

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATKILI POLİSTİREN FİLM SİNTİLATÖR İLE YÜKLÜ
PARÇACIK TAYİNİ**

Ezgi AZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Danışman

Doç. Dr. Kenan KOÇ

Temmuz, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATKILI POLİSTİREN FİLM SİNTİLATÖR İLE YÜKLÜ PARÇACIK
TAYİNİ**

Ezgi AZ tarafından hazırlanan tez çalışması 08.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Kenan KOÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Kenan KOÇ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Taylan YETKİN, Üye
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Kenan KOÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Katkılı Polistiren Film Sintilatör İle Yüklü Parçacık Tayini İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ezgi AZ

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana bildiği her deneyimi aktaran, her durumda bana güvenip inanan ve gerekli moral ve motivasyonu sağlayıp bu tez çalışmasının oluşmasında büyük emeği olan, hem şahsi hem de akademik yaşamım boyunca örnek alacağım, çok saygıdeğer ve kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Kenan KOÇ başta olmak üzere,

Lisans ve yüksek lisans eğitim boyunca, her durum ve koşulda bana güvenen, beni destekleyen, engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle sorduğum her soruya muazzam bir sabırla cevap vermekten asla çekinmeyen, tez çalışmam boyunca tüm bilgi birikimini benimle paylaşmaktan asla kaçınmayan ve her daim bana yol gösteren, hem şahsi hem de akademik anlamda yaşamım boyunca örnek alacağım ve minnettar olacağım, üzerimde büyük emeği olan çok saygıdeğer ve kıymetli hocam Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI 'ya,

Tez çalışmam boyunca gerek malzeme hazırlama, gerek nükleer ölçüm alım süreci esnasında bilgi birikimi, deneyimi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve bana laboratuvarlarının kapısını her daim açık tutmuş çok saygıdeğer Öğr. Üyesi Dr. Mehmet Arif KAYA ve Prof. Dr. Taylan YETKİN' e,

Öğrencilik hayatım süresince her konuda bana ihtiyacım olan morali, desteği, sevgiyi gösteren, bilgi birikimini ve zamanını her daim benim paylaşmaya açık olan hayatım boyunca örnek alacağım çok sevgili hocam Arş. Gör. Dr. Esra YÜKSEL' e,

Gerek şahsi gerek akademik anlamda, kendi profesyonellik alanının dışında olmama rağmen ihtiyacım olan her konuda beni hem kendi danışmanlığındaki öğrencilerinden hem de evladından asla ayrı tutmayan, her konu ve koşulda bilgi birikim ve deneyimini benimle paylaşıp destekleyen, her anlamda büyük saygı ve sevgi duyduğum çok saygıdeğer ve sevgili hocam Prof. Dr. Serap GÜNEŞ' e,

Her koşulda moralimi yüksek tutan, sevgisini ve güler yüzünü asla benden esirgemeyen sevgili arkadaşım Müge ERDOĞAN' a

Son olarak da yaşamımı borçlu olduğum, her koşul ve durumda en büyük destekçilerim, bana herhangi bir konuda sarf ettiğim emeğin ne denli kıymetli

olduğunu, sabrı, sevmeyi, seilmeyi, öğrenme aşkını, önüme çıkan engelleri
yolumdan kaldırmaktansa o engeli nasıl aşacağımı öğreten canım, her şeyim olan
biricik aileme,

Tüm kalbimle ve sonsuz minnetimle teşekkür ederim.

Ezgi AZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	12
1 GİRİŞ	14
1.1 Literatür Özeti	14
1.2 Tezin Amacı	16
1.3 Hipotez	17
2 TEMEL BİLGİLER	18
2.1 Radyasyonun Madde İle Etkileşmesi.....	18
2.2 Yüklü Parçacık Kaynakları.....	22
2.3 Lüminesans.....	24
2.4 UV-Visible Spektroskopisi	27
2.5 Detektörler	28
2.6 Organik Sintilatör Materyalleri ve Özellikleri	33
3 DENEYSEL ÇALIŞMA	36
3.1 Detektör Malzemesinin Hazırlanması.....	36
3.2 Detektör Karakterizasyonu	37
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	48
Kaynakça	50
Tezden Üretilmiş Yayınlar	53

