

İYON DEDEKTÖRLERİ

Ref. Işın Dedektörleri, Kromatografi Dedektörleri

İyonlaştırıcı ışın (UV, X-ışını, v.s.) bir gaz içinden geçtiğinde gaz molekülleriyle çarpışarak iyon çiftlerinin (yükü moleküller ve serbest iyonlar) meydana gelmesine neden olur. Ortamda bir elektrik alanı bulunuyorsa her bir iyon zıt işaretli kutba doğru göç eder. Bir iyon odacığı bu sisteme göre çalışan bir iyonizasyon ışını algılayıcısı, yani dedektördür.

Odacık, genellikle metal bir kaptır; merkezinde, kabın kenarlarından izole edilmiş tel bir elektrot bulunur. Kap uygun bir gazla doldurulur ve kabın dış kısmıyla elektrot arasına doğru akım voltajı uygulanarak bir elektrik alanı oluşturulur. Gazdan ışın geçirildiğinde meydana gelen iyonlar kendileriyle ters işaretli elektrotlara doğru giderler. Kabın dışı topraklandığından merkezdeki elektrotun potansiyeli yaklaşık olarak sıfır voltur; işlem sonunda bu elektrota meydana gelen akım ölçülür.

Kütle spektroskopisi dedektörleri iyon dedektörleridir.

Argon, ksenon veya kripton gibi bir inert gazdan X-ışını geçirildiğinde her X-ışını kuvantumuna karşılık çok sayıda pozitif gaz iyonlar ve elektronlar (iyon çiftleri) oluşur ve iletkenlik artar. İyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar, Geiger-Mueller tüpleri, nötron sayıcılar ve sintilasyon sayıcıları gibi bu tip dedektörler iyon dedektörleridir.

Gaz kromatografisi dedektörlerin çoğu, GC kolonundan gelen akımdaki bileşenlerin iyonlaştırılmasında farklı iyonizasyon metodlarının kullanıldığı iyon dedektörleridir; bunlar, bir kapasitör veya vakum tüpüne benzer. Örneğin, argon, helyum, elektron yakalama, alev iyonizasyon gibi dedektörler bu tip dedektörlerdir. (Bak. [Kromatografi Dedektörleri](#))

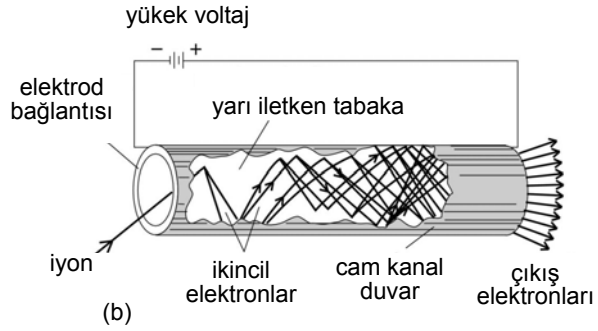
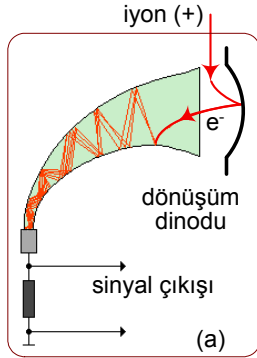
Kütle Spektrometresi (MS) Dedektörleri

Channeltron (registered trademark of Burle)

Channeltron dedektör, elektron multiplier dedektörün yoğun bir şeklidir.

Channeltron boynuz şeklinde bir sürekli dinodur; iç kısmı elektron yayan bir malzemeyle kaplanmıştır. Channeltron'a çarpan bir iyon ikincil elektronlar yayınlanmasına neden olur ki bu durum ikincil elektronların hızla çoğalmasına ve bir akım pulsu doğmasıyla sonuçlanır. (Şekil-a)

Şekil (b)'de bir Channeltron dedektörün çalışması gösterilmiştir. Giriş ucu topraklanır veya bir miktar pozitif potansiyel uygulanır; çıkış ucu yüksek pozitif potansiyel altındadır. Kabin giriş yüzüne bir elektron çarptığında 2-3 ikincil elektron üretilir; bunlar, pozitif bias ile kanalın alt kısmına hızlandırılır. İkincil elektronlar, 10^7 - 10^8 elektronun yarattığı puls oluşuncaya kadar, kanal boyunca artarak ilerlerler.



<http://www.chm.bris.ac.uk/ms/theory/detection.html>

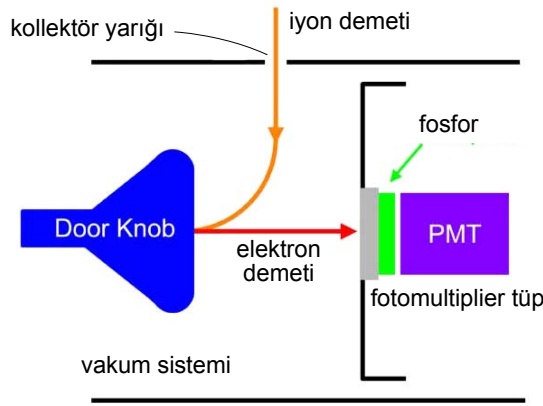
ENCYCLOPEDIA ARTICLE: Channel electron multipli

Channeltron dedektör ve çalışma prensibi

Daly Dedektör

Daly dedektörü, tokmak şeklinde metal bir kap (door knob), bir sintilatör (fosfor ekranlı) ve bir fotomultiplierden hazırlanmış bir gaz faz iyon dedektörüdür.

