

T.C.
FIRAT UNIVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

24798

**RADYASYON SAYACI GELİŞTİRİLMESİ VE
ÇEŞİTLİ ORTAMLARDA RADYASYON ÖLÇÜMÜ**

Soner ÖZGEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**1992
ELAZIĞ**

T.C.
FIRAT UNIVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTOSU

**RADYASYON SAYACI GELİŞTİRİLMESİ VE
ÇEŞİTLİ ORTAMLARDA RADYASYON ÖLÇÜMÜ**

Soner ÖZGEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez, 199... tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız olarak
değerlendirilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr.

Halil YARANERİ

Ö Z E T

Yüksek Lisans Tezi

**RADYASYON SAYACI GELİŞTİRİLMESİ VE
ÇEŞİTLİ ORTAMLARDA RADYASYON ÖLÇÜMÜ**

Soner ÖZGEN

**Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

1992, sayfa: 69

Bu çalışmada, Siemens BPW-34 silisyum PIN fotodiyodunun radyasyon detektörü olarak kullanılmasıyla ucuz ve taşınabilir bir radyasyon sayacı tasarlanmış ve çeşitli radyasyon ortamlarında ölçümler alınmıştır. Sayaç, detektör ve elektronik birimler olmak üzere iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Detektör, üç tane BPW-34 fotodiyodu paralel bağlanarak bir prob halinde yapılmıştır. Sayacın analog devre birimleri, Thomson'un LF 357 ve RCA'nın CA 3130 işlemsel yükselteçleri ile, dijital devre birimleri ise genel amaçlı dijital entegre devreler kullanılarak yapılmıştır. Sayaç sisteminin elektriksel kalibrasyonundan sonra radyasyon testleri uygulanmış ve bunların sonucunda; diskriminatör girişindeki gürültü pulslarının genliği 40 mV ve ölü zamanın 30 μ s olduğu ayrıca radyasyon testlerinden de 0,535 MeV enerjili β -parçacıkları için mrad/h başına 0,170 say/sn, 1,25 MeV enerjili gama ışınları için mR/h başına 2,53 say/sn verim değerleri gözlenmiş ancak α -parçacıkları için belirgin bir sayım gözlenememiştir.

Anahtar Kelimeler : Radyasyon deteksiyonu, PIN yapısı, duyarlı alan, geçiş tabakası, analog devreler, dijital devreler, ölü zaman, gürültü pulsları.

S U M M A R Y

M.Sc. Thesis

**DESIGN OF A RADIATION COUNTER AND
THE MEASUREMENTS IN VARIOUS RADIATION MEDIA**

Soner ÖZGEN

**Firat University
Graduate School of Science and Technology
Department of Physic.**

1992, page: 69

In this thesis, On unexpensive and portable radiation counter is designed by using Siemens's BPW-34 silicon PIN photodiode as radiation detector and radiation measurements in various radiation media are taken. The counter consists of detector and electronic units. Detector probe is made of three parallely connected BPW-34 photodiodes to increase the sensitivity of the counter system. Thomson's LF 357 and RCA's CA 3130 operational amplifiers in analogue circuit units and general purpose digital integrated circuits in digital units are used. Electrical calibrations has been carried out and radiation tests are made on the counter system. From the results of these tests the dead time and noise level at the discriminator input are measure as 30 μ s and 40 mV respectively. The radiation tests are also as following; for β -particles of 0,535 MeV are 0,170 cps/ mrad/h , for gamma rays of 1,25 MeV are 2,53 cps/ mR/h . But no sensitivity measurement were observed for α -particles.

Key Words : Radiation detection, PIN structure, sensitive area, depletion layer, analogue circuits, digital circuits, dead time, noise pulses.

T E Ő E K K Ū R

*Radyasyon Sayacı Geliştirilmesi ve Çeşitli Ortamlarda
Radyasyon Ölçümü* isimli yüksek lisans tezimin her aşamasında ilgi
ve yardımlarıyla daima yanımda bulunan değerli hocam Yrd.Doç.Dr.
Halil YARANERİ'ne ve Yrd.Doç.Dr. Muktim ERDOĞMUŐ'a teşekkür ederim.

Soner ÖZGEN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	111
SUMMARY	1V
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	V1
ŞEKİLLER LİSTESİ	V111
TABLolar LİSTESİ	X1
SİNGELER LİSTESİ	X111
1. GİRİŞ	1
2. RADYASYON DETEKTÖRLERİ	4
2.1 Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler	4
2.2 Sintilasyon Detektörleri	8
2.3 Yarıiletken Detektörler	10
2.3.1 P-N Eklemlı detektörler	11
2.3.2 Yüzey engelli detektörler	13
2.3.3 Lityum sürüklemeli detektörler	15
3. İNFRARED FOTODİYODLAR	18
4. RADYASYON SAYACI ELEKTRONİĞİ	24
5. UYGULAMA VE SONUÇLAR	29
5.1 Radyasyon Sayacının Tasarımı	29
5.2 Elektronik Devrenin İncelenmesi ve Elektriksel Kalibrasyon	32
5.3 Çeşitli Radyoaktif Kaynakların Sayılması	35
5.3.1 Deney 1	42
5.3.2 Deney 2	44
5.3.3 Deney 3	47

6. TARTIŞMA	50
7. ÖNERİLER	55
8. KAYNAKLAR	56



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Gaz doldurulmuş tüp detektörün yapısı.

Şekil 2.2: İki farklı parçacık enerjisi için, iyonizasyon odasına uygulanan potansiyelin bir fonksiyonu olarak toplanan iyonların nisbi sayısı [Nicholson, 1973].

Şekil 2.3: Bir GM tüpü içinde oluşan ilk iyonlaşma ve daha sonra UV fotonlarının neden olduğu ikincil iyonlaşmalar [Knoll, 1989].

Şekil 2.4: Bir NaI(Tl) sintilatörün foto çoğaltıcı tüp ile birlikte kullanımı [Duggan, 1988].

Şekil 2.5: Bir P-N eklemının iç yapısı [Millman vd, 1978].

Şekil 2.6: Yüzey engelli detektörün yapısı [Knoll, 1989].

Şekil 2.7: Lityum sürüklemeli radyasyon detektörünün yapım aşamaları [Tsoulfanidis, 1983].

Şekil 2.8: PIN yapısındaki safsızlık konsantrasyonu, taşıyıcı yük yoğunluğu p , elektrik potansiyeli ϕ ve elektrik alanı E [Knoll, 1989].

Şekil 3.1: BPW-34 PIN fotodiyodunun ışık şiddetine karşı kısa devre akım karakteristiği [Holmes, 1983].

Şekil 3.2: Fotodiyodun akım kaynağı olarak bağlanması [Holmes, 1983].

Şekil 3.3: BPW-34 PIN fotodiyodunun bias voltajıyla kapasite değişimi [Holmes, 1983].

Şekil 3.4: Karanlık akımının sıcaklık ve bias voltajına bağlı değişimi [Holmes, 1983].

Şekil 3.5: BPW-34'ün fiziksel görüntüsü [Raffinsoe, 1983 yazılı görüşme].

Şekil 3.6: Silisyum içinde alfa, proton, beta ve gamaların aldıkları yollar ve soğurma olasılıkları [Raffinsoe, 1983 yazılı görüşme].

Şekil 4.1: İşlemsel yükselteç devreleri ve matematiksel bağıntıları [Holmes, 1984-a].

Şekil 4.2: Beş basamaklı elektronik bir sayıcı devrenin blok şeması.

Şekil 4.3: Bir radyasyon sayacının tamamına ait blok devre şeması.

Şekil 5.1: CA 3130 ve LF 357 işlemsel yükselteçlerinin fiziksel görüntüleri ve bağlantı uçları [Ey, 1981].

Şekil 5.2: Prob halindeki detektör ve sayacın önden görünüşü.

Şekil 5.3: Yapılmış radyasyon sayacının açık devre şeması.

Şekil 5.4: Tipik bir detektör pulsu [Canberra, 1981].

Şekil 5.5: Ön-yükseltecin giriş yüküne karşı çıkış voltajı.

Şekil 5.6: Ana yükseltecin, A noktasına uygulanan yüke karşı çıkış voltajının değişimi.

Şekil 5.7: Sayacın açık şemasında belirtilen test noktalarında izlenen puls şekilleri.

Şekil 5.8: Gauss dağılımının grafiksel gösterimi

Şekil 5.9: Radyasyon ölçme sonuçlarının gauss dağılımına uygulanması (Deney-1).

Şekil 5.10: Ters kare kanununun deneysel olarak doğrulanması (Deney-2).

Şekil 5.11: Gama ışın şiddetinin soğurucu kalınlığının fonksiyonu olarak çizilmesi (Deney-3).

Şekil 6.1: Nucleus marka MODEL 500 GM sayaç ve yapılan sayacın Co-60 gama nokta kaynağına karşı sayımlarının karşılaştırılması.

Şekil 6.2: MODEL 500 sayaç ve yapılan sayacın beta sayımlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.1: Diyot pompa devresine örnek şema.



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1: Germanyum ve silisyumun özellikleri [Millman vd, 1978].

Tablo 3.1: PIN yapıllı fotodiyodlara örnek isimler ve üretici firmaları.

Tablo 3.2: BPW-34'ün 25 °C deki foto-karakteristikleri [Rafinsoe, 1983 yazılı görüşme].

Tablo 3.3: Çeşitli gama kaynaklarıyla ışınlanan üç tane paralel bağlı BPW-34'den, profesyonel elektronik donanım kullanılarak elde edilen verim değerleri [Rafinsoe, 1983 yazılı görüşme].

Tablo 4.1: Bazı işlemsel yükselteçlere ait karakteristik özellikler [Holmes, 1984-a].

Tablo 5.1: Background sayım sonuçları.

Tablo 5.2: Sr-90'dan çıkan 0,534 MeV enerjili betaların sayım değerleri.

Tablo 5.3: Gama aktif Co-60 (E=1,25 MeV) kaynağının sayım sonuçları.

Tablo 5.4: Çeşitli radyoaktif kaynakların farklı uzaklıklardaki sayım değerleri.

Tablo 5.5: β -parçacıklarının polyethylene madde tarafından zayıflatılması.

Tablo 5.6: Deney 1 için background sayım sonuçları.

Tablo 5.7: Deney 2 için uzaklığın fonksiyonu olarak elde edilen sayım değerleri.

Tablo 5.8: Deney 3 için polyethylene içinde zayıflatılan gama ışınlarının, kalınlığın fonksiyonu olarak sayım değerleri.

Tablo 6.1. Nucleus firması yapımı MODEL 500 GM sayaç ile aynı şartlarda alınan sayım sonuçları

Tablo 6.2: β -parçacıkları için deneysel verim değerlerinin karşılaştırılması.

Tablo 6.3: S-NIH 01 sayacının deneysel verilerinden hesaplanan katkı teorik verim değerleri.

Tablo 6.4: 1,25 MeV ortalama enerjiye sahip Co-60'ın gama ışınlarına karşı verimlerin karşılaştırılması



SİMGELER LİSTESİ

- A : Detektör ile sayacın bağlantı noktası
ADC : Analog dijital çevirici
B : Ön-yükselteç çıkış noktası
BKGR : Background sayım ortalaması
C : Ana-yükselteç giriş noktası
D : Ana-yükselteç çıkış noktası
E : Diskriminatör çıkış noktası
E' : Eşik yükü
Ec : İletkenlik bandı
Ev : Valans bandı
Eg : Yasak enerji bandı
e : Elektron yükü
GM : Geiger-Müeller tüpü
I : Alıcı ve Verici safsızlık yoğunluğu eşit yarıiletken madde
MCA : Çok kanallı analizör
N₁ : Ön-yükselteç olarak kullanılan işlemsel yükselteç
N₂ : Ana-yükselteç olarak kullanılan işlemsel yükselteç
N₃ : D.C. seviye düzeltici olarak kullanılan işlemsel yükselteç
N₄ : Diskriminatör olarak kullanılan işlemsel yükselteç
No : İşlem numarası
P1 : D.C. seviye kalibrasyonunda kullanılan ayarlı direnç
P2 : Diskriminatör giriş seviyesini ayarlayan ayarlı direnç
R : $N-\bar{N}/\sigma$ değerinin tamsayıya yuvarlatılmış değeri
R_L : Detektöre seri bağlanan yük direnci
S/N : Sinyal-gürültü oranı
S-NIM 01 : yapılan radyasyon sayacına verilen kod isim

1. GİRİŞ

Radyasyon, elektromanyetik dalganın temelini teşkil eden enerji paketlerinden ya da maddenin yapı taşları olan kütleli, yüklü veya yüksüz taneciklerden oluşur. Radyasyonun maddesel parçacıklar kısmına nötronlar, protonlar, elektronlar, alfa parçacıkları ve daha temel düzeyde müonlar, pionlar, hadronlar gibi yüzlerce parçacık gösterilebilir. Radyasyonun enerji paketleri kısmına ise elektromanyetik dalga spektrumunun yüksek enerjili bölgesinde bulunan X-ışınları, gama ışınları ve bunlardan daha fazla enerjili olup uzayın derinliklerinden gelen ve özel olarak kozmik ışın adı verilen ışınlar örnek gösterilebilir. Hemen her tip radyasyon doğada kendiliğinden oluşabilir veya özel yöntemler ile yapay olarak elde edilebilir. Radyasyonun türünü, enerjisini, birim zamandaki çıkış sayısını ve belirli bir madde miktarı tarafından soğurulan enerjisini ölçmek için yapılan ön işlemlere genel olarak *Deteksiyon* denir ve bu işlemi yapan sistemlere de *Detektör* adı verilir. Dedeksiyon, radyasyonun maddeler ile farklı biçimde etkileşmesi nedeniyle çeşitli şekillerde yapılabilir.

X- ve gama ışınları gibi yüksüz ve kütsüz radyasyon doğrudan doğruya iyon çiftleri oluşturamadığı için öncelikle fotoelektrik, Compton veya çift oluşumu gibi bazı etkileşmelere girmelidir. Nötronlar da doğrudan iyonlaştırma ya da uyarma yapamazlar. Ayrıca büyük kütleli oldukları için elektronlar ile etkileşmelerde fazla enerji kaybetmezler. Bu nedenle nötron deteksiyonunda çekirdek reaksiyonlarına ihtiyaç duyulur. Bir çekirdek ile reaksiyona giren nötron, reaksiyon sonucu açığa çıkan enerjinin ölçümüyle veya meydana gelen yüklü parçacıkların bilinen deteksiyonu ile sayılır. Deteksiyon ortamı ile benzer biçimde etkileşen nükleer radyasyon çeşitleri; ağır yüklü parçacıklar (protonlar, alfa parçacıkları, ağır iyonlar vb.), elektronlar ve pozitronlar (β -parçacıkları), X- ve gama ışınları ve nötronlar olmak üzere dört gruba ayrılabilir.

Yukarıda belirtilen radyasyon türlerinin algılanarak elektrik pulslarına dönüştürülmesi, ikinci bölümde anlatılan detektör çeşitlerinden herhangi birisi ile gerçekleştirilebilir. Ancak, yapılacak sayıktan beklenen özellikler karşısında bir seçim

yapılması gerekir. Örneğin mekanik dayanıklılık, nisbeten küçük voltajlarla çalışma ve küçük boyutların istenmesi, gaz doldurulmuş tüp detektörlerin ve sintilasyon detektörlerinin kullanımını kısıtlar. Bu tür isteklere yarıiletken detektörler cevap verebilir. Fakat bu beklentilerin yanısıra yapılacak sayacın düşük maliyetli olması da gerekiyorsa detektör seçimi gerçekten önemlidir. Çünkü yarıiletken detektörler, elektriksel puls genliklerinin küçük olması nedeniyle oldukça karmaşık ve pahalı elektronik donanıma ihtiyaç duyarlar.

Bir radyasyon sayacında gerekli olan elektronik donanım: ön-yükselteç, ana-yükselteç, diskriminatör, sayıcı ve zamanlayıcı şeklinde bölümlere ayrılabilir. Bu devre bölümlerinin herbiri ayrı bir cihaz halinde ya da birleşik bir sistem olarak piyasadan satın alınabilir. Ancak bu devrelerin özel amaçlı ve yüksek teknoloji ile üretilmeleri, ücretlerinin birhayli yüksek tutulmasına neden olmaktadır. Böylece elektronik devre bölümleri hazır alınarak gerçekleştirilecek bir radyasyon sayacının maliyeti 10 milyon TL'nin çok üzerine çıkacaktır. Bu ise 1 milyon TL'den daha az maliyete sahip bir radyasyon sayacı geliştirilmesini imkansız kılar. Fakat devre bölümlerinin tamamı, elektronik malzeme satıcılarında bol miktarda bulunan, genel amaçlı ve ucuz diyebileceğimiz devre elemanları kullanılarak tasarlanabilir [Keeley, 1983 ; Astor, 1989 ; Holmes 1984].

Bu çalışmada, tamamen farklı amaçlar için üretilen infrared bölgesi alıcı fotodiyodlardan radyasyon detektörü olarak yararlanılmıştır. Bu fotodiyotlar, günlük yaşantımızın bir parçası haline gelen optik kontrol sistemleri için bol miktarda ve çeşitli tiplerde üretilmektedir. Böyle bir diyodun bugünkü satış ücreti 2 bin ile 8 bin TL arasında değişirken, aynı yüzey alanına karşılık yarıiletken bir radyasyon detektörünün satış ücreti 300 bin ile 800 bin TL arasında değişmektedir. Ayrıca bu tip infrared alıcı fotodiyodların radyasyon tepkileri incelendiğinde, verimlerinin çok kötü olmadığı ve hatta belirli enerji bölgeleri içinde spektroskopik çalışmaların bile yapılabileceği belirtilmiştir [Paffnsoe, 1983 yazılı görüşme]. Bu çalışmada, böyle bir fotodiyodu ve benzeri optik devre elemanlarını radyasyon detektörü olarak kullanabilecek, oldukça basit devre teorilerine dayanan ve ucuz

diyebileceğimiz bir elektronik sistem de geliştirilmiştir. Bu sistem, analog ve dijital devre birimleri olmak üzere başlıca iki bölümde ve 21 entegre devre kullanılarak yapılmıştır. Entegre devrelerin 8 tanesi analog devre birimlerde, geri kalan 13 tanesi ise dijital devre birimlerinde bulunmaktadır. Kullanılan bu entegrelerin ortalama ücreti 5 bin TL civarında dır.

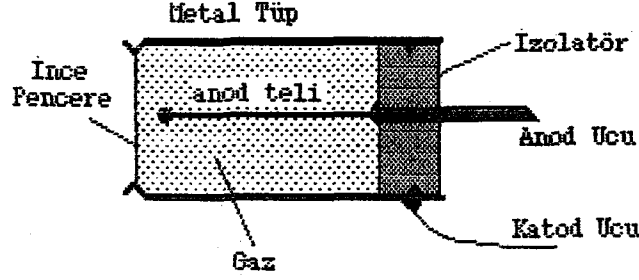
Geliştirilen radyasyon sayacının anlatımında olabildiğince sade bir dil kullanılmış ve elektronik terimlerden kaçınılmıştır. Böylece sistemin fiziksel niteliklerine daha fazla yer verilmiştir.

