Gazlı Detektörler

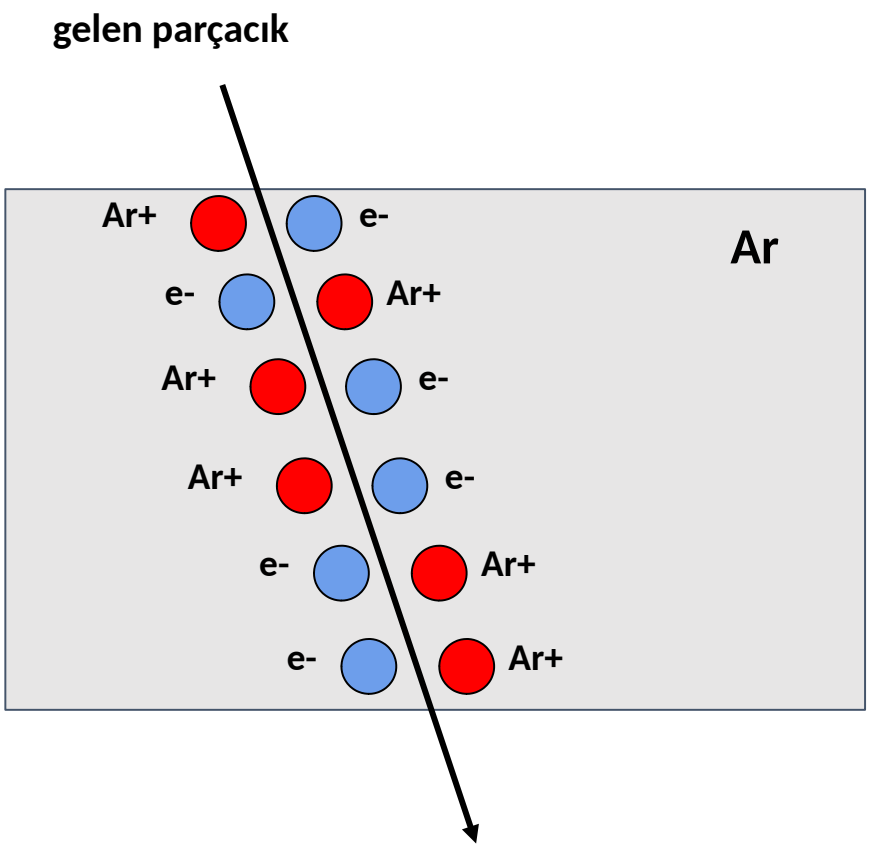
Prof. Dr. Özkan ŞAHİN

Bursa Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü
osahin@uludag.edu.tr

İÇERİK

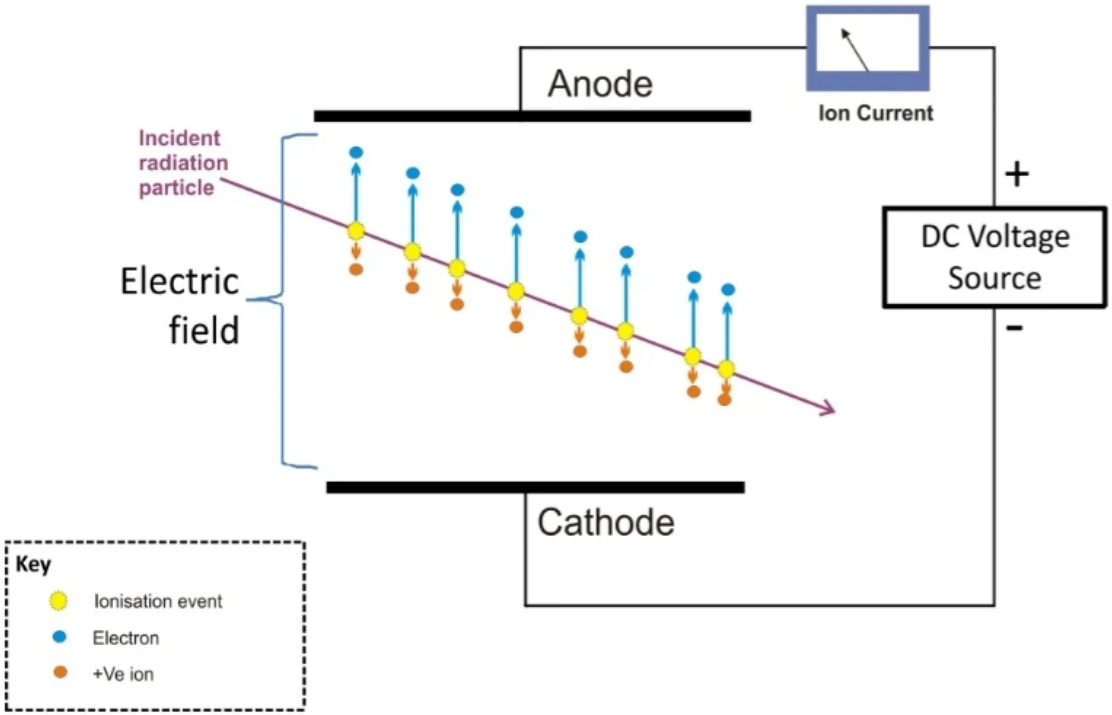
- Gaz Ortamında Enerji Kaybı ve Temel Etkileşmeler
- Yük Taşınımı ve Detektörlerin Çalışma Bölgeleri
- Tek Telli Sayaçlar
- Çok Telli Sayaçlar (**M**ultiwire **P**roportional **C**ounter, **MWPC**)
- Sürüklenme Odaları
- Mikro-Yapılı Gazlı Parçacık Dedektörleri
  - Mikro-Şeritli Gazlı Sayaçlar (**M**icro **S**rtip **G**as **C**ahamber**s**, **MSGCs**)
  - Mikro-İğneli Sayaçlar
- Mikro-Desenli Gazlı Parçacık Detektörleri
  - Mikro Ağ Yapılı Detektör (**Micro Me**sh **Ga**seous **S**tructure, **Micromegas**)
  - Gaz Elektron Çoğaltıcısı (**G**as **E**lectron **M**ultiplier, **GEM**)
- Zaman Projeksiyon (İzdüşüm) Odaları (**T**ime **P**rojection **C**hamber, **TPC**)
- Geçiş Radyasyonu Detektörleri (**T**ransition **R**adiation **D**etector, **TRD**)

Gaz Ortamında Enerji Kaybı ve Temel Etkileşmeler



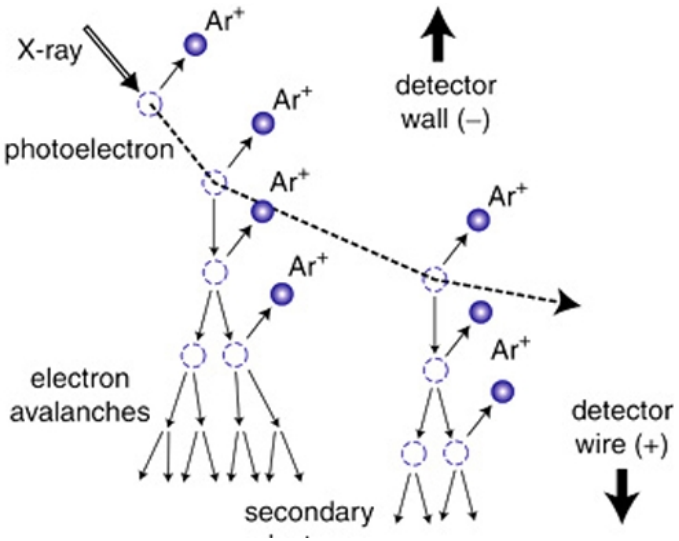
- Gelen parçacık gaz ortamında esnek veya esnek olmayan olmayan çarpışmalar yaparak ilerler.
- Eğer esnek olmayan çarpışmalarda kaybedilen enerji, gazın iyonlaşma potansiyelinden daha yüksek ise gelen parçacığın izi boyunca elektron–iyon çiftleri oluşur.
- Birincil (primary) iyonlaşmalar olarak isimlendirilen bu süreç sayesinde detektör ortamına giren parçacık hakkında bilgi edinilir.
- Ancak bu mekanizmaların ölçülebilir bir sinyal haline getirilmesi gerekir.

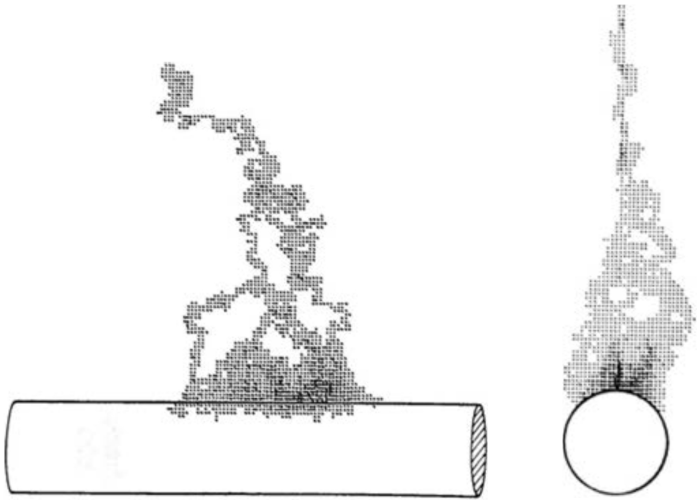
Serbest Elektron Üretimi



- Öncelikle detektörün elektrotlarına (anot ve katot) bir gerilim uygulanarak gelen parçacığın ürettiği elektronlar, iyonlardan ayrıştırılır.
- Böylece yeniden birleşmeler önlenir
  - Serbest elektronlar üretilir.

Elektron Çığı





- Üretilen serbest elektronlar, elektrik alan vasıtasıyla anoda doğru sürüklenmeye başlarlar.
- Sürüklenen elektronların çarpışmalar arasında elektrik alandan kazandıkları enerji, temel durumunda bulunan diğer gaz atomlarını iyonlaştırabilecek kadar yüksek olabilir.
- Bu durumda ortamda yeni yük çiftleri üretilir.
- Ardı sıra gelişen bu tür iyonlaşma süreçleri, anot civarında yoğun bir elektron çığı, bir başka ifadeyle ölçülebilir bir sinyal oluşumu ile son bulur.
- Sinyalin kalitesini artırmak için elektron çığına katkıda bulunan fiziksel olaylara ait mekanizmaların ayrıntılı olarak incelenip, işleyişleri anlaşılmalıdır.

Townsend Katsayısı ve Gaz Kazancı

- **Townsend Katsayısı (α):**

  Serbest bir elektron tarafından birim uzunluk başına üretilen elektron – iyon çifti sayısıdır.

  - Sayıcı gazın: türüne sıcaklığına ve basıncına,
  - Elektrik alana bağlıdır.

- Elektronun iyonizasyon tesir kesiti ile doğrudan ilişkilidir.
- Magboltz benzetişim programı tarafından hesaplanabilir

- **Gaz Kazancı (G):**

  Detektöre gelen bir parçacık tarafından üretilen her birincil elektron için anottan toplanan çığ elektronlarının sayısıdır.

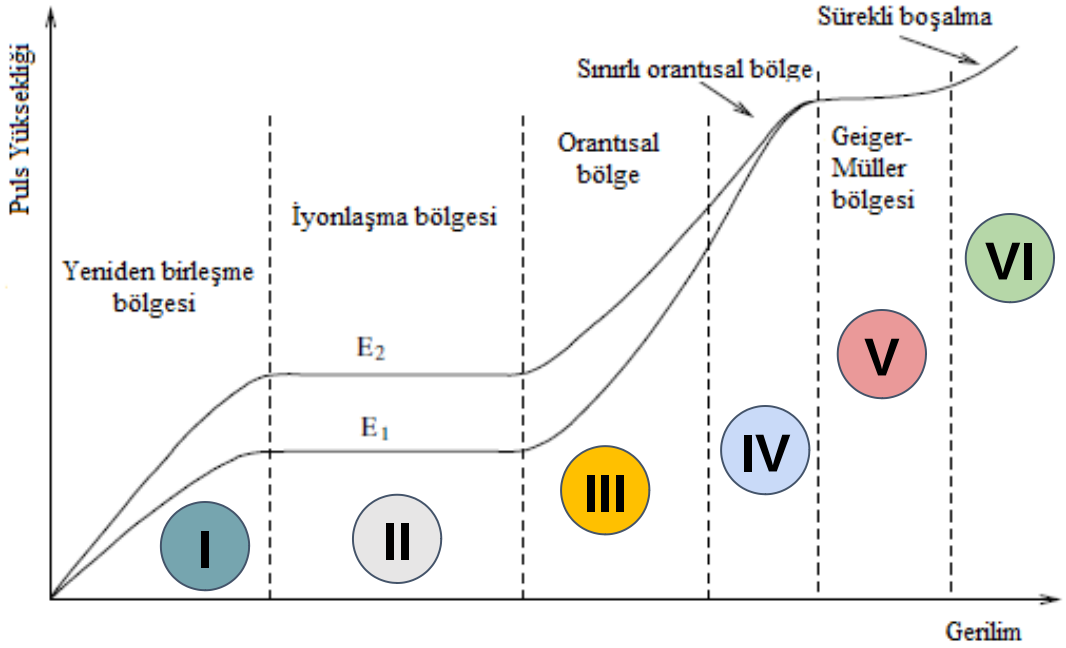
- Detektörden alınan sinyalin kalitesini belirleyen en önemli niceliklerden biridir.
- Kazançtaki üstel artış korunduğu sürece, anot telinde biriken toplam elektron sayısı ile detektöre gelen parçacığın ürettiği birincil iyonlaşmaların sayısı orantılı olur.