İyonlar tokmak kaba çarptığında ikincil elektronlar yayımlanır. Kap ile sintilatör arasına uygulanan yüksek voltajla (~20 000 V) elektronlar hızlandırılır, fosfor ekran üzerine gönderilir ve burada fotonlara dönüşürler; fotonlar (ışık), fotomultiplier tarafından algılanır.

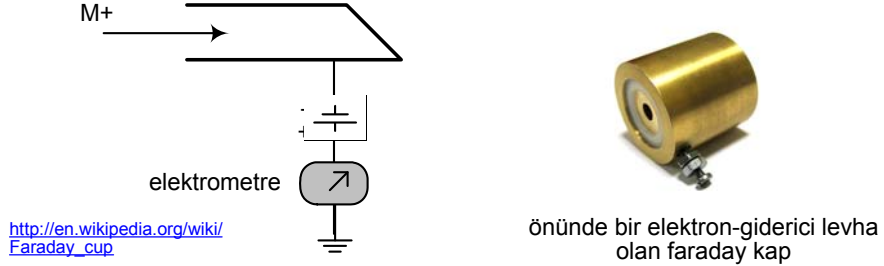


Daly dedektörü: Door knob, bir sintilatör ve bir fotomultiplier

Faraday Kap

Faraday kap, metal (iletken) bir kaptır, vakum altında çalışan bir elektrottur. Üzerine yüklü bir tanecik demeti (elektronlar veya iyonlar) çarptığında doğan elektrik akımı bir elektrometreyle ölçülür. Kap, ölçülen akım değerleri daha sağlıklı olması için ikincil elektronların kaybı en az seviyede olacak şekilde dizayn edilmiştir.

Metale bir iyon demeti çarptığında, iyon nötralleşirken metal az miktarda yük kazanır ve deşarj olurken de kazandığı yüke eşdeğer miktarda bir elektrik akımı yaratılır; yani, iyonların vakumda yük taşıyıcıları olduğu bir devrede faraday kap devrenin bir parçasıdır. Devredeki bu metal parçada elektrik akımının ölçülmesiyle vakumda iyonlar tarafından taşınan yük miktarı saptanır.

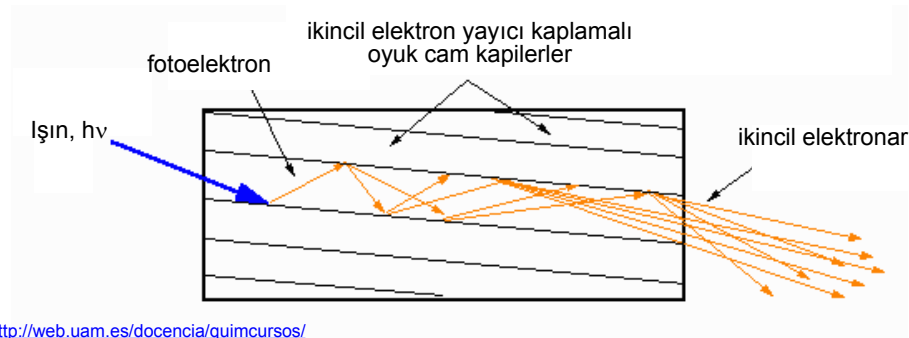


Bir faraday kap şeması ve ticari bir faraday kap

Mikrokanal Levha (Microchannell Plate) (MCP)

Mikrokanal levha, 2-boyutlu algılama yapabilen ve amplifiye edebilen bir elektron mutiplierdir. MCP, sadece elektronlara karşı değil, iyonlara, vakum UV ışınlarına ve X-ışınlarına karşı da hassas bir dedektördür; bu nedenle kullanım alanı oldukça yaygındır.

MCP, üzerinde, iç kısmı bir elektron emissiv maddeyle kaplanmış bir tabaka bulunan, iç çapı 10-15 μm olan cam kapiler dizisinden oluşur. Kapilerler yüksek voltaj altında tutulurlar; birinin iç duvarına bir iyon çarptığında çığ gibi ikincil elektronlar yaratırlar. Bu etkiyle $10^3 - 10^4$ dolayında kazanç sağlanır ve çıkışta bir akım pulsu üretilir.



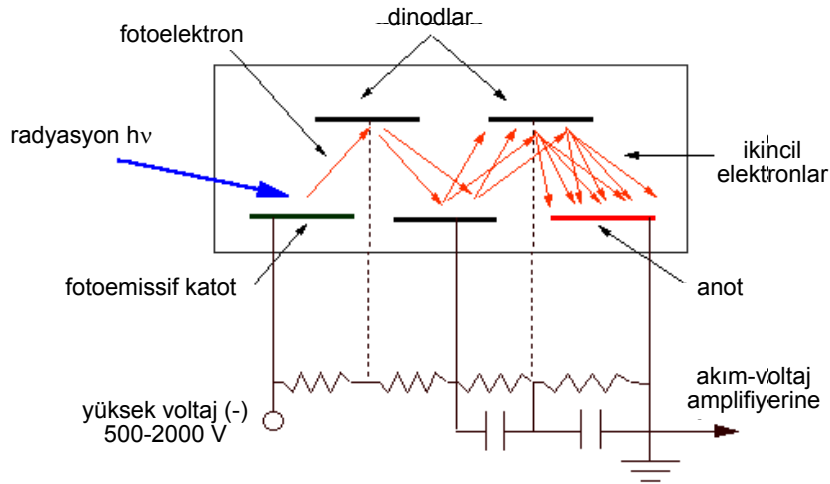
<http://web.uam.es/docencia/quimcursos/Scimedia/chem-ed/ms/detector/graphics/mcp.gif>

Mikrokanal levhanın çalışma şeması

Fotomultiplier Tüp (PMT)

Fotomultiplier tüpler daha çok UV-görünür spektroskopisinde kullanılan dedektörlerdir. Bunlarda bir fotoemissiv katot, birkaç dinod ve anot bulunur. Katot, ışın fotonları çarptığında elektronlar yayar. Dinodlar, her bir elektronun çarpmasıyla birkaç elektron yayar.

