

**NaI(Tl) DEDEKTÖRÜ İLE BAZI VİTAMİNLERİN
KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ
İNCELENMESİ**

**Emre DEMİR
Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN
2011
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NaI(Tl) DEDEKTÖRÜ İLE BAZI VİTAMİNLERİN
KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ
İNCELENMESİ**

Emre DEMİR

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZURUM

2011



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

Tez Başlığı: NaI(Tl) Dedektörü ile bazı vitaminlerin kütle soğurma katsayılarının incelenmesi.

Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN danışmanlığında, Emre DEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma 27/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Demet DEMİR

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuba ÖZAGLIDER

İmza :

(imza)

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NaI(Tl) DEDEKTÖRÜ İLE BAZI VİTAMİNLERİN KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ İNCELENMESİ

Emre DEMİR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN

Bu çalışmada, biyolojik numuneler üzerine radyasyon etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla bir NaI(Tl) dedektörü kullanılarak Vitamin A, Vitamin B2, Vitamin B3, Vitamin B5, Vitamin B6, Vitamin B9, Vitamin C, Vitamin D, Vitamin E, Vitamin K ve Vitamin P'nin kütle soğurma kat sayısı ve radyasyon geçirgenliği ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs radyoaktif kaynaklarda 59,537 keV, 80,977 keV ve 661,661 keV foton enerjisi için deneysel olarak ölçülmüştür. Bu vitaminler için kütle soğurma katsayıları teorik olarak hesaplanarak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan vitaminlerin kütle soğurma katsayılarının enerji ile değiştiği belirlenmiştir.

2011, 35 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, Kütle Soğurma Katsayısı, Radyasyon Geçirgenliği, NaI(Tl) Dedektörü ve Vitamin

ABSTRACT

Ms Thesis

INVESTIGATION OF MASS ABSORPTION COEFFICIENTS OF SOME VITAMINS BY NaI(Tl) DETECTOR

Emre DEMİR

Atatürk University

Graduate School of Naturel and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN

In this, study the effect of radiation on biological specimens is investigated. For this purpose, a NaI(Tl) detector is used to measure the radiation permeabilities and mass absorption coefficients of the 59.537 keV, 80.977 keV and 661.661 keV photon of ^{241}Am , ^{133}Ba and ^{137}Cs radioactive sources for the Vitamin A, Vitamin B2, Vitamin B3, Vitamin B5, Vitamin B6, Vitamin B9, Vitamin C, Vitamin D, Vitamin E, Vitamin K and Vitamin P. The mass absorption coefficients of these vitamins theoretically calculated and compared with experimental results. It is found out that the mass absorption coefficients of the vitamins are depend on the photon energy.

2011, 35 Pages

Keywords: Radiation, Mass Absorption Coefficients, Radiation Safety, NaI(Tl) detector and Vitamin

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu alıŐma Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde hazırlanmıştır. ÇalıŐmalarım süresince her türlü desteğini ve sabrını benden esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanma süresinde bana yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Demet DEMİR'e ve doktora öğrencisi Sayın Ahmet TURŐUCU'ya teŐekkürü bir borç bilirim.

Emre DEMİR

Temmuz 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Radyasyon.....	3
2.1.1 Radyasyon birimleri.....	3
2.2. Radyasyonun madde ile etkileşimi.....	4
2.2.1 Ağır yüklü parçacıklar.....	4
2.2.2 Elektronlar.....	5
2.3 Elektromanyetik radyasyon.....	5
2.4 Elektromanyetik radyasyonun soğurulması.....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
3.1 NaI(Tl) dedektörlerinin çalışma prensibi.....	16
3.1.1 Sayma sistemi.....	25
3.2 Radyoaktif kaynaklar.....	26
3.3.2 Numunelerin hazırlanması.....	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	28
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	34
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER DİZİNİ

B_e	Elektronun bağlanma enerjisi
c	Işık hızı
e	Elektronun yükü
E_γ	Fotonun enerjisi
FWHM	Yarı maksimumdaki tam genişlik (Full Width at Half Maximum)
I_0	Monokromatik paralel X-ışını veya γ -ışını demetinin şiddeti
I	Gama ışınlarının numuneden geçtikten sonraki şiddeti
m_0	Elektronun durgun kütlesi
m	Elektronun kütlesi
M	Ağır yüklü parçacığın kütlesi
NaI(Tl)	Talyum aktifli sodyumiyodür dedektörü
r_o	Klasik elektron yarıçapı
t	g/cm^2 cinsinden kalınlık
T_c	Elektronun kinetik enerjisi
$T=I/I_0$	Gama ışınlarının geçme ihtimali
Z	Atom numarası
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
μ	Lineer soğurma katsayısı
ε	Dedektör verimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kurşunun fotoelektrik tesir kesitinin enerji ile değişimi.....	7
Şekil 2.2. Compton saçılması.....	8
Şekil 2.3. Compton saçılma tesir kesitinin açı ile değişimi.....	9
Şekil 2.4. Gama ışınlarının madde ile etkileşme türleri.....	11
Şekil 2.5. Foton-madde etkileşmeleri.....	11
Şekil 2.6. X-ışınlarının soğurulması.....	12
Şekil 2.7. Al ve Pb içinde üç etkileşme için yoğunluğu bölünerek elde edilmiş lineer soğurma katsayılarına eşit olan foton kütle soğurma katsayıları.....	14
Şekil 2.8. α parçacıkları, elektronlar ve gama ışınlarının menzilleri.....	14
Şekil 3.1. Sintilasyon dedektöründeki temel işlemler.....	17
Şekil 3.2. Bir organik sintilatörün elektronik yapısı.....	18
Şekil 3.3. Bir kristaldeki enerji bantları.....	20
Şekil 3.4. Bazı fotoçoğaltıcı tüplerle birleşik NaI(Tl) sintilatörleri.....	21
Şekil 3.5. Bir fotoçoğaltıcı tüpün çalışma şeması.....	22
Şekil 3.6. Kullanılan NaI(Tl) dedektörünün fotoğrafı.....	24
Şekil 3.7. Sayma sistemi.....	25
Şekil 3.8. Desktop Inspector.....	26
Şekil 3.9. Gama ışını geçme yöntemi için kullanılan deney geometrisi.....	27

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Vitaminlerin moleküler yapısı.....	1
Çizelge 3.1 NaI(Tl) detektörünün karakteristik özellikleri.....	24
Çizelge 4.1 ²⁴¹ Am'dan yayınlanan 59,537 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin lineer soğurma katsayıları.....	29
Çizelge 4.2 59,537 keV enerjili fotonlar için vitaminlerin geçirgenliği (I/I_0).....	29
Çizelge 4.3 ²⁴¹ Am'dan yayınlanan 59,537 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin kütle soğurma katsayıları (μ/ρ).....	30
Çizelge 4.4 ¹³³ Ba'dan yayınlanan 80,977 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin lineer soğurma katsayısı.....	30
Çizelge 4.5 80,977 keV enerjili fotonlar için vitaminlerin geçirgenliği (I/I_0).....	31
Çizelge 4.6 ¹³³ Ba'dan yayınlanan 80,977 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin kütle soğurma katsayıları (μ/ρ).....	31
Çizelge 4.7 ¹³⁷ Cs'dan yayınlanan 661,661 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin lineer soğurma katsayıları.....	32
Çizelge 4.8 661,661 keV enerjili fotonlar için vitaminlerin geçirgenliği (I/I_0).....	32
Çizelge 4.9 ¹³⁷ Cs'dan yayınlanan 661,661 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin kütle soğurma katsayıları (μ/ρ).....	33

1. GİRİŞ

Biyolojik moleküller üzerinde radyasyonun etkilerinin araştırılması medikal fizik ve radyasyon fiziği alanlarında önemli uygulama sahaları bulmuştur. Önemli biyolojik moleküller canlı sistemlerde çeşitli fizyolojik fonksiyonları gerçekleştirmek, enerji üretmek ve depolamak için yardımcı olur. Bu moleküller genellikle H, C, N ve O elementleri ile oluşmaktadır. Çeşitli biyolojik materyaller (amino asitler, yağ asitleri, protein, karbonhidrat vb. içeren) insan vücudu içinde farklı fizyolojik fonksiyonları yerine getirmek için önemli rol oynarlar. Vitaminler, bizim sağlığımız ve uzun ömürlülüğümüz açısından hayati önem taşıyan bileşiklerdir. Vücudumuzun büyüme, çalışma, enerji sağlama, doku onarımı ve zararlı atıkların uzaklaştırılmasında vitaminler gerekir. Vitaminler suda eriyen ve yağda çözünen olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilir (Krishnaveni *et al.* 2004).

Çizelge 1.1 Vitaminlerin moleküler yapısı.

Vitaminler	Kimyasal Formülleri
Vitamin-A	$C_{20}H_{30}O$
Vitamin-B2	$C_{17}H_{20}N_4O_6$
Vitamin-B3	$C_6H_5NO_2$
Vitamin-B5	$C_9H_{17}NO_5$
Vitamin-B6	$C_8H_{12}N_2O_2$
Vitamin-B9	$C_{19}H_{19}N_7O_6$
Vitamin-C	$C_3H_4O_3$
Vitamin-D	$C_{27}H_{44}O$
Vitamin-E	$C_{29}H_{50}O_2$
Vitamin-K	$C_{13}H_{16}ClNO$
Vitamin-P	$C_{28}H_{34}O_{15}$

Günümüzde medikal görüntüleme ve nükleer spektroskopi uygulamalarında x-ışını veya gama ışını dedeksiyonu için yüksek verimli ve yüksek çözme güçlü sintilatöre veya yarı iletken dedektörlere gereksimin duyulmaktadır. Örneğin NaI(Tl) dedektörleri oda sıcaklığında çalışır ve bu yüzden özellikle alan ölçümleri için uygundur

(Lachish 1998). NaI(Tl) dedektörleri yarıiletken dedektörle (HPGe ve CdTe gibi) mukayese edildiğinde yüksek enerjilerde daha yüksek verime sahiptir. Soğutulma zorunluluğuna rağmen, HPGe dedektörü yüksek enerji çözünürlüğünden dolayı şüpheli nüklid tanımlamaları için en iyi dedektördür (Kleinknecht 1986; Derbertin and Helmer 1988; Choppin *et al.* 1995; Gilmore and Heminway 2000). Bu nedenle, uygulama gereksinimine göre yeni tip dedektörlerin geliştirilme çalışmaları hızla devam etmektedir (Scheiber and Giakos 2001).

