

RADYASYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Prof. Dr. Haluk YÜCEL

101516 Dersi

GAZLI SAYAÇLAR: İYON ODALARI

İçerisinde gaz bulunan kapalı bir ortam ve aralarına elektrik alan uygulanabilecek anot ve katot adı verilen iki elektrot dikkate alınsın. Bu ortama gelen radyasyon, gaz atomları ile etkileşerek atomik uyarma ve iyonizasyona neden olacak ve enerjisini kayıp edecektir. İyonizasyon sonucunda oluşan serbest elektronlar ve pozitif iyonlar, elektrotlar arasına uygulanan alanın etkisi ile anot ve katota ulaşarak bir iyon akımı meydana getirirler. Radyasyon enerjisi her zaman iyonizasyona değil gaz atomlarının uyarılmasına da harcanabilir. Bu nedenle gaz içerisinde bir iyon çiftinin oluşması için gerekli enerji, ortalamada daha fazla olup 30-35 eV civarındadır.

Havada bir iyon çifti oluşması için gerekli enerji 34 eV'dir.

Örneğin,

Enerjisi 5 MeV olan bir alfa parçacığı havada yaklaşık olarak $1,5 \times 10^5$ iyon çifti oluşturur.

YÜK HAREKETİ VE TOPLANMASI

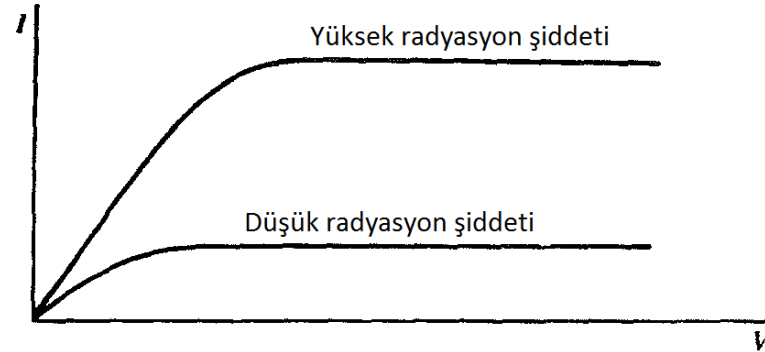
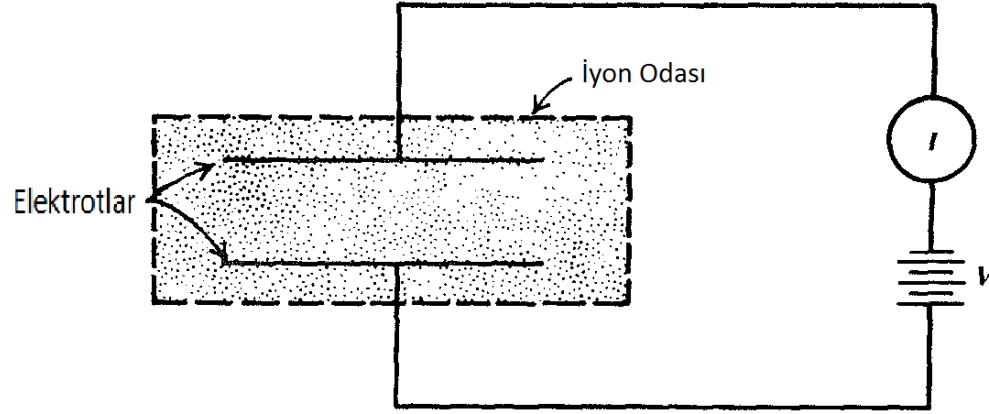
İyonların gaz içerisindeki yayılım hızları (V),

$$V = \mu E / P$$

Burada E , elektrik alan şiddeti, P , gaz basıncı, μ ise mobilite'dir

μ ($m^2 \cdot atm / V \cdot s$), elektrik alanın geniş bir aralığı için sabittir ve aynı gazdaki (+) ve (-) iyonlar için büyük farklılık göstermez. Genelde 1 atm basınç ve 10^4 V/m elektik alanı için $1m/s$ 'dir. $\mu=1.5 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot atm / V \cdot s$

İyon odasının sabit bir radyasyon akısına maruz bırakılması durumunda meydana gelen iyon çiftleri tekrar birleşirler, elektrotlar arasında bir elektrik alan uygulanmasıyla (+) ve (-) iyon çiftleri katot ve anota doğru hareket ederler ve devreden bir akım geçer. Bu akım artan voltajla artarak daha sonra bir doyuma ulaşır. Voltajın ufak değerlerinde elektrik alan, tüm iyonları elektrotlara toplayacak kadar yeterli değildir ve tekrar birleşme (recombination) hala söz konusudur.