Tüpe giren bir radyasyon fotonu katoda çarpar, birkaç elektron yayımlanır; Bunlar, katottan 90 V daha pozitif olan birinci dinoda yönlendirilirler. Birinci dinoda çarpan elektronların her biri birkaç elektron çıkarır, bunlar hızlandırılarak ikinci dinoda yönlendirilirler; aynı çarpışma ve elektron çıkışlarıyla olay üçüncü dinoda ve diğerlerinde devam eder. Sonuçta oluşan tüm elektronlar anotta toplanır; bu noktada her orijinal foton $10^6 - 10^7$ elektron üretmiştir. Sonuç akım modifiye edilir ve ölçülür.



<http://www.chemistry.adelaide.edu.au/external/soc-rel/content/pmt.htm>

Fotomultiplier tüpün çalışma şeması

Elektron Multiplier Tüp (EMT)

Elektron multiplierler tüpler iyonların algılanmasında kullanılan çok önemli dedektörlerdir; özellikle aynı cihazda pozitif ve negatif iyonların ölçülmesine olanak verirler. İki tip elektron multiplier vardır; bunların ikisi de Faraday kap prensibinden yararlanılarak dizayn edilmiştir. Bir Faraday kap bir dinod kullanır ve dolayısıyla sadece bir sinyal amplifikasyonu üretir.

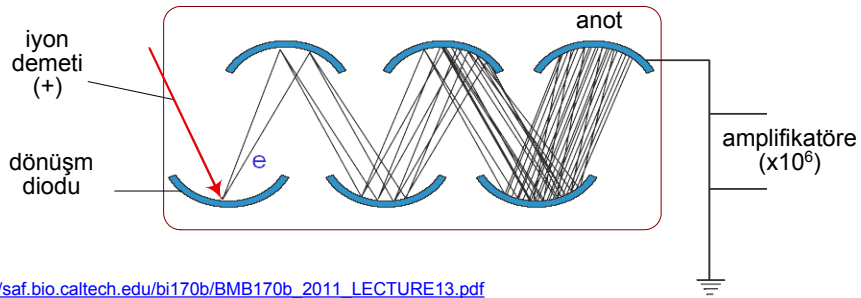
Elektron multiplier tüpler iki tiptir:

- Dinod dizili EMT
- Channel (sürekli) EMT

Dinod dizili elektron multiplierlerde dinod dizileri vardır. Bunlar, artan potansiyeller altında tutulurlar, sonuçta bir dizi amplifikasyon meydana gelir (şekil).

Kanal (channel) multiplierlerde boynuz şeklinde sürekli bir dinod bulunur; dinod yüzeyinde tekrarlanan çarpışmalar sonucu amplifikasyonlar meydana gelir. (Bak. Channeltron Dedektör)

Her iki durumda da iyonlar dönüşüm dinodunu geçer ve ilk amplifikasyon dinod yüzeyine çarparak ikincil elektrotlar çıkarır; bunlar, birinci tip EMT'lerde ikinci dinoda yönlendirilirken, ikinci tip EMT'lerde (sürekli dinodlar), bir elektronlar şalesinin oluşumuyla sonuçlanan tekrarlanan çarpışma işlemlerine uğrarlar.

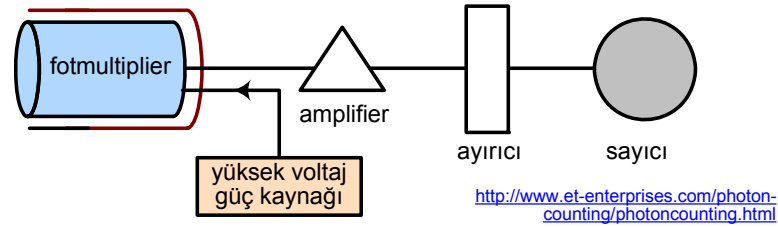


http://saf.bio.caltech.edu/bi170b/BMB170b_2011_Lecture13.pdf
<http://www.chm.bris.ac.uk/ms/theory/detection.html>

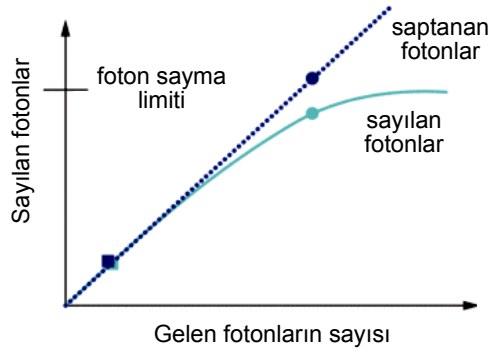
Elektron multiplier tüp

Bazı X-Işını İyon Dedektörleri

Çeşitli fotoelektrik dedektörlerin tersine X-ışını dedektörler, çoğunlukla, foton sayıcı sistemlerdir. Burada bir ışın kuvantumu olarak çıkan her bir elektrik pulsu transduser tarafından absorblanarak sayılır; sonra, ışının gücü birim zamandaki puls sayısı cinsinden sayısal olarak kaydedilir. Bu tip çalışmada dedektör ve sinyal prosesörünün algılama zamanları, transduserin kuvantayı absorblama hızına göre çok süratli olmalıdır; yani, foton sayma yöntemi sadece şiddetleri oldukça düşük ışınlarla uygulanabilir. Işının şiddeti arttıkça puls hızı cihazın algılama zamanından daha büyük olacağından, ancak, saniyedeki ortalama puls sayısını veren kararlı-hal akımı ölçülebilir.



