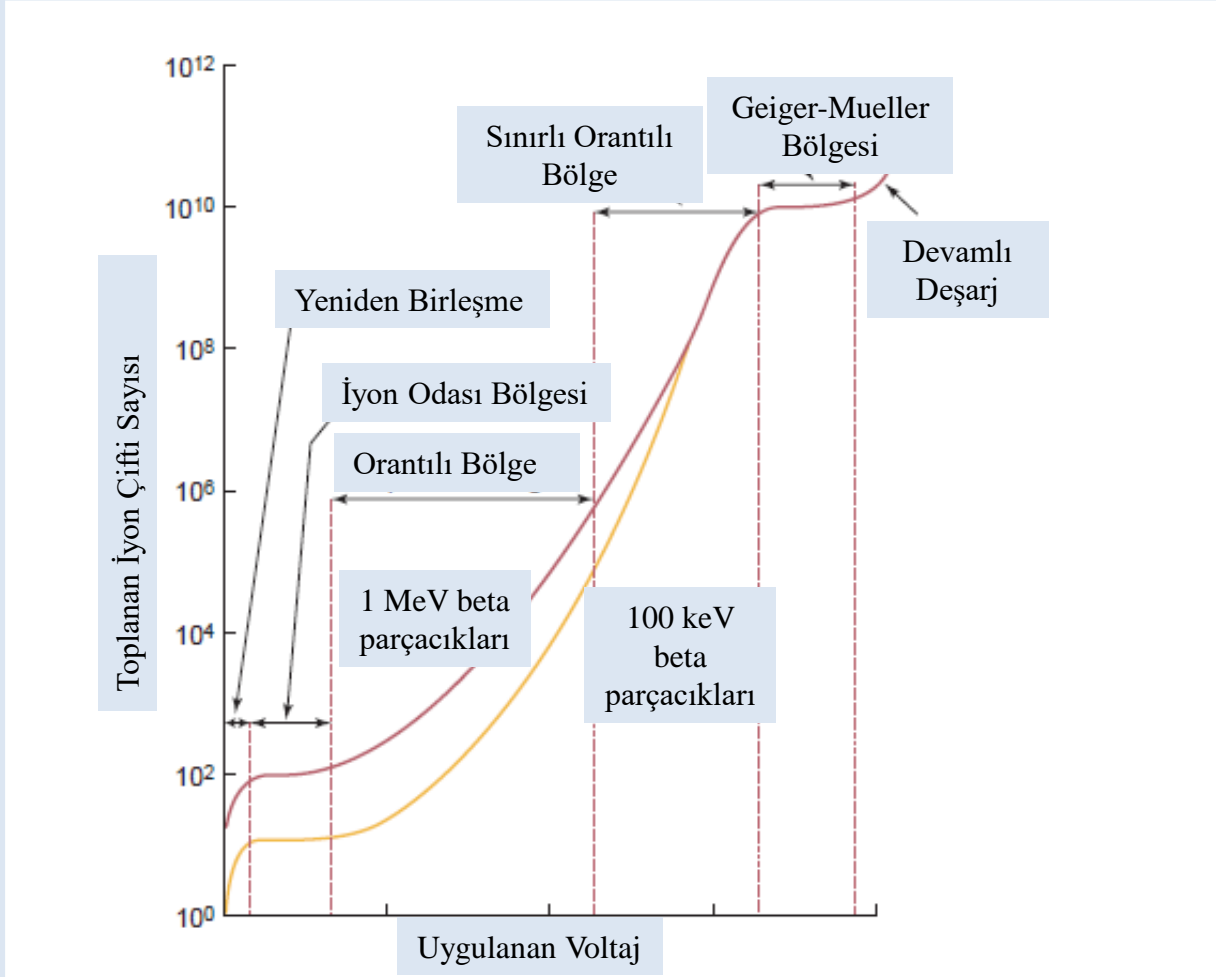
Temel Çalışma Prensipleri

Yaygın olarak kullanılan üç tip gaz dolu dedektör çeşidi vardır. Bunlar, iyonizasyon odaları, orantılı sayaçlar ve Geiger-Mueller (GM) sayaçları.

Dedektör çeşidi temel olarak, elektrotlar arasında uygulanan voltaja bağlı olarak belirlenmektedir. Aşağıdaki şekilde, tek bir etkileşme sonucu, elektrotlar arasına uygulanan potansiyel farkının (voltajın) fonksiyonu olarak toplanan elektriksel yük gösterilmektedir.

Gaz Dolu Dedektörler

Gaz Dolu Dedektörler İçin Çalışma Bölgeleri



Gaz Dolu Dedektörler

Temel Çalışma Prensipleri

İyonize radyasyon, dedektörün gazında iyon çiftleri üretir. Elektrotlar arasında herhangi bir voltaj uygulanmazsa, yüklü parçacıkları elektrotlara çekmek için elektrik alanı var olmayacağından devreden bir akım geçmez; iyon çiftleri gazda yeniden birleşir. Küçük bir voltaj uygulandığında, bazı katyonlar katoda çekilir ve bazı elektron veya anyonlar yeniden birleşmeden önce anoda doğru çekilir.

Voltaj arttıkça daha fazla iyon toplanır ve daha az yeniden birleşme gerçekleşir. Voltaj yükseltildikçe akımın arttığı bu bölgeye, eğrinin *rekombinasyon* bölgesi denir.