İyon odasının temel bileşenleri ve akım - gerilim karakteristiği

$$i = Ne$$

Burada e , elementer yüküdür ($1,6 \times 10^{-19}$ C), gene 5 MeV enerjideki alfa parçacıklarının oluşturacakları voltaj ve akımın yaklaşık değeri hesaplanabilir. Bunun için iyon odasının kapasitansı 50 pF ve yüklerin 1 μ s'de toplandığı kabul edilirse;

$$V = i / C = \frac{1,5 \times 10^5 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} / e}{50 \times 10^{-12} \text{ F}} = 0,75 \text{ mV}$$

$$I = i / t = \frac{1,5 \times 10^5 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} / e}{10^{-6}} \text{ A} = 1,6 \times 10^{-8} \text{ A}$$

İYON ODALARININ ÇALIŞMA MODLARI

Akım modunda çalışan iyon odaları:

İyon akımının okunması prensibine göre çalışan iyon odaları ortama sürekli olarak giren radyasyonun oluşturduğu ortalama iyonizasyonu algılayacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu sistemlerde, her bir radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımları çok küçük olduklarından ayrı ayrı ölçülemeyip, gelen radyasyonun ortalama bir şiddeti elde edilir. Odada oluşan akımın direkt olarak ölçülebilmesi 10^{-8} A'den büyük akımlarda bir galvanometre, daha küçük akımlarda bir elektrometre (bazen bir yükseltecin de ilavesiyle) ile gerçekleştirilir.