2 RADYASYON DETEKTÖRLERİ

Radyasyon deteksiyonunda birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak radyasyon enerjisinin deteksiyon ortamında soğurulması ve elektrik pulslarına dönüştürülmesi birkaç farklı şekilde gerçekleşir. Detektörler de buna göre tasarlanmış yapılara sahiptir ve bu nedenle temel çalışma prensibi bakımından birkaç sınıfta incelenebilir. Bu çalışma metodları genel olarak; radyasyon enerjisinin iyon çiftlerine dönüştürülmesi, ışık fotonlarına dönüştürülmesi ve elektron-deşik çiftlerine dönüştürülmesi şeklinde sıralanabilir. Bu dönüşüm ürünlerinden yararlanarak da, radyasyonu karakterize eden elektrik pulsları elde edilir.

2.1 Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler

Radyasyon enerjisinin önce iyon çiftlerine ve sonra da elektrik pulslarına dönüştürülmesi gaz doldurulmuş tüp detektörler tarafından sağlanır. Bu detektörler, genellikle katod olarak kullanılan ayrıca içi gaz ile doldurulmuş metal bir tübün merkez eksenini boyunca uzanan bir anod telinden oluşur. Merkezde bulunan anod teli ile katodu oluşturan metal tüp birbirlerinden bir izolator yardımıyla yalıtılmıştır ve bu iki elektrodun uçlarına elektriksel potansiyel farkı uygulanır. Bu tip bir detektörün yapısı Şekil 2.1'den incelenebilir. Bu detektörlerin α - ve β -parçacıklarına duyarlı hale getirilmesi, metal tübün ön veya yan yüzü üzerine çok ince malzemeden yapılmış bir pencere açılarak sağlanır. Ölçülecek radyasyon bu pencereden tüp içine alınır. Tüp içindeki gazla etkileşen radyasyon iyon çiftleri meydana getirir. Oluşan iyon çiftleri anod ve katod elemanları yardımıyla toplanır. Toplanan iyonlar elektriksel bir puls oluşturur ve böylece deteksiyon gerçekleşir. İyonları toplamak amacıyla elektrodlar üzerine uygulanan potansiyel farkının değiştirilmesi sonucu elektriksel çıkış pulsunun bazı değişikliklere uğradığı gözlenir. Potansiyel farkına karşı puls değişimi Şekil 2.2'de verilmiştir [Nicholson, 1973].



Şekil 2.1: Gaz doldurulmuş tüp detektörün yapısı.

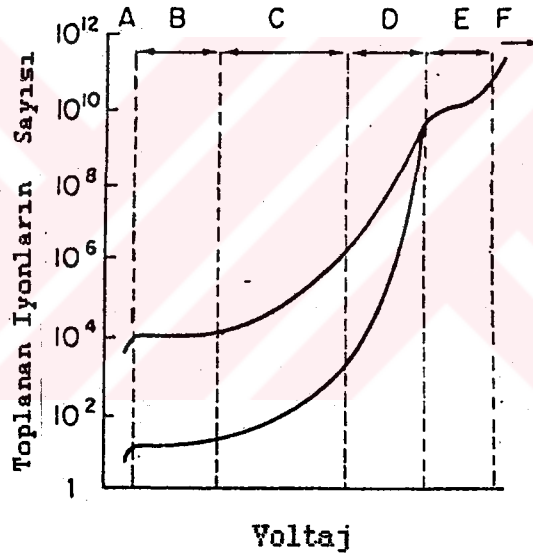
Şekil 2.2'de B ile gösterilen voltaj aralığı, *İyonizasyon Odası* adıyla bilinen detektörlerin çalışma bölgesidir. Bu detektörlerde tüp içine giren iyonlaştırıcı bir parçacık, elektron-pozitif iyon çiftleri meydana getirir. Oluşan iyon çiftlerinin yeniden birleşme olasılığı gözönüne alınmazsa, odanın iki elektrodu arasındaki elektrik alanın etkisi altında zıt yönlerde hareket ederler. İyon çiftlerinin elektrodlar tarafından toplanması sonucunda oluşan elektrik pulsunun genliği, soğurulan radyasyon enerjisine eşit değerdedir.

Orantılı Sayaç bölgesi olarak bilinen ve Şekil 2.2'de C ile gösterilen aralıkta ise soğurulan radyasyon enerjisi ile orantılı fakat daha büyük genlikli pulslar elde edilir. Çünkü bu bölgede, elektrodla doğru hareket eden ilk iyon çiftleri daha fazla enerjiye sahip olur ve bu iyonlar da yolları üzerindeki atomları iyonlaştırarak, tüp içindeki toplam iyon sayısını yükseltir. Bu yükseltmeye *Gaz Yükseltme Faktörü* denir ve ilk iyonlaşmanın 10^4 katı olabilir [Knoll, 1989].

Orantılı sayaçlardaki elektrik alanın iyonizasyon odasındaki alandan büyük olması nedeniyle pulsun yükselme zamanı nisbeten kısadır ($\sim 50 \mu s$). Tüp içine konacak gaz için genellikle argon tercih edilir. Krypton ve Xenon, yüksek enerjili X-ışınlarının deteksiyonunda ya da yüksek verim gerektiren uygulamalarda seçilir. Düşük enerjili X-ışını deteksiyonunda ise neon ve bazen de P-10 olarak bilinen %90 argon - %10 metan karışımı da kullanılır [Tsoulfanidis, 1983; Knoll, 1989; Nicholson, 1973]. Gaz basıncının tipik değeri birkaç atmosfer olabilir. Gaz yükseltmesi nedeniyle

çıkış pulsu, iyonizasyon odasından ve hatta yarıiletken detektörlerden çok yüksektir. Orantılı sayaç özellikle 250 eV kadar düşük enerjili radyasyon deteksiyonunda kullanışlıdır. Yarıiletken detektörler bu performansı gösterebilirse de çok düşük gürültülü preamplifikatör tasarımı gerektirir.

Genel olarak, uygulamada bulunan orantılı sayaçlar yüklü parçacık deteksiyonunda da yeterli verime sahiptir. Bununla birlikte nötron deteksiyonunda BF_3 gazı kullanılabilir ya da detektör hidrojen içeren bir madde ile kaplanabilir. Bu şekilde yüksek sıcaklık ve nötron akımının bulunduğu reaktör bölgelerinde kullanım alanı bulur. Keza bu tür ortamlarda diğer detektörlerin kullanımı mümkün değildir.



Şekil 2.2: İki farklı parçacık enerjisi için, uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak toplanan iyonların nisbi sayısı. A ; yeniden birleşme bölgesi, B ; iyonizasyon odası bölgesi, C ; orantılı sayaç bölgesi, D ; orantısız bölge, E ; Geiger tüpü bölgesi, F ; sürekli boşalma bölgesi [Nicholson, 1973].

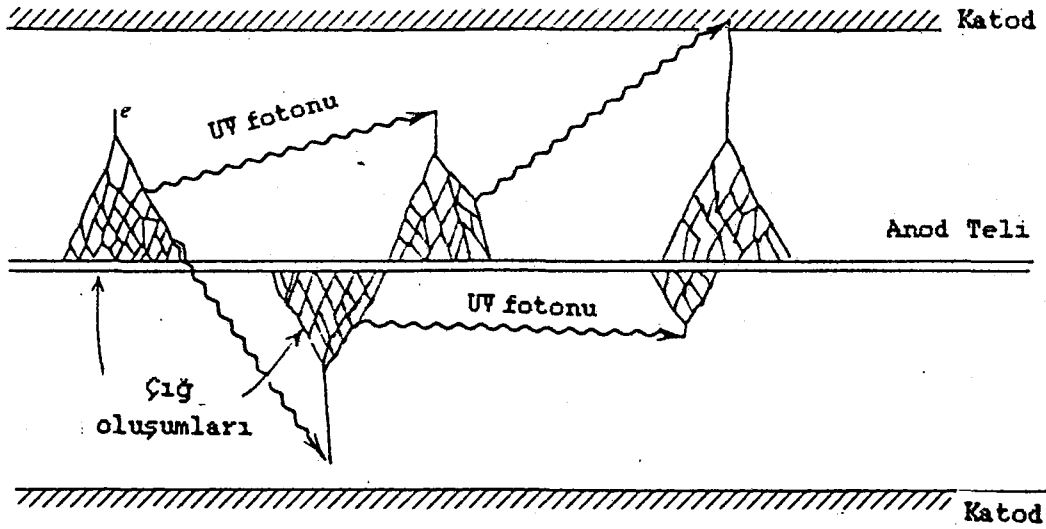
Orantılı sayacın elektrodları arasındaki potansiyel farkı arttırılmağa devam edilir ve Şekil 2.2'deki E bölgesi içine girilirse, toplanan yük miktarı orjinal iyonlaşmadan bağımsız hale gelir. Bu durumda, birkaç yüz voltluk değişim boyunca önemsiz bir

eğim farkı gözlenir. Eğimin %2-5 arasında artış gösterdiği bu bölge GM (Geiger-Müeller) tüpünün çalışma bölgesidir ve *Plato Bölgesi* adını alır. Plato bölgesinde çalıştırılan bir GM tüpü içine yüklü bir parçacık girdiği zaman iyon çiftleri meydana gelir. Bu iyon çiftleri tüp içindeki yüksek alan etkisiyle çok fazla hızlandırıldığı için beklenenden daha fazla iyonlaşma ve hatta sürekli iyonlaşma meydana gelebilir. Sürekli iyonlaşma *Boşalma* olarak da bilinir. Kısaca tüp içine giren ve bir tek iyon çifti oluşturabilen bir radyasyon yukarıda anlatıldığı gibi bir tetik mekanizmasını çalıştırır. Bu durumda tüpten elde edilen elektriksel çıkış pulslarının genliği orjinal iyonlaşmadan bağımsızdır. Bu nedenle GM tüpleri spektroskopik uygulamalarda kullanılamazlar.

Tetik mekanizması şu şekilde özetlenebilir. Anod yakınında çok fazla hızlandırılan elektronlar aşırı sayıda atomu uyarırlar. Uyarılmış atom veya moleküllerin temel duruma dönmesi sırasında UV ve görünür bölge ışınları yayınlanır. Bazan bu fotonlar gazdan ya da tüp duvarlarından fotoelektron sökerler. Böylece tübün küçük bir kısmında başlayan çığ, kısa zamanda tübün her tarafına yayılır. Bu olay Şekil 2.3`de sembolik olarak gösterilmiştir [Knoll, 1989]. Boşalmayı önlemek için, bütün GM tüplerinde *Söndürme* adı verilen bazı metodlar kullanılır. Söndürme işi genellikle tüp içindeki asal gazla, bu işi yapacak nitelikte farklı gazlar eklenerek gerçekleştirilir.

Bir GM tübü için tipik gaz doldurma oranı asal gaz olarak %90 argon ve söndürücü gaz için de %10 alkol şeklinde dir. Böyle bir karışımda tüp, yaklaşık 10^8 ile 10^9 sayım yapabilmektedir [Tennelec, 1991]. Çünkü bundan sonra alkol gazı parçalanmalar nedeniyle tüp içindeki varlığını kaybeder ve tüp kullanılamaz hale gelir.

Diğer bir gaz ilavesi, halojen türü gazların ~ %0.1 oranında kullanılmasıyla yapılır. Bu tür ilavede çift atomlu halojen gaz molekülü söndürme işleminde parçalanır. Fakat molekülün yeniden oluşması, gazın tamamen yok olmasını önler. Söndürmenin halojen ile yapıldığı tüplerin ömrü, organik söndürmeli tüplerinkinden çok daha uzundur. Fakat bununla beraber, halojen gazlarının yüksek paslandırıcı etkisinin önüne geçmede özel yapım teknikleri gereklidir [Canberra, 1981 ; Duggan, 1988].



Sekil 2.3: Bir GM tübü içinde oluşan orjinal iyonlaşma ve daha sonra UV fotonlarının neden olduğu ikincil iyonlaşmalar [Knoll, 1989].

Boşalmayı takip eden kısa zaman aralığında GM tübü, içeri giren başka bir parçacığın oluşturacağı ikinci bir tetiklemeye duyarsızdır. Tüp ancak 100-200 μ s sonra yeniden tetiklenebilir. Fakat yine de ikinci tetikleme tam değerine ulaşamaz. Kısmi olarak gerçekleşen bu boşalma, tüp arkasına bağlanmış elektronik devrelerin hassasiyetine bağlı olarak, sayım devresine iletilir. Kullanılmayan bu zaman aralığı *Ölü Zaman* olarak tanımlanır ve bu zamana karşılık sayımda azalma gözlenir.

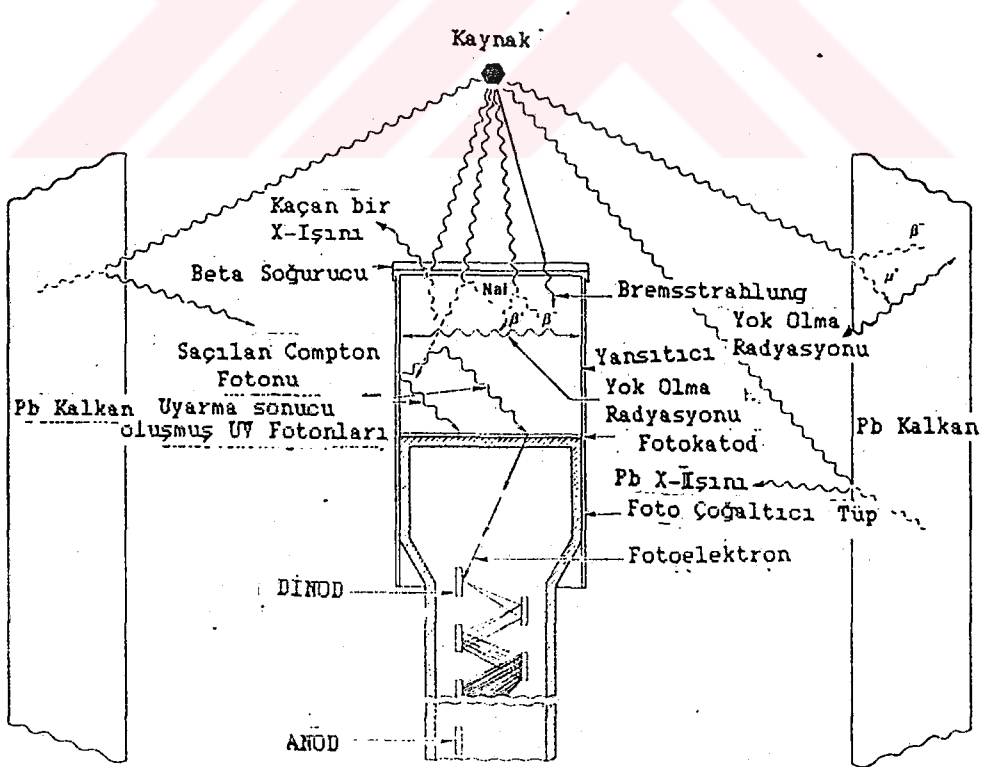
Bir GM tübünden elde edilen çıkış pulslarının genliği birkaç volt civarında olabilir. Bu nedenle karmaşık elektronik devrelere ihtiyaç duyulmaz ve son derece basit elektronik devre elemanlarıyla bir GM sayacı tasarlanabilir. Herşeye rağmen tübün mekanik dayanıklılığının az olması ve nisbeten yüksek voltaj gerektirmesi olumsuz yanları olarak sıralanabilir.

2.2 Sintilasyon Detektörleri

Radyasyon enerjisini önce ışık fotonlarına ve daha sonra foto çoğaltıcı tüp yardımıyla elektrik pulslarına dönüştüren detektörlere *Sintilasyon Detektörleri* adı verilir. Radyasyon

enerjisini ışık fotonlarına dönüştürmek için kullanılan maddelere ise *Sintilatör* denilmektedir. Bir sintilatör içine giren radyasyon, ortamdaki atomları uyararak suretiyle enerjisini kaybeder. Uyarılan atomlar, sintilatörü karakterize eden fotonlar yayınlamaya başlayarak temel durumlarına dönerler. Bu sırada oluşan fotonlar, özel bir yapıya tekniğiyle foto çoğaltıcı tübün *Fotokatod* adı verilen elemanı üzerine düşürülür. Bu fotonlar, fotokatod elemanından fotoelektronlar sökerler. Bu elektronlar da foto çoğaltıcı tüp içinde bulunan ve dinod adı verilen elektron çoğaltıcı elemanlar yardımıyla çoğaltılarak anodda toplanır. Bunun sonucunda, genliği radyasyon enerjisiyle orantılı bir elektrik pulsu meydana gelir.

Sintilatörlerde aranılan genel özellikler kısaca; nükleer radyasyonun soğurulması sırasında ortaya çıkan ışığın oluşum zamanınının kısa olması, maddenin kendi oluşturduğu ışığa karşı saydam olması ve bu ışığın da kullanılan foto çoğaltıcı tübün fotokatod spektrumuna uygun olması gibi sıralanabilir. Ayrıca uygulama alanına göre çeşitli ölçülerde ve katı, sıvı ya da gaz halinde kullanılabilir olması aranılan özellikler içindedir.



Şekil 2.4: Bir NaI(Tl) sintilatörün foto çoğaltıcı tüp ile birlikte kullanımı [Duggan, 1968].

Bir sintilatörün ışık çıkış yolu üzerine yerleştirilen foto çoğaltıcı tüplerden birkaç voltluk elektrik pulsları alınabileceği için parçacık sayımına yönelik uygulamalarda çok karmaşık ve hassas elektronik devreler gerekmez. Spektrum analizine yönelik uygulamalarda nisbeten biraz daha hassas devre tasarımına ihtiyaç vardır [Nicholson, 1973; Knoll, 1989].

Bir NaI sintilatörünün foto çoğaltıcı tüp ile birleştirilmesiyle yapılmış sintilasyon detektörünün yapısı ve radyasyonla ışınlanması sırasında oluşabilecek olaylar Şekil 2.4'de verilmiştir [Duggan, 1988].

2.3. Yarıiletken Detektörler

Yarıiletken detektörlerde radyasyonun algılanması, diğer detektör tiplerinden farklı olarak *elektron-deşik* çiftleri tarafından sağlanır. Bir yarıiletken maddenin radyasyon soğurması sırasında ortaya çıkan elektron-deşik çiftlerinin sayısı, yarıiletken maddenin özelliklerine ve soğurulan radyasyonun niteliklerine sıkı sıkıya bağlıdır. Bu nedenle, radyasyonun tipine ve enerjisine göre farklı yarıiletken maddeler seçilir veya çeşitli bölgelerinin özellikleri değiştirilerek daha aktif ve kullanışlı hale getirilen yarıiletken maddeler kullanılır. Yarıiletken radyasyon detektörü yapımında en çok kullanılan silisyum ve germanyumun bazı özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Ayrıca radyasyon detektörü yapımında kullanılacak yarıiletken maddelerde aranılan genel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a) Nükleer radyasyondan dolayı üretilecek elektron-deşik çiftlerinin büyük sayıda oluşması için, küçük Eg değeri
- b) Verimli toplamayı sağlayacak yeterlikte uzun taşıyıcı ömrü ve bununla birlikte sinyalin hızlı yükselmesini sağlayacak yeterince yüksek elektron ve deşik mobilitesi
- c) Gama ışını ölçümünde, büyük değerlerde etki kesiti oluşturmak için yüksek atom numarasına sahip olması
- d) Sızıntı akımını minimum düzeyde tutmak için en az sayıda azınlık taşıyıcısı bulundurması istenir.