Çağımızda nükleer tıp izlemesinde insan damarlarına enjekte edilen radyoaktif izleyicilerin yaydığı gama ışınları, fotoçoğaltıcı tüplerine bağlı olan NaI sintilatörlerden oluşan gama kameralar ile dedekte edilir. Sintilatör teknolojisine dayanan gama kameralar, 3-6 mm'lik uzaysal çözünürlüğe sahiptirler. Nükleer tıp, nükleer atık-yakıt karakterizasyonu ile nükleer materyallerin belirlenmesinde yararlı olan NaI(Tl) dedektörler özellikleri, kararlılıkları ve düşük maliyetli olması bakımında son yıllarda diğer yarıiletken dedektörlere göre tercih edilebilir bir hale gelmiştir (Schulman 2003; Abbene *et al.* 2007).

NaI(Tl) sintilatörlerin enerji çözme gücü ^{137}Cs izotopunun 661,661 keV enerjili gama ışını piki için %~ 9-11 (FWHM=60-70 keV) civarındadır; ancak, bu çözünürlük tıpta sıkça kullanılan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ izotopunun 140,5 keV'lik gama ışını piki için FWHM~15 keV olarak elde edilebilir.

Bu çalışmada, NaI(Tl) dedektörü ile ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs radyoaktif kaynaklarından yayınlanan bazı gama fotonları kullanılarak Vitamin A, Vitamin B2, Vitamin B3, Vitamin B5, Vitamin B6, Vitamin B9, Vitamin C, Vitamin D, Vitamin E, Vitamin K ve Vitamin P'nin radyasyon geçirgenlikleri ve toplam kütle soğurma katsayıları deneysel olarak ölçülmüştür. Bulunan bu deneysel sonuçlar teorik olarak hesaplanan değerlerle de karşılaştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Radyasyon

Radyasyon dalga, parçacık veya foton şeklindeki hareketli enerji paketleridir. Daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyasyonlar, maddeyle etkileşmesi sonucu iyonlaşma meydana getirip getirmemesine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olarak sınıflandırmak mümkündür. Radyasyon, dalga özelliği gösterip göstermemesine göre partiküler radyasyon ve elektromanyetik radyasyon olarak da incelenebilir.

Nükleer radyasyon normal olarak fotonlar ve kinetik enerjili parçacıklardan meydana gelir. Nükleer radyasyonun madde ile etkileşmesi; dedektörler, materyal modifikasyonu, analiz, radyasyon terapisi gibi nükleer fizik uygulamalarının ve deneysel çalışmaların temelini teşkil eder. Radyasyon özellikle canlı dokuya zarar verir ve bu olumsuz etkinin tehlikeli kabul edilmesi gerekir. Bununla birlikte radyasyonun potansiyel olarak zarar vermesi, radyasyonun daha kolay algılanmasını ve daha kolay kontrol altına alınmasını mümkün kılar. Etkiler, absorplayıcı materyalin yapısı kadar, büyük oranda radyasyonun türü ve yoğunluğuna da bağlıdır (Krane 2001).

2.1.1 Radyasyon birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamlarda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaşma da soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU), yaptığı çalışmalar sonucunda soğurulan doz için rad, ışınlama için Röntgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise rem radyasyon birimlerinin kullanılmasını öngörmüştür.

i) Radyoaktivite Birimi: Radyoaktivite birimi Becquerel olup saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı veya bu maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanır.

Bq ile gösterilir. Becquerel'in diğeri bir radyoaktif birimi olan Curie (Ci) ile arasındaki ilişki $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ şeklindedir.

ii) Işınlama Birimi: Işınlama birimi olan Röntgen (R), normal hava şartlarında ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 760 mm Hg cıva basıncı) havanın 1 kg 'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan x-ışını ve gama radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Işınlama, x- ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. $1 \text{ R} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ 'dır.

iii) Soğurulan Doz Birimi: Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim (International System of Unit) sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 Gray ; 1 kg 'lık bir maddeye 1 Joule 'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyon dozudur. Diğeri bir soğurulan doz birimi olan rad (radiation absorbed dose) herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg 'lik enerji soğurmasına eşdeğeri. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ve $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ 'dır.

iv) Doz Eşdeğeri: Eşdeğeri doz birimi (Sievert), iyonlayıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsüdür. Sievert, soğurulmuş doz ile biyolojik etki faktörünün çarpımı olarak tanımlanmıştır. $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ ve $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rad}$ 'dır.

2.2 Radyasyonun madde ile etkileşimi

2.2.1 Ağır yüklü parçacıklar

Yüklü parçacıkların çekirdek tarafından uğratıldıkları Coulomb saçılması (Rutherford saçılması da denir) nükleer fizikte önemli bir işlem olmasına rağmen yüklü parçacığın dedektör materyali içinde uğradığı bu olayda enerji kaybı çok küçüktür. Dedektör materyalinin çekirdekleri, atom hacimlerinin sadece yaklaşık 10^{-15} 'ini işgal ettikleri için parçacığın çekirdeklerden çok, elektronlarla çarpışma olasılığı yaklaşık çekirdeklerinkinden çok büyüktür. Böylece yüklü parçacığın enerjisini kaybetmesi için baskın olan mekanizma, dedektörün atomik elektronlarıyla yaptığı Coulomb

saçılmasıdır. M kütleli ağır parçacık ile m kütleli elektron (basit olması açısından m kütleli elektron durgun kabul edilmiştir) arasındaki merkezi çarpışmada, enerji ve momentum korunumundan, parçacığın kinetik enerjisindeki kayıp için

$$\Delta T = T \left(\frac{4m}{M} \right) \quad (2.1)$$

ifadesi yazılabilir.

2.2.2 Elektronlar

Elektronlar (pozitif ve negatif) tıpkı ağır yüklü parçacıklar gibi, atomik elektronlarla Coulomb saçılmasıyla etkileşirler. Ancak bazı önemli farklılıklar bulunmaktadır:

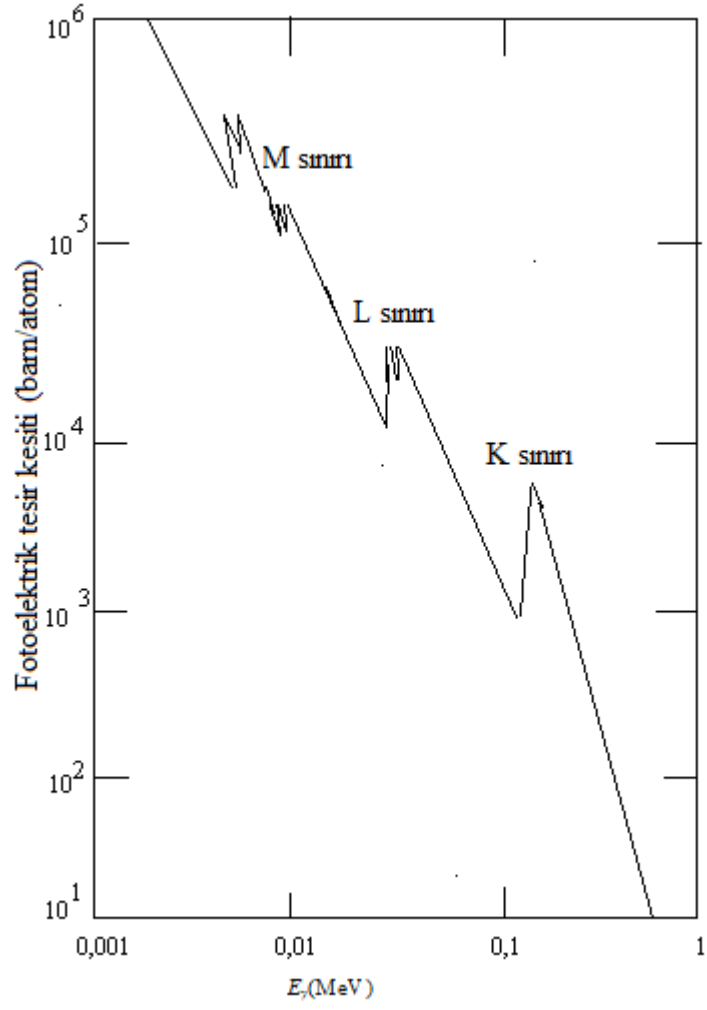
- a) Özellikle β bozunumlarında yayınlanan elektronlar göreceli hızlarla hareket ederler.
- b) Elektronlar, diğer elektronlarla çarpışmalarında büyük sapmalara uğrarlar ve düzensiz yörüngeler çizerler. Böylece, menzil (madde içinde gidilebilen doğrusal uzaklık) elektronların takip ettikleri yol uzunluğundan çok farklı olacaktır.
- c) Elektronun bir diğer elektronla kafa kafaya çarpışmasında ilk enerjinin büyük bir kısmı diğer elektrona aktarılabilir (gerçekte, elektron-elektron çarpışmalarında iki parçacığın durumu gözönüne alınmalıdır).
- d) Elektron hızının doğrultusunda ve büyüklüğünde hızlı bir değişiklik olabileceğinden, büyük bir ivmeye maruz kalabilir ve ivmeli yüklü parçacık elektromanyetik enerji yayımlar. Bu radyasyona *Bremsstrahlung* (frenleme) ışınımı denir.