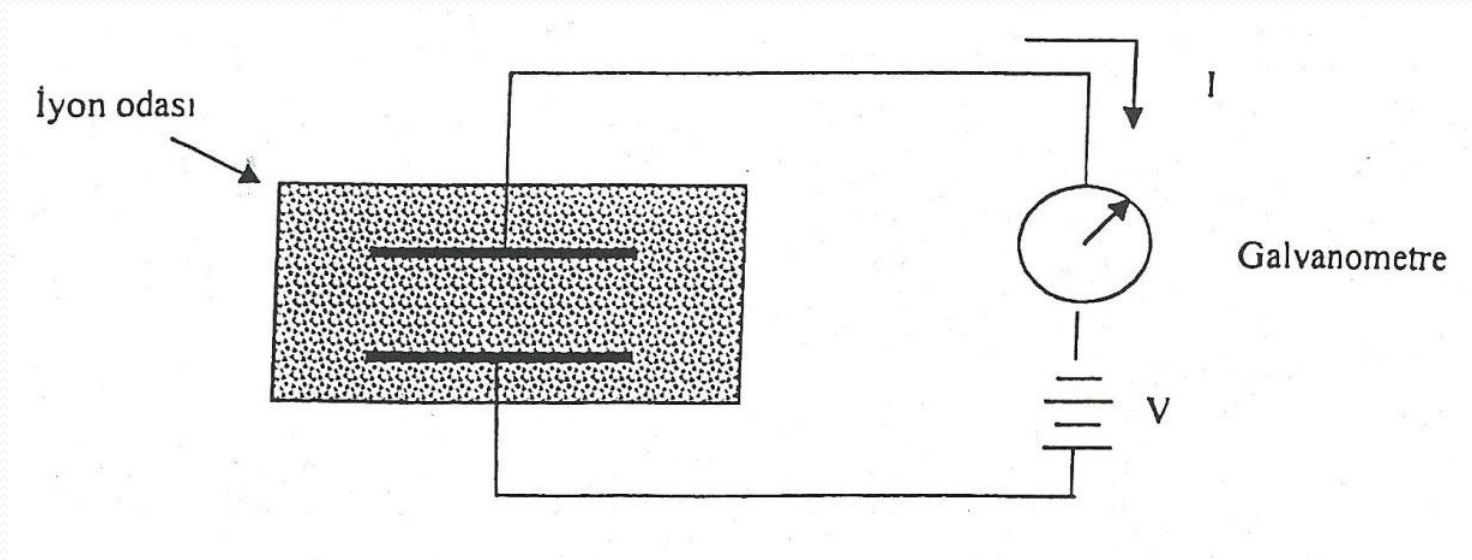
Akımın ölçülmesi

$$V=IR$$

I=kararlı iyonlaşma akımı

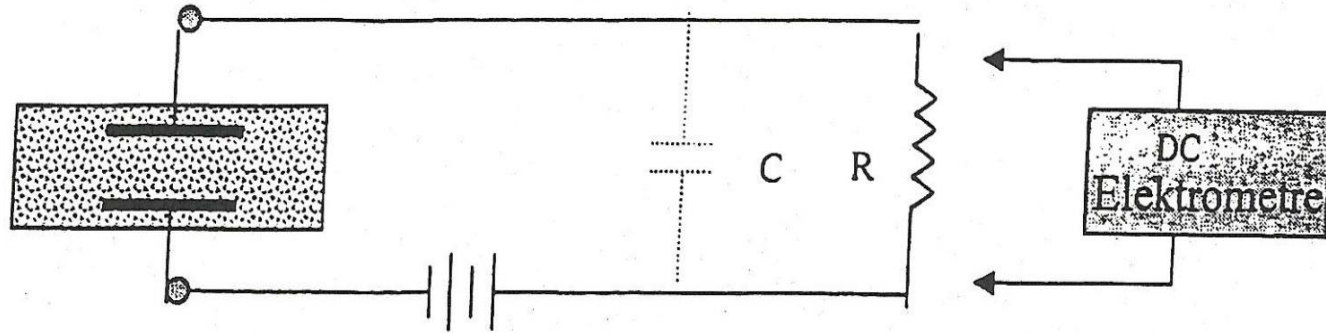
$$Q=CV$$

Q=kapasitörde depolanan yük



İyon odası akımının galvanometre ile ölçümü

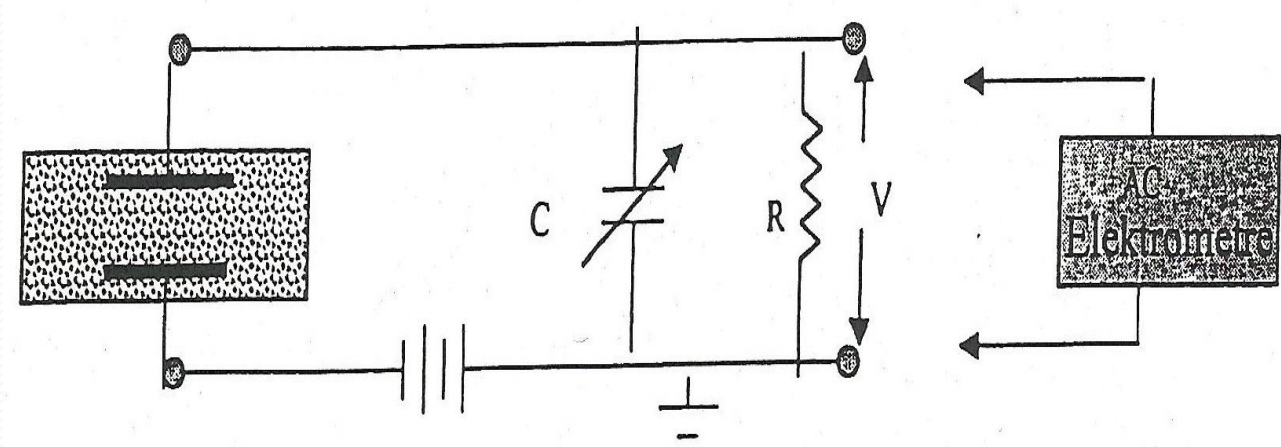
Şekilde gösterildiği gibi bir elektrometre, ölçüm devresine seri olarak yerleştirilmiş bir dirençteki voltaj düşmesini algılayarak akımın endirekt olarak ölçülmesini sağlar.



İyon akımının elektrometre ve R seri direnci ile ölçümü

Radyasyon nedeniyle gelişen gerilim düşüsü $R=10^9-10^{12}$ ohm direnç üzerinde gelişir.

AC Elektrometre



Devrenin zaman sabitine ($\tau=RC$) göre C hızlıca değiştiğinde, Dinamik kapasitör veya titreşici gücüyle(reed) elektrometre: Kapasitördeki osilasyonların indüklediği AC gerilim kararlı durum aki sinyal akımıyla orantılıdır.

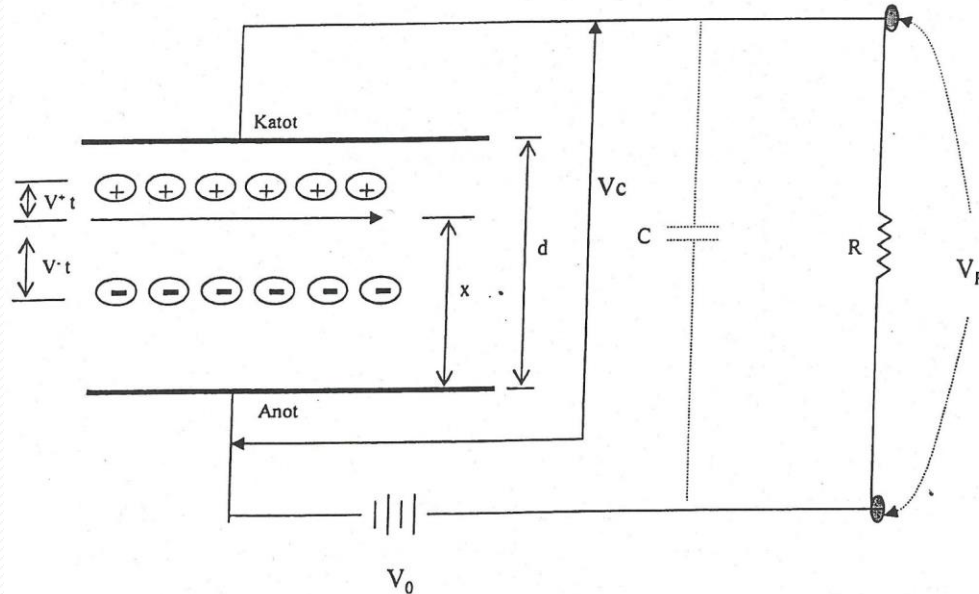
$$\Delta V = \frac{Q}{C^2} \cdot \Delta C$$

$$\Delta V = I \frac{R}{C} \cdot \Delta C$$

Kapasitans değerisi, sinisoidal olarak C'nin yaklaşık ortalama değerinde değerirse, indüklenen AC gerilim genliği , oluşan iyonlaşma akımıyla orantılı olur.