Tablo 2.1: Germanyum ve silisyumun özellikleri [Millman , 1978].

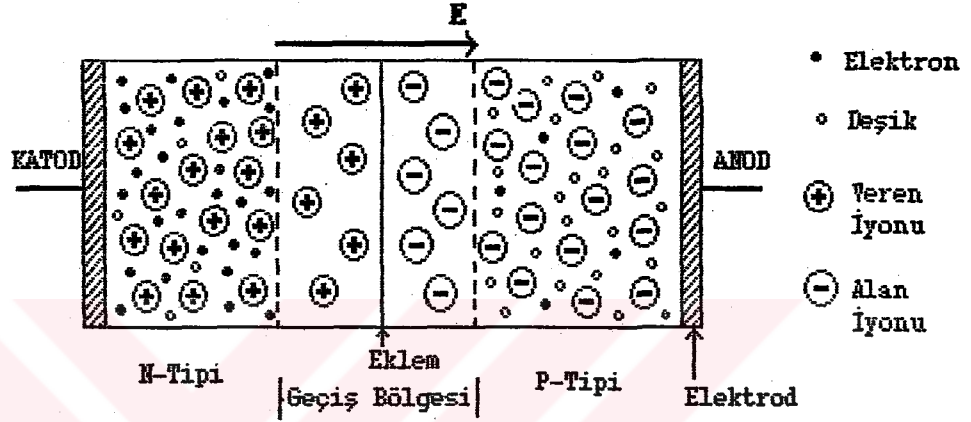
Özellik	Ge	Si
Atom numarası	32	14
Atom ağırlığı	72,6	28,1
Yoğunluk g/ cm ³	5,32	2,33
Dielektrik katsayısı (Bağıl)	16	12
Atom / cm ³	4,4x10 ²²	5x10 ²²
E _{g0} .eV, 0 °K'de	0,785	1,21
E _g .eV, 300 °K'de	0,67	1,14
Saf yarıiletkenin özgül direnci.		
Ω.cm. 300 °K'de	45	230000
μ _n . cm ² /Vs	3800	1300
μ _p . cm ² /Vs	1800	500
D _n . cm ² /s = μ _n V _T	99	34
D _p . cm ² /s = μ _p V _T	47	13

Yarıiletken detektörler yapım tekniklerine bağlı olarak birkaç grupta incelenebilir.

2.2.1 P-N Eklemlenmiş detektörler

Saf bir yarıiletken kristalin Şekil 2.5'de görüldüğü gibi sağ tarafını, alan atomları katkısıyla P tipine ve sol tarafını da veren atomları katkısıyla N tipine dönüştürmek mümkündür. Böyle bir durumda iki tip maddenin birleşim bölgesinde bir P-N eklemi oluşur. Başlangıçtaki yoğunluk gradyanı nedeniyle N tipi madde içindeki elektronlar eklemi geçerek P tipi tarafına, P tipi madde içindeki deşikler de N tipi madde tarafına geçerler. Kısa süre içinde eklem yakınında, elektronlar ile deşikler birleşerek, taşıyıcıdan arınmış bir bölge meydana getirirler. Aynı bölgenin P tipi tarafında hareketsiz negatif iyonlar, N tipi tarafında da hareketsiz pozitif iyonlar kalır. Bu iyonlardan kaynaklanan bir

elektrik alan, elektronlar ile deşiklerin eklemi geçmelerini önleyecek bir şiddete ulaşınca kadar artar ve bir denge kurulur. Oluşan elektrostatik dengeden sonra her iki tip madde içinde, termal uyarımlar sonucu azınlık taşıyıcıları üretilir. Buna göre N tipi içinde oluşacak deşikler ile P tipi içinde oluşacak elektronlar *Azınlık Taşıyıcıları* adını alır.



Şekil 2.5: Bir P-N eklemine iç yapısı [Sze, 1969].

Bu şekilde düzenlenmiş yarıiletkenin P ve N taraflarına birer elektrod yerleştirilir. Bu elektrodla uygulanan potansiyel farkına *Bias Voltajı* denir. Biasın yüksek potansiyeli anoda, düşük potansiyeli de katoda uygulanırsa, çoğunluk yük taşıyıcıları eklem bölgesine doğru itilir. Biasdan kaynaklanan elektrik alanın şiddeti, geçiş bölgesi üzerindeki alan şiddetinden büyük olması halinde çoğunluk yük taşıyıcıları eklemi geçerek, eklem üzerinden büyük bir akımın akmasına neden olur. Eklem bu şekilde kullanımına *Doğru Biaslama* denir. Elektrodla uygulanan potansiyelin ters çevrilmesi durumunda eklem ters biaslanmış denir. Bu kullanımda P ve N tipi yarıiletkenler içinde bulunan azınlık taşıyıcıları eklemi geçerek küçük bir akım meydana getirirler. Bu akıma *Sızıntı Akımı* denir. P-N eklemli radyasyon detektörlerinde ters biaslama sıkça kullanıldığı için sızıntı akımının büyüklüğü çok önemlidir.

Bir P-N eklemi ters biaslandığı zaman, geçiş bölgesi içindeki alanı artıracak yönde harici bir alan oluşur. Bunun sonucunda geçiş

bölgesi, bias alanının büyüklüğüne bağlı olarak eklem her iki tarafına doğru genişler. Genişleme sonucu oluşan tabakanın radyasyon tarafından ışınlanması halinde meydana gelecek elektron-deşik çiftleri, azınlık taşıyıcılarının oluşturduğu sızıntı akımına katkıda bulunur. Sızıntı akımındaki değişim miktarı radyasyon enerjisi ile doğrudan orantılıdır.

Bu tip radyasyon detektörlerinin enerji cevabı ve gürültü performansları, sızıntı akımı ve elektrodların düzenlenme metodlarına bağlıdır. Parçacık deteksiyonunda yarıiletken madde olarak genellikle silisyum seçilir. Çünkü silisyumun yasak band genişliği, oda sıcaklığında yeterince küçük sızıntı akımı sağlamaya elverişlidir. Ayrıca parçacık deteksiyonu yapıldığı için detektör ortamının yüksek atom numarasına sahip olması da gerekmez. Ancak gama veya X-ışını deteksiyonunda, yüksek atom numaralı olması sebebiyle germanyum tercih edilir. Germanyum detektörler soğutulmuş kullanılmaktadır. Çünkü germanyumun yasak band genişliğinin küçük olması oda sıcaklığındaki sızıntı akımını yükseltir. Germanyum detektörlerinin soğutulması genellikle sıvı nitrojen (77 °K) yardımıyla yapılır.

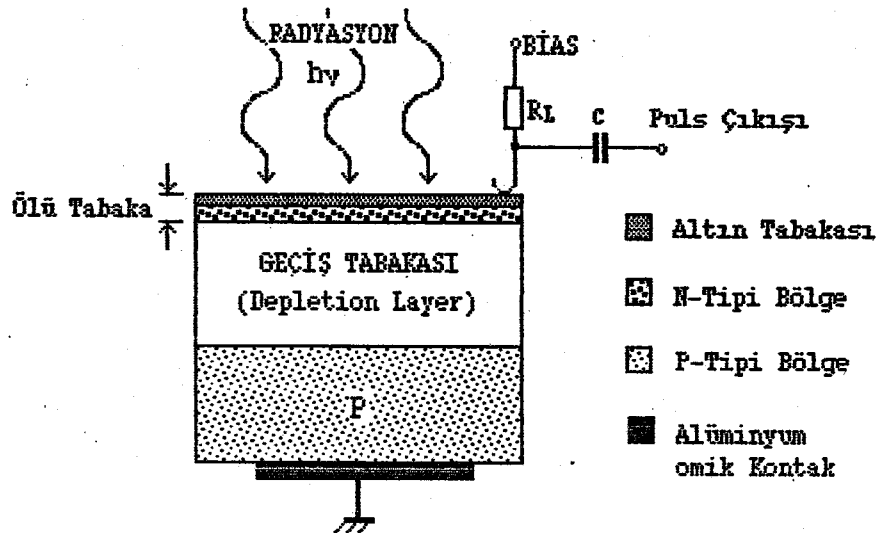
2.3.2 Yüzey engelli detektörler

Ters biaslanmış P-N ekleminde geçiş bölgesinin hangi tarafa doğru daha fazla genişleyeceği, P ve N tipi maddelerin katkı sonucu elde edilen ρ_p ve ρ_n dirençlerine bağlıdır. Eğer bias voltajı V ve $\rho_p \gg \rho_n$ ise geçiş bölgesi, yüksek dirençli P tarafına doğru $\rho_p \cdot \sqrt{V}$ oranısıyla genişleyerek bir tabaka halini alır [Nicholson, 1973]. Detektörün bu tabaka dışında kalan bölgelerindeki elektrik alanın önemsiz düzeyde olması nedeniyle bu bölgeler, parçacık deteksiyonu için duyarsızdır. Ancak böyle bir ölü tabaka ya da pencerenin yüklü parçacık deteksiyonunda kullanılması yararlıdır. Çünkü yüksek enerjili parçacıklar yarıiletken kristali içinde istenmeyen kusurlar meydana getirerek detektörün bozulmasına neden olabilir. Bütün bunlar, 0,1 μm ile 1 μm kalınlığında pencere verebilen yüzey engelli detektörlerin tasarlanma ilkesini ortaya koymuştur.

Bu detektörler birkaç farklı metolla üretilebilirler. Bunlardan birisinde P tipi silisyumun ön yüzüne doğru yüksek sıcaklıklarda (~ 800 °C) fosfor atomları difüzlenerak verici katkısı yapılır [Tsoulfanidis, 1983]. Böylece yüzeysel bir N tipi bölge ve yüzeye yakın P-N eklemi gerçekleşir. Daha sonra ön yüze metal film evaporasyonu ile bir elektrik kontağı yapılarak N tipi bölge, orjinal P tipinden daha fazla iletken hale getirilir. Bunun sonucunda geçiş tabakası, P tipi madde tarafına doğru daha fazla genişleyecektir.

Yüksek sıcaklık gerektirmeyen bir başka yöntemde N tipi silisyumun ön yüzeyi oksitlendirilir. Oksit tabakası oldukça yoğun bir P tabakası oluşturacaktır. Başka bir teknik ise iyon yerleştirme yoluyla yüzeysel P veya N tipi madde oluşturmaktır. İyon yerleştirme tekniği, bir hızlandırıcıdan elde edilen iyonların yarıiletken madde yüzeyine çarptırılması şeklinde gerçekleştirilir. Bu iyonlar madde yüzeyinden kısa bir mesafe içeri girerek kristal atomlarına bağlanır.

Yüzey engelli detektörler, 1 mm'ye kadar geçiş tabakası verebilecek biçimde yapılabilirler. Bu kalınlıkta aktif bölgeye sahip detektörler, bir çok yüklü parçacığın deteksiyonu için tatminkardır. Bir yüzey engelli detektörün kısımları Şekil 2.6'dan incelenebilir.



Şekil 2.6: Yüzey engelli detektörün yapısı [Knoll, 1989].

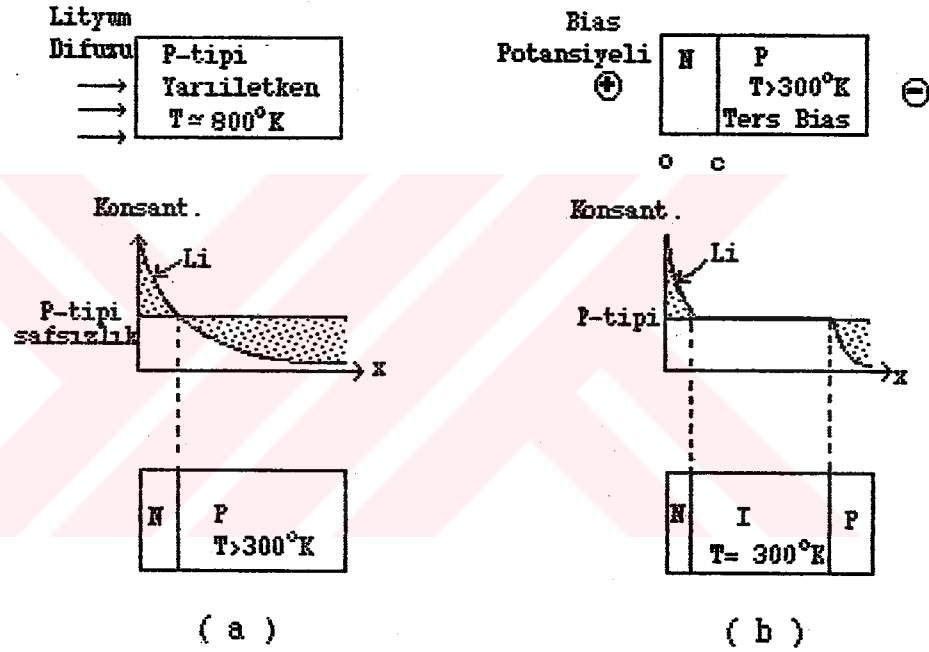
2.3.3 Lityum sürüklemeli detektörler

Yüzey engelli detektörlerdeki geçiş tabakasının kalınlığı, yeterince yüksek saflıkta yarıiletken madde elde edilememesi nedeniyle 1 mm'yi geçmez. Yarıiletken maddeler içinde bulunan safsızlıklar, düzeltici safsızlık katkısı - zıt işaretli taşıyıcı katkısı - ile azaltılabilir. Yani; P tipi safsızlık bulunduran maddeye N tipi katkı yapılarak P ve N tipi safsızlık konsantrasyonu eşitlenebilir. Böyle bir durumda elektronlar ile deşikler birleşerek madde içindeki taşıyıcı yoğunluğunu azaltır. Sonuç olarak daha yüksek dirençli yarıiletken madde elde edilir. Eğer düzeltici safsızlık, madde içinde homojen bir şekilde dağılmaz ve belirli bir yüzeyde toplanır ise bir P-N eklemi oluşur.

Lityum difüzyonu yapılan yarıiletken madde N tipi safsızlığa sahip olur. Eğer homojen bir P tipi safsızlığa sahip yarıiletkenin ön yüzüne yüksek sıcaklıklarda (~500 °C) ve belirli bir süre lityum difüzyonu yapılırsa Şekil 2.7-a'daki gibi bir konsantrasyon profili elde edilir. Şekilden de görüldüğü gibi difüzyon süresi sonunda yüzeyden $x=c$ kadar içeride bir P-N eklemi meydana gelir. Pozitif yüklü lityum iyonları, oda sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda serbestçe hareket edebilirler. Buna göre, eklemin ters biaslanması halinde lityum iyonları, eklem yakınındaki yüksek elektrik alan altında hızlı bir şekilde P tarafına doğru sürüklenirler ve Şekil 2.7-b'deki konsantrasyon profilini oluştururlar. Buradan görüldüğü gibi P ve N tipi maddeler arasında oldukça kalın ve taşıyıcılardan arınmış bir bölge oluşur. Silisyum içinde 5-10 mm, germanyumda ise 10-15 mm kalınlıklarda ve 120 cm³ aktif hacimlerde yapılabilen bu bölgeye I (intrinsic) tipi bölge denir [Knoll, 1989 ; Tsoulfanidis, 1983].

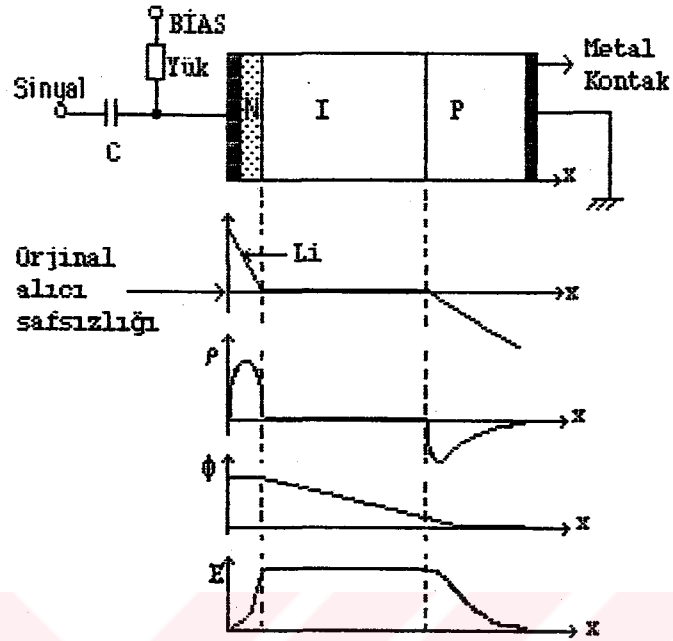
Lityum sürüklemeli detektörler genellikle Si(Li) ya da PIN biçiminde gösterilirler. Bu detektörlerin pencere kalınlığı en fazla 100 µm olabilir. Fakat bu kalınlık gama ve X-ışını deteksiyonu için çok önemli değildir. Oda sıcaklığında kullanılacak detektörlerin yapımında, başlangıç maddesi olarak silisyum tercih edilir. Ancak gama ve X-ışını spektroskopisinde, büyük fotoelektrik

etki kesiti vermesi için germanyum kullanılır. Ge(Li) detektörler, gürültünün azaltılması için sıvı nitrojen ile soğutulmalıdır. Ayrıca lityum iyonlarının yeniden dağılmasını önlemek için bu detektörler, kullanılmadıkları süre içinde dahi düşük sıcaklıklarda saklanmalıdır. PIN detektörlerin aktif hacimleri, görüldür bölge ve infrared ışınlarına karşı aşırı duyarlıdır. Bu nedenle radyasyon ölçümleri, ışık geçirmez kutular içinde yapılmalı veya detektörün aktif hacminin özel yöntemlerle ışık almaması sağlanmalıdır [Knoll, 1969 ; Tsoulfanidis, 1983 ; Nicholson, 1973 ; Canberra, 1981].



Şekil 2.7: Lityum sürüklemeli radyasyon detektörünün yapım aşamaları [Tsoulfanidis, 1983].

PIN yapısındaki bir radyasyon detektörünün kullanımı, safsızlık konsantrasyonu, taşıyıcı yük yoğunluğu ρ , elektrik potansiyeli ϕ ve elektrik alanı E Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8: PIN yapısındaki safsızlık konsantrasyonu, taşıyıcı yük yoğunluğu ρ , elektrik potansiyeli ϕ ve elektrik alanı E [Knoll, 1989].

3. INFRARED FOTODİYODLAR

Fotodiyotların yapısı ikinci kısımda anlatılan yarıiletken detektör yapılarıyla hemen hemen aynıdır. Aralarındaki fark genel olarak geçiş tabakası kalınlığı ve aktif yüzey büyüklüğüdür. Fotodiyotlar, düşük enerjili fotonların - infrared ve ultraviyole ışın aralığı - soğurulması sonucu işlevlerini yerine getirirler. Bu enerji aralığındaki fotonların soğurulması için birkaç mikron kalınlığındaki geçiş tabakası yeterlidir [Sze, 1969]. Bu tür diyotların optik iletişim sistemlerinde - infrared uzaktan kumanda sistemlerinde, optik haberleşme ve data iletim sistemleri v.b. - kullanılmak üzere üretilen tipleri diğerlerine göre daha geniş yüzeyli, nispeten kalın geçiş tabakalı ve hızlı çalışma özelliklerine sahiptir. Bu özellikler fotodiyoda, ikinci bölümde alt konu olarak incelenen lityum sürükleme tekniği ile kazandırılır. PIN yapılı fotodiyotlar da denilen bu diyotlara birkaç örnek isim ve üretici firmaları Tablo 3.1'de verilmiştir.