- N : Anot elektrotunda toplanan elektron sayısı
- N_0 : detektöre giren parçacıkların izi boyunca başlangıçta üretilen elektron sayısı

$$G := \frac{N}{N_0} = \exp \int_{r_a}^{r_b} \alpha\big(E(r)\big)\, dr$$

Detektörlerin Çalışma Bölgeleri

- ❖Gazlı detektörler uygulanan gerilime bağlı olarak çeşitli modlarda çalıştırılır.
- ❖Belirli bir modun seçimi detektörün uygulama alanının seçimine göre değişir.
- ❖Detektör genellikle istenilen moda uygun olan gerilim aralığında çalışmak üzere optimize edilir.



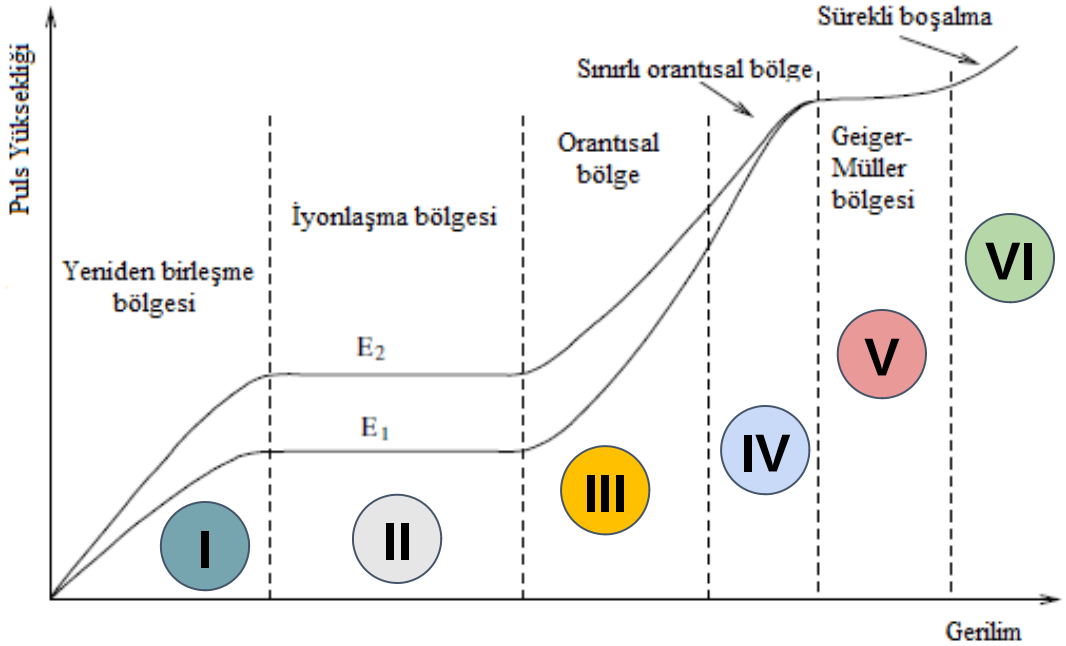
Birinci bölgede elektrotlara uygulanan gerilim çok düşüktür ve elektronların büyük bir kısmı anoda ulaşamaz. Böylece iyonlarla yeniden birleşerek nötür atom veya molekülleri oluştururlar. Bu nedenle bu bölgeye **yeniden birleşme bölgesi** denir.

İkinci bölgede üretilen tüm elektronların toplanabildiği gerilim bölgesine ulaşılır. Çığ oluşumunun gözlenmez. Anotta biriken elektron sayısında önemli bir değişim gerçekleşmez. Bu nedenle gerilimin arttırılması ölçülen akımı etkilemez. Bu bölgede çalışan detektörlere **iyonlaşma sayaçları** denir.

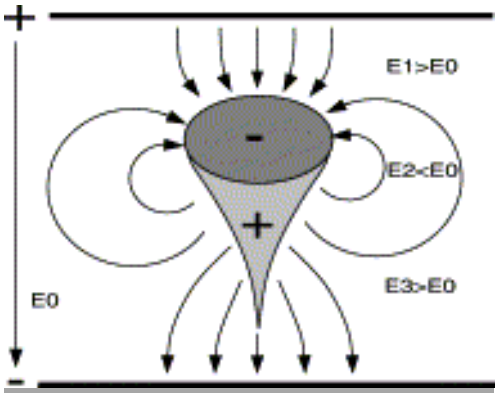
Detektörlerin Çalışma Bölgeleri

Üçüncü bölge, anotta biriken toplam elektron sayısının, birincil iyonlaşma ile üretilen başlangıçtaki elektron sayısının orantılı olduğu yarı-logaritmik bir bölgedir.

- Toplanan elektron sayısı, gerilim ile doğrusaldır.
- Bu bölgede çalıştırılan sayaca **orantısal sayaç** adı verilir.
- Yüksek enerji fiziğindeki deneylerin çoğu bu çalışma bölgesinde yapılır.



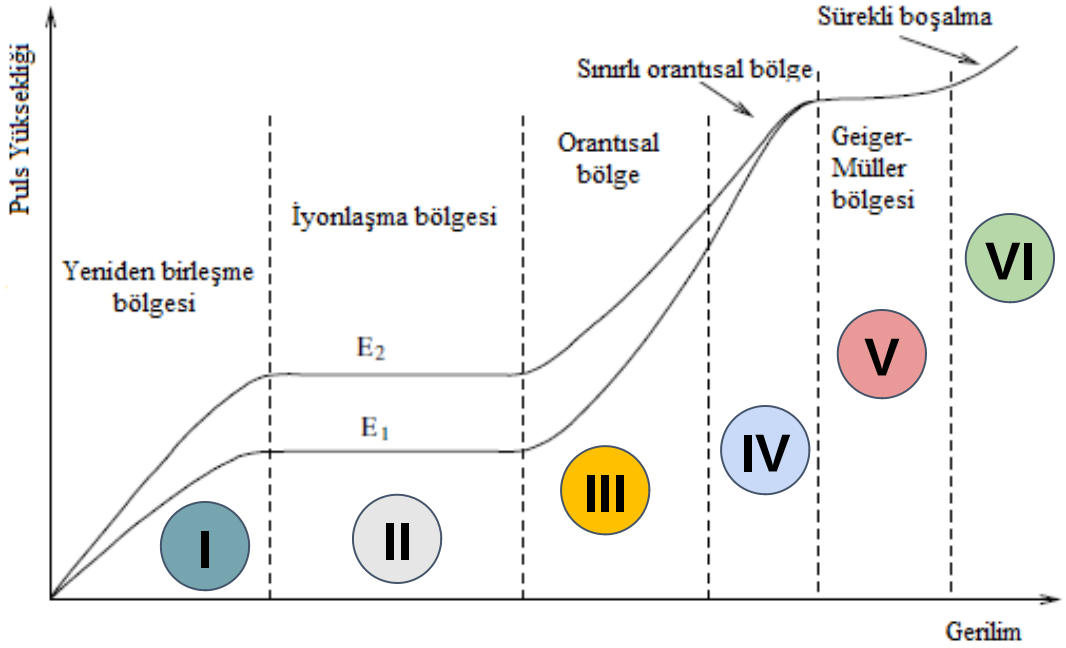
Dördüncü bölgede, pozitif yüklü iyonlar elektronlardan yavaş olduğu için elektrotlar arasında bir pozitif yükler bulutu oluşur. Bu **uzay yükü** etkisi olarak bilinir. Ardından bu bulut ile elektronlar arasında elektrik alan meydana gelir. Bu alan detektör alanına karşı kalkan görevi görür. Sonuçta orantısallık bozulur.



Detektörlerin Çalışma Bölgeleri

Beşinci bölgede elektrik alan çok yüksek değerlere ulaşır.

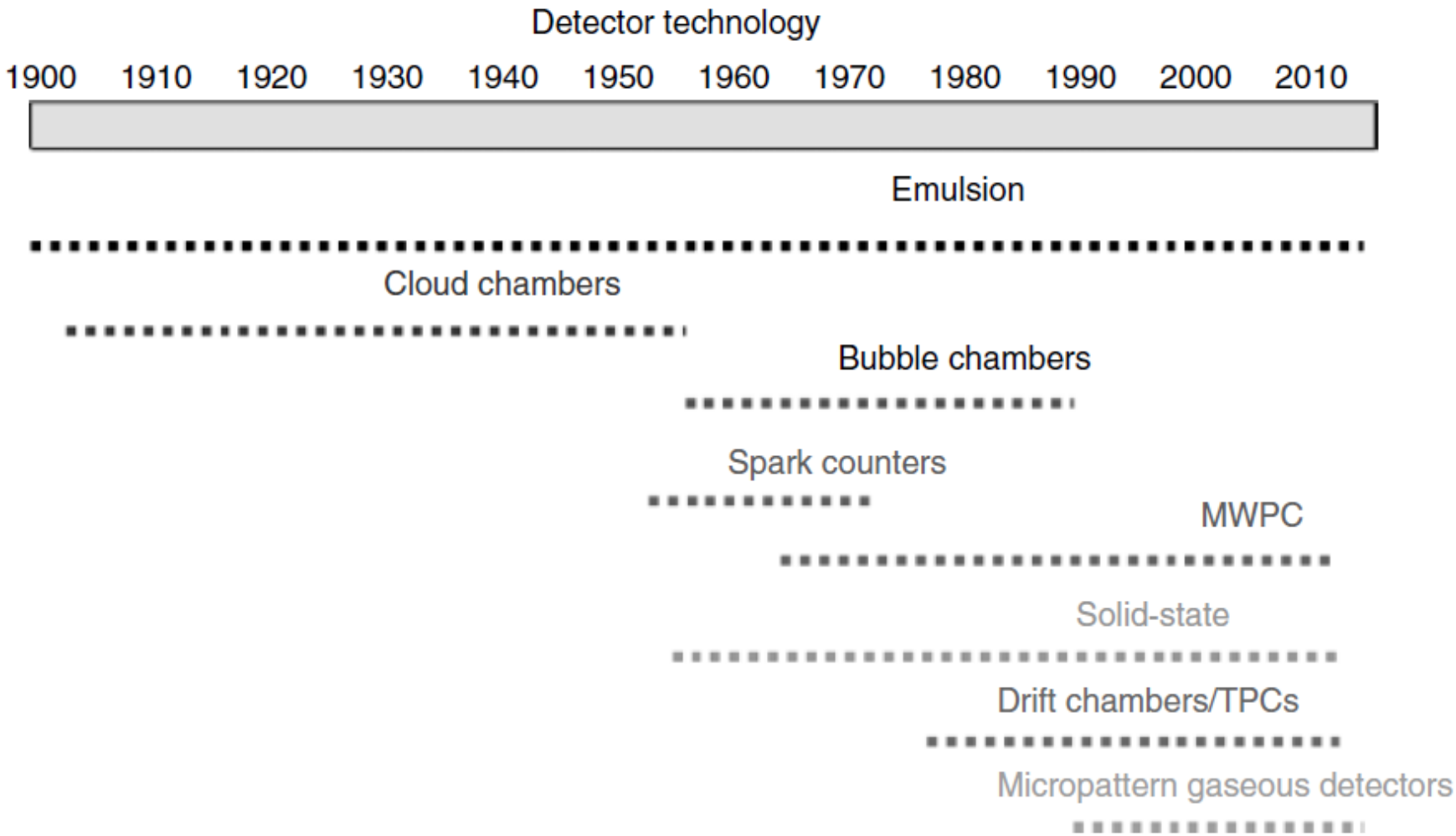
- Anotta oluşturulan sinyal, birincil elektronların sayısından tamamen bağımsızdır.
- Bu bölge **Geiger-Müller** bölgesi olarak adlandırılır.
- Bu bölgede her bir parçacık büyük bir sinyale neden olur. Bireysel gelen parçacıklar sayılabilir.