Puls modunda çalışan iyon odaları

İyon odalarının genelde çalışma modları, oda içerisinde ortalama iyon oluşum hızının ölçüldüğü akım modudur. İyon odalarının puls modunda çalıştırılmaları da mümkündür, böylelikle her bir radyasyonun oluşturduğu sinyal pulsları ayrı ayrı sayılırlar. Gelen radyasyonun enerjisinin ölçülebilmesi yönünden puls modu bir üstünlük taşır. İyonizasyonun zaman içerisindeki oluşum hızının direkt akım ölçümüne uygun olamayacak şekilde yavaş olması durumunda gene puls tipi çalışma modu tercih edilebilir



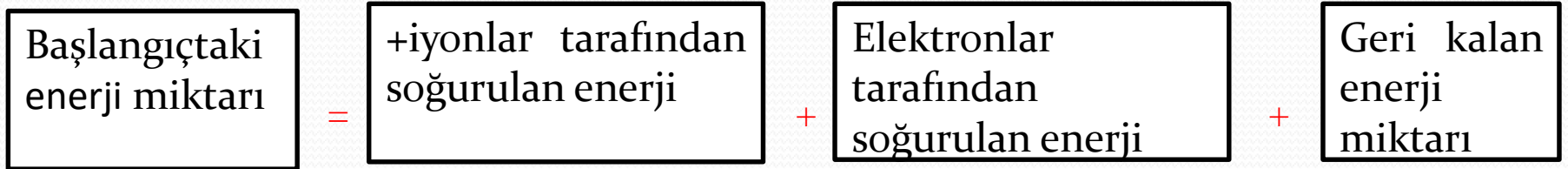
İyon odasından gelen
sinyalin puls şeklinin
çıkartılması

Burada $Q = n_0 e$ olup, n_0 başlangıçtaki iyon çiftlerinin sayısı, e ise elektronik yüküdür. $\Delta\phi$ potansiyel farkı E elektrik alanı ile elektrotlara doğru kat edilen mesafenin çarpımına eşittir.

$$\Delta\phi = E \cdot d$$

$$(Enerji = Q\Delta\phi)$$

Q : iyon ve elektronlar toplam yük



$$\frac{1}{2} C V_0^2 = n_0 e E v^+ t + n_0 e E v^- t + \frac{1}{2} C V_c^2$$

$$\frac{1}{2} C (V_0^2 - V_c^2) = n_0 e E (v^+ + v^-) t$$

$$\frac{1}{2} C (V_0 + V_c) (V_0 - V_c) = n_0 e (V_c/d) (v^+ + v^-) t$$

Sinyal voltajı V_R , R üzerinden ölçülmekte olup değeri V_0 'dan çoğu zaman daha küçüktür ve $V_0 - V_c$ olarak verilir. Bu durumda aşağıdaki yaklaşımlar yapılabilir.

$$V_0 + V_c \approx 2V_0 \quad \text{ve} \quad V_c/d \approx V_0/d$$

$$\frac{1}{2} C (V_0 + V_c) (V_0 - V_c) = n_0 e (V_c/d) (v^+ + v^-) t$$

Bu ifadeler yukarıdaki ifadede yerine konulursa

$$\frac{1}{2} C (2V_0) V_R = n_0 e (V_0/d) (v^+ + v^-) t$$

$$V_R = (n_0 e / (d C)) (v^+ + v^-) t$$

Bu sonuç sinyal pulsunun sadece başlangıç kısmını tanımlar ve zamanla doğrusal bir artışın olacağını öngörür. Bu durum sadece pozitif iyon ve elektronların oda içerisindeki hareketleri boyunca geçerlidir.