2.3 Elektromanyetik radyasyon

Gama ve x-ışınları madde ile esas olarak üç şekilde etkileşir: fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşumu. Fotoelektrik olayda foton, atom tarafından soğurlur ve atomun elektronlarından birinin salınmasına neden olur. Salınan bu elektrona fotoelektron denir. Elektronun kinetik enerjisi, fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir:

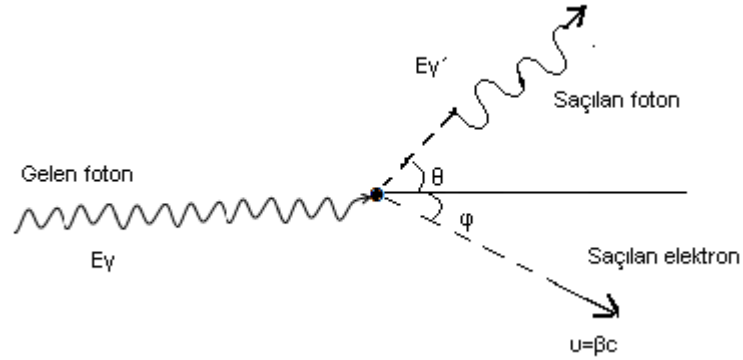
$$T_c = E_\gamma - B_e \quad (2.2)$$

Fotoelektrik soğurma olasılığını hesaplamak zordur, ancak deneysel çalışmalarla çeşitli özellikleri belirlenebilir. Düşük enerjili fotonlar için (~ 100 keV) fotoelektrik olay son derece önemlidir. Fotoelektrik soğurma olasılığı, soğurucu atomun Z sayısı ile hızla artar (Z^4) ve artan foton enerjisi ile hızla azalır ($\sim E_\gamma^{-3}$). Ayrıca fotoelektrik soğurma olasılığı özel elektron kabuklarının bağlanma enerjilerine karşılık gelen enerjilerde süreksizlikler (sıçramalar) gösterilir. Örneğin Pb'da K -kabuğu elektronunun bağlanma enerjisi 88 keV'dir. 88 keV'den düşük enerjilerde gelen fotonlar K -kabuğundan fotoelektron salınmasına neden olamazlar (daha düşük enerjili kabuklardan bağlı elektronların salınmasına neden olabilirler). Foton enerjisi 88 keV'in birazcık üstüne çıkarılırsa K -kabuğu elektronlarının fotoelektrik soğurma işlemine katılmalarından dolayı fotoelektrik olay olasılığının ani bir şekilde artmasına neden olur. Bu olayın meydana geldiği enerji K -kabuğu soğurma sınırı olarak adlandırılır. Pb'un fotoelektrik soğurma tesir kesitinin enerji ile değişimi Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kurşunun fotoelektrik tesir kesitinin enerji ile değişimi.

Compton saçılmasında foton, atomun hemen hemen serbest olan elektronu tarafından saçılır ve daha küçük enerjili bir foton ile saçılmış bir elektronun ortaya çıkmasına yol açar. Şekil 2.2'de Compton saçılması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Compton saçılması.

Fotonun çarptığı elektronun serbest ve durgun olduğunu kabul edersek (iyi bir yaklaşımla, foton enerjisi gevşek bağlı dış atomik elektronların yörüngesel enerjileri ile karşılaştırıldığında genellikle büyüktür) lineer momentum ve toplam enerjinin korunumu

$$\frac{E_\gamma}{c} = \frac{E_\gamma'}{c} \cos \theta + \frac{m\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (2.3)$$

$$0 = \frac{E_\gamma}{c} \sin \theta - \frac{m\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (2.4)$$

$$E_\gamma m^2 c^2 = E_\gamma' + \frac{m_0^2 c^4}{1-\beta^2} \quad (2.5)$$

olarak bulunur. Eğer saçılan foton göz önüne alınırsa, gözlenemeyen β ve ϕ değişkenleri yok edilerek Compton saçılan fotonun enerjisi için,

$$\frac{E_\gamma'}{E_\gamma} = \frac{1}{1 + \frac{m_0 c^2}{E_\gamma} (1 - \cos \theta)} \quad (2.6)$$

ifadesi elde edilir. Bir θ açısında Compton saçılma ihtimali kuantum mekaniksel hesaplamalarla bulunabilir. Sonuç, elektron başına diferansiyel tesir kesiti için Klein-Nishina bağıntısıdır:



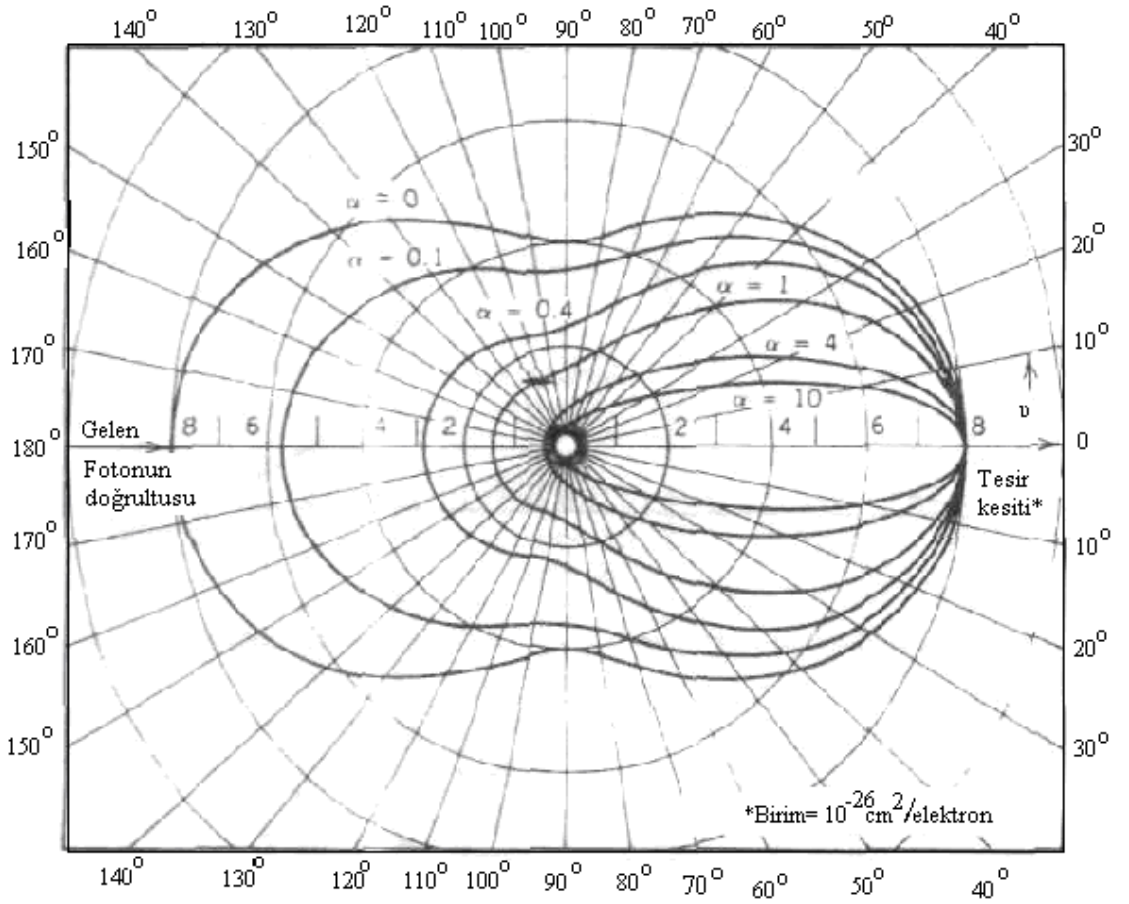
(2.7)

Burada α , elektron durgunun enerjisi cinsinden ($\alpha = E_\gamma / m_0 c^2$) foton enerjisi ve

$$r_0 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_0 c^2} = 2.8 \text{ fm}$$

fm değerindeki klasik elektron yarıçapıdır. Compton saçılma

tesir kesitinin kutupsal (açıya bağlı) görüntüsü Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Compton saçılma tesir kesitinin açı ile değişimi.

Eğer fotonların soğurulması dikkate alınırsa denklem (2.7)'nin tüm açılar üzerinden integre edilmesi gerekir. Böylece saçılmanın olduğu maddedeki her bir elektron için,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{k'}{k} \right)^2 \left(1 + \cos^2 \theta \right) \quad (2.8)$$

ifadesi bulunur.