Foton sayma sistemi elementleri



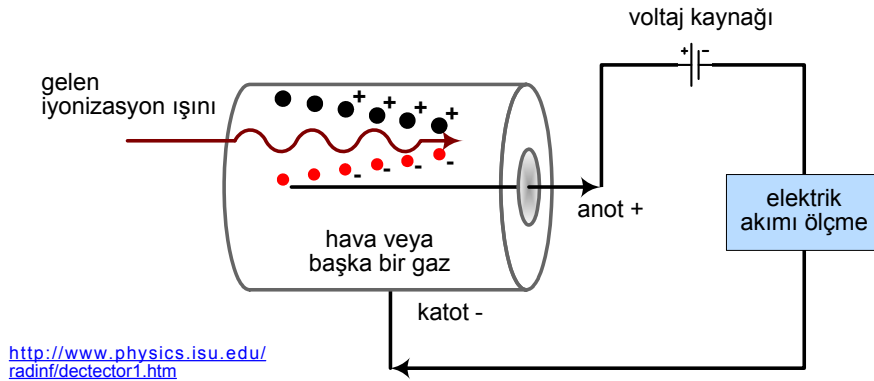
Foton sayma metodunda doğrusallıktan sapma eğrisi

Şekildeki grafikte görüldüğü gibi, gelen fotonların sayısı az olduğunda saptanan foton sayısı, yaklaşık olarak sayılan akım pulsları sayısına eşittir; gelen fotonların sayısının yüksek olması halinde ise, sayılan foton sayısı saptanandan daha düşük olur. Zayıf ışın kaynaklarında foton ölçme yöntemi diğer yöntemlerden (ortalama puls ve akım ölçme) daha başarılıdır. Sinyal pulsları kaynak, dedektör ve diğer elektronik kısımların taban gürültüsünden daha büyükse alınan sonuçlar daha hassastır. X-ışını çalışmalarında, kullanılan kaynak çoğunlukla düşük enerjili olduğundan, foton sayma yöntemi uygulanır. Ayrıca foton sayma ile, bir monokromatör bulunmadığı halde de spektra alınabilir.

X-ışını cihazları, ilk olarak ışının saptanması ve ölçülmesi için fotoğraf emisyonlarında kullanılmıştır. Yöntemin elverişli, süratli ve doğru sonuçlar vermesi nedeniyle modern cihazlara da ışın enerjisini elektrik sinyallerine çeviren dedektörler takıldı. Bu amaçlarla kullanılan üç tip transduser vardır, gazlı dedektörler, sintilasyon sayıcıları ve yarı iletken dedektörler.

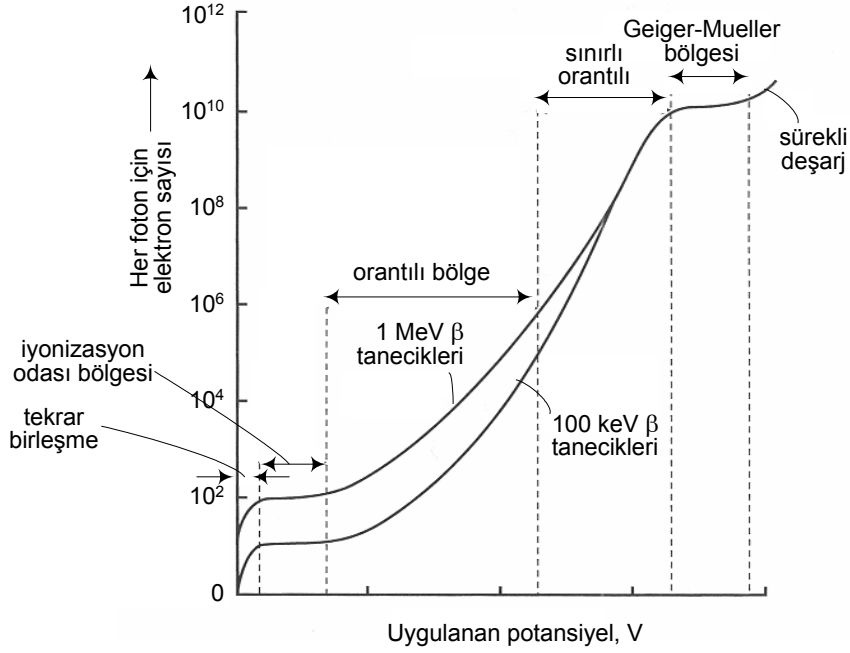
Gazlı dedektörler

Argon, ksenon veya kripton gibi bir inert gazdan X-ışını geçirildiğinde her X-ışını kuvantumuna karşılık çok sayıda pozitif gaz iyonlar ve elektronlar (iyon çiftleri) oluşur ve iletkenlik artar.



Bir gazlı dedektörün kesiti

Anoda ulaşan elektronların sayısına uygulanan potansiyelin etkisi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir; şekilde birkaç özel voltaj bölgesi bulunur.



http://fiz.phys.dal.ca/files/25_-_Radiation_Detection_&_Measurement_1.ppt

Çeşitli tiplerdeki gazlı dedektörlerde gaz amplifikasyonu

Tekrar birleşme potansiyellerinde iyon çiftleri üzerindeki hızlandırma kuvveti düşüktür ve pozitif ve negatif tanecikleri ayıran hız kısmi bir birleşmeyi engelleyebilecek seviyede değildir. Bunun sonucunda anoda ulaşan elektronların sayısı, gelen ışının başlangıçta oluşturduğu sayıdan daha azdır.

İyonizasyon odası bölgesinde anoda ulaşan elektronların sayısı sabittir ve tek bir fotonun oluşturduğu sayıya eşittir.