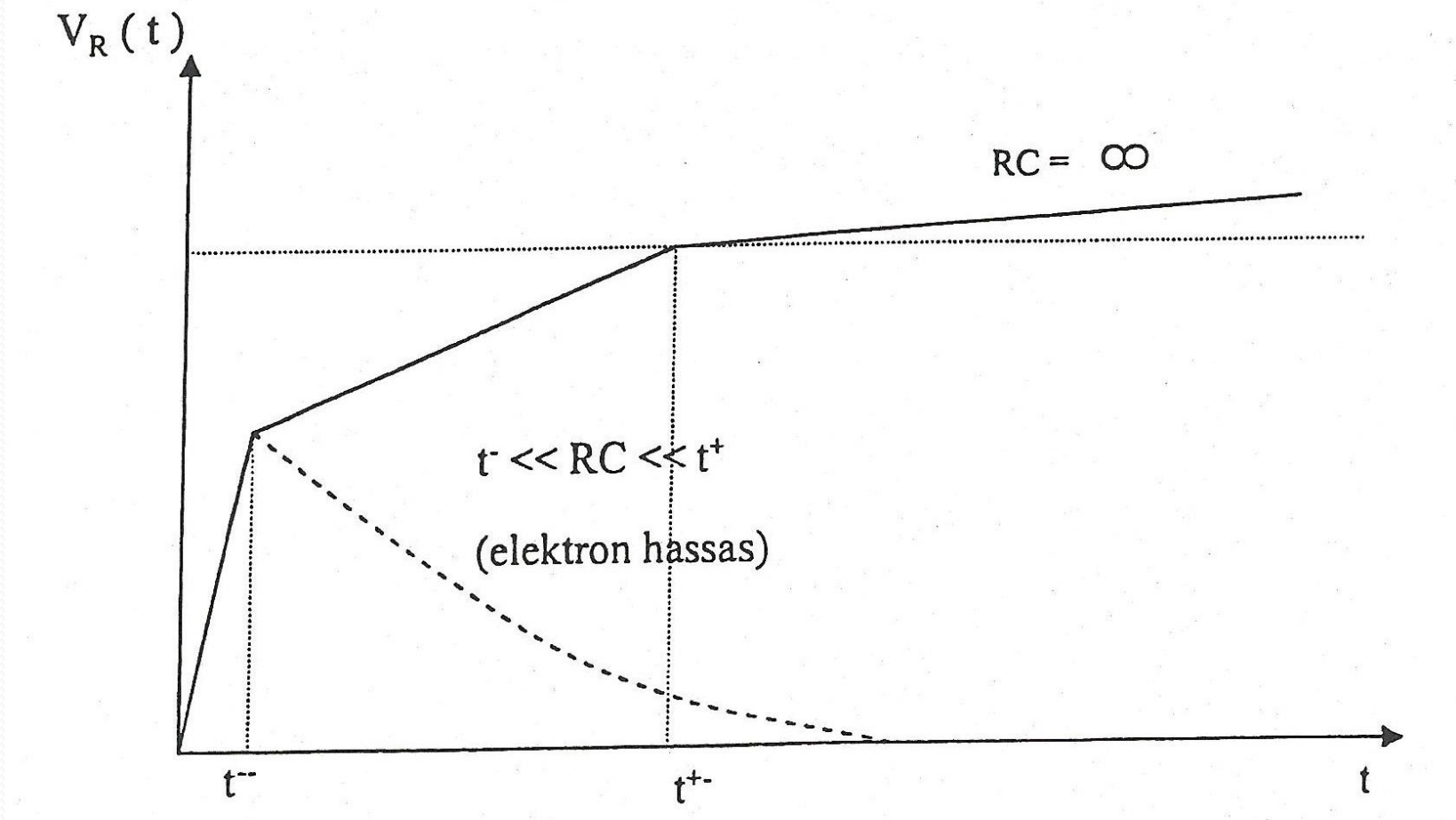
Bir $t = x / v^-$ zamanından sonra elektronlar anota ulaşırlar.

$$V_R = (n_o e / (d C) (v^+ t + x)$$

Pozitif iyonlar katoda $t^+ = (d - x) / v^+$ zamanı sonrasında ulaşacaklardır.

Bu noktada sinyal voltajı artık artış göstermez.

$$V_R = (n_o e / (d C) [(d - x) + x] \text{ veya } V_R = (n_o e / C)$$



Çıkış pulsunun farklı zaman sabitlerindeki şekli

Devrenin zaman sabitinin çok büyük olması durumunda ($RC \gg t^+$), sinyalin maksimum genliği (V_{maks}) aşağıdaki gibi verilir;