Fotonların madde ile etkileşme olaylarından bir diğeri çift oluşumdur. Bu işlemde foton, elektron-pozitron çifti üretir ve kendisi yok olur. Enerjinin korunumu:

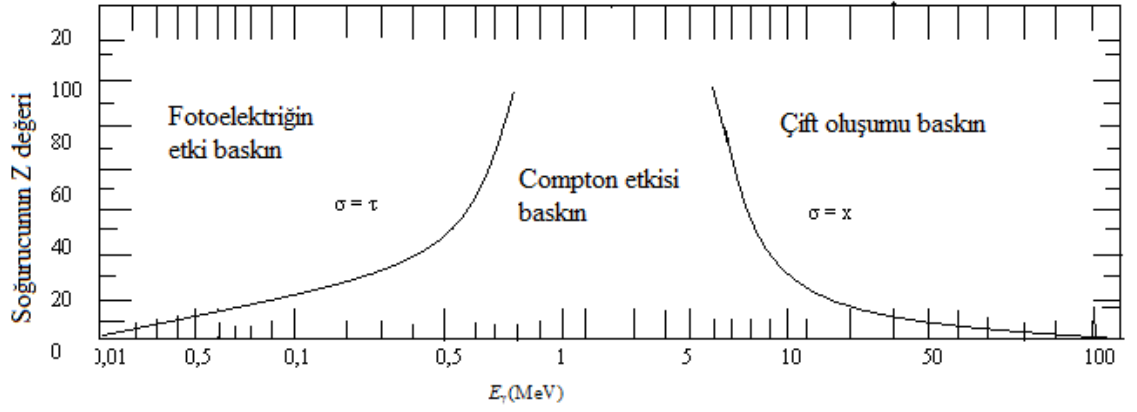
$$E = E_+ + E_- \quad (2.9)$$

ifadesi ile verilir. Burada, T_+ ve T_- pozitron ve elektronun enerjileridir. Fotoelektrik soğurmada olduğu gibi, bu işlemde de momentum korunumu için ağır bir atomun varlığı gereklidir; fakat, atoma verilen geri tepme enerjisi denklem (2.9)'daki diğer terimlerle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir. Çift oluşumu için $2mc^2$ veya 1,022 MeV'lik bir eşik enerjisinin gerekli olduğu açıktır. Genelde çift oluşum sadece yüksek enerjili fotonlar için önem kazanmaktadır. Şekil 2.4'de gama ışınlarının madde ile etkileşme türleri ve etkili olduğu enerji bölgeleri görülmektedir. Çift oluşum 5 MeV'in üstündeki enerjiler için baskın hale gelmektedir.

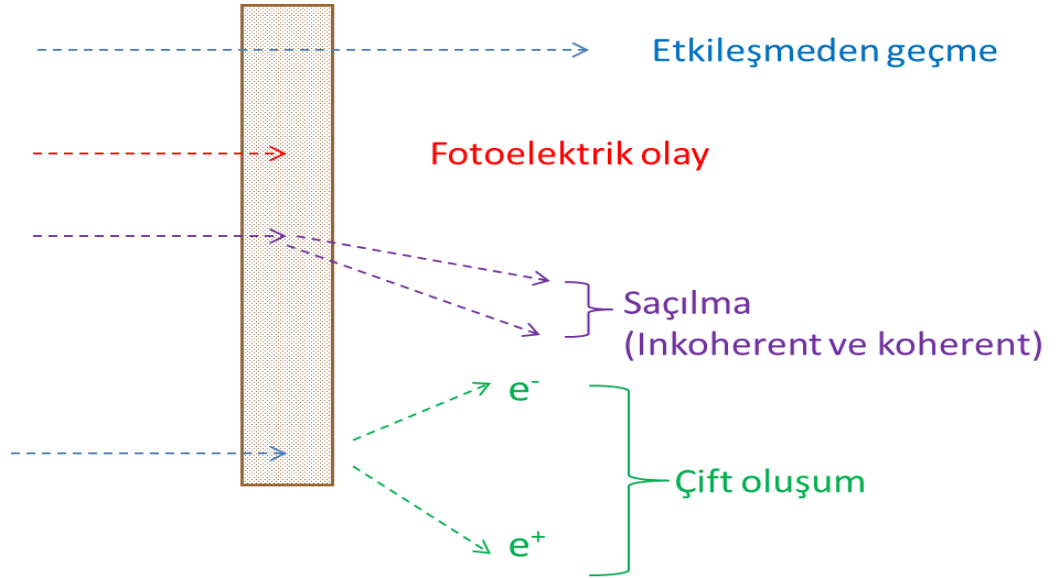
Görüldüğü gibi t kalınlıklı bir hedefe gelen ince, paralel hale getirilmiş tek enerjili bir foton demetini gözönüne alalım (Şekil 2.5). Fotonlar fotoelektrik soğurma veya çift oluşumuna uğrayıp yok olabilirler veya dedektöre ulaşmadan Compton saçılması yapıp saptırılabilirler. Dedektöre ulaşan fotonlar hemen hemen hiç etkileşme yapmayan fotonlardır; bunlar genelde demet içindeki fotonların küçük bir kısmını teşkil ederler (Bu, ağır yüklü parçacıkların tersine bir durumdur; eğer t , menzil değerinden daha küçük ise sayı değişmez ama enerji azalır). Bir fotonun yok olması için birim uzunluk başına toplam

olasılık μ toplam lineer soğurma katsayısı olarak adlandırılır. Bu katsayı fotoelektrik soğurma (τ), Compton saçılması (σ) ve çift oluşumu (κ) olasılıklarının toplamına eşittir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.10)$$



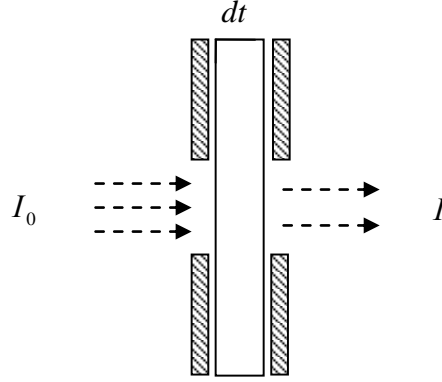
Şekil 2.4. Gama ışınlarının madde ile etkileşme türlerinin enerjiye bağlı değişimi.



Şekil 2.5. Foton-madde etkileşmeleri.

2.4 Elektromanyetik radyasyonun soğurulması

Gama ışınları demeti ince bir tabakadan geçirildiğinde absorpsiyon ve saçılma sonucunda ışının şiddeti veya gücünde azalma meydana gelir. Bir elementin absorpsiyon spektrumu basittir ve elementin karakteristiği olan belli dalga boylarında piklerden oluşur. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, dt kalınlığındaki bir madde üzerine gelen demetin şiddeti maddeyi geçtikten sonra azalacaktır. Bu azalma $-dI = \mu I dt$ şeklinde gösterilebilir. Burada dI kendi başına pozitif bir nicelik olup önündeki işaretin negatifliği gelen şuanın şiddetinin azaldığını gösterir.



Şekil 2.6. X-ışınlarının soğurulması.

Bu azalma gelen şiddet ve kalınlıkla doğru orantılı olacaktır. Buradaki orantı katsayısına μ (lineer azaltma katsayısı) dersek;

$$-dI = \mu I dt \quad (2.11)$$

yazılabilir. Buradan

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\int_0^t \mu dt \quad (2.12)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.13)$$

bulunur.

$I = I_0 e^{-\mu x}$ ifadesi "Lambert kanunu", "Beer kanunu" veya "Beer-Lambert kanunu" olarak bilinir ve buradan yazacağımız

$$\text{Geçen şiddet/Gelen şiddet} = T = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (2.14)$$

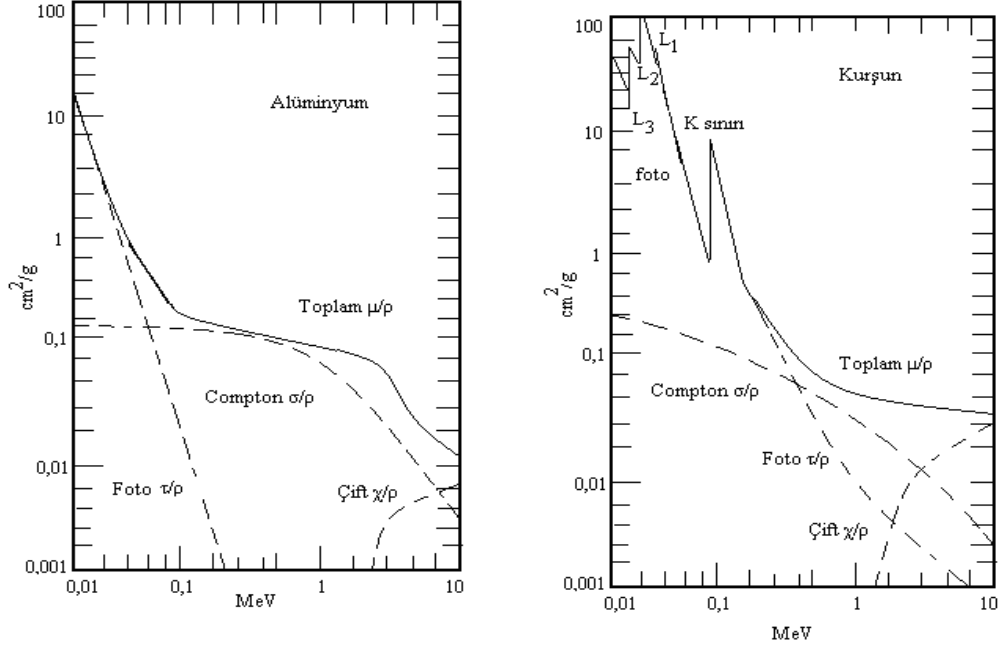
ifadesi azalmama (geçme) ihtimalini verir. Numune bir tek saf elementten müteşekkil değilse, numuneyi meydana getiren elementlerin toplam azaltma katsayılarının ağırlıklı ortalaması