Orantılı bölgedeki elektronların sayısı uygulanan potansiyelle hızla artar. Sebebi, hızlandırılmış elektronlar ve gaz moleküllerinin çarpışmasıyla ikincil iyon-çiftlerinin oluşmasıdır; sonuçta iyon akımı yükselir (gaz amplifikasyonu).

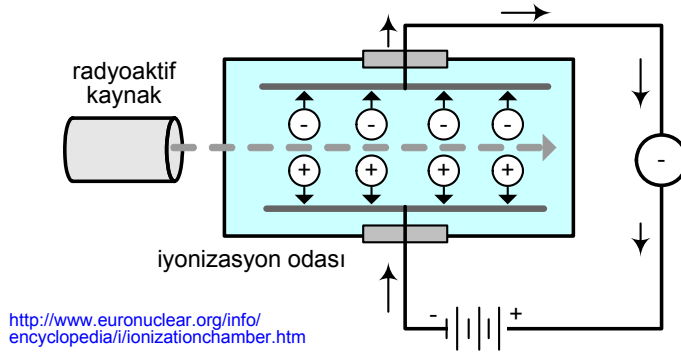
Geiger-Mueller bölgesinde elektrik pulsu çok büyüktür, fakat daha hızlı hareket eden elektronların daha yavaş olan pozitif iyonlardan uzaklaşmasıyla oluşan pozitif yüklü bölge, elektronların sayısını sınırlar. Bu etki nedeniyle anoda ulaşan elektronların sayısı başlangıçta gelen ışının tipi ve enerjisinden bağımsız olur, fakat tüpün gaz basıncı ve geometrisine göre değişir. Şekilde 1 MeV β taneciklerinin bulunduğu yüksek enerjili bölgede oluşan elektronların sayısının, 100 keV β tanecikli X-ışınları ile oluşan sayıdan daha fazla olduğu da görülmektedir. 1 MeV β tanecikli ışın pulsunun büyüklüğü (puls yüksekliği) daha fazladır.

Dört tip X-ışını dedektörü geliştirilmiştir:

- İyonizasyon odaları
- Orantılı sayıcılar
- Geiger-Mueller tüpleri
- Nötron sayıcılar

1. İyonizasyon odaları

İyonizasyon odalarında akımlar küçüktür ($10^{-13} - 10^{-16} A^0$ gibi) ve uygulanan voltajdan bağımsızdır. İyonizasyon odaları, hassasiyetleri düşük olduğundan X-ışını spektrometrelerde kullanılmazlar. Işın odacığındaki gazı iyonlaştırdığında gaz iletkenleşir, bir elektrik akımı meydana gelir ve bu akım ölçülür.

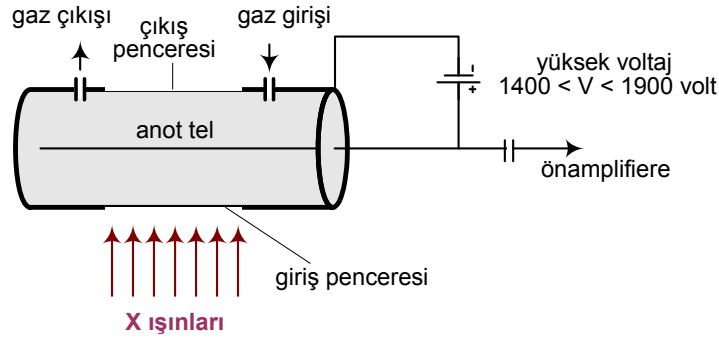


Bir iyonizasyon odacığı

2. Orantılı sayıcılar

Orantılı sayıcı bir gazlı dedektördür. Bunda, bir fotonun oluşturduğu puls 500-10000 kez büyütülürken pozitif iyonlarının sayısı, ölü zaman sadece $1\mu s$ gibi kısa bir süre olacak kadar azdır. Bir orantılı sayıcı tüpten alınan puls, çoğunlukla, sayılmadan önce yükseltilmelidir.

Orantılı bölgede her pulsdan çıkarılan elektronların sayısı, doğrudan, gelen ışının enerjisine bağlıdır. Orantılı sayıcı sınırlandırılmış bir X-ışını frekansları bölgesi için hassas duruma getirilebilir. Bunun için sayıcıya bir "puls yüksekliği analizörü" takılır; bu alet yüksekliği sadece belirlenmiş sınırlar içinde olan pulsarı sayar. Bir puls yüksekliği analizörü ışının elektronik olarak süzülmesini sağlar; işlevi, monokromatörün işlevi ile aynıdır. Orantılı sayıcılar X-ışını spektrometrelerde çok yaygın olarak kullanılan dedektörlerdir.



Bir orantılı sayıcı dedektör

3. Geiger-Mueller tüpleri

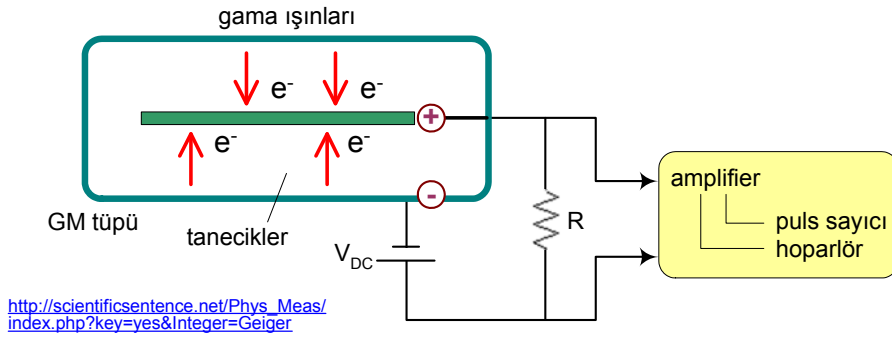
Geiger tüpü bir gazlı dedektördür, bunda gaz amplifikasyonu 10^9 dan daha büyüktür. Her foton çığ gibi elektron ve katyon üretir; sonuçta alınan akımlar çok büyüktür ve tabii algılanması ve ölçülmesi de oldukça kolaydır.