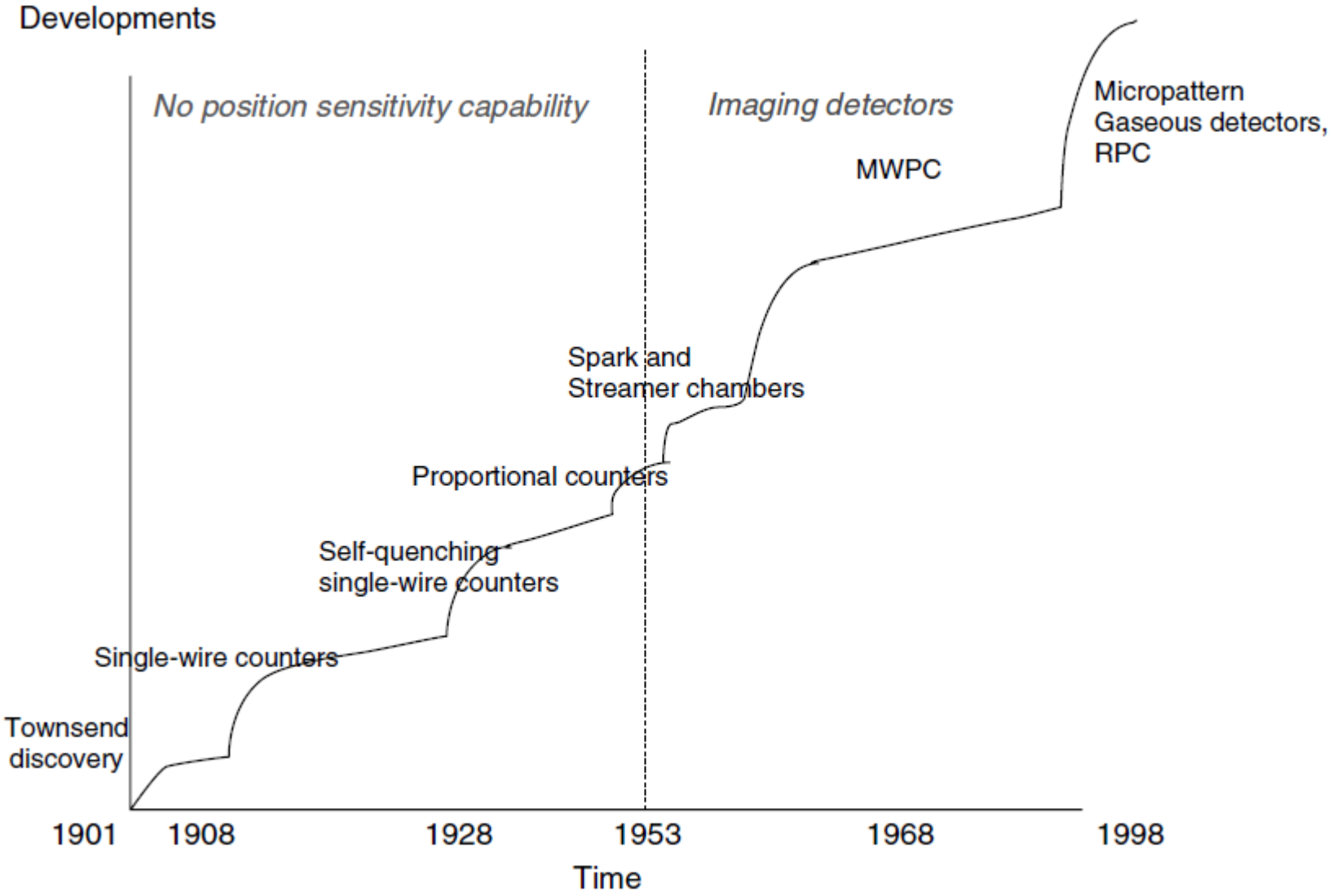
Altıncı bölge, sürekli boşalma bölgesi olarak adlandırılır.

- Tek bir iyonlaşma meydana gelir gelmez boşalma başlar.
- Sürekli sinyal meydana getirir.
- Yüksek gerilim düşürülmedikçe kontrol edilemez.

Detektörlerin Teknolojilerinin Tarihsel Gelişimi

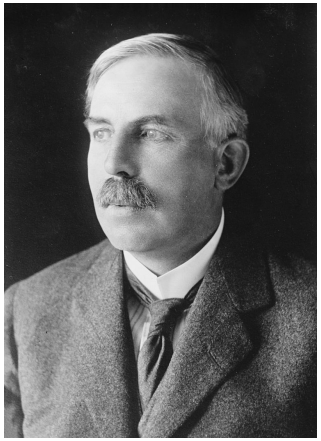


Detektörlerin Tarihsel Gelişimi



Tek Telli Sayaçlar (Geiger-Müller Modu)

Hans Wilhelm Geiger (1882-1945)



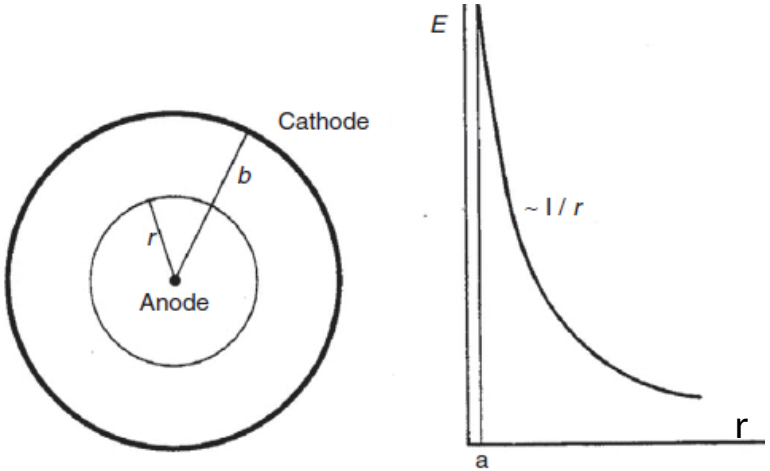
Ernest Rutherford (1871-1937)

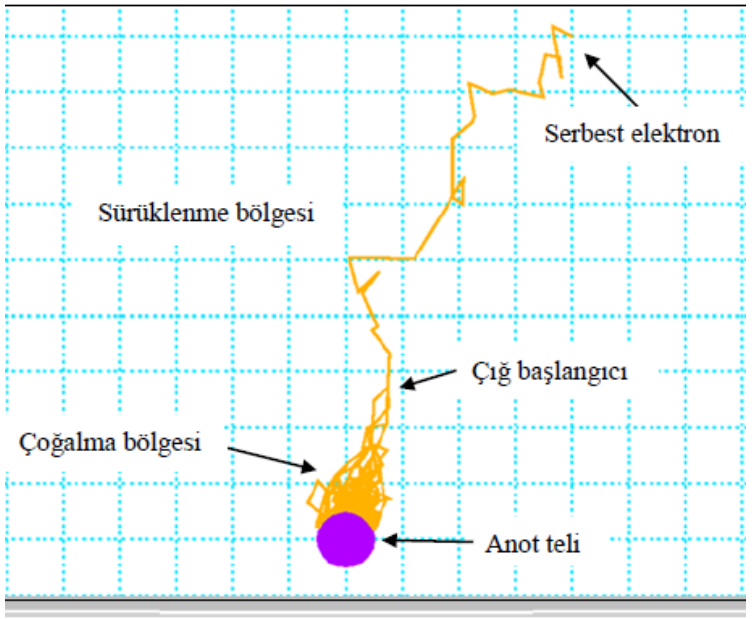
1939'da üretilen bir Geiger-Müller sayacı.

R. Milikan ve arkadaşları tarafından 1947-1950 yılları arasında kozmik ışıma çalışmaları için hava balonlarında ve B29 hava aracında kullanılmıştır. (Bakır, 30 cm)

- Gazlı detektörlerin tarihi H. Geiger ve E. Rutherford tarafından **1908'de** tasarlanan tek telli bir sayaçla başlamıştır.
- İçi hava ya da diğer basit gazlarla doldurulan genellikle silindirik, metal bir tüp ve tüpün içerisinde eksen boyunca uzanan telden oluşur.
- Bir parçacığın belli bir hacimden geçişini, bir elektrik sinyaline dönüştüren ilk detektördür.
- Yalnızca alfa ve beta parçacıklarının tüpe çarpıp çarpmadıklarını algılayabiliyordu
- **1928** yılında Geiger ve öğrencisi W. Müller tarafından diğer ışıma türlerini de algılayacak şekilde geliştirilerek Geiger-Müller sayacı adını alan bu detektörler, tüm modern gazlı detektörlerin atası olarak bilinmektedir.

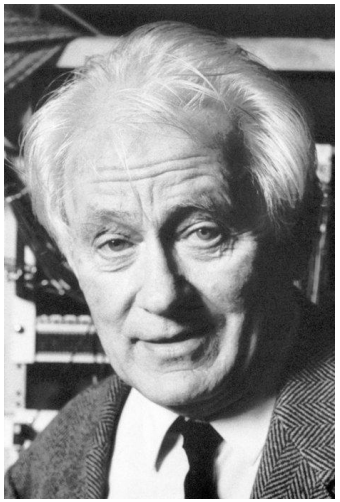
Tek Telli Sayaçlar (Orantısal Mod)





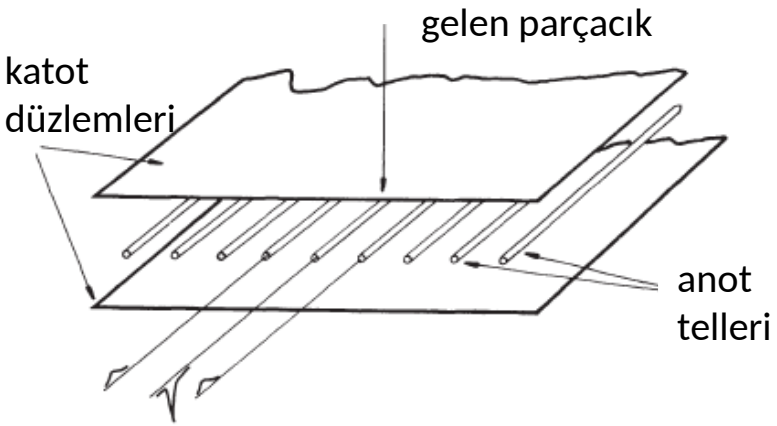
- Kabul edilebilir sinyal – gürültü oranı elde edebilmek için oluşturulan yük çiftlerinin sayısında önemli bir artışın olmalıdır.
  - Çünkü puls genliğinin büyüklüğü, oluşturulan yük çiftlerinin sayısı ile doğru orantılıdır.
- Elektrik alan ($E \propto 1/r$), anot civarında oldukça yüksek değerlere ulaştığından ana çoğalma bölgesi sadece birkaç anot yarıçapı kadardır.
- Elde edilecek sinyal detektöre gelen parçacığın etkileşim noktasından bağımsızdır.
- Konum hassasiyeti **1 cm** mertebelerindedir.
- Tek telli orantılı sayaçların en büyük dezavantajı yüksek voltaj değerinde anot teli çevresinde uzay yükü oluşmasıdır.
  - Bu durum ulaşılabilecek en yüksek kazanç değerine sınırlama getirir.

Çok Telli Sayaçlar (Multiwire Proportional Counter, MWPC)



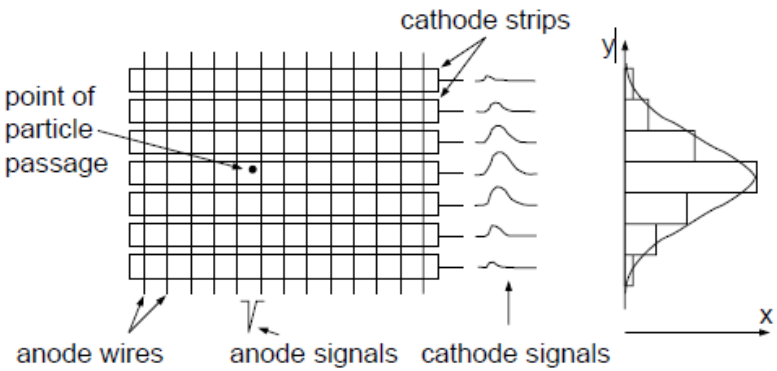
Georges Charpak (1924-2010)

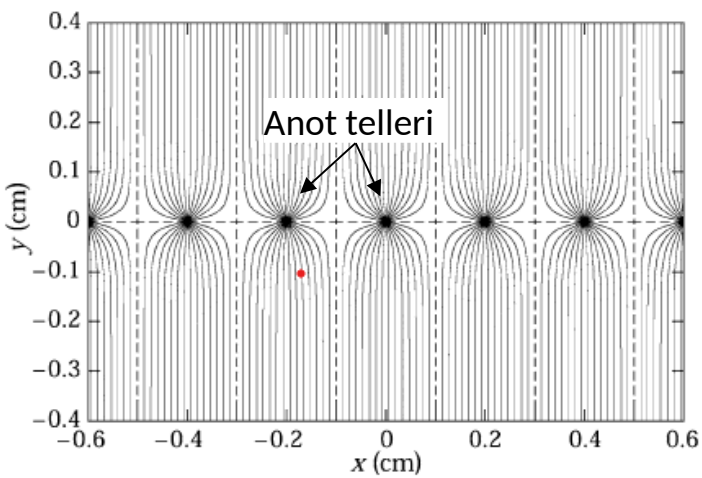
Çok Telli Orantısal Sayaç (Multiwire Proportional Counter, MWPC) keşfinden dolayı 1992 yılı Nobel Fizik Ödülünü kazandı



- 1968'de gazlı detektörler, çok telli orantısal sayaçların icadıyla yeni bir boyut kazandı.
- Yüksek sayma gücü gerektiren uygulamalar için geliştirilmiştir,
  - Ancak pozitif yüklü iyonların düşük sürüklenme hızlarının sebep olduğu uzay yükü etkisi (space charge effect) ve dolayısıyla gaz kazancındaki azalma nedeniyle bu kabiliyetleri sınırlıdır.
- Gaz ile doldurulmuş bir odada birbirine yakın ve doğrusal olarak yerleştirilmiş birçok anot telinden oluşan **konuma duyarlı** detektörlerdir.
- Yakın aralıklı ince anot telleri iki katot düzlemi arasındadır.
- Anot telleri sıfır potansiyelde tutulurken her iki katot düzlemi negatif potansiyelde tutulurlar.