$$\mu = \sum_i C_i \mu_i \quad (2.15)$$

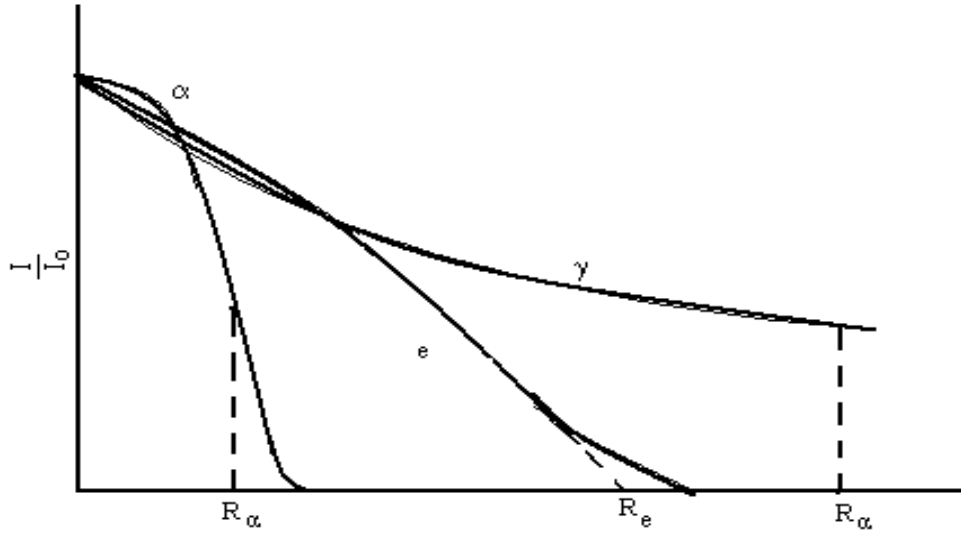
ifadesinden bulunabilir; ki burada C_i numune içinde i . elementin ağırlık kesri (ağırlık konsantrasyonu), μ_i ise i . elementin azaltma katsayısıdır. Lineer azaltma katsayısının yoğunluğa bölünmesiyle elde edilen kütle azaltma katsayısı (μ_m) kimyasal ve fiziksel durumlardan bağımsız olup elementlerin atomik bir özelliğidir. Sadece dalgaboyu (enerji) ve atom numarasının fonksiyonudur. Şekil 2.7'de Al ve Pb için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi görülmektedir.

1 MeV'lik α parçacıklarının, elektronların ve gama ışınlarını madde içindeki menzilleri, Şekil 2.5'te görülmekte olan geometride ışınım incelenirse, Şekil 2.8 elde edilir. α parçacıklarının şiddeti, kalınlık, ortalama menzile çok yakın oluncaya kadar azaltılamaz; sonra çok hızlı bir şekilde sifira ulaşır. 1 MeV'lik α parçacıklarının Al içindeki menzili yaklaşık 0,003 cm'dir. Elektron demetinin şiddeti, menzilden çok daha küçük kalınlıklarda bile demet dışına saçılmış elektronlar yüzünden, yavaşça azalmaya başlar. Elektronlar için ekstrapole edilmiş menzil yaklaşık olarak 0,18 cm'dir.

Gama ışınlarının şiddeti üstel olarak azalır; ortalama menzil ($I = 0,5 I_0$ 'daki kalınlık olarak tanımlanır) Al içinde ve 1 MeV'lik gama ışınları için yaklaşık olarak 4,3 cm'dir.



Şekil 2.7. Al ve Pb içinde üç etkileşme için yoğunluğa bölünerek elde edilmiş lineer soğurma katsayılarına eşit olan foton kütle soğurma katsayıları.



Şekil 2.8. α parçacıkları, elektronlar ve gama ışınlarının menzilleri.

α parçacıkları için t 'nin $I/I_0=0,5$ 'e karşılık gelen değeri, ortalama menzildir; fotonlar için ortalama menzili, basit üstel bağımlılığı kullanarak benzer şekilde tanımlayabiliriz. Elektronlar için, şekilde gösterildiği gibi, soğurma eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak *ekstrapole* edilmiş menzil tanımlamak adettir. Yatay eksen her yerde doğrusal değildir; gama ışını için menzil α parçacıklarının 10^4 katı olabilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 NaI(Tl) Dedektörlerinin Çalışma Prensibi

Aralarında sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin, naftalin ve fenantirinin bulunduğu bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, x-ışını veya gama ışını çarptığı zaman bir ışık parıltısı meydana getirirler. Bu gibi maddelere sintilatör adı verilir. Bu ışık parıltıları elektrik pulslarına dönüştürülürki, bu pulslar yükseltilerek sayılabilir. Dedeksiyon ve sayma için gerekli düzenek bir sintilasyon sayacı olarak bilinmektedir (Atatürk Üniversitesi 2007).

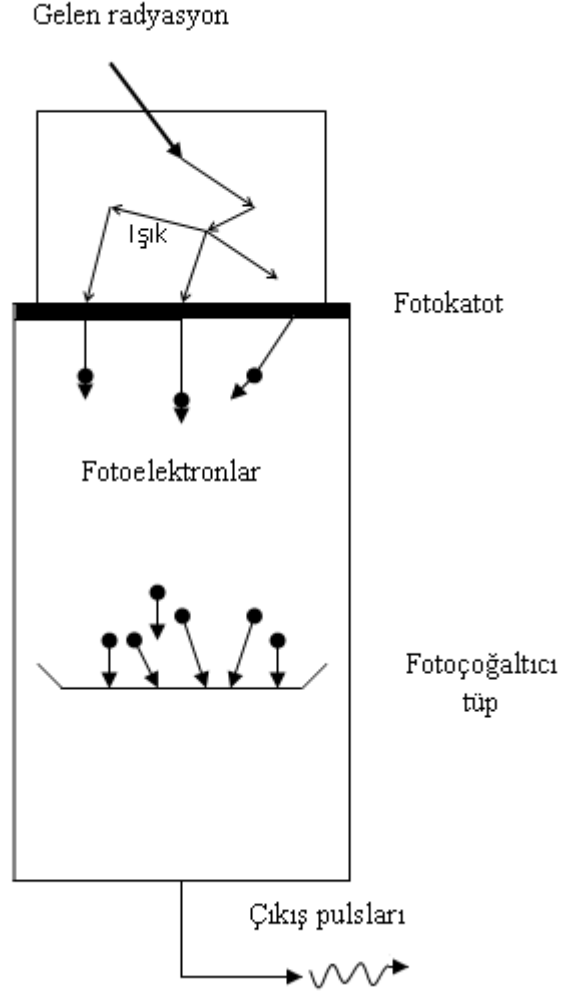
Gazlı sayaçların, nükleer fiziğin ilgilendiği pek çok radyasyon için elverişsiz tarafı düşük verimli olmalarıdır. 1 MeV'lik gama ışınlarının havadaki menzili 100 m civarındadır. Büyük yoğunluğa sahip katı dedektörler, uygun boyutlarda olduğu zaman, uygun soğurma olasılıkları verirler. Ancak iyi çalışabilir bir katı dedektör yapmak için, birbiriyle çelişen iki kritik şartın sağlanması gerekir:

1. Elektron ve iyonların yeteri kadar birikip elektronik pulsların oluşabilmesi için yüksek elektrik alana dayanabilecek dedektör materyaline ihtiyaç vardır. Radyasyon olmadığında az veya hiç akım geçmemelidir, böylece taban sayım gürültüleri küçük olacaktır.

2. Elektronlar, gönderilen radyasyon ile atomdan kolayca ve çok sayıda koparılabilmelidir.

Elektronlar ve ilk iyonlaşan atomlar materyal boyunca kolayca hareket edebilmelidirler (gerçekte, iyonların kendileri katı içinde hareket etmezler: bunun yerine elektronik boşluklar veya "hol"ler bir atomdan diğerine geçen ardışık elektronlar tarafından doldurulurlar. Böylece "hol" hareket ediyormuş gibi görünür).

Birinci şart, yalıtkan bir materyal seçimini gerektirirken, ikinci şart bir iletken kullanımını önermektedir. Bu iki şartın bir yarıiletken ile sağlanacağı açıktır.



Şekil 3.1. Sintilasyon dedektöründeki temel işlemler.

Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki ikilemi şöyle çözer. İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar elektronik pulsularla oluşturan elektronlar aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasında bir aracı vardır, bu ışıktır. İşlemin tamamı Şekil 3.1 incelenerek anlaşılabilir:

1. Bir yüklü parçacık veya bir fotonun sebep olduğu ilk iyonlaştırmadan dolayı kristalin içinde serbest elektronlar meydana gelir.

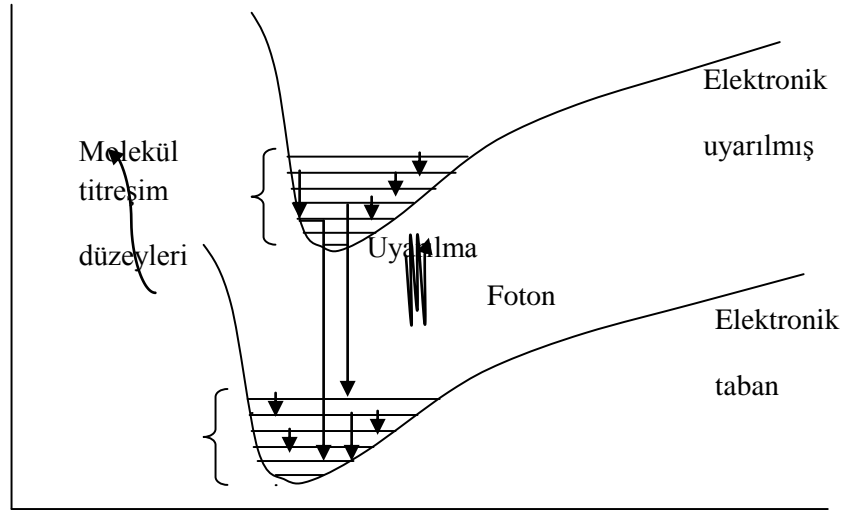
2. Bu elektronların kristalin atom veya moleküllerine bağlanması ile görünür bölgede, yaklaşık 3300 Å'dan 5000 Å'a kadar değişen dalgaboyunda ışık yayınlanır.

3. Kristalden yayınlanan bu ışınlar foto-çoğaltıcı tüpün fotokatodu üzerine düşerler. Fotokatodun yüzeyi, ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılmış olduğundan, buraya gelen ışınlar buradan elektron yayınlanmasına sebep olurlar.