Geiger bölgesinde çalışan bir odacıktan sürekli bir elektrik iletimi sağlanamaz, çünkü daha önce de değinilen pozitif yüklenmiş bölge elektronları anoda doğru yönlendirir. Sonuçta ani bir puls alınır ve tüpün iletkenliği kaybolur. İletkenlik tekrar başlamadan önce bu bölgenin yükü, katyonların odacığın duvarlarına göç

etmeleri ile kaybolmalıdır. Tüpün iletken olmadığı "ölü zaman" süresince ışın algılanamaz; bu nedenle tüpün ölü zamanı, algılama yeteneğindeki üst sınırı tanımlar. Bir Geiger tüpünün ölü zamanı 50-100 μs aralığındadır.

Geiger tüpleri, çoğunlukla, argonla doldurulur; ayrıca alkol veya metan (bir soğutma gazı) gibi organik bir maddeden biraz ilave edilerek, katyonların odacığın duvarlarına çarpmasıyla ikincil elektronların oluşması önlenmeye çalışılır. Bir tüpün yaşam süresi $10^8 - 10^9$ sayım kadardır, bu süre sonunda soğutma gazı tükenir.

Bir Geiger tüpü ile ışının şiddeti, akım pulslarının sayısı olarak saptanır. Alet her tip nükleer ve X-ışınına uygulanabilir. Ölü zamanının yüksekliği bu tüplerin diğerleri kadar çok sayım yapmasını engeller; bu da X-ışını spektrometrelerde kullanımını sınırlar.



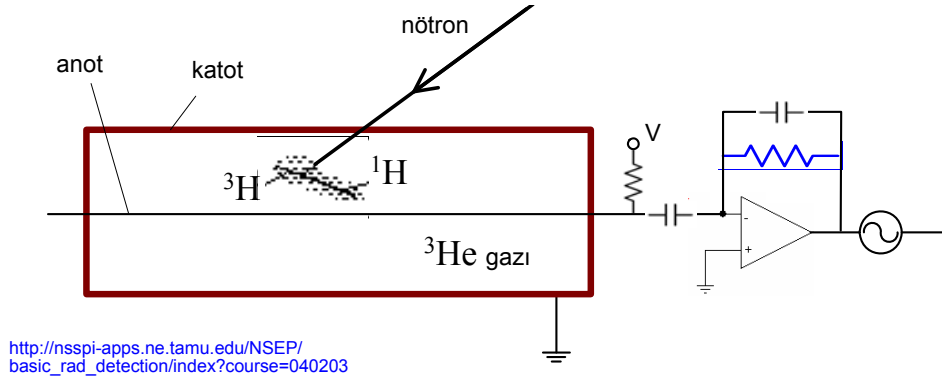
4. Nötron Sayıcılar

Nötronlar yüksüz olduğundan, nötron dedektöründe bir nötron-iyonizasyon taneçik dönüştürücüsü bulunur. Gelen nötronlar tarafından dönüştürücü malzeme yakalanır ve burada nükleer bir reaksiyonla algılanabilecek iyon taneçikler meydana gelir.

Nötron dedektörler orantılı sayıcılardır; çünkü, yaratılan yükün toplam miktarı, orijinal nötronlardan çıkarılması gereken yük miktarıyla orantılıdır.

Gazlı dedektörler hem nükleer reaksiyonla çıkarılan termal nötronları, hem de geri çekilme (recoil) etkisiyle oluşan hızlı nötronları algılar. Dedektörün duvarı 0/5 mm

kalınlıktadır, paslanmaz çelik veya alüminyumdan yapılır; her iki malzeme de yeterli koruyuculuğu sağlayabilir. Çelik duvarın nötron absorpsiyonu %3 iken, alüminyumun sadece %0.5 olması, yüksek algılama verimi istendiğinden, genellikle alüminyum tüpler tercih edilir.

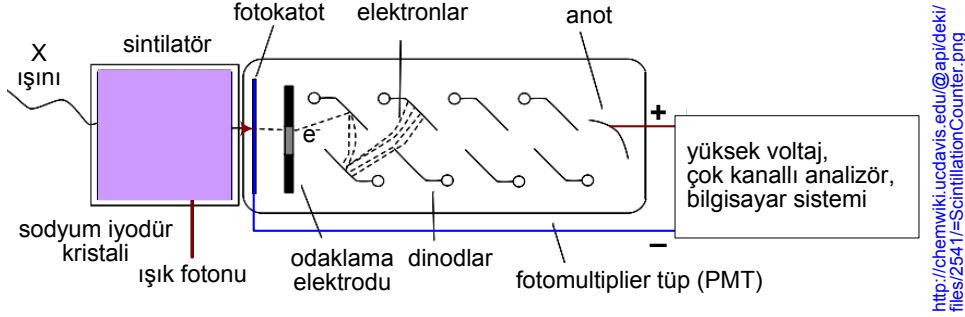


Tipik bir gazlı nötron dedektörü

Sintilasyon sayıcıları

Sintilasyon dedektörler çok hassas ışın dedektörleridir. En çok kullanılan modern sintilasyon dedektörlerde, %1 kadar talyum ilavesiyle aktiflendirilmiş, geçirgen (şeffaf) bir sodyum iyodür kristali bulunur. Kristal, boyutları 3-4 inc olan silindirik şekilde bir parçadır; düzlem yüzeylerinden biri, bir fotomultiplier tüpün katoduna doğru çevrilir. Gelen ışın kristali çevirirken enerjisi önce sintilatöre geçer; bu enerji sonra fluoresans ışın fotonları olarak bırakılır. $0.25 \mu\text{s}$ (bozunma süresi) gibi bir periyotta her tanecik veya foton (ilk gelen ışın) tarafından 400 nm dalga boyu dolayında birkaç bin tane fluoresans foton çıkarılır.