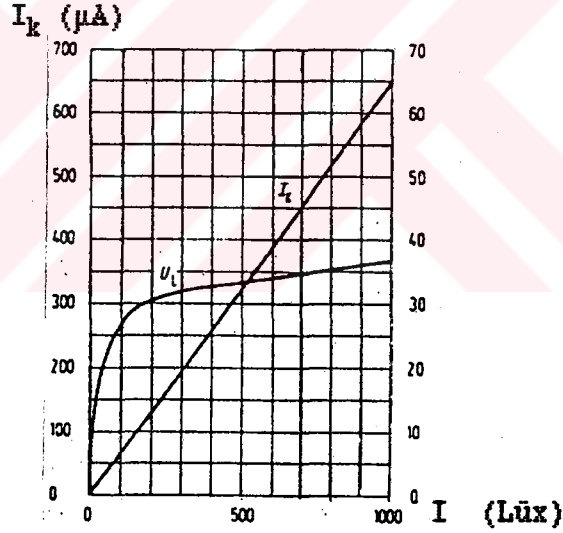
Tablo 3.1: PIN yapılı fotodiyotlara birkaç örnek isim ve üretici firmaları.

İsim	Üretici Firma
* BPW 34	Siemens AG
BPX 66	Siemens AG
BPX 65	Hewlett - Packard
BPW 35	AEG - Telefunken
BPW 41 D	Ferranti

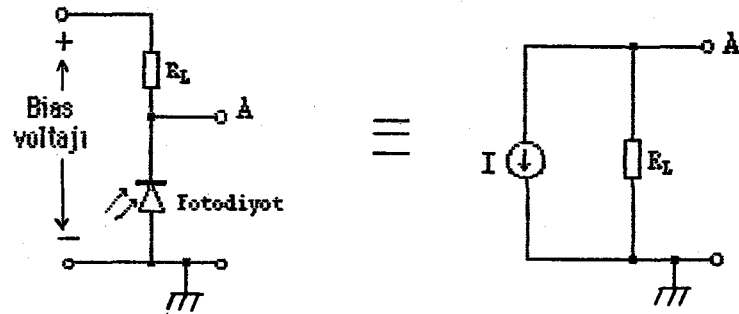
Fotodiyotlar devreye doğru ve ters olmak üzere iki farklı tipte bağlanabilirler. Bu bağlantılar ; diyodun doğru biaslanması halinde *Voltaaj Kaynağı* ters biaslanması halinde ise *Akım Kaynağı*

*) Yapılan radyasyon sayacında detektör olarak kullanılan PIN fotodiyotu

olarak tanımlanır. Doğru biaslama durumunda diyot üzerindeki voltaj, diyot üzerine düşen ışık şiddetiyle non-lineer bir değişim gösterir [Ziel, 1969]. Bu nedenle ışık şiddeti ölçümü gibi uygulamalarda akım kaynağı tipi yaygın olarak kullanılır. Çünkü diyot akım kaynağı biçimiyle devreye bağlandığında diyot üzerinden geçecek akım, üzerine düşecek ışık şiddetiyle lineer bir değişim gösterir [Holmes, 1983]. Radyasyon detektörü olarak kullandığımız BPW-34 PIN fotodiyodunun, ışık şiddetine bağlı olarak üzerinden geçen akım Şekil 3.1'de verilmiştir. Akım kaynağı biçiminde bağlanmış bir fotodiyodun radyasyonla ışınlanması sonucu benzer bir değişimin beklenmesi doğaldır. Yani radyasyon, diyodun aktif hacmi içerisinde bırakacağı enerjisi ile orantılı bir akımın diyot üzerinden akmasına neden olacaktır. Bu çalışma mekanizması, yarıiletken detektörler kısmında detaylı biçimde incelenmiştir.



Şekil 3.1: BPW-34 PIN fotodiyodunun ışık şiddetine karşı kısıadevre akım karakteristiği [Holmes, 1983].

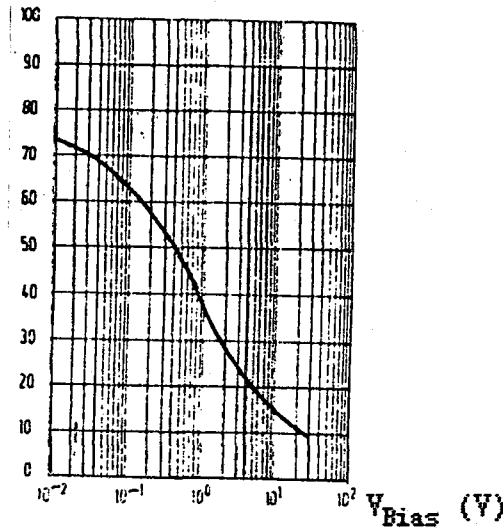


Şekil 3.2: Fotodiyodun akım kaynağı olarak bağlanması [Holmes, 1983].

Akım kaynağı biçiminde çalıştırılacak bir fotodiyot, ters bias için d.c. voltaj kaynağına ihtiyaç duyar. Bu kaynak, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi bir R_L yük direnci üzerinden diyoda bağlanabilir. Bias voltajının değişimi geçiş tabakası kalınlığının değişmesine neden olur. Bu ise diyodun ters bias halindeki kapasitesinin değişmesi ile eş anlamlıdır ve bu değişim Şekil 3.3'de verilmiştir. Akım kaynağı biçiminde çalıştırılan diyodun üzerinden karanlıkta dahi küçük bir akım akar. Bu akıma diyodun *Karanlık Akımı* denir ve termal uyarımlar sonucu geçiş tabakası içinde oluşan azınlık yük taşıyıcıları tarafından üretilir. Azınlık taşıyıcılarının sayısı, bias voltajının yükselmesiyle beraber artış gösterir. Böylece, bir fotodiyodun karanlık akımı, bias voltajına bağlı olarak da değişir. Karanlık akımının sıcaklık ve bias voltajıyla değişimi Şekil 3.4'de verilmiştir.

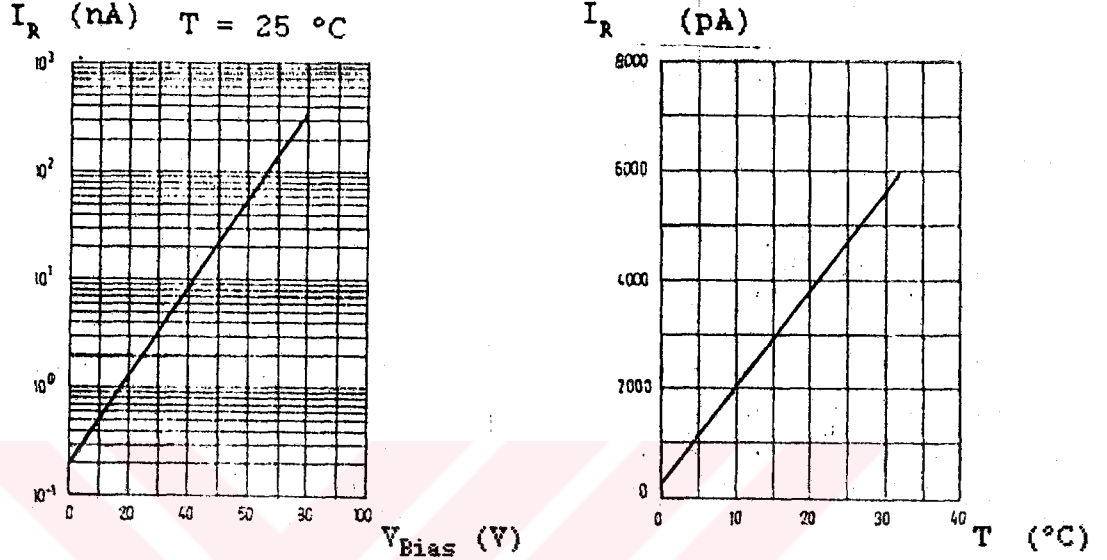
BPW-34 PIN fotodiyodunun fiziksel görüntüsü Şekil 3.5 'den incelenebilir. Diyodun her iki tarafında bulunan elektriksel bağlantı uçları ve ışık geçiren plastik bir tabaka ile kaplanmış PIN yapıları silisyum yonganın (chip) yerleşimi de yine Şekil 3.5'de görülebilir. Diyodun katod ucu, bağlantı uçlarının birisi

C (pF)

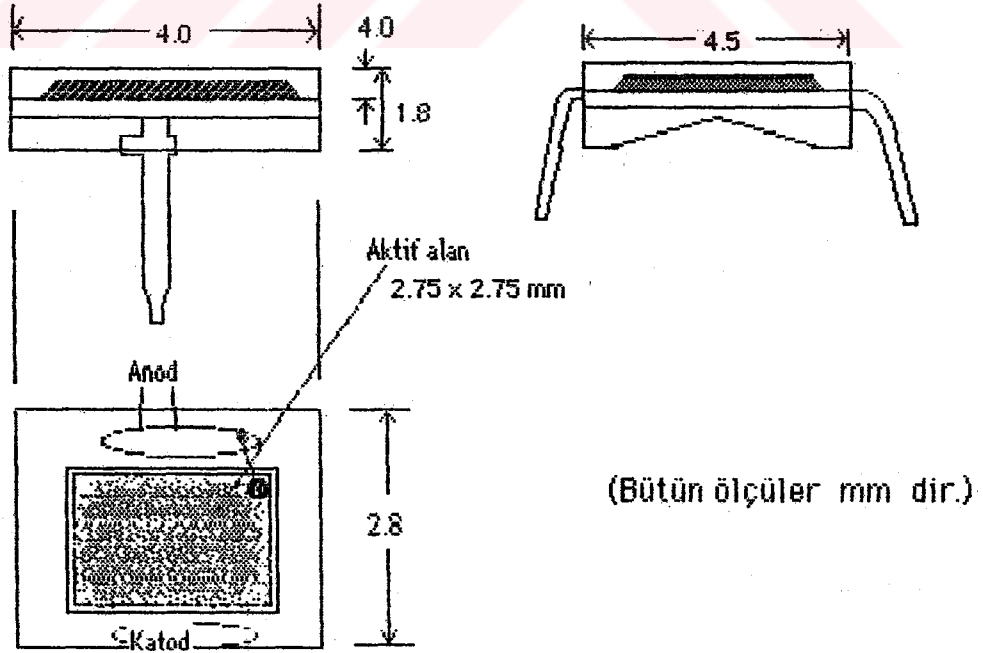


Şekil 3.3: BPW-34 PIN fotodiyodunun bias voltajıyla kapasite değişimi [Holmes, 1983].

üzerindeki küçük çıkıntı ile belirtilmiştir. Işığa duyarlı alanı 7.6 mm^2 olan BPW-34 fotodiyodunun foto-karakteristikleri $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık için Tablo 3.1'de verilmiştir. Bunlara ek olarak, ters bias voltajının 30 V ve diyot üzerinde harcanan gücün 150 mW 'ı geçmemesi üretici firma tarafından tavsiye edilmiştir.



Şekil 3.4: Karanlık akımının sıcaklık ve bias voltajına göre değişimi [Holmes, 1983].



Şekil 3.5: BPW-34'ün fiziksel görüntüsü [Raffinsoe, 1983 yazılı görüşme].

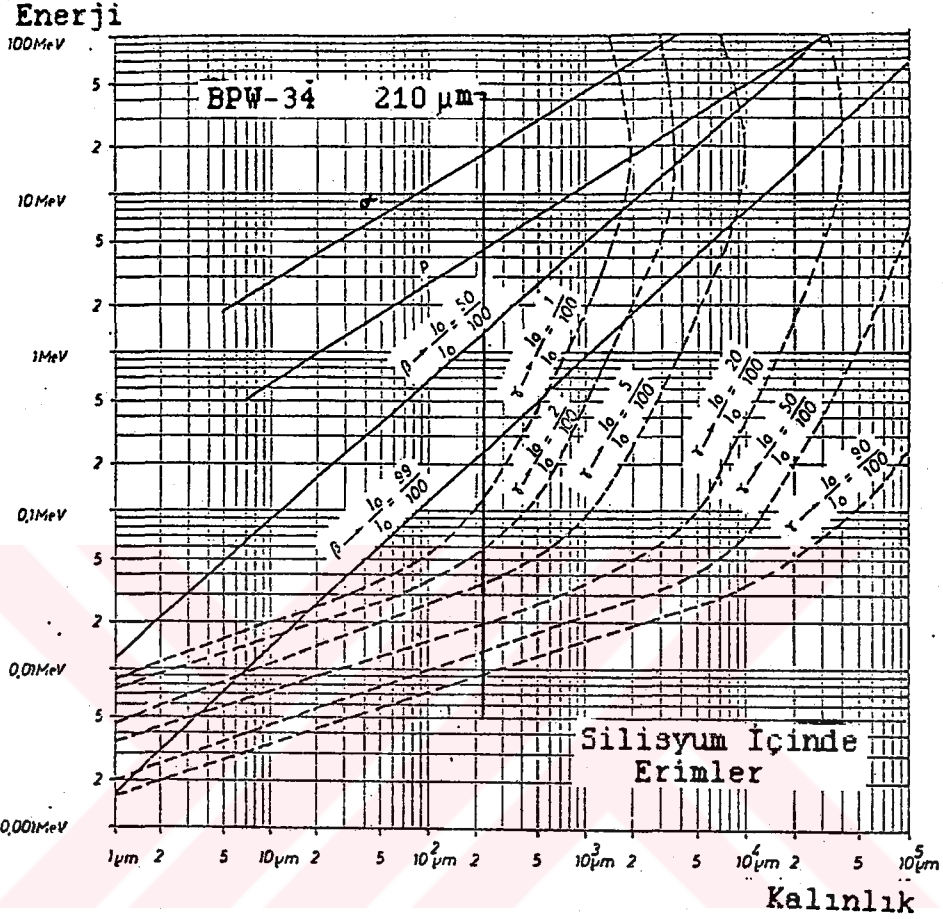
İyonlaştırıcı radyasyonun silisyum içinde alabileceği yollar ve soğurulma olasılıkları Şekil 3.6'da verilmiştir. BPW-34'ün aktif kalınlığı şekilden de görülebileceği gibi 210 μm . olarak gösterilmiştir ve bu kalınlık infrared ışığın oluşturacağı foto-elektronların tamamını, 18 MeV'lik α -parçacıklarını, 4.4 MeV'lik protonları ya da 1.4 MeV'lik β -parçacıklarının %50 sini soğuracak yeterlidir. Ancak 100 KeV'nin altındaki fotonlar için fotodiyodun özden bölge verimi hızlı bir şekilde yükselir [Raffinsoe, 1983 yazılı görüşme]. Bu nedenle 100 KeV'den küçük fotonlar için diyodun spektroskopik uygulamalarda kullanılması çok özel teknikler gerektirir. Fakat bir radyasyon sayıcı (scaler) için lineerliğe çok fazla ihtiyaç duyulmaz.

Üç tane BPW-34'ün paralel bağlanmasıyla oluşturulan bir prob, çeşitli gama aktif kaynaklarla ışınlandığında Tablo 3.2'deki verim değerleri alınmıştır. Ayrıca fotodiyodun d.c. akım modunda çalıştırılmasıyla daha yüksek seviyeli radyasyon alanlarında ölçümler alınmış ve 30 V bias voltajı altındaki diyodun, 80 KV'luk

Tablo 3.1: BPW-34'ün 25 °C'deki foto-karakteristikleri [Raffinsoe, 1983 yazılı görüşme].

ÖZELLİK ADI	SEMBOL	TİPİK DEĞER	BİRİM
Foto Hassasiyet ($U_r=5V$)	S	70 (≥ 50)	nA/Lx
Hassasiyetin Max. olduğu Dalga Boyu	λ_s	850	nm
Max. Quantum Verimi	n	0.88	elektron/foton
Spektral Fotohassasiyet	S	0.6	A/W
Yüksüz Gerilim Çıkışı 100Lx\1000Lx	U_L	285 / 365	mV
Kısa Devre Akımı 100Lx için	I_k	6.5	μA
Foto Akımın Yükselme ve Düşme Zamanı	t_r-t_f	—	—
$R_L=1k$ $U_r=10V$. =950 nm	"	50	ns
$R_L=1k$ $U_r=10V$. =950 nm	"	125	ns
U_L nin sıcaklıkla değişimi	T_k	- 2.6	mV/K
I_k yada I_p nin sıcaklıkla değişimi	T_k	0.18	%/K
Kapasitans/ $U_r=0V$, $f=1\text{MHz}$, $E=0$	C_0	72	pF
$U_r=3V$, $f=1\text{MHz}$, $E=0$	C_3	25 (≤ 40)	pF
Hassas Alan	A	7.6	mm^2
Karanlık Akımı	I_R	2 (≤ 30)	nA
Gürültü Gücü	NEP	4.2×10^{-14}	$W/\sqrt{\text{Hz}}$
Dedeksiyon	D	6.6×10^{12}	$\text{cm}\sqrt{\text{Hz}/W}$

X-ışını tüpü ile ışınlanma halinde R/sn başına yaklaşık 90 nA'lık hassasiyet gözlenmiştir [Raffnsøe, 1983 yazılı görüşme].



Şekil 3.6: Silisyum içinde alfa, proton, beta ve gamaların aldıkları yollar ve soğurulma olasılıkları [Raffnsøe, 1983 yazılı görüşme].

Tablo 3.2: Çeşitli gama kaynaklarıyla ışınlanan üç tane paralel bağlı BPW-34'den alınan hassasiyet değerleri [Raffnsøe, 1983 yazılı görüşme].

ÇEKİRDEK	E (keV)	VERİM Say/dk /mR/h
AM-241 (438 Y)	60	1.9
HG-197 (64.1 saat)	77.4	1.7
Co - 57 (271 gün)	122.136	1.9
BA - 133 (10.7 Y)	356	3.0
Cs - 137 (30 Y)	662	5.3
Co - 60 (5.6 Y)	1250	5.1

4 RADYASYON SAYACI ELEKTRONİĞİ

Radyasyon sayıcı elektronik bir sistemi analog ve dijital devreler olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Sistem içinde bulunan ön-yükselteç (preamplifier), ana-yükselteç (main-amplifier) ve diskriminatör (discriminator) devre bölümleri *Analog Devreler* adı altında incelenebilir. Mantık matematiği temellerine dayanarak sadece lojik "1" ve "0" işaretleriyle çalışan devre bölümleri ise *Dijital Devreler* kapsamında incelenebilir.