4. Foto-çoğaltıcı, her bir dynode'da (çoğaltıcıda) peş peşe ve voltaj artmaları olacak şekilde, yaklaşık 800 ile 1500 volt arasında bir voltajda çalıştırılır. Bu ise elektronların fotokatottan son dynode'a kadar giderken sayılarının peş peşe artması neticesini verir.

Sintilatör ve fotoçoğaltıcı (PM) tüplerin kullanılacak uygulamalara bağlı olarak pek çok değişik tipleri mevcuttur.

Uyarılma Enerjisi



Şekil

3.2. Bir organik sintilatörde elektronik yapı.

Sintilatörün seçiminde göz önünde bulundurulacak özellikler, ışık çıkışı (ışık olarak görünecek gelen enerji kesri), verim (radyasyonun soğurulma olasılığının bir ölçüsü), zamanlama ve enerji çözme gücüdür. Kolay elde edilebilen bir sintilatör olan NaI kristali, nem kapıcıdır; su buharına maruz kaldığında saydam kristal halden donuk toz hale geçer. Bu yüzden kristalin foto-çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde bütün çevresi Al levha ile kaplanır. Bu levhanın iç kısmı magnezyum oksitle kaplıdır ki, bu ışık yansıtıcı olarak iş görür. Diğer taraftan pek çok plastik sintilatöre, bir kesici ile kesilerek, arzu edilen şekli vermek mümkündür.

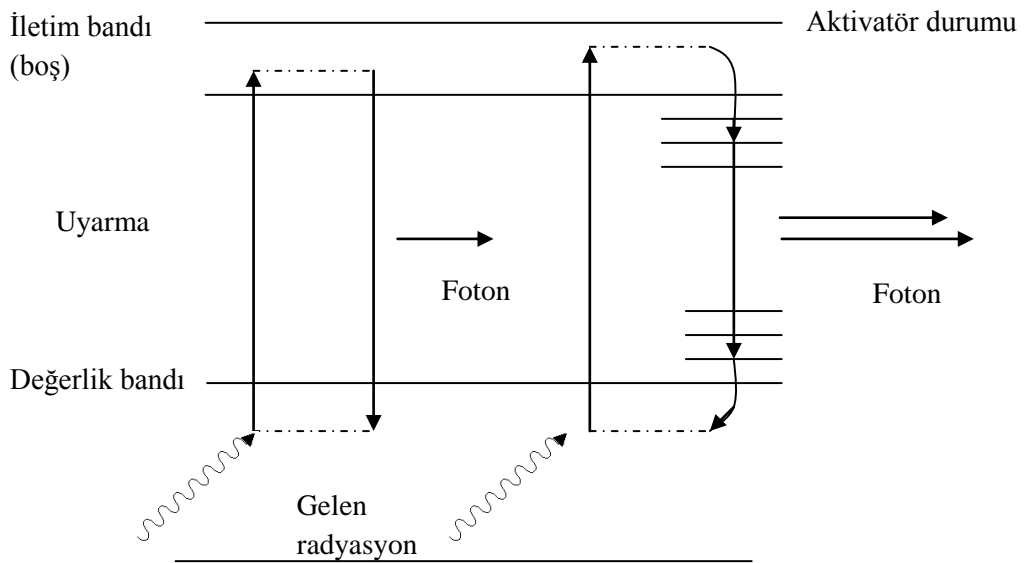
Bir sintilatörün çalışmasını anlamak için, enerjinin soğurularak, elektronların uyarılmış durumlara çıkmasıyla ilgili mekanizmayı göz önüne almamız gerekir. Temel olarak iki tip sintilasyon dedektörü vardır: birisi organik diğeri inorganik materyaller içerir. Organik sintilatörlerde (katı veya sıvı olabilir) moleküller arası etkileşmeler nispeten zayıftır ve bunların özellikleri moleküllerin kesikli uyarılmış seviyeleri cinsinden tartışılabilir. Bir molekülün enerji soğurabileceği iki yol vardır. Elektronlar daha yüksek uyarılmış duruma geçirilebilirler ve moleküldeki atomlar titreşebilirler. Tipik bir titreşim enerji aralığı 0,1 eV iken elektronik uyarılma enerjileri için bu birkaç eV civarındadır. Sonuç yapı, Şekil 3.2'deki gibidir. Uyarılmış elektronlar genellikle materyale kuvvetli bir bağ ile bağlı değildir. Benzenin halka yapısı gibi aromatik hidrokarbonlarda karbonun dört değerlik elektronunun 3'ü hibritleşmiş yörüngelerdedirler ve bunlara σ yörüngeleri denir. Bunlar her karbon arasına kuvvetli şekilde yerleşmiştir. π yörüngesi denilen yörüngede bulunan 4. elektronun yerleşimi böyle değildir ve σ elektronları kadar kuvvetli olarak bağlanma işlemine katılmazlar. Bu π elektronları sintilasyon işlemine en çok cevap verenlerdir.

Sayaç içine giren radyasyon birçok molekülle, her etkileşimde birkaç eV kaybederek etkileşir ve molekülü uyarır. Birçok mümkün titreşim durumu uyarılabilir (ve aynı zamanda birçok mümkün elektronik uyarılmış durum; basit olması nedeniyle sadece en düşük elektronik uyarılmış durum olarak gösterilmiştir). Bunlar hızla (~ 1 ps) elektronik uyarılmış durumların en düşük titreşim durumlarına bozunurlar ve sonra elektronik

taban durumun bir titreşim durumuna bozunurlar (~ 10 ns). Bunlar da hızla titreşim taban durumuna geçerler.

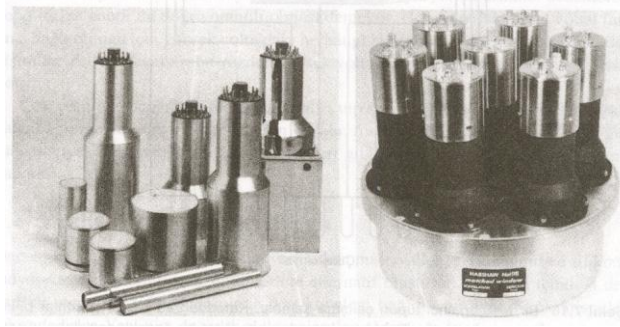
Normal şartlarda, oda sıcaklığında, sintilatör moleküllerinin hepsi elektronik taban durumun en düşük titreşim durumundadır. Oda sıcaklığındaki termal enerji $0,025$ eV'dir ve Boltzmann dağılımına göre, $e^{-E/kT}$ elektronik taban durumunun üstünde herhangi bir titreşim durumu bulmak olası değildir. Böylece, birçok yayınlanmış foton geçişlerinden sadece birisi soğurulma olasılığına sahiptir. Bu, sintilatörün önemli bir özelliği olan sintilatörlerin kendi ışıklarına şeffaf olduklarını ifade eder.

İnorganik sintilatörlerden en yaygın kullanılanı bir alkali halojenürün tek kristali olan NaI'dır. Geçirgenliği sağlamak için tek kristale gerek vardır. Kristal yüzeyindeki yansımalar ve soğurulmalar çok kristalli sintilatörü kullanışsız hale getirir. Kristaldeki atomların birlikte etkileşmeleri enerji bant serilerinde kesikli enerji seviyelerine neden olurlar. En yüksek iki bant değerlik bandı ve iletim bandıdır (Şekil 3.3). NaI gibi yalıtkan bir materyalde değerlik bandı genellikle dolu, iletim bandı ise boştur. Gelen radyasyon bir elektronu, enerji aralığını (4 eV civarında) atlatarak iletim bandına uyarabilir; elektron, enerjisini foton yayınlamaya kaybeder ve değerlik bandına geri döner.



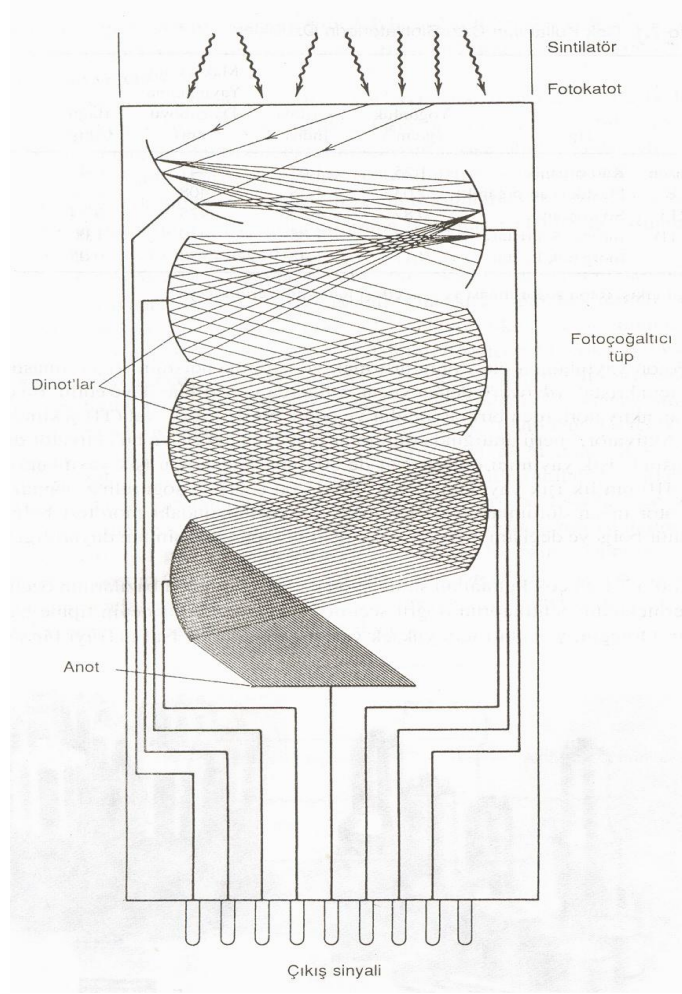
Şekil 3.3. Bir kristaldeki enerji bantları. Sol taraf, NaI gibi saf bir kristaldeki, sağ taraf NaI(Tl)'daki Tl (Talyum) gibi bir aktivatörün bulunması durumunu ve temel işlemler.