Bir sintilasyon sayıcının ölü zamanı ($\sim 0.25 \mu\text{s}$) bir gazlı dedektörünkinden oldukça küçüktür.



<http://chemwiki.ucdavis.edu/api/deki/files/2541/ScintillationCounter.png>

Sintilasyon sayıcısı

Sintilatör kristalde çıkan ışık parıltıları fotomultiplier tütün foto katoduna geçirilir; burada önce elektrik pulsuna çevrilir, sonra yükseltilir ve sayılır. Sintilatörlerin en önemli özelliği her parıltı sırasında çıkan fotonların sayısının, gelen ışının enerjisiyle orantılı olmasıdır. Bu özellikten yararlanılarak bir sintilasyon sayıcısının çıkışı, sisteme bağlanan bir puls-yüksekliği analizörü ile izlenerek enerji ayırıcı fotometreler yapılmıştır (bunlar daha sonra görülecektir). Sodyum iyodür Kristalinden başka stilben, ve terfenil gibi organik sintilatörler de kullanılmaktadır. Bu maddelerin kristal haldeki bozunma zamanları 0.01-0.1 μ s arasındadır. Bunlardan başka organik sıvı sintilatörler de geliştirilmiştir; bu tip maddelerin avantajlı tarafı ışın absorblama (kendisi için) özelliğinin katılara göre daha az olmasıdır. p-Terfenilin toluendeki çözeltisi böyle bir maddedir.

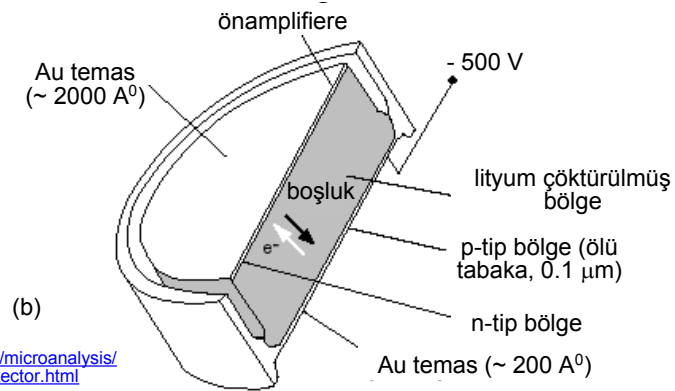
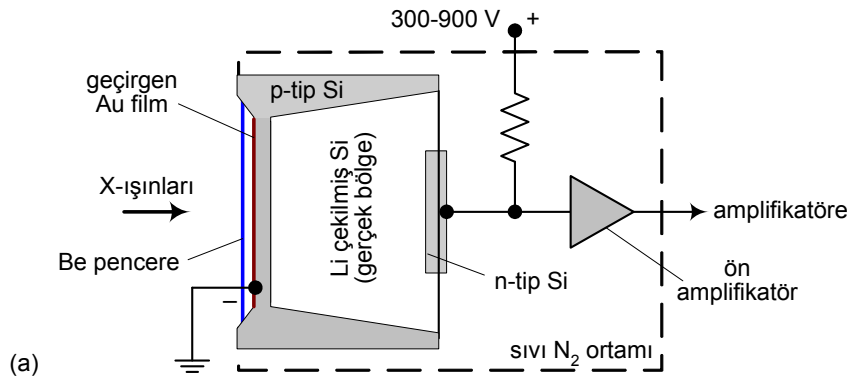
Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletken dedektör önemli bir X-ışını dedektörüdür. Bunlara bazan " lityum çöktürülmüş silikon" veya " germanyum" dedektörler de denir.

Şekilde, üzeri çok ince bir silikon (kristalin halde) ile kaplanmış lityumlu bir dedektör görülmektedir. Kristalde üç tabaka vardır; bunlar, X-ışını kaynağına dönük p-tip yarı iletken bir tabaka, merkezi bir "intrinsik (gerçek)" bölge, ve n-tip bir tabakadır. p-tip tabakanın dış yüzeyi elektrik iletiminin sağlanması için ince bir altın tabakasıyla kaplanmıştır; çoğu zaman altın yerine, X-ışınlarını geçiren ince bir berilyum pencere de kullanılabilir. n-tip silikону kaplayan bir alüminyum taba-

kadan alınan sinyal yükseltme faktörü 10 kadar olan bir ön-amplifiere beslenir. Ön-amplifier dedektörün bir parçasıdır.

Dedektör ve ön-amplifier, elektronik gürültüyü uygun bir seviyeye düşürebilmek için, sürekli olarak sıvı azot termostatında (-196°C) tutulur. Oda sıcaklığında, lityumun hızla silikon içine difüzyonuyla dedektörün algılama özelliği bozulur.