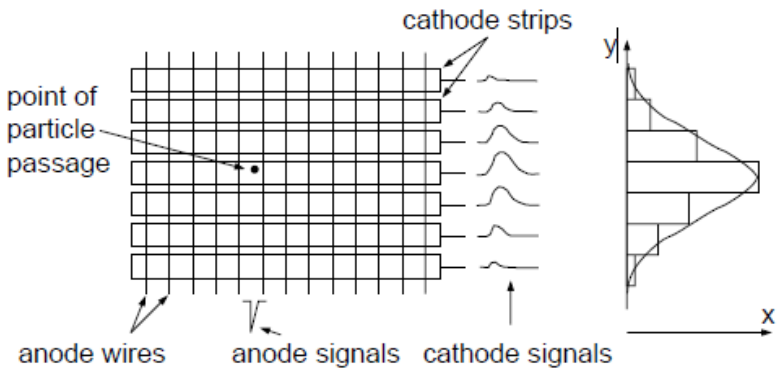
Çok Telli Sayaçlar (Multiwire Proportional Counter, MWPC)

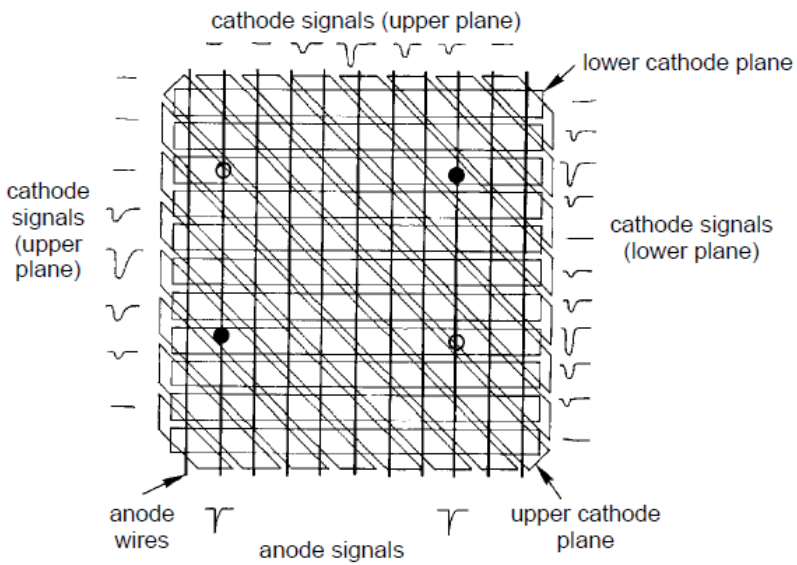




- Belirli bir anot teli yakınında oluşan elektron çığından elde edilen sinyalin şiddeti, çığdan uzaklaştıkça önemli ölçüde azalır.
  - Böylece **1 mm'den düşük** hassasiyetli ve **iki boyutlu** olarak konum ölçümü yapılabilmektedir.
  - Parçacıkların iz takibi yapapılabilir.
- Çok telli orantılı sayaçların silindirik değil de düz bir tasarımda olmasının nedeni parçacıkların tespiti için geniş yüzey alanları sağlamaktır.
  - Bu sayede eş potansiyel çizgiler daha düzenli hale gelmiştir.

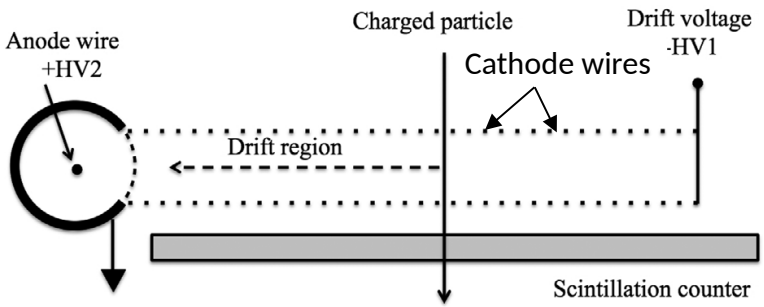
Çok Telli Sayaçlar (Multiwire Proportional Counter, MWPC)





- Anot tellerinin her biri bağımsız bir orantılı sayaç görevi görür.
- Teller arasındaki mesafe, konum çözünürlüğünün belirlenmesi için önemlidir.
  - Tellerin yerleştirilmesinde sarkma, gerginlik gibi çeşitli mekaniksel sınırlamalar vardır.
- Aynı anda detektöre giren parçacıkların iki boyutlu iz takibini doğrulukla yapabilmek için farklı yerleşim düzenleri geliştirilmiştir.
  - Alttaki şekilde görüldüğü gibi çapraz yerleştirilmiş ikinci bir katot katmanı ile olası hayali parçacık sinyallerinin getireceği konum belirsizliğinden kurtulmak mümkün olmuştur.

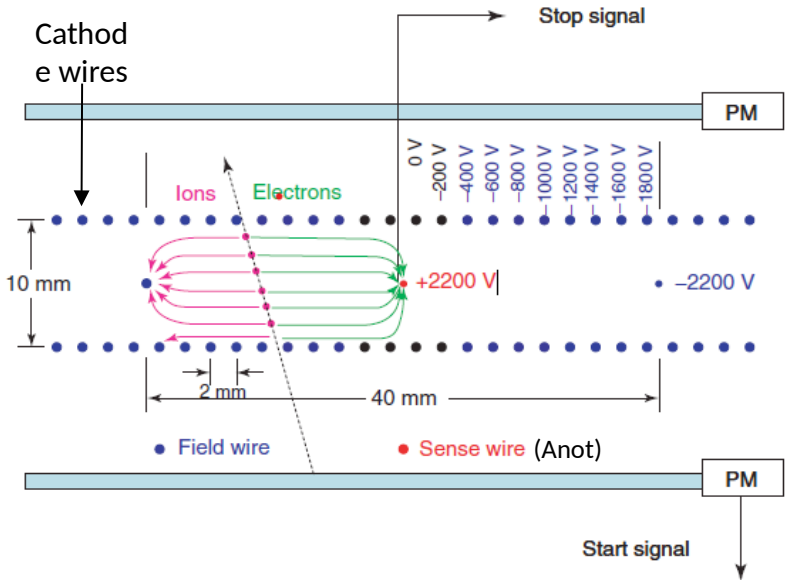
Sürüklenme Odaları

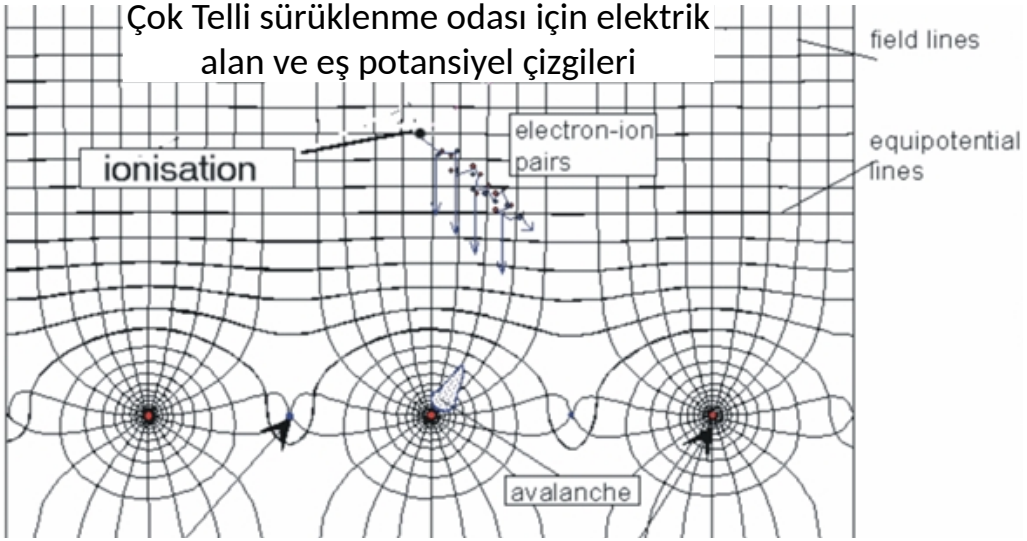


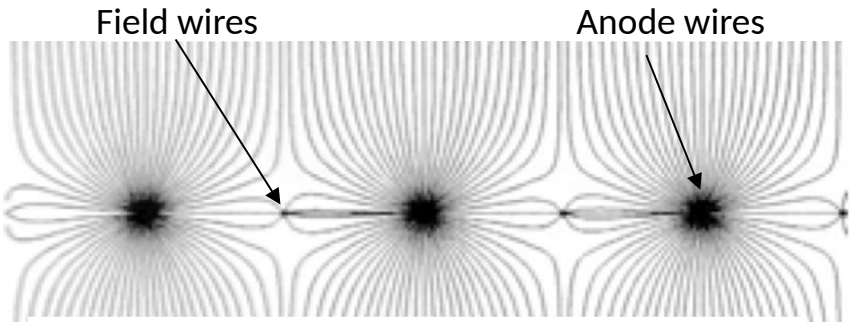
- Çok telli orantısal sayaçların keşfinin hemen öncesinde geliştirilmiştir
  - Temelde oldukça benzer yapılardır
  - Çok telli orantısal sayaçların ilkel bir modeli olarak geliştirilen **tek hücreli sürüklenme odası** yanda verilmiştir.

- Tek telli anotu çevreleyen silindir şeklindeki katot üzerinde elektronların geçişini sağlamak için bir boşluk açılmıştır.
- Anot, belirli aralıklarla sıralanmış birçok katot teli teli ile kombine edilmiştir.
- Öncelikle gelen parçacığın birincil elektronları üretmeye başlandığı süre (t_0), sintilasyon sayacı gibi bir tetikleyici yardımıyla kaydedilir.
- Üretilen elektronlar sürüklenme bölgesinde ilerleyerek anota yönlendirilir.
- Anottaki çoğalma sinyali sayesinde birincil elektronların varma süresi t_1 ölçülür.
- Böylece sürüklenme hızı (u) bilinen bir gaz için parçacığın konumu $x = u\,(t_1 - t_0)$ bağıntısı ile belirlenir.

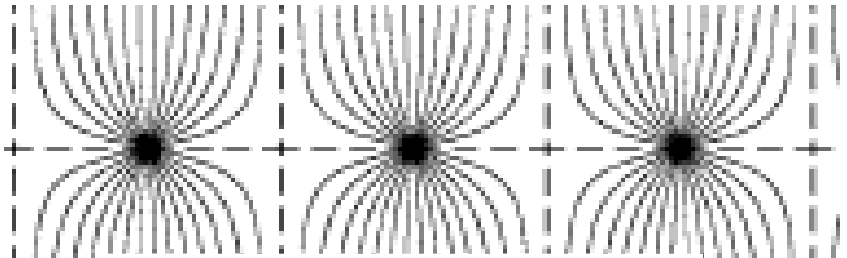
Sürüklenme Odaları







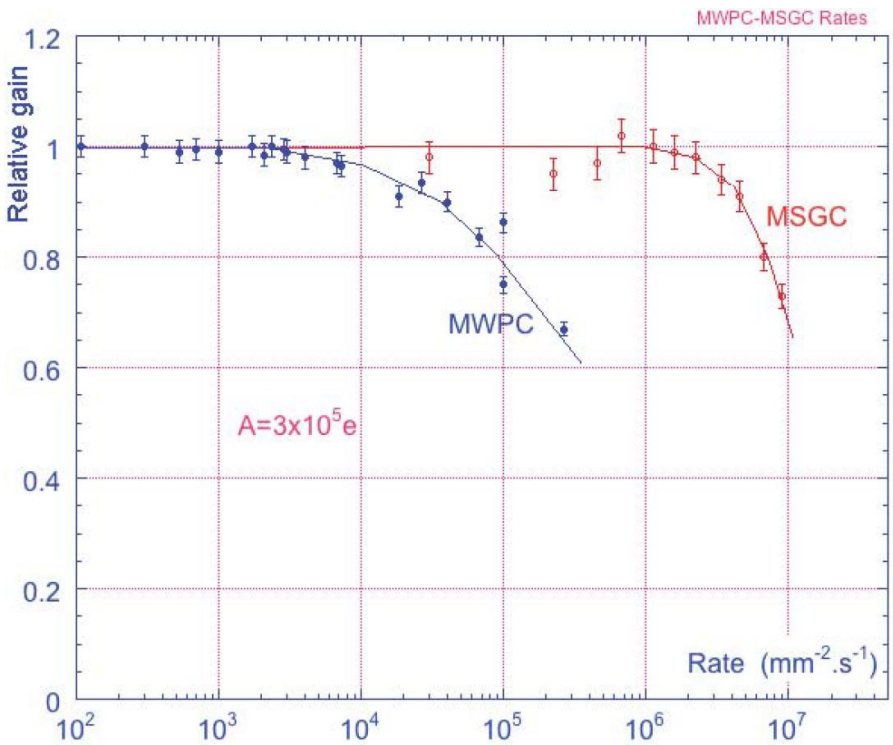
Çok Telli sürüklenme odası için elektrik alan çizgileri