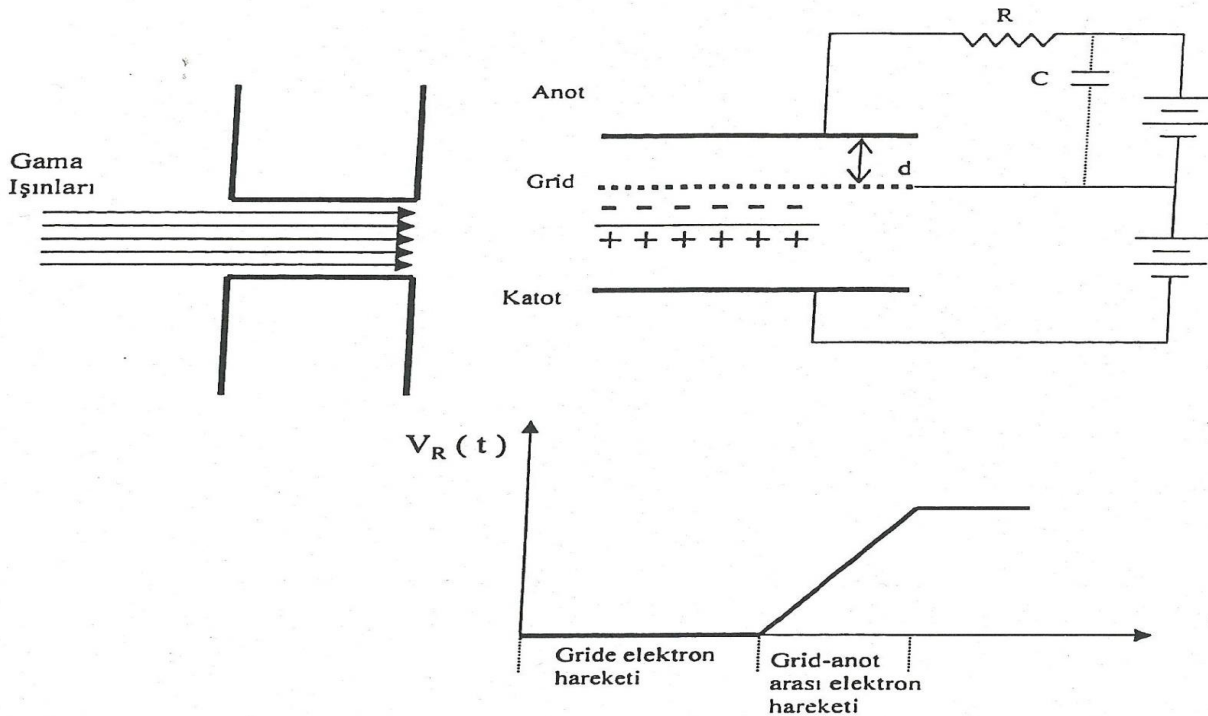
$$V_{\text{maks}} = (n_o e) / C$$

Devrenin zaman sabiti pozitif iyonların toplanma süresine göre daha kısa seçilirse, sinyal pulsu sadece elektronların katkısından oluşur ve bu sinyalin genliği aşağıdaki gibi verilir;

$$V_{\text{elek}} = [(n_o e) / C] x / d$$

Gridli İyon Odası:

İyon odasının elektrona hassas modda çalıştırılması durumunda puls genliğinin oda içerisinde etkileşmenin pozisyonuna bağlı olması, Şekilde gösterilen gridli iyon odasının geliştirilmesine neden olmuştur.



(a) Gridli iyon odasının çalışma prensibi (b) Puls şekli

Bu tasarımda iyon odası bir grid ile iki kısma ayrılmıştır. Radyasyon kaynağı belirli bir noktaya yerleştirilerek ya da kolimasyon kullanılarak oda içerisindeki tüm etkileşmelerin katot ile grid arasında olması sağlanır. Grid potansiyeli anot ve katot potansiyelinin daha bir ara değerinde olup elektronların geçebileceği şekilde yapılmıştır. Devredeki yük direncinin yeri nedeniyle gerek elektronların gride doğru gerekse iyonların katota doğru sürüklenmeleri esnasında herhangi bir sinyal oluşmaz Ancak elektronların gridi geçerek anota doğru hareketleri esnasında grid-anot voltajı düşmeye başlar ve direnç uçlarında sinyal voltajı ortaya çıkar. Zamana bağlı bu sinyal aşağıdaki gibi yazılabilir

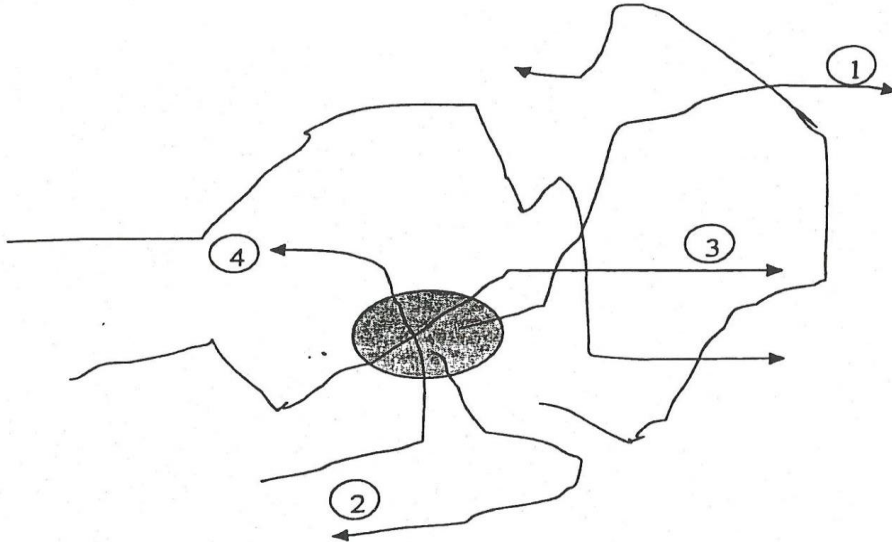
$$V_R = (n_o e / (d C) v^- t$$

d, grid-anot mesafesi olup benzer şekilde maksimum sinyal voltajı $n_o e / C$ olur