<http://www4.nau.edu/microanalysis/microprobe/EDS-Detector.html>

Bir lityumlu silikon dedektörün, (a) dikey kesiti, (b) yatay kesiti

Bir lityumlu dedektör, p-tip bir silikon kristali yüzeyinde lityum çöktürülerek hazırlanır. 400-500 °C'ye ısıtıldığında lityum, kristal içine difüzenir; bu element kolaylıkla elektron kaybettiğinden silikonun p-bölgesi n-tipine dönüşür. Yüksek sıcaklık uygulaması devam ederken kristal uçlarına bir de potansiyel uygulanır; bu durumda lityum tabakasından elektronlar, p-tip tabakadan da boşluklar çıkarılır. np bağlantısından akım geçmesi için lityum iyonlarının p-tabakası içine göç etmesi ve iletkenlikle kaybolan boşlukların yerine geçerek gerçek bir tabaka oluşturması gerekir. Bu ortamdaki lityum iyonları, yerini aldıkları boşluklara kıyasla daha az hareketlidir, bu nedenle de soğutulan kristalin bu merkez tabakasının direnci diğer tabakalara kıyasla daha yüksektir.

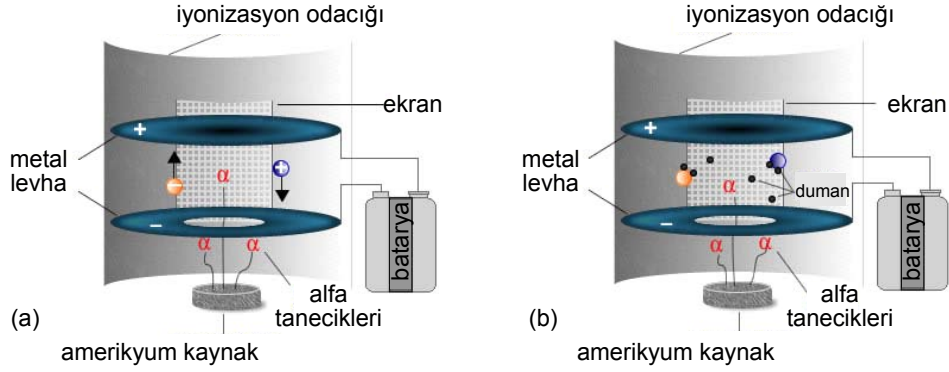
Bir silikon dedektörün gerçek tabakası, gazlı dedektördeki argon gazı gibi çalışır. Başlangıçta, bir foton absorblanarak yüksek enerjili bir foto elektron çıkar. Bu enerji silikonda birkaç bin elektron oluşmasıyla harcanırken iletkenlikte de önemli derecede yükselme gözlenir. Kristale bir potansiyel uygulandığında her fotonun absorpsiyonunda bir akım pulsu alınır. Orantılı dedektörde olduğu gibi, pulsun büyüklüğü absorblanan fotonun enerjisiyle doğru orantılıdır. Ancak burada, orantılı dedektörde karşılaşılan, pulsun ikinci bir defa daha yükseltilmesi olayı meydana gelmez.

Duman Dedektörü

İyonizasyon duman dedektörleri küçük bir miktarda radyoaktif bir madde içerir. Altın bir matris içindeki radyoaktif amerikyum oksit çok ince (~1 µm kalınlıkta) bir rulo haline getirilir, gümüş levhalar (~0.25 µm kalınlıkta) arasına sıkıştırılır ve paladyumla (2 µm) kaplanır, bir iyonizasyon odacığına konulur. Bu kalınlık alfa taneciklerinin geçmesini engellemez.

Dumansız odacıkta amerikyum kaynaktan çıkan alfa tanecikleri havadaki molekülleri iyonlaştırır, pozitif ve negatif iyonlar meydana gelir; bunlar yüklü levhalara doğru hareket ederlerken küçük bir akım yaratırlar (a).

Çevrede bulunan duman tanecikleri ve yanma gazları alfa tanecikleri tarafından yaratılan iyonlarla etkileşirler ve onları kendi nötral elektronik hallerine döndürürlerken ortamda levhalara doğru hareket iyonlar azalır (b), akım kesilir ve alarm çalmaya başlar.



http://www.epa.gov/rpdweb00/sources/smoke_ion.html

Bir iyon duman dedektörünün çalışma şeması

Gaz Kromatografisi İyon (GC) Dedektörleri

(Bak. [Gaz Kromatografisi Dedektörleri](#))

Yararlanılan Kaynaklar

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981

ENCYCLOPEDIA ARTICLE: Channel electron multiplier

<http://chemwiki.ucdavis.edu/@api/deki/files/2541/=ScintillationCounter.png>

http://en.wikipedia.org/wiki/Daly_detector

http://en.wikipedia.org/wiki/Faraday_cup

http://fizz.phys.dal.ca/files/25_-_Radiation_Detection_&_Measurement_I.ppt

http://nsspi-apps.ne.tamu.edu/NSEP/basic_rad_detection/index?course=040203

http://saf.bio.caltech.edu/bi170b/BMB170b_2011_LECTURE13.pdf

http://scientificsentence.net/Phys_Meas/index.php?key=yes&Integer=Geiger

<http://ull.chemistry.uakron.edu/gcms/>

<http://web.uam.es/docencia/quimcursos/Scimedia/chem-ed/ms/detector/graphics/mcp.gif>

<http://www.chemistry.adelaide.edu.au/external/soc-rel/content/detector.htm>

<http://www.chemistry.adelaide.edu.au/external/soc-rel/content/pmt.htm>

<http://www.chm.bris.ac.uk/ms/theory/detection.html>

http://www.epa.gov/rpdweb00/sources/smoke_ion.html

<http://www.equipcoservices.com/support/tutorials/introduction-to-radiation-monitors/>

<http://www.et-enterprises.com/photon-counting/photoncounting.html>

<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/i/ionizationchamber.htm>

<http://www.physics.isu.edu/radinf/dectector1.htm>

<http://www4.nau.edu/microanalysis/microprobe/EDS-Detector.html>