Çok Telli sayaç için elektrik alan çizgileri

- Çok telli orantısal sayaçların (MWPC) keşfiyle birlikte sürüklenme odalarında da önemli gelişmeler kaydedilmiştir.
- Çok telli sürüklenme odalarında anot telleri arasındaki mesafe daha fazladır
- Ayrıca elektronları anot tellerine daha iyi yönlendirebilmek için alan doğrultucu teller de kullanılır

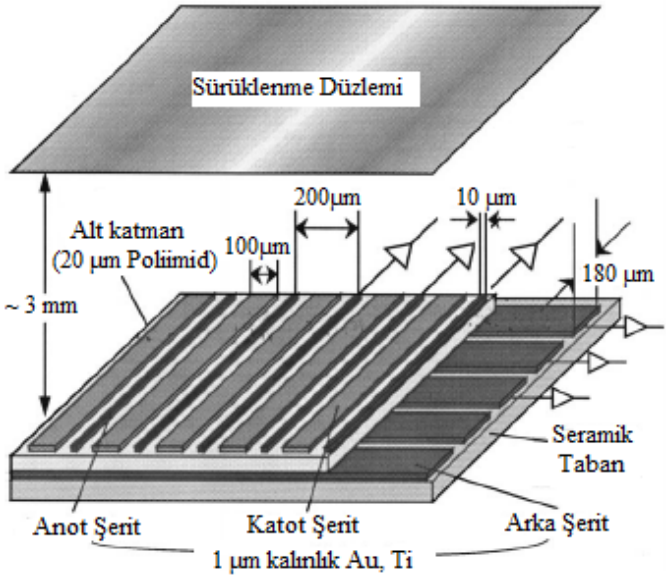
Mikro Yapılı Sayaçlara Geçiş

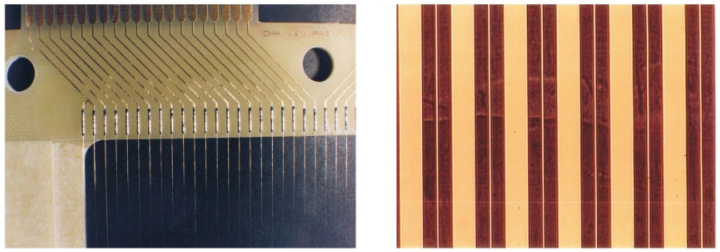


Eşit koşullar altındaki çok telli orantısal sayaç (MWPC) ve Micro-Şeritli sayaç (MSGC) için gaz kazancının parçacık sayma hızına göre değişimi.

- MWPC'nin kısıtlamalarının üstesinden gelebilmek için tellerin kullanımı yerini, mikroelektronik teknolojisiyle yalıtkan destek üzerine yazdırılan şeritlere bırakmıştır.
- Bu sayede ince anot ve katot şeritleri arasında elektron çoğalması için yeterli bir yüksek elektrik alan bölgesi elde edilmiştir.
- Küçük şerit aralığı (pitch), 100 µm mertebesinde iyi bir konum çözünürlüğü sağlamaktadır.
- Ayrıca yüklerin hızlıca toplanması da daha yüksek sayma oranlarıyla baş edebilmesini ve MWPC'de karşılaşılan uzay yükü etkisinin üstesinden gelinmesini sağlamıştır.

Mikro-Şeritli Gazlı Sayaçlar (Micro Srtip Gas Cahambers, MSGCs)

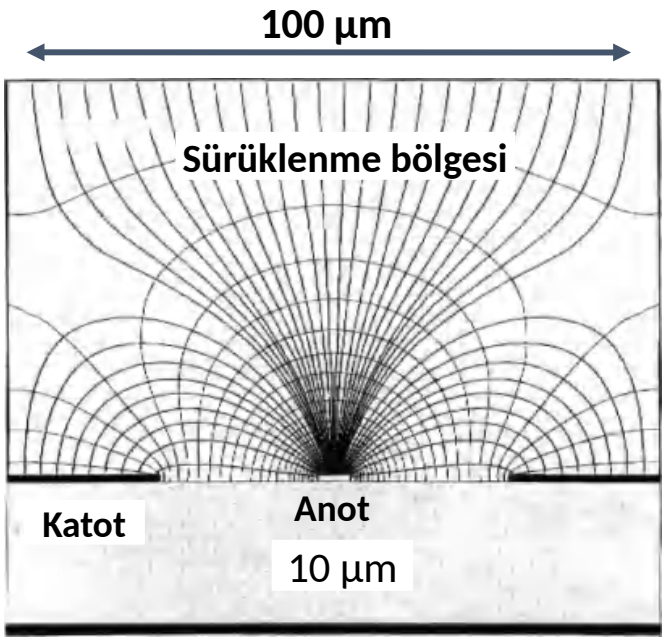




Sol: *Bir çerçeveye lehimlenmiş MWPC telleri.* ***Sağ:*** *Mikroşerit gaz odasının mikroskop görüntüsü.*

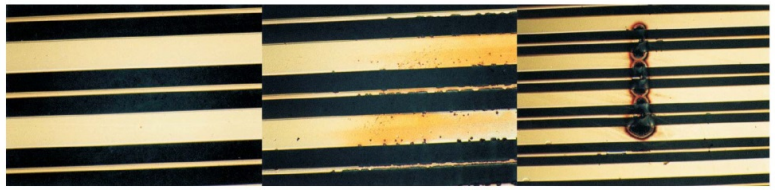
- Mikro Şeritli Gaz Odaları, yalıtkan bir alt tabaka üzerine aşındırma teknikleri ile oluşturulmuş metalik anot ve katot şeritlerinin yan yana dizilmesinden oluşur.
- Genel yapısı nedeniyle çığ çoğalma sırasında enine dağılır.
  - Pozitif iyonların büyük bir kısmı anodun yanı başındaki katota hızla toplanır ve pozitif iyon geri akışını önemli ölçüde azaltır.
  - Dolayısıyla alan bozulmaları MWPC'ye göre daha küçük olur.
- Mikroşerit gaz odasının bir kısıtlaması yalıtkan yüzeyinde meydana gelen hasarlar sebebiyle, çığ çoğalma oranının 10^4'ü aşamamasıdır.

Mikro-Şeritli Gazlı Sayaçlar (Micro Srtip Gas Cahambers, MSGCs)



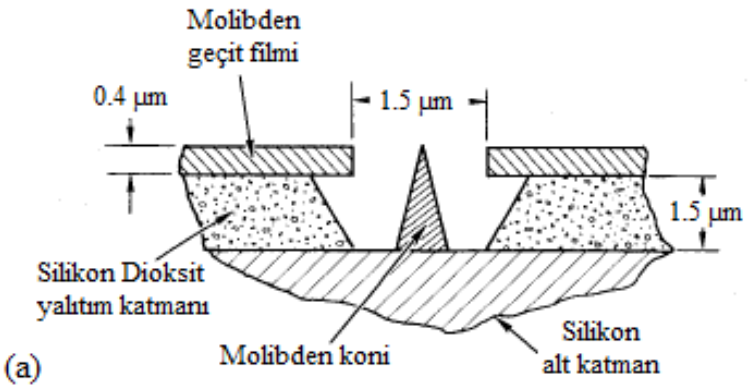
Mikroşerit sayaç için elektrik alan çizgileri

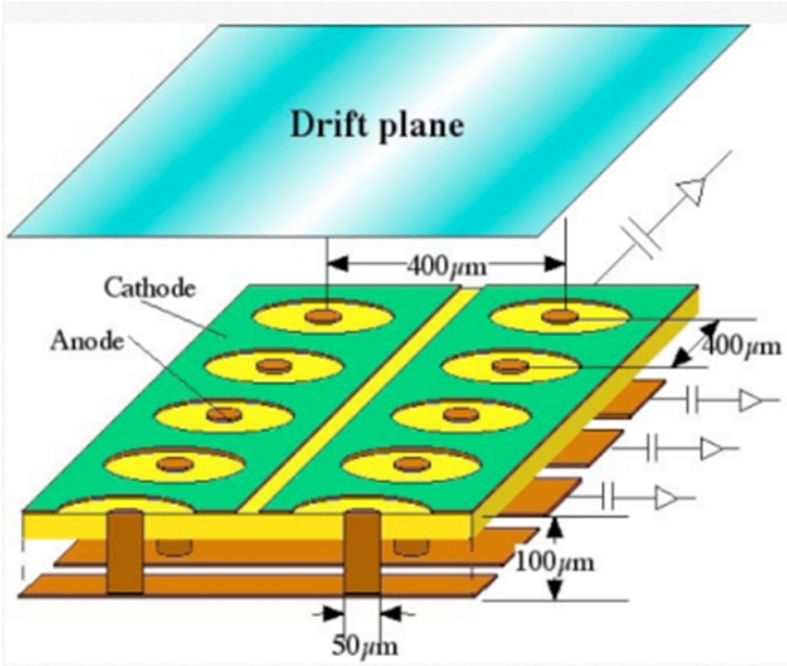
- Çoğalma sürecinde oluşan ve yalıtkan üzerinde toplanan pozitif iyonlar elektrik alanı lokal olarak değiştirerek gaz kazancında düşüşe neden olmaktadır.
- Yük birikimi (charging-up) problemlerini çözmek için kullanılan yalıtkanın yüzeyi ve özelliklerinin seçimi konusunda yoğun çalışmalar yapılmıştır.
- MSGC'nin yüksek enerji fiziği deneylerinde kullanımdan vazgeçilmesinin belki de en önemli nedeni meydana gelen deşarjlardır.
- İyonlaştırma gücü yüksek ya da fazla sayılarda detektöre ulaşan parçacıklar kırılgan anot şeritleri (birkaç yüz nm) üzerinde ağır hasarlara yol açar.



Deşarjlar tarafından MSGC'de oluşan hasarlar. En sağda anodun bir kısmını işlevsiz bırakan kesik şeritler. Metal tabakaların çok ince oluşu MSGC'leri deşarjlara karşı savunmasız bırakmaktadır.

Mikro-İğneli Sayaçlar





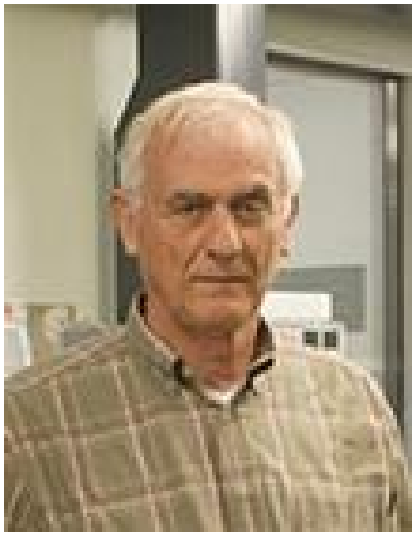
- İnce Film Alan Emisyon Katodu (TFFEC) olarak bilinen 1.5 µm yüksekliğinde koni şeklindeki molibden yapılardan oluşur.
- Bu koniler 500 Å civarında bir uç yarıçapına sahiptir ve emisyon konilerin bu ucundan kaynaklanır.
- Emisyon katodu temel olarak iki iletken arasında bir yalıtkan katmandan oluşan bir sandviç yapıdır.
- Geçit filmi olarak bilinen üst iletken 1 µm - 3 µm çap aralığında deliklere sahiptir.

Yaşlanma testlerinde elektronların geçit filmi tarafından toplandığı görülmüştür.