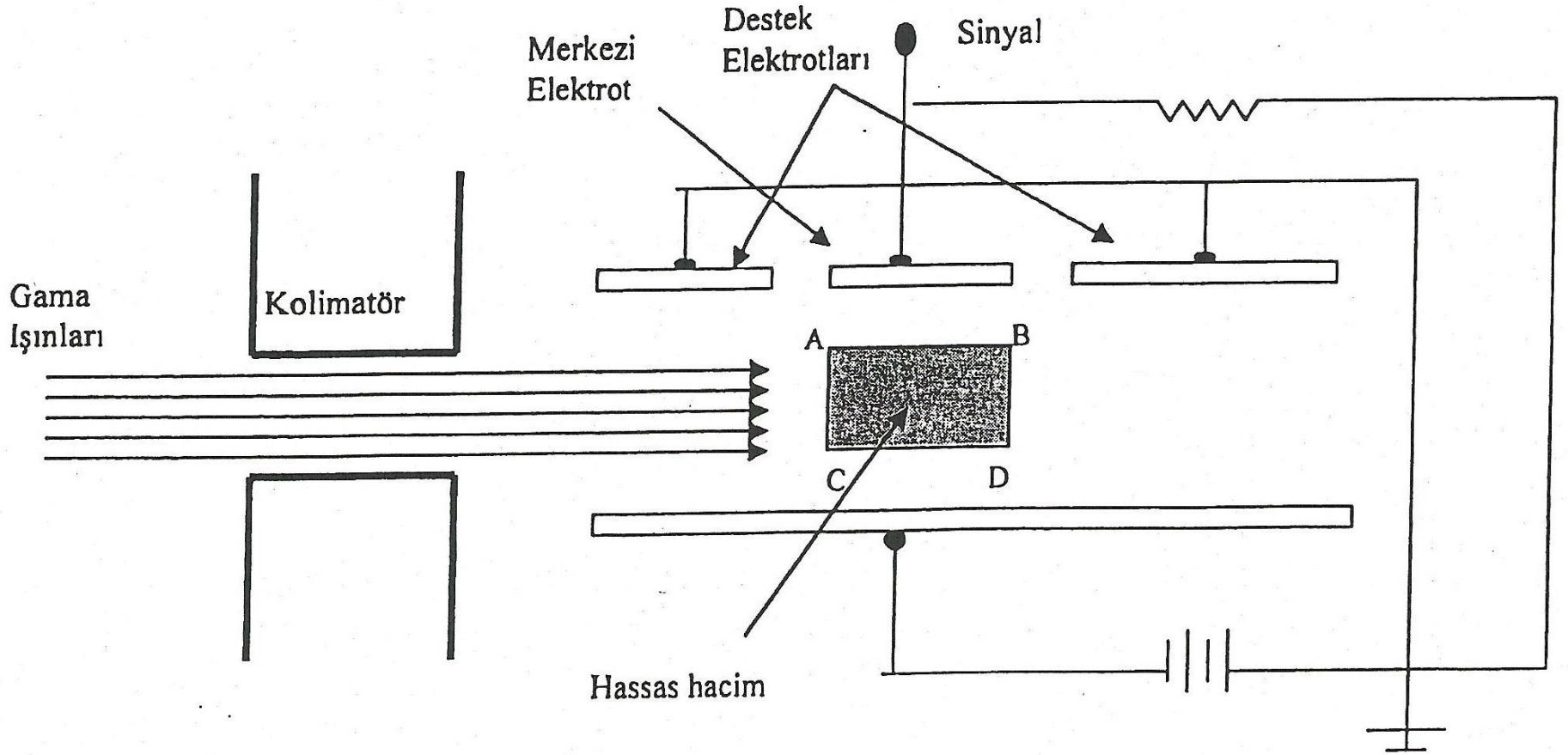
İYON ODALARI İLE RADYASYON DOZ ÖLÇÜMLERİ

İyon odalarının en önemli kullanım sahalarından bir tanesi gama ışınlamasının ölçülmesidir.

Bir hava test hacmi, içerisinde ölçüm boyunca aynı miktar ışınlamaya maruz kalacak sonsuz kalınlıkta bir eşdeğer hava ile çevrelenmiş ise tam bir dengelenme(kompansasyon) sağlanır.



Hava test hacmi



Serbest hava iyon odası.

Hassas hacimde yaratılan elektronlar durdurulmadan önce elektrotlara ulaşmazlar, bu nedenle kompensasyon(dengeleme) sadece gelen radyasyona paralel yönde yapılır.

Hava eşdeğeri bir iyon odasında, ışınlama hızı R (C/Kg olarak), doyumdaki iyon akımının I_D (amper cinsinden) aktif hacimdeki kütleyle M (Kg olarak) oranı olarak verilir;

$$R = I_D / M$$

Hava kütlesi M ise iyon odasının ölçülen hacminden ve normal şartlardaki yoğunluğundan hesaplanır.

$$M = 1,293 \text{ Kg/m}^3 \times V \times (P / P_0) \times (T_0 / T)$$

V	: Odanın hacmi (m ³)
P	: Odadaki hava basıncı
P ₀	: Standart basınç (760 mm Hg)
T	: Odadaki hava sıcaklığı
T ₀	: Standart sıcaklık (273,14 K)