Foton yayınlanma olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak için kristale aktivatör denen küçük miktarda safsızlıklar ilâve edilir. En çok kullanılan aktivatörlerden biri talyumdur ve böyle bir dedektör NaI(Tl) şeklinde gösterilir. Aktivatör, enerji aralığında durumlar meydana getirir ve bu aktivatör durumları arasında ışık yayınımlı oluşur. NaI'de 303 nm dalgaboylu ışık yayınlanırken NaI(Tl) 410 nm'lik ışık yayımlar. NaI(Tl)'da bu enerjide soğurulma olmaz, çünkü aktivatör taban durumları işgal edilmez ve dalgaboyundaki morötesi bölgesinden görünür bölgeye değişim, pek çok fotoçoğaltıcı tüpün maksimum duyarlılığı ile uyuşur.



Şekil 3.4. Bazı fotoçoğaltıcı tüplerle birleşik NaI(Tl) sintilatörleri.

Bir sintilatörün fotoçoğaltıcı tüple birleştirilmesi çeşitli yollarla yapılabilir. Bazı dedektör-tüp sistemleri tek birim halinde yapılmaktadır. NaI(Tl) dedektörleri, kırılma indisinde nispeten düzgün bir değişim sağlamak ve iç yansımayı en aza indirmek için saydam "optik-yağ" kullanarak PM tüpünün camı ile doğrudan temas edecek şekilde yerleştirilebilir. Foto çoğaltıcının geometrisi, bazen sintilatör geometrisinden çok farklıdır veya bazı sebeplerle (örneğin, manyetik alan etkilerini yok etmek için). sintilatörden çok uzağa yerleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Bir fotoçoğaltıcı tüpün çalışma şeması.

Bu durumda bir "ışık borusu" kullanılır; ışık boruları herhangi bir büyüklük veya şekilde olabilir; Lucite gibi şeffaf herhangi bir maddeden yapılmış olabilir. Hem sintilatör hem de ışık borusu, ışık verimini artırmak için yansıtıcı bir madde ile sarılmalıdır. Şekil 3.4'te bir sintilasyon dedektörü, ışık boruları ve PM tüplerinin seçimi görülmektedir.

Bir PM tüpünün şeması Şekil 3.5'de verilmiştir. Fotokatotdan gelen foton sayısından daha az sayıda yayınlanan elektronlar dynode'lar ile çoğaltılır ve odaklanılır. Dynode'lar, bir yüksek voltaj kaynağı tarafından üretilen bir voltaj zinciri ve bir dizi voltaj bölücüleriyle birleştirilmiştir. Komşu dynode'lar arasındaki tipik potansiyel farkı

yaklaşık 100 V'dur ve böylece elektronlar dynode'lara 100 eV'luk enerji ile çarparlar. Dynode'lar ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden (sezyum-antimon alaşımı) yapılıdır; bir elektron salınması için 2-3 eV yeterli olabilir, böylece elektron sayısında 30-50 çarpanı ile bir kazanç sağlanabilir. Ancak elektronlar, madde içinde rastgele doğrultularda yayımlandıkları için bunların tamamı istenilen yönde giderek sayıma katkı sağlamazlar. Her dynode'daki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Örneğin 10 dynode'lu bir tüp ile sağlanacak kazanç 10^7 civarındadır. Bu elektron çoğalmasında elde edilen pulsun yüksekliği, gelen foton veya parçacığın enerjisi ile orantılıdır. Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dynode'daki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarında değişmelere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir.

Ticari olarak çok çeşitli fotoçoğaltıcı tüpler vardır. Tüp seçimi, fiziksel boyut, gelen farklı dalgaboylu radyasyonlara fotokatodun cevabı, fotokatodun duyarlılığı, kazanç, gürültü seviyesi ve zamanlama karakteristikleri gibi parametreler göz önüne alınarak yapılır.

Bu çalışmada gama ışını dedektörü olarak 662 keV'de yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 8,5 keV olan bir NaI(Tl) dedektör kullanılmaktadır. Kullanılan NaI(Tl) dedektörün fiziksel ve elektriksel özellikleri Çizelge 3.1'de, fotoğrafı ise Şekil 3.6'da verilmiştir.

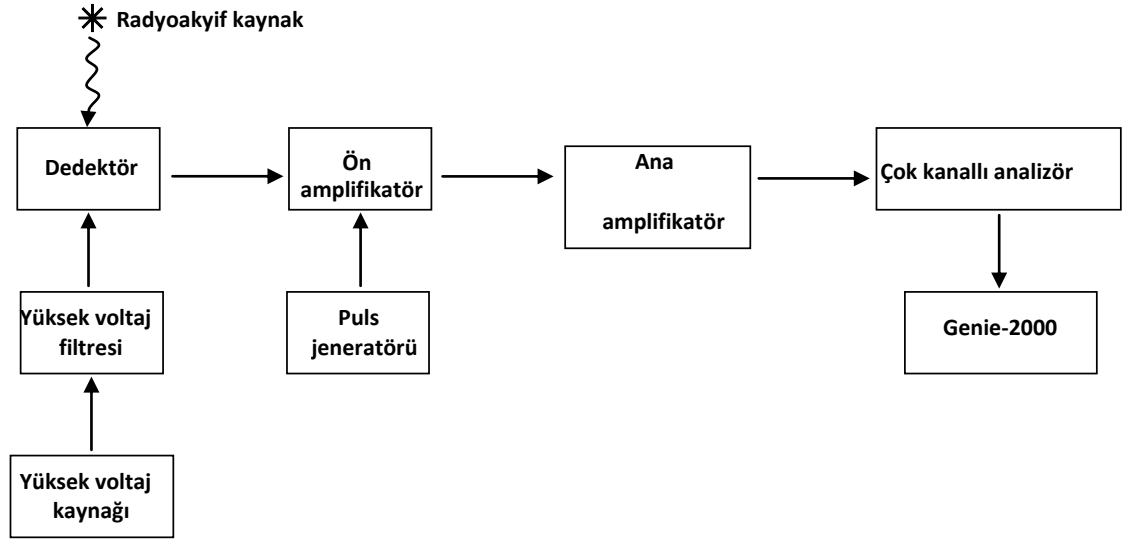
Çizelge 3.1. NaI(Tl) detektörünün özellikleri.

Pencere	Alüminyum; Kalınlık = 0,5 mm; Yoğunluk = 147 mg/cm ²
Yansıtıcı	Oksit; Kalınlık = 1,6 mm; Yoğunluk = 88 mg/cm ²
Magnetik kaplama	Çelik
Tipik çalışma voltajları	
Katot - Anot	+ 1100 V dc
Dynode- Dynode	+ 80 V dc
Katot – Dynode	+ 150 V dc
Kristal boyutu	2 inc × 2 inc

**Şekil 3.6.** Kullanılan NaI(Tl) dedektörünün fotoğrafı.

3.1.1 Sayma sistemi

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi sayma sistemi, bir dedektör (ön yükseltici ile birlikte), yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (MCA), sistemin tüm birimlerini yöneten spektrumları alan ve değerlendirmede kullanılan "Genie 2000" programının yüklü olduğu bir bilgisayar ve bilgisayar ile sistemin diğer birimleri arasında interface görevi yapan bir daniel'dan (software key) oluşmaktadır. Kullandığımız "Desktop Inspector" sayma sistemindeki yüksek voltaj güç kaynağı, yükseltici ve ADC ile MCA'yı ihtiva etmektedir. Burada yüksek voltaj güç kaynağı, amplifikatör ve ADC'nin koşulları "Genie 2000" olarak adlandırılan bir bilgisayar programı ile kontrol edilmektedir.



Şekil 3.7. Sayma sistemi.

Desktop Inspector, gelişmiş dijital sinyal proses (DSP) teknikleriyle donanımlı çok kanallı (16 K'lı) bir analizördür. Şekil 3.8'de görünen Desktop Inspector, sinyal prosesinin sonrasında sinyalleri sayısallaştıran dönüştürücü sistemlerden farklı olarak sinyal prosesinin öncesinde ön yükselticiden alınan sinyalleri sayısallaştırır. Analog devre sayısının azaltılmasıyla hassasiyet, yeniden üretilebilirlik ve kararlılığın artması sağlanmış olur.

DSP teknolojisinin kullanımı pulsların daha hızlı ve hassas olarak işlenmesini sağlayarak (filtre fonksiyonlarıyla) sinyal toplama performansını ve spektrum rezolüsyonunu da artırır.



Şekil 3.8. Desktop Inspector.

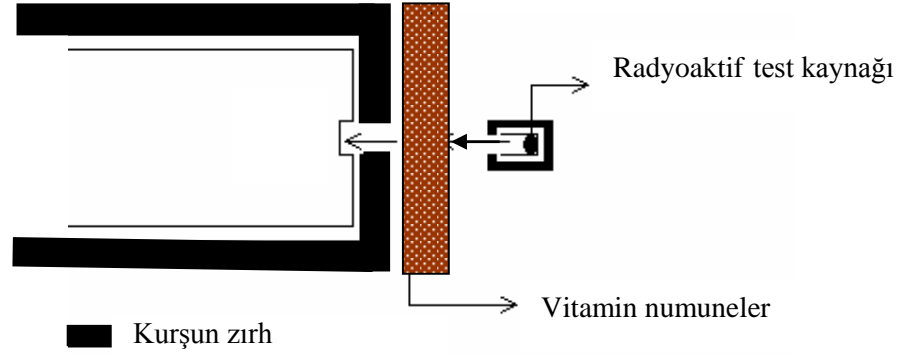
3.2 Radyoaktif kaynaklar

Bu çalışmada 10 μCi aktiviteye sahip ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs test kaynak kullanılmıştır. ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs kaynaklarının sırasıyla 59,537 keV, 80,977 keV ve 661,661 keV'lik gama ışınları ile çalışılmıştır.