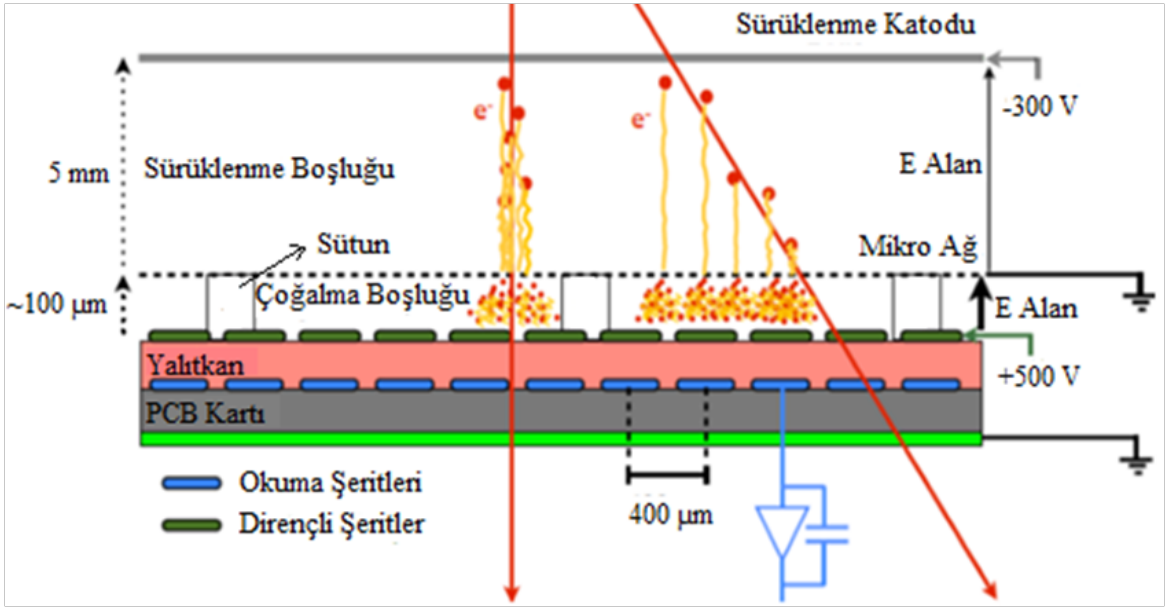
Mikro Desenli Detektörler

- Modern deneylerle birlikte daha da artan parçacık sayım hızı ve iz takibi zorluğu standart gazlı detektörlerin kapasitelerini aşmaktadır.
- 1990'lı yılların ikinci yarısından itibaren, mikro desenli gazlı detektörler (MPGD, Micro Pattern Gas Detectors) olarak adlandırılan yeni nesil detektörler ile ilgili çalışmalar büyük bir önem kazandı.
- Mikroelektronik ve baskılı devre kartı teknolojileri yeni yapıların oluşturulmasının, mevcut yapıların da optimize edilmesinin önünü açtı.
- Bu yapıların ortak ve en önemli özelliği çığ oluşumunun meydana geldiği çoğalma bölgesinin çok dar olmasıdır.
- Bu detektörler arasında ön plana çıkanlar MICROMEGAS ve GEM yapılardır.

Mikro Ağ Yapılı Detektör: Micromegas (MICRO-MEsh-GAseous Structure)

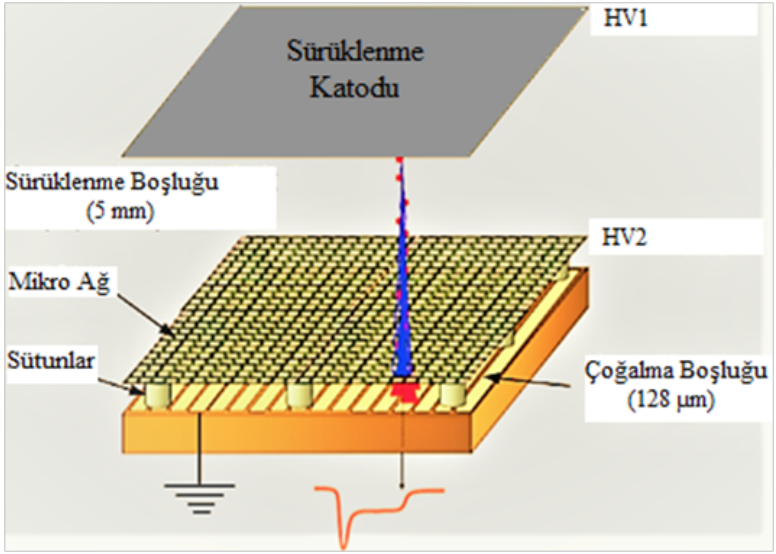


Yannis Giomataris



- Çoğalma bölgesi ve anodu oluşturan okuma yapısını bir araya getiren teknoloji Micromegas ile birlikte Y. Giomataris tarafından ortaya konmuştur.
- Micromegas küçültülmüş, iki aşamalı paralel plakalı detektör gibi düşünülebilir.
- Gaz hacmi metalik, ince mikro ağ tarafından ikiye bölünür. Böylece çoğalma bölgesi (50-200 µm) ile sürüklenme bölgesi (birkaç mm) birbirinden ayrılır.

Mikro Ağ Yapılı Detektör: Micromegas (MICRO-MEsh-GAseous Structure)

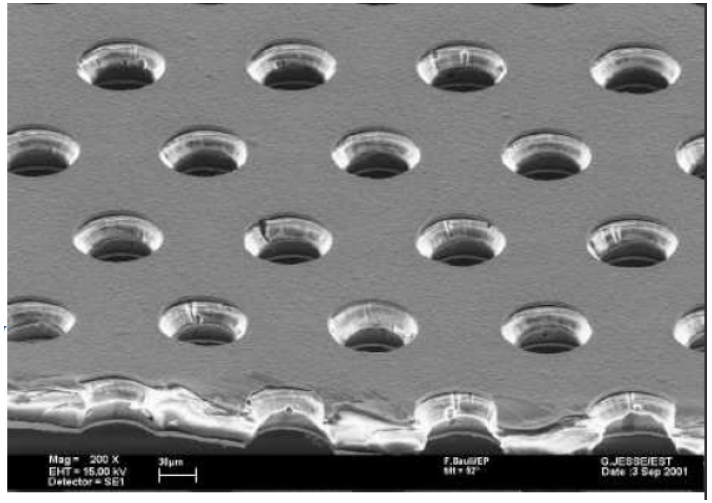


- Her iki bölgedeki elektrik, alan paralel levhalı detektörlerde olduğu gibi yaklaşık olarak homojen kabul edilebilir.
- Çoğalma bölgesi aralığının klasik paralel levhalı detektörlere kıyasla çok daha dardır.
- Bu durum, yüklerin yayılmasının (difüzyon) kısıtlanmasında önemli rol oynar.

- Sonuçta böyle bir yapı ile çok daha iyi bir zaman ve konum hassasiyeti ve yüksek enerji çözünürlüğü elde edilir.
- **Dezavantajlar:** Micromegas detektörlerde, çoğalma bölgesinin kalınlığındaki düzensizlik ve kirlilik deşarj olasılığını artırmaktadır.
  - Yapıların üretimi kısmen karmaşık olup yüksek hassasiyet gerektirmektedir.

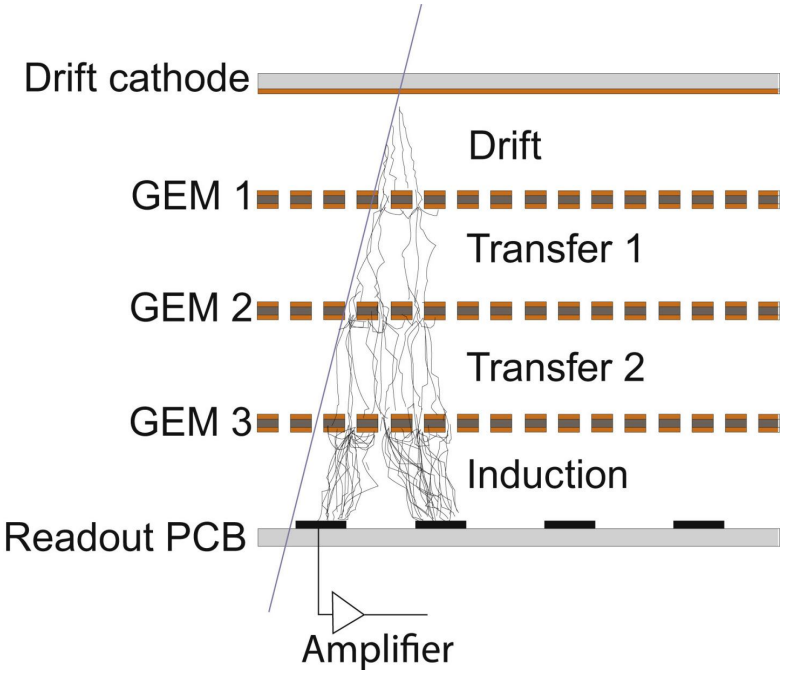
Gaz Elektron Çoğaltıcısı: GEM (Gas Electron Multiplier)

Fabio Sauli



- 90'ların sonlarında Fabio Sauli tarafından öne sürülmüştür.
  - İlk üretildiğinde bir ön yükselteç olarak kullanılması düşünülüyordu, sonra bağımsız bir detektör yapısı olarak geliştirildi
- Bir GEM yaprağı, iki tarafı da bakırla kaplı 50 µm incelikte kaptondan (poliimid film) oluşur.
- Bu yaprak üzerinde 50-70 µm çapında ve 100-150 µm aralıklarla konumlandırılmış delikler bulunmaktadır.
- Delikler fotolitografi yöntemiyle yaprak üzerine oyulmaktadır.
- Bakır katmanlara birkaç yüz voltluk farklı gerilimler uygulanmasıyla delik içerisinde güçlü bir elektrik alan üretilmektedir.

Çok Katmanlı GEM

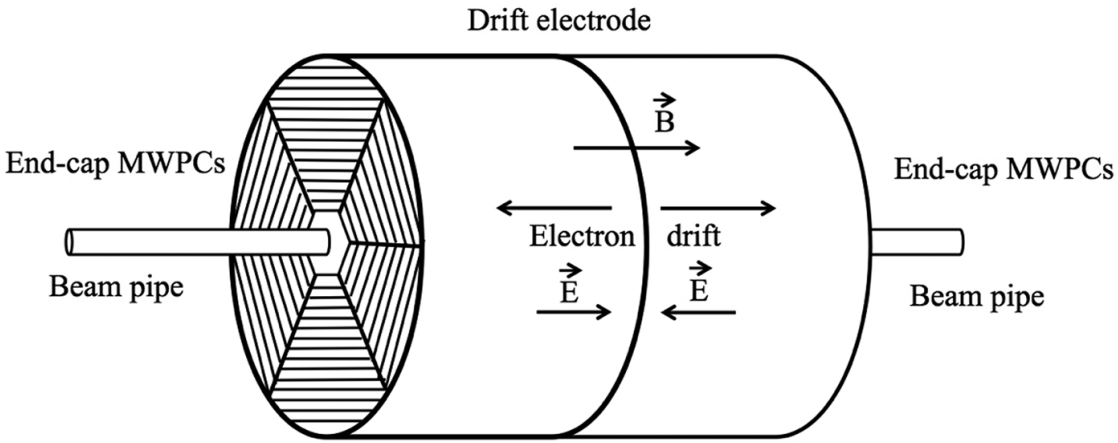


- Birden fazla GEM yaprağının kullanımı küçük dalgalanmalar ile yüksek kazanç elde etmede yaygınlaşan bir konsept haline gelmiştir.
  - Kazanç similasyonu: Garfield++
- Ayrıca birden fazla yaprak kullanımı sayesinde tek tabakaya düşen stres azaltılmış olur.
- CMS güncellenmesi: üçlü-GEM müon detektörü
- ALICE TPC güncellenmesi: dörtlü-GEM

- **GEM için Dezavantajlar:**
  - Karmaşık detektör yapıları: üretim
  - **Deşarjlara** karşı hassasiyetleri oldukça yüksektir
  - Ayrıca, elektronların toplanma verimini artırmak için gerilim yükseltildiğinde, **iyon geri akışları** da artar

Zaman Projeksiyon (İzdüşüm) Odası: Time Projection Chamber (TPC)

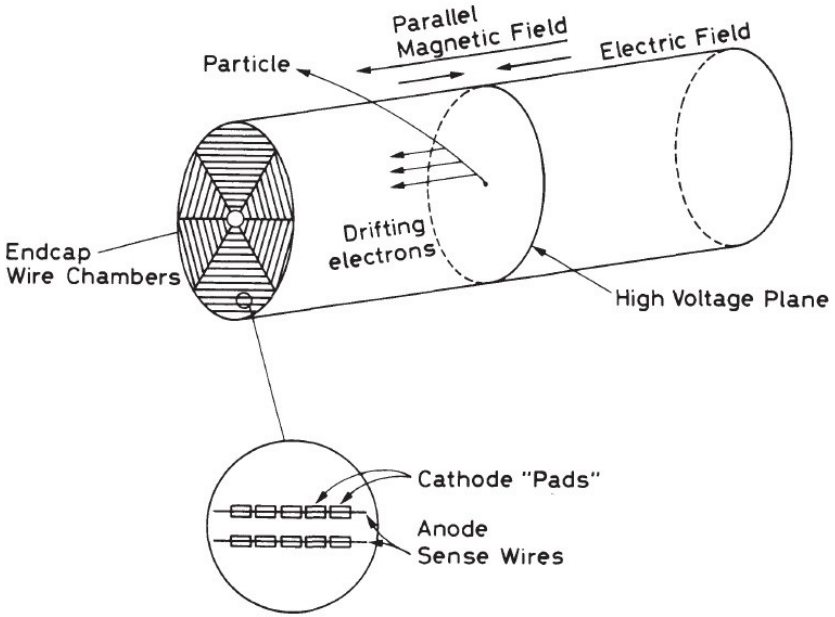
- Amerikalı fizikçi David R. Nygren tarafından Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda 1970'lerin sonunda icat edilmiştir.
- İlk olarak elektron pozitron çarpışmalarının çalışılması amacıyla Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi'nde kullanılmıştır.