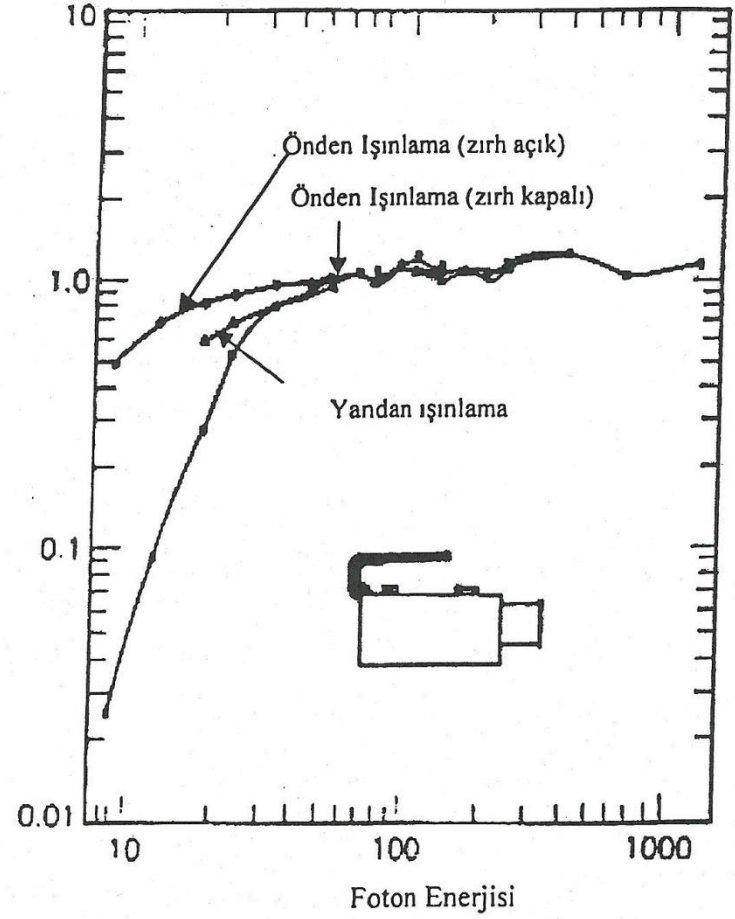
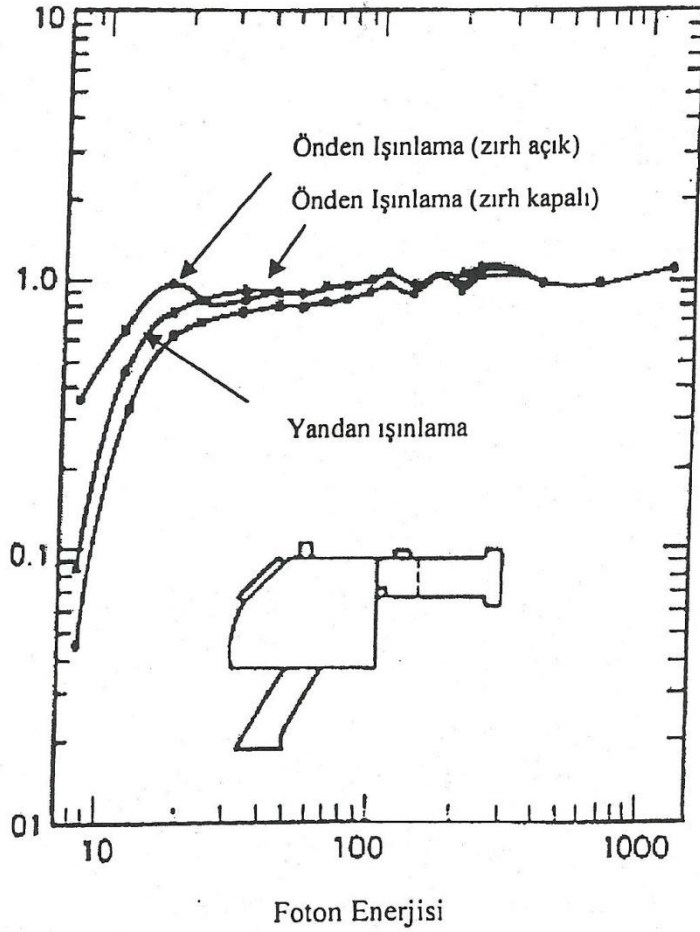
İYON ODALARININ TASARIMLARI:

İyon odalarının yapımlarında farklı elektrot tasarımları vardır, elektrotların paralel plaka şeklinde yapılmasıyla daha homojen bir elektrik alan elde edilir. Diğer bir yöntem ise silindirik geometridir. Silindirin dış kabuğu toprak potansiyelindedir ve merkezi bir iletken çubuğa (anot) yüksek potansiyel uygulanır. Bu tasarımlarda anot ve katot arasındaki elektrik alan aşağıdaki gibi verilir.

$$E = V / (r \ln b / a)$$

Burada a, anotun b ise katodun yarıçapıdır. V ise aradaki potansiyel farkıdır.

iyon odalarının tasarımında, oda duvarının yapı ve kalınlığı uygun seçilerek enerjiden bağımsız olmalarına çalışılır. Belirli bir enerji için maksimum iyonizasyonun elde edilebileceği spesifik bir duvar kalınlığı vardır ve buna *eşdeğer kalınlık* denir. iyon odalarının tasarımında, oda duvarının yapı ve kalınlığı uygun seçilerek enerjiden bağımsız olmalarına çalışılır. Belirli bir enerji için maksimum iyonizasyonun elde edilebileceği spesifik bir duvar kalınlığı vardır ve buna *eşdeğer kalınlık* denir.



İki farklı sistem için enerji kalibrasyon eğrisi

$$C_{DF} = (P_{ref} \times T) / (P \times T_{ref})$$

T_{ref} ve P_{ref} kalibrasyonun yapıldığı sıcaklık ve basınç değerleridir.