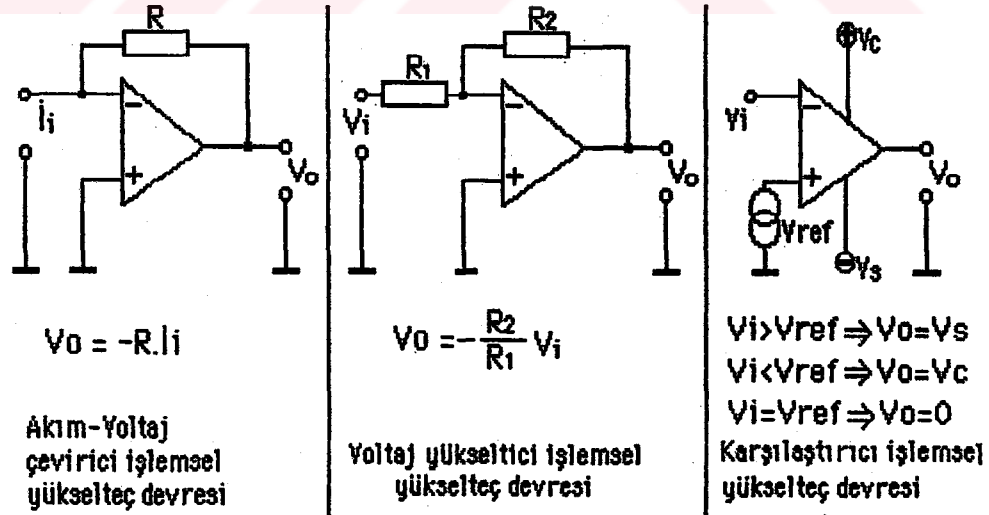
Analog devreler birkaç çeşit aktif devre elemanı ile yapılabilir. Ancak, tekil devre elemanlarının - transistör, diyot, v.b. - kullanılması çok fazla yer işgal etmekte ve daha fazla tasarım hesapları gerektirmektedir. Oysa günümüzdeki yarıiletken teknolojisi, bir çok aktif ve pasif devre elemanının özel ve genel amaçlı devreleri oluşturacak biçimde küçük yongalar (chip) içine yerleştirmektedir. Böylece, küçük boyutlarda devre tasarımı kolayca yapılabilmektedir. Özellikle FET girişli işlemsel yükselteçler (operational amplifiers) hemen her türlü analog devrenin vazgeçilmez parçaları haline gelmiştir.

İşlemsel yükselteçlerin yüke duyarlı ön-yükselteç, voltaj yükselteci ve diskriminatör gibi kullanımlarına açıklık getirmek amacıyla, temel işlemsel yükselteç devreleri ve matematiksel ifadeleri Şekil 4.1'de verilmiştir. İşlemsel yükselteçler uygulama alanına bağlı olarak çeşitli özelliklerde üretilmektedir. Bu nedenle bir radyasyon sayacının analog devre bölümlerinde kullanılacak işlemsel yükseltecin bazı şartları sağlanmasına dikkat edilmelidir [Nicholson, 1973]. Bu şartlardan en önemlileri : yükselme hızının büyük, gürültü seviyesinin düşük ve giriş empedansının yüksek olması gibi sıralanabilir. Bazı işlemsel yükselteçlere ait bu tür özelliklerin değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Sayacın analog devre bölümlerinden biri olan ön-yükselteç devresi, detektörden gelen birkaç yüz pikoamper mertebesindeki akım pulslarını milivolt seviyesinde voltaj pulslarına dönüştürmek için kullanılır. Ancak bu çevirme işleminin, detektör sinyalini bozmadan yani dalga şeklini koruyarak yapılması istenir. Detektör pulsu çok hızlı yükselip üstel biçimde düşeceğinden ön-yükseltecin yükselme

hızının büyük olması gerekir. Ayrıca spektroskopik uygulamalarda yükseltme lineerliğinin çok iyi olması zorunludur. Bunlara ek olarak ön-yükseltecin öz gürültüsü - iç gürültüsü - makul bir düzeyde tutulmalıdır. Çünkü burada üretilecek gürültü diğer yükselteç devrelerinde de yükseltilerek sinyal-gürültü oranını (S/N) kötüleştirir. Ön-yükselteç devreleri kullanıma göre, yüke duyarlı (charge sensitive) ya da akıma duyarlı (current sensitive) özelliklerde yapılabilir [Nicholson, 1973 ; Steidley vd., 1983].

Ön-yükselteç çıkışındaki 4-5 milivoltluk pulslar henüz işlenemeyecek düzeydedir. Bu pulsların birkaç yüz milivolt -veya birkaç volt- seviyesinde işlenebilir pulslar haline getirilmesi, kazancı 5 ile 3000 arasında ayarlanabilen bir yükselteç tarafından sağlanır [Canberra, 1981]. Ana yükselteç, ön-yükselteçten farklı biçimde puls şeklini değiştirerek yükseltme yapar. Puls şeklinin değiştirilmesi en basit şekilde RC devreleriyle veya biraz daha karmaşık biçimde işlemsel yükselteçler kullanılarak gerçekleştirilir. Puls şekli, spektroskopik ve sayıcı türü çalışmalarda farklılık gösterir.



Şekil 4.1: İşlemsel yükselteç devreleri ve matematiksel bağıntıları [Holmes, 1984-a].

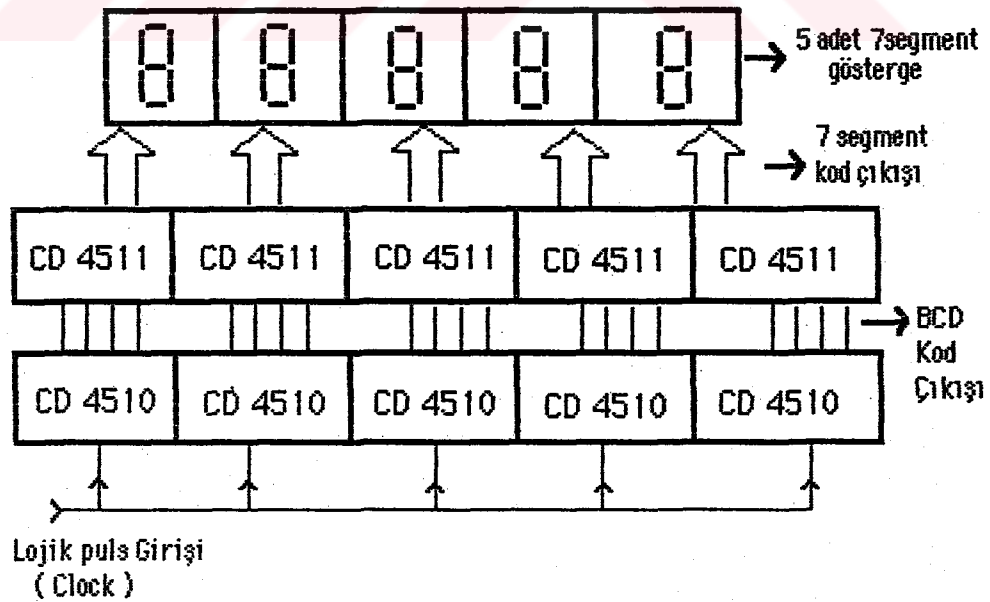
Tablo 4.1: Bazı işlemsel yükselteçlere ait karakteristik özellikler [Holmes,1984-b].

İşlemsel yükselteç Adı	Gir. Empedansı M Ω	Yükselme Hızı V/ μ s	Giriş Gürültüsü nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	Açık devre Kaz. dB
LM 387	0,1	10	7	104
LM 741	2	0,5	20	106
CA 3130	$1,5 \times 10^6$	10	-	110
CA 3140	$1,5 \times 10^6$	9	40	100
LF 356	1×10^6	12	20	106
LF 357	1×10^6	50	20	106
TL 084	1×10^6	13	25	106

Ana yükselteç tarafından istenilen şekle ve seviyeye getirilmiş pulslar çeşitli uygulamalar için farklı devrelerde değerlendirilir. Spektroskopik uygulamalar için yükselteçten sonra bir puls yükseklik analizörü kullanılabilir. Doz ölçümü için bu pulslar dozmetre tarafından değerlendirilir. Eğer sayım yapılması isteniyorsa yükselteçten sonra bir diskriminatör kullanılır. Diskriminatörün görevi ; belirli bir seviyeyi geçen ve farklı genlikteki pulsları, lojik "1" seviyesinde sabit genlikli pulslara dönüştürmektir. Çünkü dijital devrelerin çalışması lojik "1" veya "0" seviyeleriyle kontrol edilir. Diskriminatör girişindeki sabit seviye -referans voltajı- uygulama ihtiyacına göre değiştirilebilir. Bu seviye, istenildiğinde bir alt enerji limiti ya da üst enerji limiti veya her ikisi birden seçilerek enerji aralığı haline getirilebilir. Bu işlemlerin tamamını yapabilen cihazlara tek kanallı analizör denilmektedir [Tennelec, 1991].

Radyasyon sayacınının dijital devreler kapsamına giren elektronik sayıcı devresi kendi içinde birkaç farklı alt devreye ayrılabilir. Bu alt devreler de çeşitli metodlar yardımıyla yapılabilir. Ancak, özel olarak bu iş için üretilmiş entegre devreler sayesinde daha az karmaşık ve çok yüksek performanslı elektronik sayıcılar tasarlanabilir [Bayram, 1991].

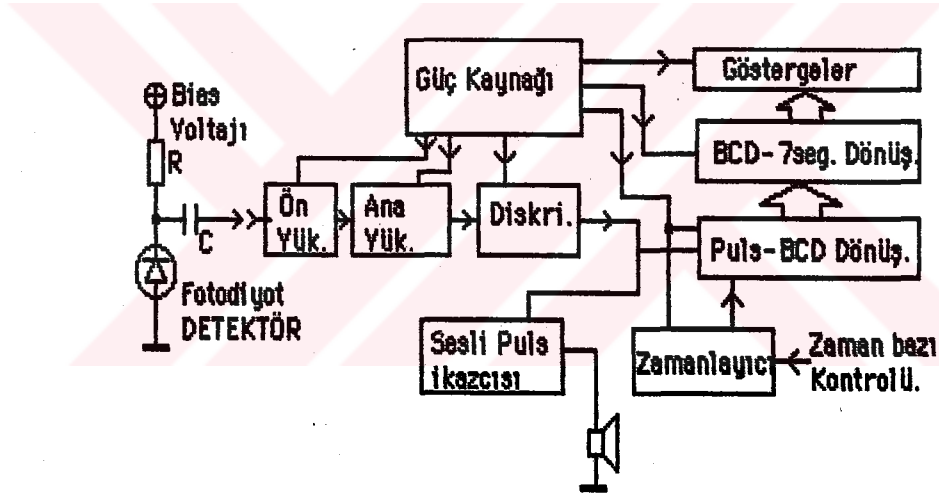
Hatta 3-4 basamaklı bir sayıcı için tek yongalı entegreler de bulunabilir. Ancak beş veya daha fazla basamaklı sayıcı yapılması planlanıyorsa, tek yongalı devreler aşırı pahalı olacaktır. Bunun yerine, beş basamaklı bir sayıcı için CMOS tipi sayıcı entegre devrelerden 10 adet kullanılarak yapılabilecek ucuz bir sayaç devresi önerilebilir. Bu durumda entegrelerden beş tanesi tek hat üzerinden gelen lojik seviyeli pulsları ikilik sayı sistemine (BCD) çevirmek için (CD 4510 entegreleri) ve diğer beş tanesi de ikilik sayı sistemindeki işaretleri 7 segmentli koda çevirerek göstergelerde (display) onluk tabanlı rakamların okunmasını sağlamada (CD 4511 entegreleri) kullanılır. Buradaki her bir CD4510-4511 entegre çifti bir tek rakamın yazdırılmasından sorumlu olduğundan sayıcı devrenin tamamı 5 basamaklı - 5 dijitlik- olacaktır. Yani bu şekilde oluşturulan sayıcı 99999 sayısına kadar sayım yapabilecektir. Böyle bir elektronik sayıcı devrenin blok şeması Şekil 4.2'den incelenebilir. Ayrıca bu entegrelerin, üretici firma verilerinden 4-5 MHz hızlarda kullanılabileceği görülmektedir [Philips, 1980].



Şekil 4.2: Beş basamaklı elektronik bir sayıcı devrenin blok şeması.

Detektör tarafından birim zamanda algılanan radyasyon miktarının ölçülmesi, dijital devreler kapsamında bulunan zamanlayıcı (timer) devreler aracılığıyla yapılır. Bu tür ölçümlerde zamanlayıcı devre, belirli süreler içinde sayıcıyı kontrol eder. Bu süreler uygulamaya bağlı olarak farklı tutulabilir. Ancak aynı zaman bazındaki periyodik ölçümlerde son derece kararlı olmalıdır. Özellikle yüksek radyasyon hızlarında, zamanlayıcıdaki çok küçük kararsızlıklar sayımda büyük hatalara neden olur [Canberra, 1981].

Bir radyasyon sayacının buraya kadar anlatılan elektronik devre bölümlerinin birleştirilmiş blok şeması Şekil 4.3'den incelenebilir.



Şekil 4.4: Bir radyasyon sayacının tamamına ait blok devre şeması.

5 UYGULAMA VE SONUÇLAR

5.1 Radyasyon Sayacının Tasarımı

Herşeyden önce sayacın verimini arttırmak için üç tane BPW-34 fotodiyodu paralel bağlanarak ışık geçirmeyecek şekilde metal bir tüp içine yerleştirildi ve bir prob oluşturuldu. Beta parçacıklarının sayılabilmesi için, fotodiyodların ön yüzünün bulunduğu tarafta metal tübe bir pencere açıldı ve bu pencere de siyah izolabant ile kapatıldı. Fotodiyodlar üzerinde oluşacak elektrik pulslarının sayaca iletilebilmesi için probun arka tarafına BNC fiş yerleştirildi. Bu fişin merkez ucu diyodların katoduna ve gövdesi de anodlarına bağlandı.

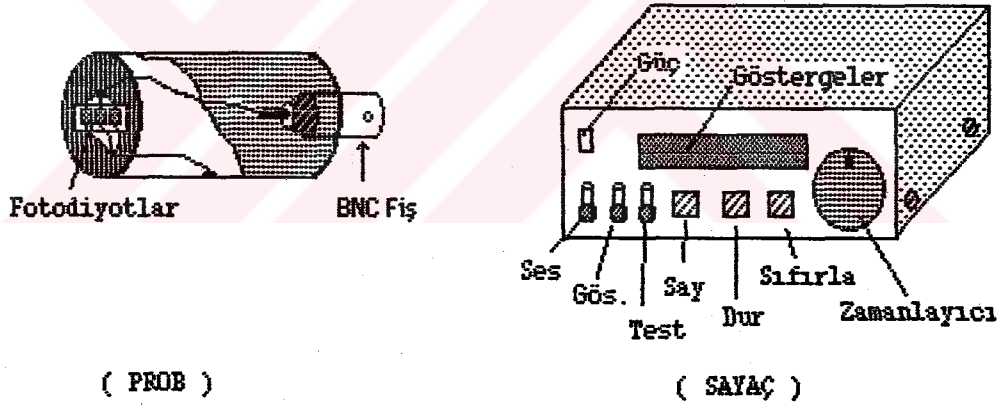
Tasarlanan sayacın analog devrelerinde, literatürdeki özellikleri sağlaması bakımından giriş empedansı yüksek, yükselme hızı büyük ve gürültüsü nisbeten küçük olan Thomson firmasının LF-357 işlemsel yükselteci ve RCA firmasının CA-3130 işlemsel yükselteci kullanılmıştır. Bu işlemsel yükselteçlerin karakteristik özellikleri Tablo 4.1'den, fiziksel görüntüleri ve bağlantı uçları ise Şekil 5.1'den incelenebilir.



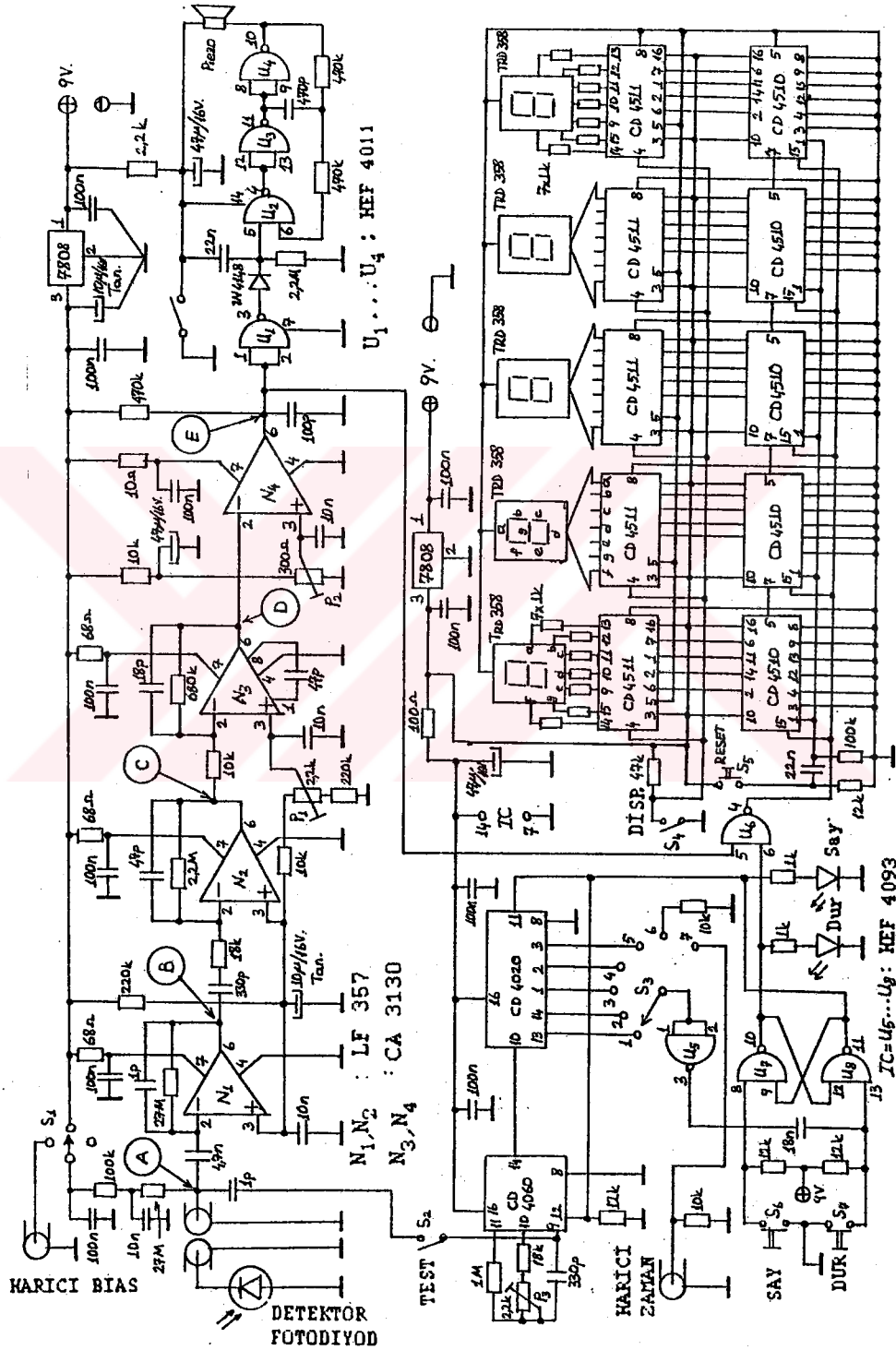
Şekil 5.1: CA 3130 ve LF 357 işlemsel yükselteçlerinin fiziksel görüntüleri ve bağlantı uçları [Ey, 1981].