3.3.2 Numunelerin hazırlanması

Gama ışını geçme ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için hazırlanan deney geometrisinde dedektör-numune mesafesi 4 cm ve dedektör-kaynak mesafesi 10 cm olarak seçilmiştir (Şekil3.9). Yüksek enerjili radyoaktif kaynaklardan çevreye yayınlanan zararlı radyasyondan korunmak ve enerji spektrumundaki temel sayma (background)

ve kuyruklanma bölgesini azaltmak için NaI(Tl) dedektör boyu 15 cm ve çapı 9 cm olan 3 adet silindirik bir kurşun zırh ile çevrelenmiştir. Ayrıca çevrenin radyasyondan korunması amacıyla boyutları 20x20x5 cm³ olan laboratuvarımızda hazırlanan özel 20 adet kurşun blok kullanılarak deney sistemine kurşun duvar örülmüştür.



Şekil 3.9. Gama ışını geçme yöntemi için kullanılan deney geometrisi.

Ölçme süresince, sayma istatistiğinden gelebilecek hataları azaltmak için koherent tepelerin sayımlarının 10000'den az olmaması sağlanmıştır. Her bir Vitamin numunesi için gama ışınlarının puls yükseklik spektrumu 120 s'lik sürelerle alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

NaI(Tl) dedektörü ile ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs radyoaktif test kaynakları kullanarak bazı Vitaminlerin soğurma katsayıları deneysel olarak ölçülmüştür. Deneysel hesaplamalar yapılırken (2.14) bağıntısı uygulanmıŐtır. Winxcom (Berger *et al.* 2007) bilgisayar programı kullanılarak kütle soğurma katsayıları teorik olarak da hesaplanmıŐtır. Elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar 4.1, 4.4 ve 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 ^{241}Am 'dan yayınlanan 59,537 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin lineer soğurma katsayıları.

Vitaminler	Deneysel (cm^{-1})	Teorik (cm^{-1})
VitaminA	0,21934	1,49E-02
VitaminB2	0,11362	1,52E-02
VitaminB3	0,12914	1,52E-02
VitaminB5	0,17481	1,54E-02
VitaminB6	0,23722	1,50E-02
VitaminB9	0,25542	1,52E-02
VitaminC	0,08168	1,58E-02
VitaminD	0,25023	1,43E-02
VitaminE	0,04336	1,44E-02
VitaminK	0,08731	3,28E-02
VitaminP	0,10461	1,54E-02

Çizelge 4.2 59,537 keV enerjili fotonlar için vitaminlerin geçirgenliği (I/I_0).

Vitaminler	I/I_0
VitaminA	0,9641
VitaminB2	0,9828
VitaminB3	0,9858
VitaminB5	0,9682
VitaminB6	0,9838
VitaminB9	0,9037
VitaminC	0,9794
VitaminD	0,9733
VitaminE	0,9922
VitaminK	0,9836
VitaminP	0,9874

Çizelge 4.3 ^{241}Am 'dan yayınlanan 59,537 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin kütle soğurma katsayıları (μ/ρ).

Vitaminler	μ/ρ (cm^2/g)
VitaminA	0,12462
VitaminB2	0,06456
VitaminB3	0,07338
VitaminB5	0,09933
VitaminB6	0,13478
VitaminB9	0,14513
VitaminC	0,04641
VitaminD	0,14218
VitaminE	0,02463
VitaminK	0,04961
VitaminP	0,06988

Çizelge 4.4 ^{133}Ba 'dan yayınlanan 80,977 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin lineer soğurma katsayıları.

Vitaminler	Deneysel (cm^{-1})	Teorik (cm^{-1})
VitaminA	0,18589	1,50E-02
VitaminB2	0,10668	1,53E-02
VitaminB3	0,41448	1,53E-02
VitaminB5	0,14333	1,55E-02
VitaminB6	0,18007	1,51E-02
VitaminC	0,04856	1,61E-02
VitaminK	0,07323	3,44E-02
VitaminP	0,26661	1,55E-02

Çizelge 4.5 80,977 keV enerjili fotonlar için vitaminlerin geçirgenliği (I/I_0).

Vitaminler	I/I_0
VitaminA	0,9692
VitaminB2	0,9028
VitaminB3	0,9518
VitaminB5	0,9764
VitaminB6	0,9877
VitaminC	0,9841
VitaminK	0,9863
VitaminP	0,9731

Çizelge 4.6 ^{133}Ba 'dan yayınlanan 80,977 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin kütle soğurma katsayıları (μ/ρ).

Vitaminler	μ/ρ (cm^2/g)
VitaminA	0,10562
VitaminB2	0,06062
VitaminB3	0,25896
VitaminB5	0,08144
VitaminB6	0,10488
VitaminC	0,03589
VitaminK	0,04161
VitaminP	0,15148

Çizelge 4.7 ^{137}Cs 'dan yayınlanan 661,661 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin lineer soğurma katsayıları.

Vitaminler	Deneysel (cm^{-1})	Teorik(cm^{-1})
VitaminA	0,27013	1,72E-02
VitaminB2	0,0392	1,78E-02
VitaminB3	0,46733	1,78E-02
VitaminB5	0,41747	1,80E-02
VitaminB6	0,70977	1,75E-02
VitaminC	0,21019	1,87E-02
VitaminK	0,45444	4,23E-02
VitaminP	0,37386	1,81E-02

Çizelge 4.8 661,661 keV enerjili fotonlar için vitaminleringeçirgenliği (I/I_0).

Vitaminler	I/I_0
VitaminA	0,9561
VitaminB2	0,9653
VitaminB3	0,9512
VitaminB5	0,9331
VitaminB6	0,9528
VitaminC	0,9481
VitaminK	0,9177
VitaminP	0,9625

Çizelge 4.9 ^{137}Cs 'dan yayınlanan 661,661 keV enerjili gama ışınları için vitaminlerin kütle soğurma katsayıları (μ/ρ).

Vitaminler	μ/ρ (cm ² /g)
VitaminA	0,15348
VitaminB2	0,02227
VitaminB3	0,26553
VitaminB5	0,23721
VitaminB6	0,40328
VitaminC	0,11942
VitaminK	0,25821
VitaminP	0,21242

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs radyoaktif test kaynaklarının sırasıyla, 59,537 keV, 80,977 keV ve 661,661 keV'lik enerjileri kullanarak Vitamin A, Vitamin B2, Vitamin B3, Vitamin B5, Vitamin B6, Vitamin B9, Vitamin C, Vitamin D, Vitamin E, Vitamin K ve Vitamin P'nin lineer soğurma ile kütle soğurma katsayıları ve radyasyon geçirgenlikleri deneysel olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.1-9'da verilmiştir. Bu çizelgelerde verilen sonuçlardan görüleceği üzere soğurma katsayıları kullanılan moleküler yapıları ile değişmektedir. Aynı çizelgede görüldüğü üzere kullanılan vitaminlerin lineer ve kütle soğurma katsayıları kaynak fotonlarının enerjisi ile artmaktadır. Bu çalışmada koherent tepelerin (pik) alanlarının belirlenememesinden, kütle ve kalınlık ölçümlerinden hataların kaynaklandığı açıktır.

KAYNAKLAR

- Abbene, L., La Manna, A., Fauci, F., Gerardi, G., Raso, G., 2007. X-ray spectroscopy and dosimetry with a portable CdTe device. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 571 (1-2), 373-377.
- Alvarez, L.M., 1938. The capture of orbital electrons by nuclei. Phys. Rev., 54, 486-497.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., Chang, J., Coursey, J.S., Sukumar, R., Zucker, D.S., 2007. National Institute of Standards and Technology (NIST). XCOM Database Web page: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html>
- Choppin, G., Rydberg, J., Liljenzin, J.O., 1995. Radiochemistry and Nuclear Chemistry. Second edition, Butterworth-Heinemann Ltd., London.
- Debertin, K., and Helmer, R.G., 1988. Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors. Elsevier Science Publishers, 94-96 New York, U.S.A North-Holland, Amsterdam.
- Demir, M., 2000. Nükleer Tıp Fiziği. İ.T. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul.
- Gilmore, G., Heminway, J., 2000. Practical Gamma-Ray Spectrometry. John Wiley & Sons, New York.
- K.A., Zhucov, M.P., 1999. Portable γ - and X-ray analyzers based on CdTe p-i-n detectors, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 428, 223.
- Kleinknecht, K., 1986. Detectors for Particle Radiation. Second edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Krane, K., S., 2001, Nükleer Fizik 1. Cilt, Çeviri Editörü Başar Şarer, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Krishnaveni S, Yashoda T, Umesh T. K, Ramakrishna and Shivalinge Gowda 2004, Department of Studies in Physics, University of Mysore 570 006, India Author for correspondence.
- Lachish, U., 1998. CdTe and CdZnTe Crystal Growth and Fabrication of Gamma Radiation Detectors, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 403, 417.
- Schulman, T., 2003. Gama kameralar için geliştirilmiş yarıiletken CdTe ve CdZnTe piksel dedektörlerinin performans simülasyonu. VIII. Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri. s77.
- Ün, A., 2007. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi, Erzurum (Yayımlanmamış).