Gaz Dolu Dedektörler

Temel Çalışma Prensipleri

Voltaj daha da arttıkça, eğride bir platoya ulaşılır. Bu bölgede, *iyonizasyon odası bölgesi* denilen, uygulanan elektrik alanı hemen hemen tüm iyon çiftlerini toplayacak kadar yeterince güçlüdür; uygulanan voltajdaki ek artışlar akımda önemli ölçüde bir artışa sebep olmaz. İyonizasyon odaları bu bölgede işletilmektedir.

İyonizasyon bölgesinin ötesinde, uygulanan voltaj arttırıldıkça toplanan akım da tekrar artar. *Orantılı bölge* denilen bu bölgede anota yaklaşan elektronlar, ilave iyonizasyona sebep olacak kadar yüksek kinetik enerjilere sahiptir. Gaz çoğalımı adı verilen bu olay toplanan akımı güçlendirir; uygulanan voltaj yükseldikçe amplifikasyon miktarı da artar.

Gaz Dolu Dedektörler

Temel Çalışma Prensipleri

İyonizasyon odası ve orantılı bölge boyunca herhangi bir voltajda her etkileşme sonucu toplanan elektrik yükünün miktarı, dedektörün gazında etkileşme sonucu biriken enerji miktarı ile orantılıdır. Örneğin, dedektörde 100 keV'lik enerji bırakan etkileşme sonucu oluşan yük miktarı, dedektörde 1 MeV'lik enerji bırakan etkileşme sonucu oluşan yük miktarının onda biri kadardır.

Gaz Dolu Dedektörler

Temel Çalışma Prensipleri

Orantılı bölgenin ötesindeki bölgede, her etkileşme sonucu dedektörde depo edilen enerjiden bağımsız olarak toplanan yük miktarı aynıdır. Bu bölgeye Geiger-Mueller (GM bölgesi) bölgesi denir. Bu bölgede gaz çoğalmı anot boyunca yayılır. GM bölgesindeki pulsun büyüklüğü, dedektörde etkileşme sonucu bu pulsa neden olan enerjinin büyüklüğü hakkında hiçbir bilgi vermez. Gaz dolu dedektörler, GM bölgesinin ötesindeki voltajlarda çalıştırılmaz, çünkü sürekli deşarj olurlar.

Gaz Dolu Dedektörler

İyon Odaları

İyon odalarına uygulanan nispeten düşük voltajlarda gaz çoğalımı gerçekleşmediğinden, tek bir etkileşme sonucu toplanan elektrik yükü miktarı çok küçük ve tespit edilmesi için büyük amplifikasyon gerektirir. Bu nedenle iyonlaşma odalar nadiren puls modunda kullanılır. Bunları akım modunda çalıştırmanın avantajı, çok şiddetli radyasyon alanlarında bile ölü zaman etkilerinden neredeyse tamamen bağımsızdır.

İyon odalarında her türlü gaz kullanılabilir. Ancak kullanılan gaz hava ve iyon odası duvarları havanın etkin atom numarasına eşdeğer materyalden yapılmışsa, iyon odasında okunan akım değeri, ışınlama hızı (Işınlama, havanın birim kütlesinde etkileşme sonucu oluşan elektriksel yük miktarıdır) ile orantılıdır.

Gaz Dolu Dedektörler

İyon Odaları

İyon odaları taşınabilir sayaçlarda, diagnostik ve terapatik x-ışın sistemlerinin kalite kontrol testlerinde ve birçok x-ışın sisteminin otomatik ışınlama kontrolü dedektörü olarak kullanılmaktadır.

Gaz dolu dedektörler, en yaygın kullanılan gazların düşük yoğunluğa ve düşük atom numarasına sahip olmaları nedeniyle, x ve gama ışınlarını tespit etmek için düşük içsel verimliliklere sahip olma eğilimindedir. İyon odalarının x ve gama ışınlarına duyarlılığı, Argon ($Z=18$) yada Ksenon ($Z=54$) gibi yüksek atom numarasına sahip bir gazla doldurularak ve yoğunluğu arttırmak için gazı basınçlandırmak yoluyla arttırılabilir.

Gaz Dolu Dedektörler

İyon Odaları

- Puls ya da akım modunda çalışırlar.
- Yüksek doz hızlarında akım modu kullanılır
- Yüksek radyasyon alanlarında ve Işınlamanın doğrulukla ölçülmesinin istendiği durumlarda kullanılırlar.
- 10 keV-2 meV arasında düz enerji yanıtları vardır.
- Düşük aralıkta çalışanlarla >0.001 mGy/saat yüksek aralıktaki sistemler ile >0.5 Gy/saat doz hızları ölçülür.
- Yüksek sayım hızlarında doyma problemi olmadığından puls tipi alanlarda kullanılabilirler (X-ışın sistemleri ya da lineer hızlandırıcılar gibi).

Gaz Dolu Dedektörler

İyon Odaları

- Taşınabilir hava dolu iyon odaları, 1 mR/saat değerinden daha düşük doz hızı değerlerinden, 10-100 R/saat'e kadar doz hızlarını doğrulukla ölçebilirler.
- Yüksek şiddetteki kaynakların çevresindeki doz hızlarının ölçümünde uygundur (X-ışın odalarının çevresi gibi)