Çeşitli özelliklerdeki foto elemanları, analog devreler ile kullanabilmek ve farklı bias voltajı uygulamaları yapabilmek için prob ile ön-yükselteç ara bağlantısında kapasitif kuplaj kullanıldı.

Bunlara ek olarak sayacın portatif kullanılabilmesi için elektronik devrenin besleme voltajı ve enerji harcaması mümkün olduğu kadar düşük tutuldu ve böylece pil ile veya küçük bataryalarla çalıştırılması sağlandı. Ayrıca şebeke voltajıyla da çalışma yapılabilmesi için bir transformatör ve doğrultucu devre ilave edildi. Elektronik devrelerin tamamı bakırlı plaketler üzerine, baskılı devre tekniği ile yapıldı. Analog ve dijital devre bölümleri birbirlerinden ayrılarak, analog kısım elektrik alanlara karşı tamamen ekranlandı. Daha sonra sistemi oluşturan bütün bölümler metal bir kutu içine yerleştirildi ve kutu topraklandı. Yapılan prob ve elektronik devrelerin yerleştirildiği metal cihaz kutusunun fiziksel görüntüleri Şekil 5.2'de, yapılan sayacın elektronik devresine ait açık devre şeması ise Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.2: Prob halindeki detektör ve sayacın önden görünüşü.

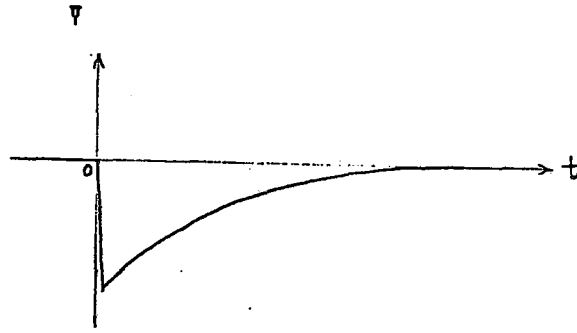


Sekil 5.3: Yapılan radyasyon sayacının açık devre şeması.

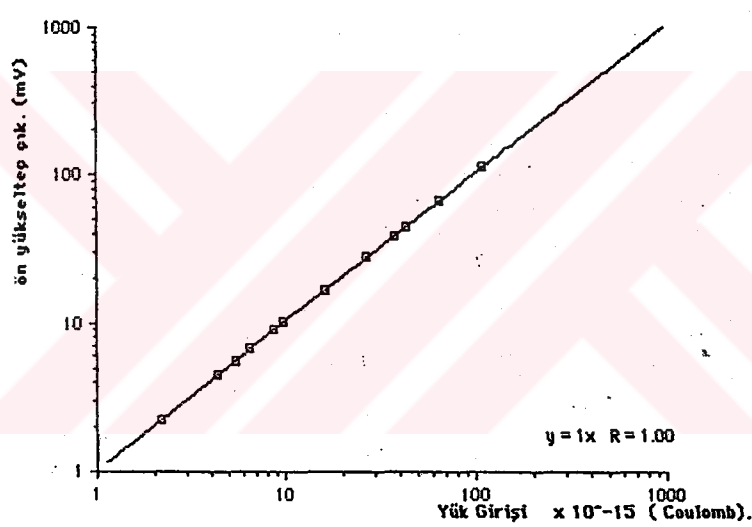
5.2 Elektronik Devrenin İncelenmesi ve Elektriksel Kalibrasyon

Şekil 5.3'de N_1 ile gösterilen ve yüke duyarlı ön-yükselteç gibi çalıştırılan işlemsel yükselteç devresinin giriş noktası A ve çıkış noktası B ile tanımlanmıştır. Bu kısım, girişindeki yük değişimini çıkışında voltaja dönüştürür. Detektörden gelecek muhtemel yük pulsları, Şekil 5.4'de görüldüğü gibi hızlı yükselcek - yaklaşık 50 ns - ve nisbeten daha yavaş üstel biçimde düşecektir. Bu nedenle devrenin bu bölümünün basamak cevabının iyi olması zorunludur. Ön-yükselteç basamak cevabının incelenmesi, A noktasına yükselme zamanı 10 ns'den az olan kare dalga uygulanarak B noktasındaki işaretlerin bir osiloskop ekranından incelenmesiyle yapılmıştır. Bunun neticesinde devrenin yükselme zamanı 110 ns olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca Şekil 5.4'de gösterilen pulsun çeşitli genlikleri 1 pF yük aktarıcı kapasite üzerinden A noktasına uygulanmış ve B noktasındaki puls genlikleri ölçülmüştür. Böylece ön-yükseltecin giriş yüküne karşı çıkış voltajının değişimi belirlenerek Şekil 5.5'de sunulmuştur.

Sayacın açık devre şemasında N_2 ile belirtilmiş işlemsel yükselteç ana yükselteç görevini yapar. Bu devrenin girişi B, çıkışı C ile gösterilmiştir. Burada N_2 işlemsel yükselteci, yükseltme yanında türev ve integral alma işlemlerini de yapmak suretiyle ön-yükselteç çıkışındaki pulsların şeklini değiştirerek çıkışa iletir. Böylece C noktasındaki pulslar gürültüden temizlenmiş ve düşme süreleri kısaltılmış olur. A noktasına uygulanan yüke karşı C noktasındaki voltaj değişimi Şekil 5.6'dan incelenebilir. C ve D noktaları arasında bulunan N_3 işlemsel yükselteci, C noktasındaki d.c. voltaj bileşenini toprak seviyesine indirmek için kullanılmıştır (baseline restorer). Bu kısım ayrıca P1 ayarlı direnci ile belirtilen referans voltajının üzerine çıkan pulsları biraz daha yükselterek N_4 diskriminatörüne aktarır. P2 ayarlı direnci ile diskriminatör seviyesi seçilir ve bu seviyeyi geçen pulslar E noktasında lojik seviyeler oluşturur. Belirtilen test noktalarındaki işaretlerin puls biçimleri Şekil 5.7'de verilmiştir.

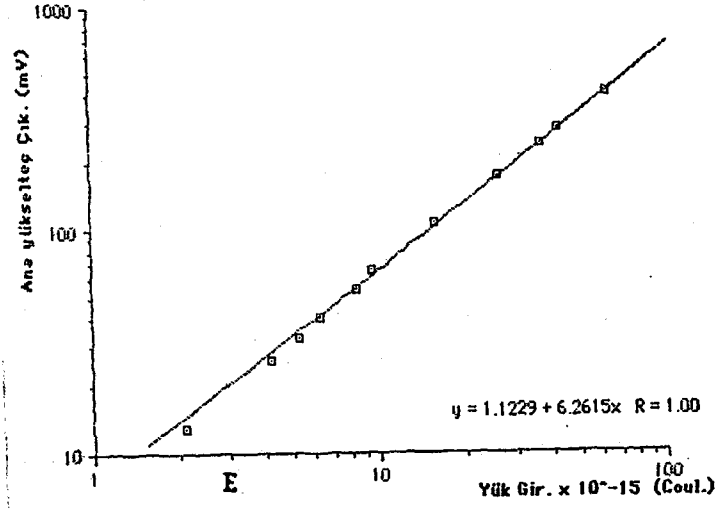


Şekil 5.4: Tipik bir detektör pulsu [Duggan, 1988].

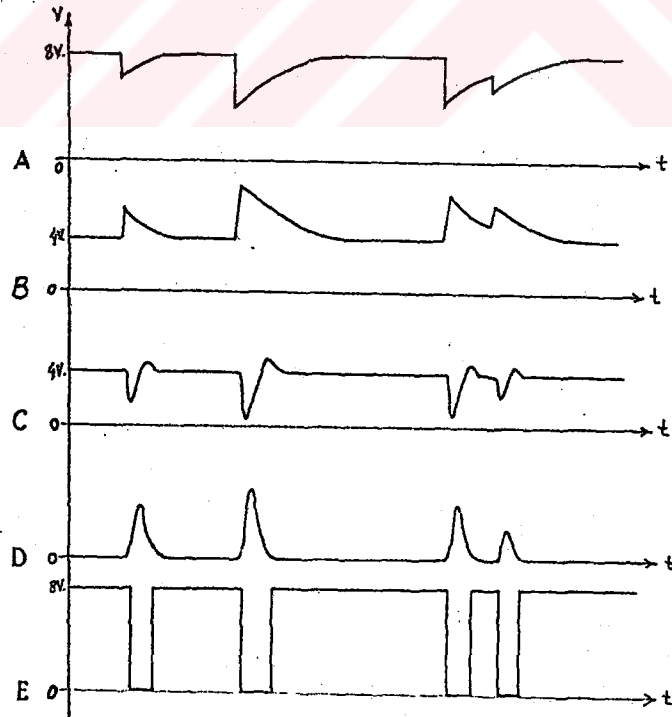


Şekil 5.5: Ön-yükselticinin giriş yüküne karşı çıkış voltajı.

Detektörün çeşitli gama kaynaklarıyla ışınlaması sırasında diskriminatör girişindeki puls genişlikleri osiloskop ekranından izlenmiş ve yaklaşık 30 μ s oldukları belirlenmiştir. Bu süre sayacın ölü zamanı olarak değerlendirilirse sayacın, 35000 say/sn sayım hızlarına kadar güvenilir sayımlar yapabileceği söylenebilir. Bunlara ek olarak, P1 ayarlı direncinin en iyi sayım yapacak biçimde ayarlanması sonucu diskriminatör girişinde yaklaşık 40 mV'lık gürültü pulsları görülmüştür. P2 ayarlı direncini de buna göre ayarlayarak (~ 42 mV), gürültü pulslarının diskriminatörü tetiklemesi ve bu nedenle oluşacak hatalı ölçümler önlenmiştir.



Şekil 5.6: Ana yükselticinin, A noktasına uygulanan yüke karşı çıkış voltajının değişimi.



Şekil 5.7: Sayacın açık şemasında belirtilen test noktalarında izlenen puls şekilleri.

Dijital sayıcı devreler herhangi bir kalibrasyon gerektirmezler. Ancak, radyasyon sayım hızının ölçülmesinde kullanılan zamanlayıcı devrelerin kararlılık kontrolü yapılmalıdır. Tasarlanan zamanlayıcı devrede, kararlılığın iyi olması için nisbeten yüksek frekanslı - 32,768 kHz - bir RC osilatör kullanılmış ve en küçük ölçme süresi olan 1 sn'lik zaman bazı bu frekansın 32768'e bölünmesi ile elde edilmiştir. Böylece, zamanla veya sıcaklıkla osilatör frekansının en fazla 500 Hz kayabileceği düşünülürse 1 sn'lik zaman bazında yapılabilecek maksimum hata payı %0.15 olacaktır. Bu değer, radyoaktifliğin istatistik dağılımı yanında ihmal edilebilecek düzeydedir.

Elektriksel kalibrasyon için Şekil 5.6'da E' ile belirtilen eşik yükü değerinden yararlanılabilir. Bu yük değerine karşılık ana yükselteç çıkışında veya d.c. seviye düzeltici (baseline restorer) girişinde 10 mV genlikli pulslar oluşacaktır. Bu pulslar, d.c. seviye düzeltilirken x4 faktörüyle de yükseltilirler ve diskriminatör girişinde 40 mV değerini alırlar. Diskriminatör referans seviyesi ~ 42 mV'a ayarlandığı için eşik değerinin üzerine çıkacak her puls sayılacaktır.

Silisyum bir detektör kullanılması durumunda, sayaç girişinde eşik yükü oluşturabilecek radyasyon enerjisi $E_{rad.}$,

$$E_{rad.} = 3.65/2 \cdot E'/e \quad (eV)$$

yaklaşık ifadesiyle hesaplanabilir. Burada; E' eşik yükü, e ise elektron yüküdür. Detektör olarak kullanılan BPW-34 PIN fotodiyodunun baz maddesi silisyum olduğu için yukarıdaki eşitlik kullanılabilir ve yapılan sayacın sayabileceği en küçük radyasyon enerjisi hakkında yaklaşık bir değer elde edilebilir. Bunun sonucunda ise $E_{min.} = 22.7$ keV olarak belirlenmiştir.

5.3 Çeşitli Radyoaktif Kaynakların Sayılması

Yapılan radyasyon sayacının kullanılabilceği radyasyon ortamlarının belirlenmesi, çeşitli radyoaktif kaynakların farklı uzaklıklarda sayılmasıyla gerçekleştirildi. Bu sayımlara başlamadan önce, sayımların yapılacağı laboratuvar ortamının doğal radyasyonu

- background radyasyonu- sayıldı. Background sayım sonuçları ve istatistiksel değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Burada verilen background sayım ortalaması, daha sonra radyoaktif kaynak kullanılarak yapılan sayım sonuçlarında gözönünde bulundurulmuştur.

Tablo 5.1: Background sayım sonuçları.

No	N	$N-\bar{N}$	$N-\bar{N}/\sigma$	R	No	N	$N-\bar{N}$	$N-\bar{N}/\sigma$	R
1	5	2,45	1,535	2	21	4	1,45	0,908	1
2	1	-1,55	-0,971	-1	22	1	-1,55	-0,971	-1
3	4	1,45	0,908	1	23	8	5,45	3,414	3
4	3	0,45	0,281	0	24	3	0,45	0,281	0
5	0	-2,55	-1,597	-2	25	4	1,45	0,908	1
6	1	-1,55	-0,971	-1	26	2	-0,55	-0,344	0
7	0	-2,55	-1,579	-2	27	4	1,45	0,908	1
8	2	-0,55	-0,344	0	28	1	-1,55	-0,971	-1
9	2	-0,55	-0,344	0	29	1	-1,55	-0,971	-1
10	3	0,45	0,281	0	30	0	-2,55	-1,597	-2
11	3	0,45	0,281	0	31	3	0,45	0,281	0
12	0	-2,55	-1,597	-2	32	3	-0,45	-0,281	0
13	5	2,45	1,535	2	33	4	1,45	0,908	1
14	3	0,45	0,281	0	34	2	-0,55	-0,344	0
15	4	1,45	0,908	1	35	1	-1,55	-0,971	-1
16	2	-0,55	-0,344	0	36	3	0,45	0,281	0
17	3	0,45	0,281	0	37	0	-2,55	-1,597	-2
18	4	1,45	0,908	1	38	4	1,45	0,908	1
19	2	-0,55	-0,344	0	39	3	0,45	0,281	0
20	1	-1,55	-0,971	-1	40	3	0,45	0,281	0

$$\bar{N} = 2,55 \quad \sigma = \sqrt{\bar{N}} = 1,59$$

Eğitim amaçlı 1-10 μCi aktiviteye sahip gama aktif Co-60 kaynağının, 15 sn zaman bazında 40 defa tekrarlanarak elde edilen sayım sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu sayım değerleri,

kaynak ile detektör arasında 0,5 cm uzaklık olması durumunda alınmıştır. Buna benzer şekilde beta aktif Sr-90 kaynağının sayım değerleri Tablo 5.3'de verilmiştir. Yapılan radyasyon sayacıyla gama ve beta radyasyonu sayılabilmekte fakat α - aktif Po-210 kaynağından belirgin bir sayım sonucu alınamamaktadır. Buna sebep olarak; detektör yerine kullanılan BPW-34 silisyum PIN fotodiyodunun aktif yüzeyi önünde bulunan 0,4 mm kalınlığındaki poliyethylene koruyucu tabaka gösterilebilir. Bu koruyucu tabaka Po-210'dan gelen 5,34 MeV enerjili alfaların tamamını soğurmakta ve sayım gözlenmemektedir.

Tablo 5.2:Gama aktif Co-60 ($E=1,25$ MeV) kaynağının sayım sonuçları. (Detektör-Kaynak uzaklığı =0,5cm ,Zaman Bazı = 15 sn)

No	N	$N-\bar{N}$	$N-\bar{N}/\sigma$	R	No	N	$N-\bar{N}$	$N-\bar{N}/\sigma$	R
1	332	-12,6	-0,78	-1	21	353	8,4	0,521	1
2	345	0,4	0,024	0	22	351	6,4	0,397	0
3	355	10,4	0,645	1	23	318	-1,65	-1,65	-2
4	349	4,4	0,272	0	24	337	-7,6	-0,47	0
5	339	-5,6	-0,347	0	25	358	13,4	0,831	1
6	369	24,4	1,513	2	26	332	-12,6	-0,781	-1
7	365	20,4	1,269	1	27	359	14,6	0,893	1
8	356	11,4	0,707	1	28	312	-32,6	-2,02	-2
9	328	-16,6	-1,029	-1	29	357	12,4	0,769	1
10	375	30,4	1,885	2	30	341	-3,6	-0,223	0
11	348	3,4	0,210	0	31	338	-6,6	-0,409	0
12	365	20,4	1,265	1	32	328	-16,6	-1,029	-1
13	327	-17,6	-1,091	-1	33	338	-6,6	-0,409	0
14	345	0,4	0,024	0	34	350	5,4	0,334	0
15	355	10,4	0,645	1	35	327	-17,6	-1,091	-1
16	330	-14,6	-0,905	-1	36	337	-7,6	-0,47	0
17	325	-19,6	-1,215	-1	37	356	11,4	0,707	1
18	346	1,4	0,086	0	38	388	43,4	2,69	3
19	340	-4,6	-0,285	0	39	354	9,4	0,583	1
20	317	-27,6	-1,712	-2	40	342	-2,6	-0,16	0

$$\bar{N} = 344,6 \quad , \quad \sigma = 16,12$$

Tablo 5.3: Sr-90'dan çıkan 0,534 MeV enerjili β 'ların sayım değerleri. (Detektör-Kaynak uzaklığı = 0,5 cm, Zaman Bazı= 15 sn)

No	N	$N-\bar{N}$	$N-\bar{N}/\sigma$	R	No	N	$N-\bar{N}$	$N-\bar{N}/\sigma$	R
1	1110	56	1,72	2	31	1011	-43	-1,32	-1
2	1045	-9	-0,27	0	32	1078	24	0,73	1
3	1073	19	0,58	1	33	1019	-35	-1,07	-1
4	1060	6	0,18	0	34	1030	-24	-0,73	-1
5	1046	-8	-0,24	0	35	1000	-54	-1,66	-2
6	1078	24	0,73	1	36	1021	-33	-1,01	-1
7	1036	-18	-0,55	-1	37	1030	-24	-0,73	-1
8	1074	20	0,61	1	38	1053	-1	-0,03	0
9	1048	-6	-0,18	0	39	1035	-19	-0,58	-1
10	1054	0	0	0	40	1013	-41	-1,26	-1
11	1026	-28	-0,86	-1	41	1106	52	1,66	2
12	1053	-1	-0,03	0	42	1069	15	0,46	0
13	1086	32	0,98	1	43	1019	-35	-1,07	-1
14	1050	-4	-0,12	0	44	1056	2	0,06	0
15	1070	16	0,49	0	45	1059	5	0,15	0
16	1026	-28	-0,86	-1	46	1070	16	0,49	0
17	1087	33	1,01	1	47	1042	-12	-0,36	0
18	1122	68	2,09	2	48	1134	80	2,48	2
19	1036	-18	-0,55	-1	49	998	-56	-1,72	-2
20	1002	48	1,47	2	50	1052	-2	-0,06	0
21	1001	-53	-1,63	-2	51	1032	-22	-0,67	-1
22	1004	-50	-1,54	-2	52	1036	-18	-0,55	-1
23	1095	41	1,25	1	53	1077	23	0,70	1
24	1047	-7	-0,21	0	54	1085	31	0,95	1
25	1063	9	0,27	0	55	1075	21	0,64	1
26	1051	-3	-0,09	0	56	1067	12	0,36	0
27	1044	-10	-0,30	0	57	1091	37	1,13	1
28	1038	-16	-0,49	0	58	1003	-51	-1,57	-2
29	1126	72	2,21	2	59	1032	-22	-0,67	-1
30	1066	12	0,36	0	60	1032	-22	-0,67	-1

$$\bar{N} = 1054 \quad \sigma = \sqrt{\bar{N}} = 32,46$$

Co-60, Ra-226 ve Sr-90 radyoaktif kaynaklarının farklı uzaklıklarda alınan sayımları Tablo 5.4'de verilmiştir. Farklı uzaklıklardaki sayımlar, farklı doz hızlarındaki sayımlar olarak da yorumlanabilir.