- Temelde, spesifik enerji kayıpları (dE/dx) ve parçacık izlerinin pek çok noktası hakkında bilgi sağlayabilen **üç boyutlu iz takip detektörüdür**.
- TPC, çok-telli orantısal oda (MWPC) ve sürüklenme odası (drift chamber) prensiplerinden faydalanır.

Zaman Projeksiyon (İzdüşüm) Odası: Time Projection Chamber (TPC)

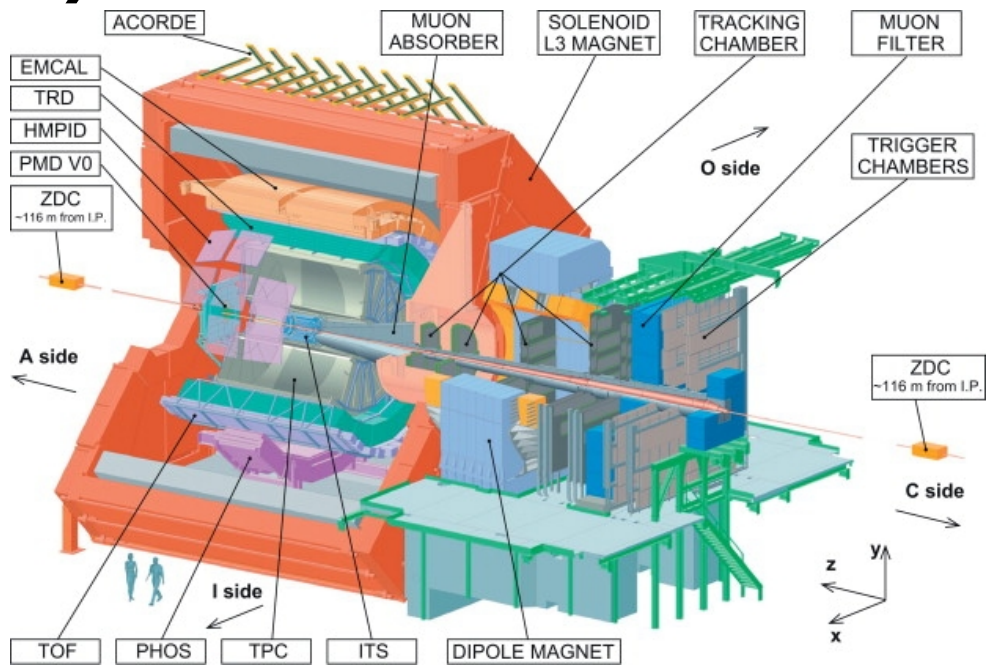
- Detektör esasen, merkezinde ince ve yüksek voltajlı bir elektrot bulunan, içi gaz dolu büyük bir silindir şeklindedir.
- Silindir ekseni boyunca homojen bir elektrik alan oluşturulur ve bu alana paralel olarak bir de manyetik alan uygulanır.
- Silindirin iki ucu da, orantısal anot tellerinden oluşan dairesel kapaklar ile kapatılır.



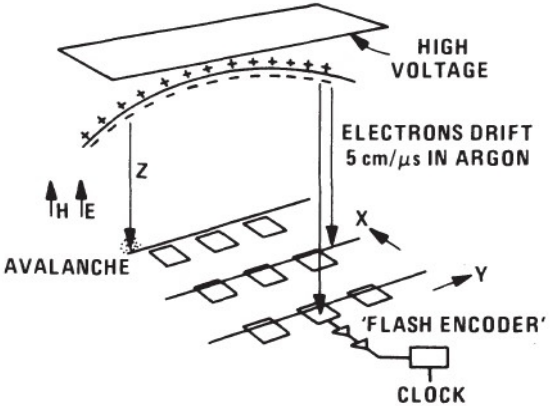
- Tellerin arkasına, tellere paralel olarak, dikdörtgen şeklinde kesilmiş katot şeritleri yerleştirilir.
  - **NOT:** Günümüzde okuma birimleri için **GEM** detektörleri ile güncellemeler yapılmaktadır

Zaman Projeksiyon (İzdüşüm) Odası: Time Projection Chamber (TPC)

ALICE TPC (CERN)

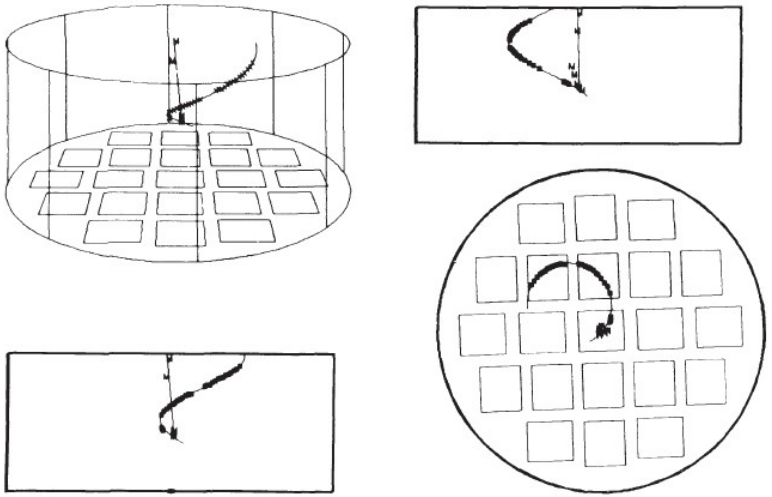


- Detektör, bir çarpıştırıcıda etkileşim noktasının merkezinde bulunur.
- Etkileşim noktasından yayılan parçacıklar silindir hacminde serbest elektronlar oluşturur.
- Elektronlar kapaklara doğru sürüklenerek MWPC'de olduğu gibi anot telleri tarafından algılanır.
  - Bu sayede parçacık konumunun kapak üzerindeki **izdüşümü** elde edilmiş olur.
- **NOT:** Günümüzde okuma birimleri için **GEM** detektörleri ile güncellemeler yapılmaktadır.



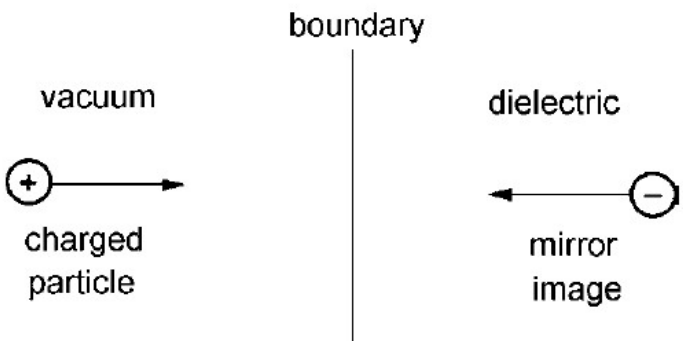
Zaman Projeksiyon (İzdüşüm) Odası: Time Projection Chamber (TPC)

- İlk koordinat (r), elektron çığının ulaştığı anot teli tarafından elde edilir,
- ikinci koordinat (φ), bu tele karşılık gelen katot parçalarında indüklenen sinyaldir,
- Silindir ekseni üzerindeki üçüncü koordinat (z), iyonizasyon elektronlarının sürüklenme süreleri tarafından belirlenir.



- Tüm iyonizasyon elektronları TPC hacminde meydana gelir ve anot tellerine sürüklenen elektronlar sayesinde parçacığın yörüngesi belirlenir.
- Silindirin yanal yüzüne doğru gerçekleşen difüzyon sorununu önlemek için silindir eksenine paralel bir manyetik alan uygulanır.
- Manyetik alan, elektronları sürüklenme yönünde sarmal bir yörünge takip etmeye zorladığından, difüzyon on kata kadar azaltılabilmektedir.

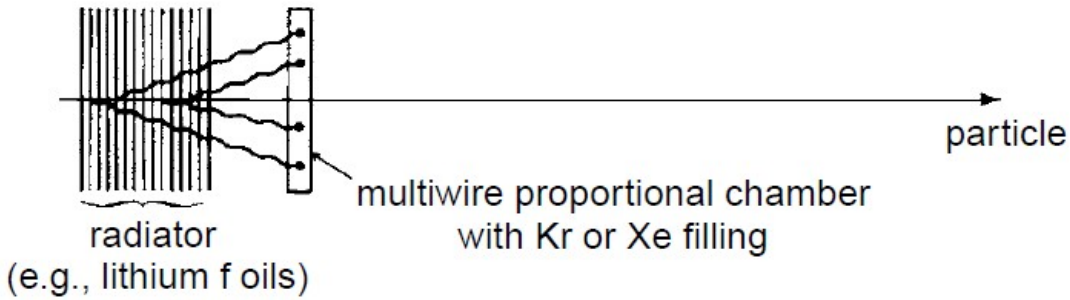
Geçiş Radyasyonu Dedektörleri (Transition Radiation Detector, TRD)



- Yüklü parçacıklar farklı dielektrik özelliklere sahip bir ortamdan diğerine geçiş esnasında elektromanyetik radyasyon yayımlar.
  - Vakum ortamından gaz ortamına geçiş ya da tam tersi buna örnek gösterilebilir.
- Bir sınıra doğru ilerleyen yüklü bir parçacık, kendisinin ayna yüküyle, alan şiddeti zamanla değişen bir elektrik dipol meydana getirir ve
- Parçacık ortama geçiş yaptığında bu alan şiddeti etkisini yitirir.
- Dipol elektrik alanının zamanla değişimi nedeniyle elektromanyetik radyasyon yayımlanır.
- Üretilen geçiş radyasyonu fotonlarının sayısı, yüklü parçacığın geçeceği sınır (katman) sayısı ne kadar fazla olursa o ölçüde artar.
  - Gözenekli bir ortam, periyodik dizilimli folyolar ve gaz aralıkları çok katmanlı (sınır) ortamlar olarak kullanılabilir.

Geçiş Radyasyonu Dedektörleri (Transition Radiation Detector, TRD)

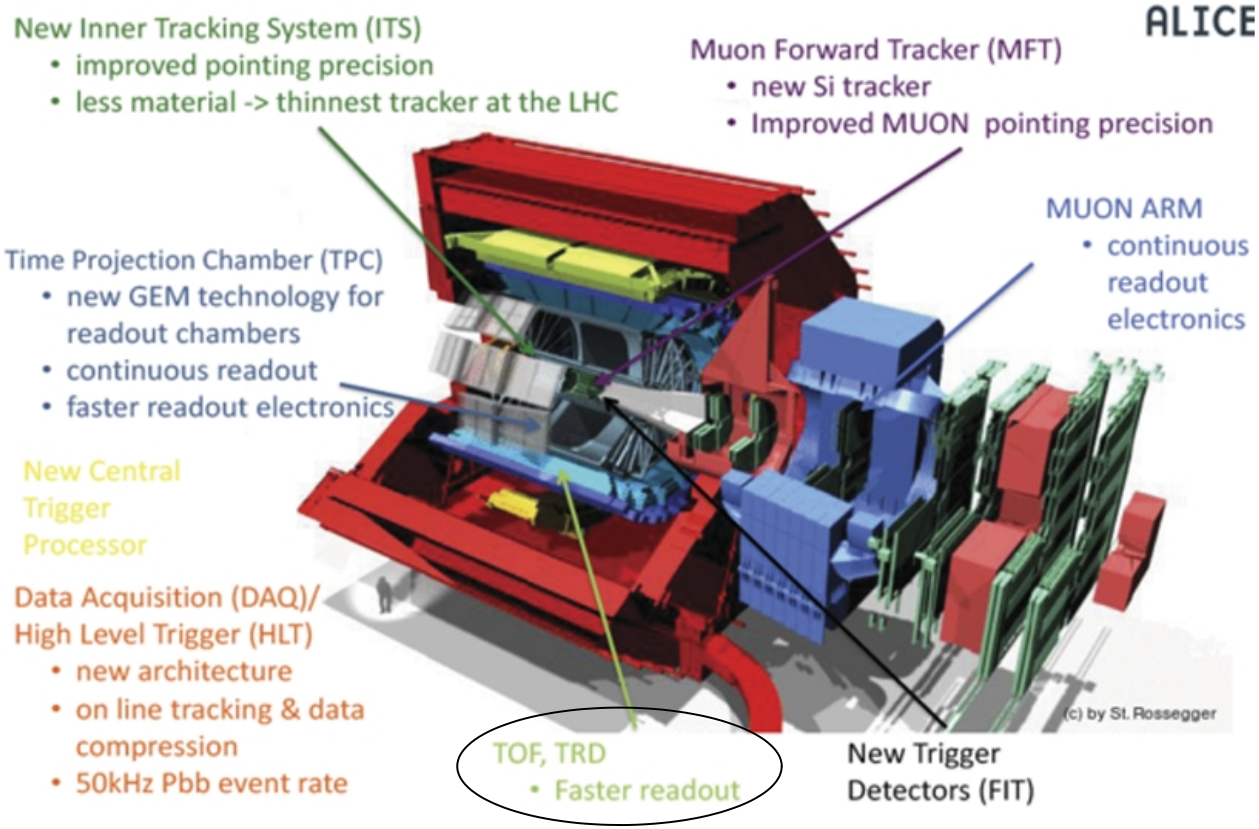
- Işın soğurulma tesir kesiti, ortamın atom numarası Z ile yakından ilintilidir ($\sigma_{photo} \propto Z^5$).