Tablo 5.4: Çeşitli radyoaktif kaynakların farklı uzaklıklara karşı sayım değerleri.

Kaynak	Rad. Tipi	Uzaklık(cm)	Sayım (say/sn)
CO-60 *	Gama	2,5	1,86 ± 0,27
..	..	3,5	1,09 ± 0,26
..	..	4,5	0,73 ± 0,12
..	..	5,5	0,56 ± 0,10
Ra-226**	Gama	10	72,85 ± 1,17
..	..	20	19,60 ± 0,74
..	..	30	9,64 ± 0,48
..	..	60	0,91 ± 0,22
..	..	100	0,18 ± 0,13
SR-90*	Beta	0,5	59,8 ± 0,96
..	..	1,5	15,41 ± 0,39
..	..	2,5	6,38 ± 0,48
..	..	5,5	1,62 ± 0,11

Detektör olarak kullanılan fotodiyodun ön yüzünde bulunan polyethylene tabakasının özellikle β -parçacıklarının sayımına olan etkisinin incelenmesi ve profesyonel sayaçla yapılacak karşılaştırmalarda değerlendirilmesi için çeşitli kalınlıklarda polyethylene soğurucular β -kaynağı önüne yerleştirildi ve Nucleus marka profesyonel sayaçla sayıldı. Bu sayım sonuçları Tablo 5.5'den incelenebilir.

*) 5 μ Ci disk nokta kaynak , **) 10 μ gr.

Tablo 5.5: β -parçacıklarının polyethylene madde tarafından soğurulması (Detektör-Kaynak uzaklığı = 3 cm sbt.).

Kaynak	Soğurucu		\bar{N}	\bar{N}
	(cm)	(mg/cm ²)	(Say/dk)	(say/sn)
Sr-90*	0,01	10	295,4	4,87±0,23
	0,02	20	294,5	4,86±0,23
	0,05	49	273,7	4,51±0,21
	0,07	73	254,4	4,19±0,17
	0,15	151	193,9	3,18±0,16
	0,30	305	98,7	1,59±0,11
	0,60	610	10,8	0,13±0,03
	BOŞ		306	5,05±0,24

Sayacın radyasyon testleri için kullanılan Co-60 gama kaynağı, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi dozimetre kalibrasyonu bölümü tarafından 1 cm uzaklıkta ölçülmüş ve bu uzaklıkta 6,1 mR/h şiddet gözlenmiştir. Diğer uzaklıklar için ise ters kare kanunu kullanılarak teorik şiddet değerleri hesaplanmış ve bu şekilde sayacın Co-60 gama ışınları için verimi yaklaşık 2,53 say.sn⁻¹/mR/h olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca Sr-90 β -parçacıkları için, yine aynı kurum tarafından verilen 1,5 cm uzaklıkta 110 mrad/h ve 5,5 cm uzaklıkta 7 mrad/h β şiddet değerleri kullanılarak ~ 0,170 say.sn⁻¹/mrad/h verim değeri belirlenmiştir.

*) 5 μ Ci disk nokta kaynak

Sayacın, araştırmaya yönelik kullanımından çok eğitim amaçlı kullanımına önem verilmiş ve radyasyon testleri sırasında bu doğrultuda ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçların, nükleer fizik uygulama derslerinde kullanılabilir düzeyde olduğunu göstermek için bu kısımda üç deney verilmiştir. Deneylerde, nükleer fizik ve radyasyon fiziği ile ilgili bir kaç genel yasanın incelenmesi amaçlanmıştır. Burada verilen deneylerin dışında daha pek çok deneyin yapılması mümkündür. Yapılabilecek deneylerden bazılarının isimleri aşağıda verilmiştir.

- a*- Radyoaktivitenin istatiksel doğası.
- b - Background radyasyonunun incelenmesi.
- c - Radyoaktif maddelerin yarı-ömür tayini.
- d*- Lineer absorpsiyon katsayısı.
- e*- Ters kare kanunu.
- g - Atom numarasının fonksiyonu olarak β parçacıklarının geri saçılması.

Bu deneyler, yapılan radyasyon sayacı ile öğrencilere gösterilebilir. Ancak bunların yapılması konumuz dışında kaldığı için sadece birkaç örnek deney tanıtılmıştır.

*) Bu kısımda tanıtılan deneyler.

5.3.1 Deney 1

Deneyin Adı : Radyoaktifliğin istatistiksel doğası.

Deneyin Amacı: Radyoaktif bozunmanın düzensizliğini istatistik metodlar yardımıyla incelemek.

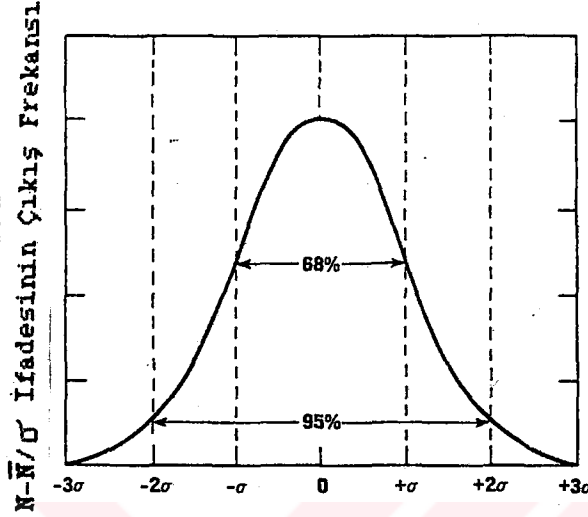
Ön bilgi

Bilindiği gibi radyoaktif maddeler, çekirdekleri kendiliğinden bozularak - parçalanarak - başka bir çekirdeğe dönüşen ve bu sırada radyasyon yayınlayan maddelerdir. Radyasyonun sayılması ise madde içinde parçalanan atomların sayılması gibi düşünülebilir. Radyoaktif çekirdeklerin kendiliğinden bozunması nedeniyle tek bir çekirdeğin ne zaman bozunacağını önceden kestirmek mümkün değildir. Bu nedenle uzun ömürlü bir radyoaktif maddenin aktivitesini ölçmek için aynı zaman aralıklarında arka arkaya alınacak iki, üç sayım değeri büyük olasılıkla birbirlerinden farklı olacaklardır. Hatta yüksek dozlar söz konusu olduğunda üst üste alınacak 20-25 sayım değerleri içinde birbirine eşit değerler görmek bile büyük rastlantılar olarak yorumlanabilir. Böyle durumlarda, hangi sayım sonucu aktivitenin doğru değeri kabul edilmelidir? Ya da sonuçlardan yararlanarak aktivitenin doğru değeri nasıl hesaplanabilir? Bunun için, elde edilen sayım sonuçlarının hangi istatistik kurala uyduğu belirlenmelidir.

Radyoaktif çekirdeklerin kendiliğinden bozunduğunu belirttik. O halde, bozunmaların tamamen gelişigüzel meydana geldiğini söyleyebiliriz. Eğer gerçekten gelişigüzellik varsa, elde edilen sayımların bir ortalama değer (\bar{N}) etrafında dağılmış olması gerekir. Bu dağılım küçük değerler için Poisson ifadesine, büyük değerler için Gauss dağılımına - Normal dağılım - uymalıdır. Sonuçların Gauss dağılımına uygunluğunu, standart sapma σ ve ortalama değer \bar{N} olmak üzere $\bar{N} \pm \sigma$ ifadesiyle kontrol edebiliriz. Yani sayım değerlerinin %68'i $\bar{N} - \sigma$ ile $\bar{N} + \sigma$ aralığında bulunuyorsa elde ettiğiniz deney sonuçları tamamen gelişigüzel meydana gelmiştir. Standart sapma;

$$\sigma = \sqrt{\bar{N}}$$

ifadesinden hesaplanabilir. Ayrıca hesaplamalar, $N - \bar{N}/\sigma$ değerlerinden yararlanarak Şekil 5.8'deki gibi bir dağılım grafiği ile de gösterilebilir.



Şekil 5.8: Gauss dağılımının grafiksel gösterimi.

Deneyin Yapılması

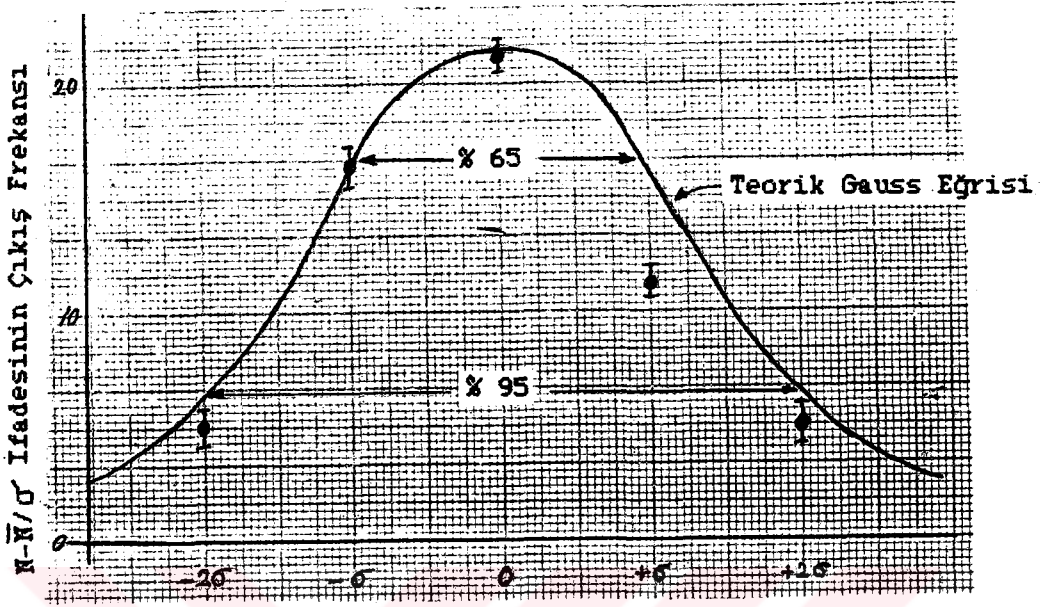
1-Sayaç 15 sn pozisyonuna ayarlandı ve 20 sayma işlemi yapıldı. Alınan değerler Tablo 5.6'da verildi.

2-Sayaçın pozisyonu hiç değiştirilmeden, detektörden 0,5 cm uzaklığa Sr-90 kaynağı yerleştirildi ve arka arkaya 60 sayma işlemi yapıldı. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.6: Background sayım sonuçları.

No	N	No	N
1	0	11	1
2	0	12	1
3	1	13	2
4	0	14	0
5	0	15	0
6	1	16	1
7	2	17	0
8	0	18	1
9	0	19	0
10	0	20	0

Zaman Bazı = 15 sn, $\bar{N} = 0,5$, Background (BKGR) = 0,5



Şekil 5.9 : Sonuçların Gauss dağılımına uygunluğu.

Yorum

Sayım sonuçlarının istatistiksel incelenmesi, radyoaktif bozunmanın tamamen gelişigüzel bir olay olduğunu göstermiştir. Bu deneysel sonuçlardan yararlanılarak çizilen Şekil 5.9'daki Gauss dağılımının teorik dağılımla uyum içinde görülmesinden çıkarılmış bir sonuçtur. İki eğri arasındaki küçük farklar, sayım işleminin az sayıda tekrarlanmasından meydana gelmiştir.

5.3.2 Deney 2

Deneyin Adı : Ters kare kanunu.

Deneyin Amacı: Doğadaki radyoaktif kaynakların izotropik özelliğinin incelenmesi.

Ön Bilgi

Doğadaki birçok radyoaktif madde izotropik ışınma özelliğine sahiptir. Yani radyoaktif maddeden yayınlanan radyasyon şiddeti her doğrultuda aynıdır. Bu durum, özellikle gama yayıcı maddeler için tamamen doğrudur. İzotropik özelliğe sahip kaynak şiddetinin uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğu iyi bilinen bir olaydır. Bu durumdan yararlanılarak izotropik kaynakları belirlemek mümkündür. Bunun için yapılması gereken işlem, sadece kaynak şiddetini uzaklığın fonksiyonu olarak belirlemektir.

Deneyin Yapılması

1- Background sayım hızını belirlemek için 30 sn zaman bazında arka arkaya 10 sayım işlemi yapıldı ve ortalaması hesaplanarak BKGR = 1,2 bulundu.

2- Co-60 kaynağı detektörden çeşitli uzaklıklara yerleştirildi ve makul istatistiksel sonuçlar elde edilecek biçimde sayımlar yapıldı. Sonuçlar ve gerekli hesaplamalar Tablo 5.7'de verildi. Bu tablodaki verileri kullanarak uzaklığın fonksiyonu biçiminde sayım hızı, deneysel ve teorik olmak üzere lineer grafik kağıdında üst üste çizildi. Bu grafikler Şekil 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.7: Uzaklığın fonksiyonu olarak elde edilen sayım değerleri.

Uzaklık (cm)	\bar{N} -BKGR (sayım/30sn)	Sayım (say/sn)
0,5	556,35	18,54 ± 0,60
1	248,07	8,26 ± 0,56
2	84,92	2,83 ± 0,33
3	51,35	1,71 ± 0,27
4	29,28	0,97 ± 0,26
5	18,92	0,63 ± 0,12
6	12,35	0,41 ± 0,10

$$I = K / R^2 \quad \Rightarrow \quad K = I \times R^2$$

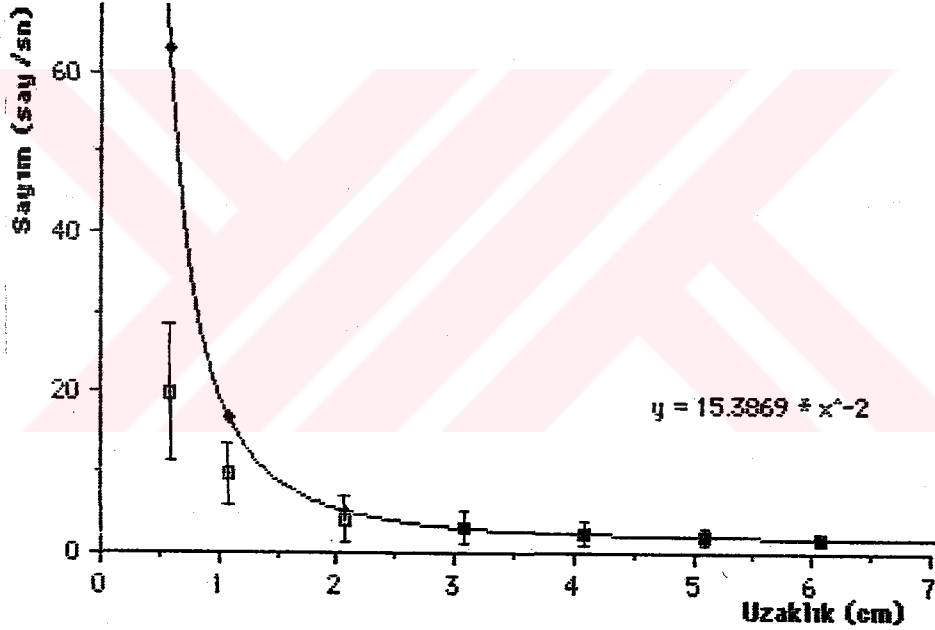
ifadelerinde

$$I = 1,71 \text{ say/sn} \quad \text{ve} \quad R = 3 \text{ cm}$$

değerleri yerlerine yazılarak

$$K = 15,39 \text{ say/sn cm}^2$$

hesaplandı. Bu değeri kullanılarak K/R^2 ifadesinden teorik I değerleri hesaplandı ve teorik $I=f(R)$ grafiği çizildi.



Şekil 5.10: Ters kare kanununun deneysel doğrulanması.

Yorum

Tablo 5.7'deki değerler kullanılarak çizilen Şekil 5.10'daki deneysel eğri, teorik metodla çizilen eğri ile uzun mesafeler için uyumludur. Yakın mesafelerde ise teoriden büyük sapmalar meydana gelmektedir. Ancak bu doğal bir sonuçtur. Çünkü, $I=K/R^2$ ifadesinden de görülebileceği gibi $R \rightarrow 0$ için $I \rightarrow \infty$ olmaktadır. Oysa, belirli bir radyoaktif madde miktarı için bu mümkün olmayacağından teorinin uzun mesafeler için geçerli olduğu söylenebilir.

5.3.3 Deney 3

Deneyin Adı : Lineer absopsiyon katsayısı

Deneyin Amacı : X- ve gama ışınlarının madde tarafından soğurulmasını inceleyerek, maddeyi ışınlara karşı karakterize eden lineer absorpsiyon katsayısını (μ) belirlemek.

Ön Bilgi

Gama ışınlarının, herhangi bir maddenin x kalınlığını geçtikten sonraki şiddeti I ,

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada I_0 soğurucu olmaksızın ölçülen şiddet, μ ise lineer absorpsiyon katsayısıdır. Bir gama ışını demetinin şiddetini yarıya indirmek için gereken madde kalınlığı $x_{1/2}$ ise, lineer absorpsiyon katsayısı μ ,

$$\mu = 0,693 / x_{1/2}$$

ifadesiyle bulunabilir. Bunun değerini deneysel yöntemlerle elde etmek için, soğurucu maddenin çeşitli kalınlıklarına karşı sayımlar yapmak yeterlidir.

Deneyin Yapılışı

1- 4 sn zaman bazında BKGR sayım hızı belirlendi.

BKRG = 0,04 ~ 0 kabul edildi.

2- I_0 değerini belirlemek için Ra-226 gama kaynağı detektörden 5 cm uzaklığa yerleştirildi ve 4 sn zaman bazında arka arkaya 10 defa sayım yapıldı. Sayım sonuçları ve gerekli hesaplamalar Tablo 5.8'e kaydedildi.

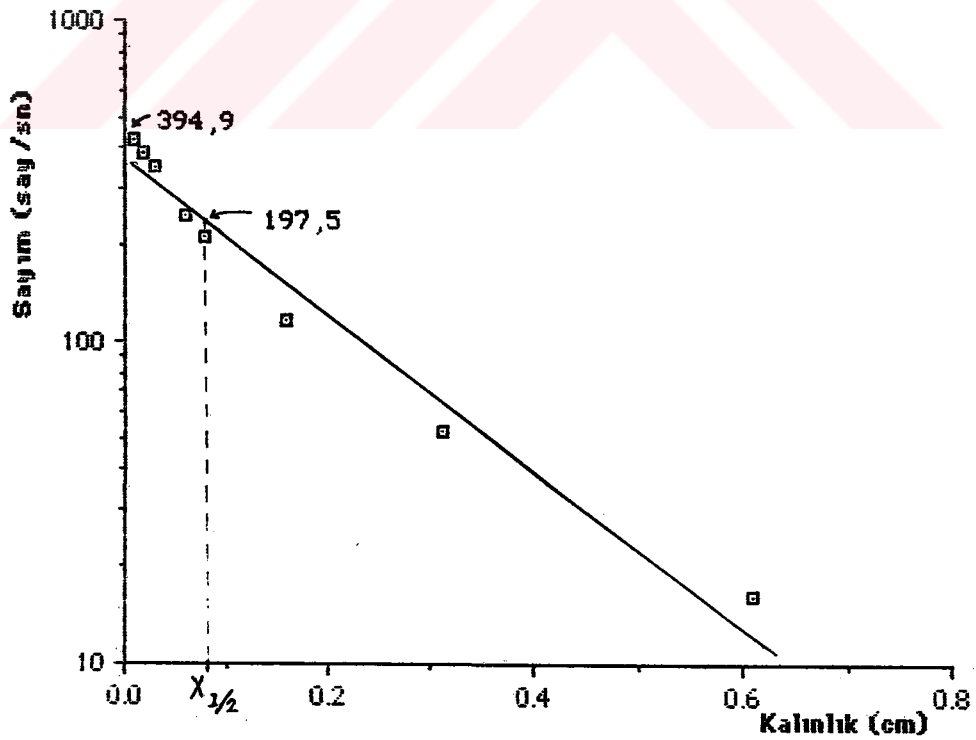
3- Kaynak-detektör arasına deney setinde bulunan sırası ile 0.01 cm; 0.02 cm; ...; 0.60 cm kalınlıklarındaki polyethylene soğurucular koyularak gerekli sayımlar yapıldı ve hesaplamalar ile birlikte Tablo 5.8'de verildi.

Tablo 5.8: Polyethylene tarafından zayıflatılan gama ışınlarının, kalınlığın fonksiyonu olarak sayılması.

Kaynak	Soğurucu		\bar{N} (say/sn)
	(cm)	(mg/cm ²)	
Ra-226	Boş	Boş	394,9 ± 12
	0.01	10	357,9 ± 9,91
	0.02	20	323,7 ± 8,93
	0.05	49	228,7 ± 7,58
	0.07	73	197,5 ± 6,7
	0.15	151	108,7 ± 4,64
	0.30	305	48,5 ± 3,34
	0.60	610	14,9 ± 1,57

Detektör-Kaynak uzaklığı = 5 cm , Zaman Bazı = 4 sn

4- Tablo 5.8'deki veriler yardımıyla, polyethylene kalınlığının fonksiyonu olarak sayım [Şiddet (I)] yarı logaritmik kağıda çizildi. Çizilen grafik Şekil 5.11'den incelenebilir.



Şekil 5.11: Gama ışın şiddetinin soğurucu kalınlığının fonksiyonu olarak çizilmesi.

Şekil 5.11'de verilen grafik yardımıyla $x_{1/2}$ değeri belirlendi.

Bu değer $\mu = 0,693 / x_{1/2}$ ifadesinde yerine yazılarak polyethylen için lineer absorpsiyon katsayısı

$$x_{1/2} = 0,07 \text{ cm} \quad , \quad \mu = 0,693 / 0,030$$

$$\Rightarrow \mu = 23,1 \text{ cm}^{-1}$$

değerinde hesaplandı.

Torum

Hesaplanan μ değeri referans alınarak $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ teorik ifadesinde yerine yazıldı ve çeşitli kalınlıklar için $I = f(x)$ fonksiyonunun grafiği, deneysel grafik üzerine çizildi. Büyük kalınlıklar için deneysel grafiğin teoriden saptığı görüldü. Bu sapmanın nedeni olarak; kalın madde içindeki etkileşmelerin karmaşıklığı gösterilebilir.

6. TARTIŞMA

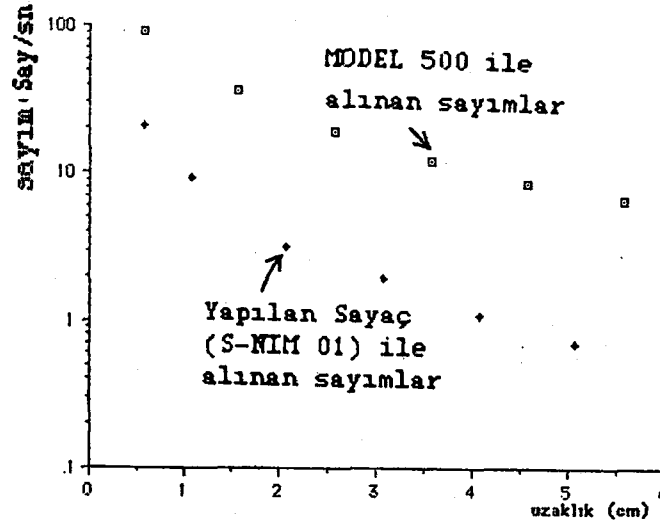
Yapılan radyasyon sayacıyla çeşitli kaynaklardan alınan ve Tablo 5.4'de verilmiş olan değerlerin, Nucleus firmasının ürettiği MODEL 500 GM sayıcı ile alınanlarla karşılaştırılabilmesi bakımından, MODEL 500 GM sayıcı ile aynı şartlarda sayımlar yapılmış ve sonuçları Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1: Nucleus firması yapımı MODEL 500 GM sayıcı ile alınan sayım sonuçları.

Kaynak	Rad. Tipi	Uzaklık (cm)	Sayım (say/sn)
CO-60*	Gama	2.5	16.87 ± 0.58
..	..	3.5	10.79 ± 0.57
..	..	5.5	5.82 ± 0.36
Ra-226**	Gama	20	195.6 ± 2.01
..	..	30	71.33 ± 1.78
..	..	40	32.19 ± 0.99
..	..	60	9.24 ± 0.39
..	..	100	1.86 ± 0.11
SR-90*	Beta	0.5	320.9 ± 3.71
..	..	1.5	92.04 ± 1.15
..	..	2.5	40.82 ± 0.84
..	..	5.5	9.93 ± 0.32

Tablo 5.4 ve Tablo 6.1'de verilen her iki sayaca ait sayım sonuçları, Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Verilen grafiklerde, sayım değerleri uzaklığın fonksiyonu olarak çizilmiştir. Aynı zamanda bu, radyasyon dozunun fonksiyonu olarak sayım şeklinde de yorumlanabilir.

*) 5 µCi disk nokta kaynak , **) 10 µgr.

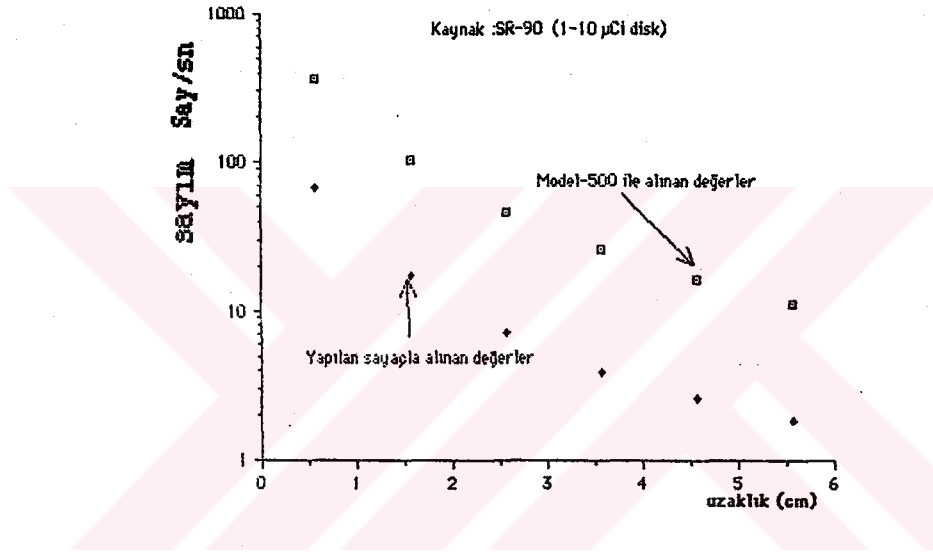


Şekil 6.1: Nucleus marka MODEL 500 GM sayıcı ve yapılan sayacın Co-60 gama nokta kaynağına karşı sayımlarının karşılaştırılması.

Profesyonel bir sayaç olan MODEL 500 GM sayıcı, detektör olarak LND Inc. yapımı 712 numaralı GM tüpü kullanmaktadır. Halojen içerikli gaz ile doldurulmuş GM tüpü, 1.5 cm çaplı ve 3 cm uzunluğunda silindirik şeklindedir. Dipten pencereless -end off yapılı- bu tüp 1.13 cm² aktif yüzeye sahiptir. Bu sayaç ile elde edilen sayımlar, üç tane paralel bağlı BPW-34 fotodiyodun 0.22 cm² duyarlı yüzeyi ve 210 µm etkin kalınlığıyla alınan sayımlarla karşılaştırıldığında, grafiklerde görülen farkların çok büyük olmadığı sonucuna varılır.

Özellikle Şekil 6.2'de verilen β-parçacık sayımlarının grafiksel karşılaştırılmasında, fotodiyot detektör önündeki polyethylene'nin β absorpsiyonu Tablo 5.5'den incelendiğinde gerçek β sayısını yaklaşık %17 zayıflattığı görülür. Eğer bu tabaka diyot önünden kaldırılabilirse ve her iki detektörün duyarlı alanları eşit tutulursa Şekil 6.2'de verilen grafikler birbirleriyle eşitlenebilir. Hatta fotodiyodun daha büyük verimle çalışacağı söylenebilir. Ayrıca fotodiyodun IR ve görünür bölge ışınlarından etkilenmemesi için ön yüzüne kaplanan izolabant ve

alüminyum folyonun β zayıflatması, %9,5 izolabant ve %4,7 folyo olarak tesbit edilmiştir. Bu kayıplar da, diyodu ve radyoaktif kaynağı ışık almayacak biçimde metal bir kutu içine yerleştirmek suretiyle önlenebilir. Böylece sayacın β sayımı %30 oranında arttırılabilir. Bu doğrultuda yapılan teorik hesaplamaların sonuçları ve deneysel verim değerleri Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.2: MODEL 500 sayıcı ve yapılan sayacın beta sayımlarının karşılaştırılması.

Tablo 6.2: β -parçacıkları için deneysel verim değerlerinin karşılaştırılması.

Kaynak	Uzaklık (cm)	Sayım (say/sn)		Birim alan başına sayım (say/sn/cm ²)	
		MODEL 500	S-NİM 01	MODEL 500	S-NİM 01
Sr-90	0,5	320,98 ± 3,71	59,8 ± 0,96	283,1	271,8
	1,5	92,04 ± 1,15	15,41 ± 0,48	81,45	70,04
	2,5	40,82 ± 0,84	6,38 ± 0,39	36,12	29,00
	5,5	9,93 ± 0,32	1,62 ± 0,11	8,78	7,36

Tablo 6.3: S-NIM 01 sayacının deneysel sayım sonuçlarına, %30 zayıflatma değerinin eklenmesi durumunda elde edilebilecek teorik sayım değerleri ve MODEL 500 sayacı ile karşılaştırılması.

Kaynak	uzaklık (cm)	sayım (say/sn/cm ²)	katkılı sayım* (say/sn /cm ²)	a/b**
Sr-90	0,5	271,81	387,14	1,36
	1,5	70,04	100,05	1,22
	2,5	29,00	41,42	1,14
	5,5	7,36	10,51	1,19

Benzer biçimde Co-60 gamaları için elde edilen sayım değerleri Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4: 1.25 MeV ortalama enerjiye sahip Co-60'ın gama ışınlarına karşı verimlerin karşılaştırılması.

Kaynak	Uzaklık (cm)	Sayım (say/sn)		Birim alan başına sayım (say/sn /cm ²)	
		MODEL 500	S-NIM 01	MODEL 500	S-NIM 01
Co-60	3	14,5±0,55	1,17±0,27	12,83	7,77
	4	8,3±0,51	0,97±0,26	7,36	4,4
	5	6,1±0,32	0,63±0,12	5,39	2,86
	6	4,2±0,28	0,41±0,10	3,71	1,86

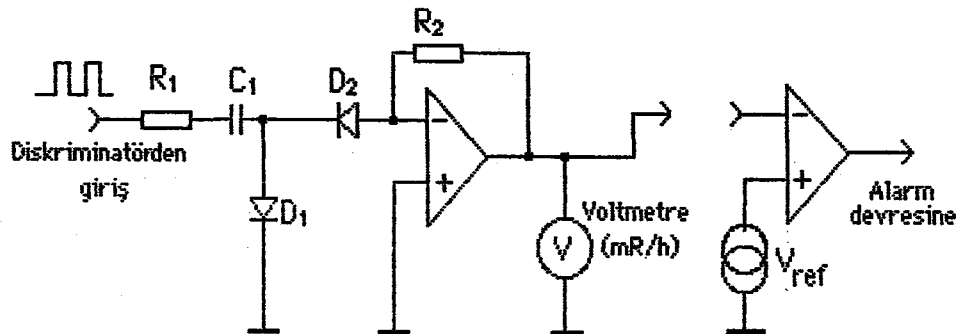
*) Fotodiyot önünde hiçbir soğurucu olmadan hesaplanan sayım değeri.

***) katkılı sayım değerlerinin MODEL 500 sayacı ile elde edilen sayım değerlerine oranı (a: S-NIM 01 sayımı, b: MODEL 500 sayımı)

S-NIM 01 sayacının gama ışınlarına karşı veriminin düşük olması, BPW-34 fotodiyodunun 210 μm etkin kalınlığı ve Şekil 3.6 gözönüne alındığında normal karşılanır. Fotodiyot önünde bulunan ışık soğurucu elemanların gama ışınlarına önemli bir etkisi yoktur. Bu nedenle burada, β 'larda olduğu gibi katkı hesaplarına gerek duyulmamıştır.

7. ÖNERİLER

Elektronik donanım içinde bulunan ön-yükselteç ve ana yükselteç devrelerinin kazanç grafikleri, bu iki devrenin oldukça lineer bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu iki devre spektroskopik çalışmalarda kullanılabilir. Ancak bunun için, ana yükselteç çıkışına bir ADC (Analog to Digital Converter) ve daha sonra bir bilgisayar eklemek gerekecektir. Ya da kolay bir çözüm olarak MCA eklemek de mümkündür. Bunun dışında bir radyasyon sayıcı için lineer çalışma fonksiyonu o kadar önemli değildir. Bu nedenle devrelerin tamamı, 25 keV üzerindeki tüm spektrum içinde sayıcı olarak güvenle kullanılabilir. Sayaç, özellikle eğitim amaçlı çeşitli deneylerin yapılabilmesi için nisbeten büyük bir kutuya yerleştirilmiştir. Fakat istenildiğinde, TL 084 tipi içinde 4 adet FET girişli işlemsel yükselteçler bulunduran entegre devreler kullanılarak sayaç devreleri çok daha küçük boyutlara indirgenebilir ve bu şekilde kişisel monitöre dönüştürülebilir. Ayrıca diskriminatör çıkışındaki lojik puls hızı, basit bir diyot pompa devresi aracılığı ile d.c. voltaja çevrilerek doz miktarını doğrudan mR/h cinsinden verebilen bir sayaç haline getirmek de mümkündür. Bu devre çıkışına ikinci bir diskriminatör devresi eklemek sureti ile yüksek doz alarmı da gerçekleştirilebilir. Bu tür uygulamalar için kullanılacak diyot pompa devresi Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1: Diyot pompa devresine örnek şema.

8. KAYNAKLAR

- ASTOR B. ve KERN R., (1989) çeviren: ONIZ M., *µA Bölgesinde 250kHz.kadar akım ölçümü*, **Elo Elektronik**, cilt 4 , 48,16.
- BAYRAM H.(1991), **Dijital Elektronik**, 3.baskı, Renkış Ofset basımevi, Bursa
- CANBERRA(1981), 81-82 **Catalog**, Canberra Industries Inc.,Connecticut
- DANCE J.B.(1967), **Radioisotope Experiment for Schools and Colleges**, M.Sc., London
- DUGGAN J.L. (1988), **Laboratory Investigations in Nuclear Science**, Published by the Nucleus Inc., U.S.A.
- EY yayıncılık, (1981), **Lineer Tüm Devre Karşılıkları ve Bağlantı Uçları**, Özkur ofset, İstanbul
- HARVEY B.G., (1969), **Introduction to Nuclear Physios and Chemistry**, ikinci baskı, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
- HOLMES,P.V.(Ed), (1983) *Opto Elektronik, Fotodiyotların Kullanımı*, **Elektor**, 2,28
- HOLMES P.V.(Ed),(1984-a), *Elektor Infocard 6 Operational Amplifiers Function*, **Elektor**, Seymour Press Ltd.,Netherlands
- HOLMES P.V.(Ed),(1984-b), *Elektor Infocard 13 Data for Operational Amplifiers*, **Elektor**, Seymour Press Ltd., Netherlands.
- KEELEY R.(Ed),(1983), *General Purpose Light Meter*, **Hobby Electronics**, vol 5,12,12.
- KNOLL G.F., (1989), **Radiation Detection and Measurement**, ikinci baskı, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.

- MILLMAN J. ve HALKIAS C.C., Çeviren: LEBLEBİCİ Y., (1978) .
Elektronik Düzenler ve Devreleri, cilt II, Matbaa
Teknisyenleri Basımevi, İstanbul
- MILLMAN J. ve HALKIAS C.C., Çeviren: LEBLEBİCİ Y., (1986) .
Elektronik Düzenler ve Devreleri, cilt IV, Matbaa
Teknisyenleri Basımevi, İstanbul
- NICHOLSON P.W., (1973), **Nuclear Electronics**, A Wiley-Interscience
Publication, London
- PHILIPS Data handbook, (1980), **Integrated Circuits LOC105 HE 4000B
family**, part 4.
- STEIDLEY J., MAKASHIAN M. ve ENTINE G., (1983), *Built a Personal
Radiation Monitor*, **Electronic Experiment's Handbook**,
Ziff-Davis publishing Comp., New York
- SZE S.M., (1969), **Physisc of Semiconductor Devices**, John Wiley &
Sons, Inc., New Jersey
- TENNELEC / NUCLEUS Inc., (1991), **91-92 Products Catalog**, U.S.A.
- TSOULFANIDIS N., (1983), **Measurement and Detection of Radiation**,
McGraw-Hill, New York
- ZIEL V.D., (1969), **Solid State Physical Electronics**, Mc Millan Co.
Ltd., London