- Geçiş radyasyonu (TR) fotonları yayıcıdan (radiator) kaçıp ölçülebilmelidir.
  - Bu nedenle TRD'yi oluşturan folyo kümesi, atom numarası olabildiğince küçük (Li, Be) materyallerden üretilir.
- Geçiş radyasyonu fotonları, X ışınlarına hassas bir detektör ile ölçülmelidir.
  - Örneğin, kripton (Kr) ve zenon (Xe) gibi büyük atom numaralı gazlarla dolu, çoklu tel orantısal sayaçlar (MWPC) bu işlevi gerçekleştirebilir.
  - Büyük atom numarası, X ışını soğurmada etkin olması ve fotoelektrik etki tesir kesitinin büyük olması sebebiyle tercih edilir.

Geçiş Radyasyonu Dedektörleri (Transition Radiation Detector, TRD)

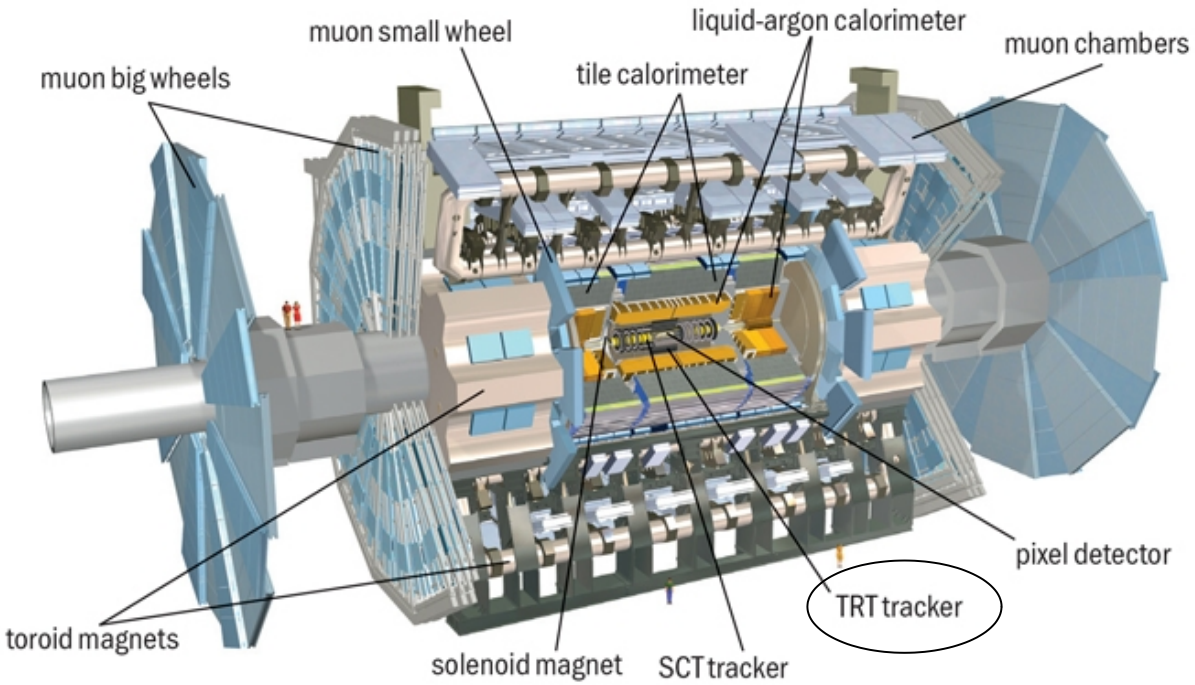
- Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (Large Hadron Collider) gerçekleştirilen ALICE ve ATLAS deneylerinde geçiş radyasyonu detektörleri kullanılmıştır.

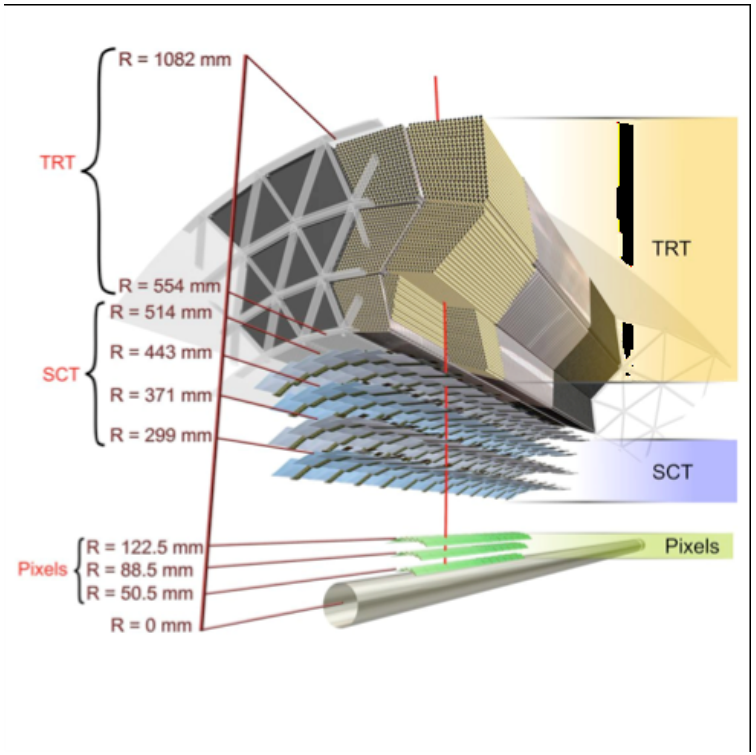


- ALICE TRD, iyon çarpışmalarındaki parçacık kimliklerinin belirlenmesinde büyük bir TPC ve TOF (Time of Flight counter) ile birlikte çalışır.

Geçiş Radyasyonu Dedektörleri (Transition Radiation Detector, TRD)

- ATLAS TRD, TRT (Transition Radiation Tracker) olarak isimlendirilir ve eşzamanlı olarak parçacık yörüngelerinin takibini yapabilmektedir.





Özet

- Tüm gazlı detektörlerin temel çalışma ilkeleri birbirlerine oldukça benzerdir
- Detektörler genel olarak çalışma bölgelerine göre sınıflandırılabilirler
- Günümüzdeki deneylerde artan ihtiyaçları (yüksek akı, radyasyona dayanıklılık, yüksek çözünürlük vb) karşılamak üzere yeni nesil (mikro yapılı) gazlı detektörler geliştirilmektedir
- Büyük deneylerde kullanılan detektör sistemlerinin güncelleme çalışmalarında da yer alan bu yeni nesil detektörler ile ilgili Ar-Ge faaliyetleri devam etmektedir

Uluslararası İşbirlikleri

- **CERN-RD51 İşbirliği - Bursa Uludağ Üniversitesi (2009 - 2023)**
  - **RD51** ⇒ **R**esearch & **D**evelopment **51:** CERN'de devam eden 5 Ar-Ge projesinden biri olmuştur.
    - **Motivasyon:** Mikro Desenli Gaz Dedektörlerinin (MPGD) ileri teknolojik gelişimine yönelik alandaki araştırmaların dünya çapında **60 ülkeden 450** araştırmacının koordinasyonu.
    - **Bursa Uludağ Üniversitesi RD51 İşbirliğinin "Kurcu Üyelerinden" biri olmuştur!**

- **CERN-DRD1 ,İşbirliği (2023 - devam ediyor):**
  - Bursa Uludağ Üniversitesi — Sorumlu: Özkan ŞAHİN
  - Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi — Sorumlu: Yalçın KALKAN
  - İstinye Üniversitesi — Sorumlu: Serkant Ali ÇETİN

- Sadece MPGD değil, telli ve RPC (Resistive Plate Chamber) **tüm gazlı detektörlerin** Ar-Ge çalışmalarını ve uygulamalarını gerçekleştirmek için dünya genelinde **160'a** yakın kurumun katılımı ile **1000'den fazla** araştırmacı tarafından oluşturuldu.

Uluslararası İşbirlikleri

- **CERN-DRD1 - Bursa Uludağ Üniversitesi (BUÜ) İşbirliği Kapsamı**
  - **WG4:** Detector Physics, Modelling and Simulation frameworks
    - **W**orking **G**roup **4** (**WG4**): Çeşitli yazılım araçları ve siimülasyon teknikleri geliştirerek detektörlerde gerçekleşen fiziksel süreçlerin anlaşılması, modellenmesi
    - Farklı çalışma gruplarının faaliyetlerinin düzenlenmesi ve ihtiyaçlarının belirlenip bir üst yönetime aktarılması (Management Board); Ar-Ge faaliyetlerinin planlanan zaman ve çerçevede yürütülmesi için görevlendirmeler yapılmıştır (Conveners):
      - BUÜ'den Özkan ŞAHİN ve üye diğer ülkelerden 6 araştırmacı ile birlikte bu konuda görev üstlenmiştir.
  - **Work Package 8:** (Reaction/Decay TPCs), project A ('Neutrino TPCs')): "high-pressure TPCs for neutrino beams "
    - Bu çalışma paketi kapsamında BUÜ, Santiago Üniversitesi (İspanya) ile koordineli olarak yüksek basınçtaki Ar/CF4 gaz karışımlarındaki sintilasyon süreçlerini inceleyip iyileştirmeler için gerekli olan fiziksel parametreleri belirleyecek
- **İşbirliklerine Katılımlar Devam Etmektedir! Bu konularda çalışmak isteyen öğrencilerimiz, lütfen ilgili öğretim üyeleri ile iletişime geçmekten çekinmeyiniz !**

Kaynaklar

- Geiger, H. ve Rutherford, E. (1908) An electrical method of counting the number of α-particles from radio-active substances, *Proc. Royal Soc.* A 81(546), 141–161. doi: 10.1098/rspa.1908.0065
- Geiger, H. ve Müller W. (1928) Das Elektronenezählrohr, *Phys. Zeits.* 29, 839–841.
- Charpak, G., G., Bouclier, R., Bressani, T., Favier, J. ve Zupančič, Č. (1968) The use of multiwire proportional counters to select and localize charged particles, *Nucl. Instr. and Meth.* 62(3), 262–268. doi: 10.1016/0029-554X(68)90371-6
- http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1992/, erişim tarihi 26.04.2018, konu *1992 Nobel Fizik Ödülü*.
- Charpak, G. ve Sauli, F. (1978), The multistep avalanche chamber: A new high-rate, high-accuracy gaseous detector, *Phys. Lett. B* 78(4), 523–528. doi: 10.1016/0370-2693(78)90502-6
- Walenta, A. H. (1979), The Time Expansion Chamber and Single Ionization Cluster Measurement, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 26(1), 73–80. doi: 10.1109/TNS.1979.4329616
- Giomataris, Y., Rebourgeard, Ph., Robert, J.P., Charpak, G. (1996), MICROMEGAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments, *Nucl. Instrum. Meth. A* 376(1), 29–35. doi: 10.1016/0168-9002(96)00175-1
- Sauli, F. (1997), GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, *Nucl. Instrum. Meth. A* 386(2–3), 531–534. doi: 10.1016/S0168-9002(96)01172-2
- Pancin, J., ve diğ. (2004), Measurement of the n_TOF beam profile with a micromegas detector, *Nucl. Instrum. Meth. A* 524(1–3), 102–114. doi: 10.1016/j.nima.2004.01.055

Kaynaklar

- Houry, M. ve diğ. (2006), DEMIN: A neutron spectrometer, Micromegas-type, for inertial confinement fusion experiments, *Nucl. Instrum. Meth. A* 557(2), 648–656. doi: 10.1016/j.nima.2005.11.184
- Ramsey, B. D. ve diğ. (1996), A large-area microstrip-gas-counter for X-ray astronomy, *Nucl. Instrum. Meth. A* 383(2–3), 424–430. doi: 10.1016/S0168-9002(96)00853-4
- Ostling, J. ve diğ. (2003), Study of hole-type gas multiplication structures for portal imaging and other high count rate applications, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 50(4), 809–819. doi: 10.1109/TNS.2003.814562
- Francke, T. ve diğ. (2001), Dose reduction in medical X-ray imaging using noise free photon counting, *Nucl. Instrum. Meth. A* 471(1–2), 85–87. doi: 10.1016/S0168-9002(01)00920-2
- Charpak, G. ve diğ. (2007), Development of new hole-type avalanche detectors and the first results of their applications, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* MP4(6), 4649–4657. doi: 10.1109/NSSMIC.2007.4437145
- Knoll, G. F. (2000), *Radiation detection and measurements*, John Willey and Sons, Inc., New York.
- Sauli, F. (2014), *Gaseous Radiation Detectors: Fundamentals and Applications*, Cambridge University Press
- Veenhof, R. (1998), Garfield, recent developments, *Nucl. Instrum. Meth. A* 419(2–3), 726–730. doi: 10.1016/S0168-9002(98)00851-1
- Grupen, C., & Shwartz, B. (2011). Particle Detectors (Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology, Series Number 26) (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Şahin Ö., (2018), Gazlı Parçacık Detektörlerinin Çalışma Verimi ve Kararlılığının İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23 (3) , 49-60. DOI: 10.17482/uumfd.421199