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
Z	Atom numarası
N	Atomik yoğunluk
N_A	Avagadro sayısı
β	Beta
m_e	Durgun elektron kütlesi
S	Durdurma gücü
e^-	Elektron
r_0	Elektron yarıçapı
e	Elektrik yükü
E	Enerji
I	Foton yoğunluğu
γ	Gama ışını
v	Hız
c	Işık hızı
λ	Karakteristik bozunma sabiti
A	Kütle numarası
x	Mesafe
I	Ortalama uyarılma potansiyeli
z	Parçacığın yükü
e^+	Pozitron
V	Volt
t	Zaman
μ	Zayıflatma sabiti

KISALTMA LİSTESİ

BBOT	2,5-bis (5-ter-butil-2 benzoksazol)tiofen
CCD	Yük bağlaşımlı aygıt
DRS4	Domino ring sampler
FPGA	Alanda programlanabilir kapı dizisi
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu
HV	Yüksek gerilim kaynağı
HOMO	En yüksek dolu moleküler orbital
LUMO	En düşük dolu olmayan moleküler orbital
PDMS	Polidimetilsiloksan
PMMA	Polimetilmetakrilat
PMT	Foto çoğaltıcı tüp
POPOP	1,4-bis(5-fenil-2-oksazolil)benzen
PS	Polistiren
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
UV	Mor ötesi elektromanyetik dalgalar

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Jablonski diyagramı.....	25
Şekil 2.2 Benzen ve değişik gösterimleri.....	26
Şekil 2.3 Eten molekülünde HOMO-LUMO.....	26
Şekil 2.4 UV-Visible Spektrofotometre diyagramı.....	27
Şekil 2.5 Sintilasyon aşamaları.....	30
Şekil 2.6 Foto çoğaltıcı tüp(PMT) diyagramı.....	30
Şekil 2.7 Polistirenin kimyasal yapısı.....	33
Şekil 3.1 Film aplikatör.....	36
Şekil 3.2 Sr90/Y90 Beta tayfı.....	38
Şekil 3.3 UV-Visible tayfı.....	39
Şekil 3.4 Fotolüminesans tayfı.....	40
Şekil 3.5 PMT'ye ait dalga boyu/kuantum verimi.....	41
Şekil 3.6 Nükleer ölçüm şematiği.....	41
Şekil 3.7 Detektör kılıfı.....	42
Şekil 3.8 MDF ahşaptan yapılmış karanlık oda.....	43
Şekil 3.9 DRS4 ekran çıktısı-kaynak ölçümü(Alfa).....	44
Şekil 3.10 Sr90/Y90 Beta kaynağı sinyal çıkış süresi.....	45
Şekil 3.11 Sr90/Y90 Beta kaynağı sinyal iniş süresi	46
Şekil 3.12 Th230 Alfa kaynağı sinyal çıkış süresi.....	47
Şekil 3.13 Th230 Alfa kaynağı sinyal iniş süresi.....	47
Şekil 3.14 DRS4 ekran çıktısı-kaynak ölçümü(Beta).....	48

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Bazı yaygın sintilatörlerin sintilasyon özellikleri.....	32
Tablo 2.2 Polistirenin kimyasal özellikleri.....	33
Tablo 2.3 PPO'nun kimyasal özellikleri.....	34
Tablo 3.1 Alfa/Beta kaynaklarının çıkış/iniş süresi.....	48

Katkılı Polistiren Film Sintilatör ile Yüklü Parçacık Tayini

Ezgi AZ

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Kenan KOÇ

Bu tezde, film yüklü parçacık sintilasyon detektörünün üretimi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çözeltiden döküm yöntemi kullanılarak; 2,5-Difeniloksazol (PPO) katkılı Polistiren (PS) matris kloroform ile çözündürülerek, 100µm kalınlıkta bir film elde edilmiştir. Bir UV-Vis spektrometresi ve floresans ölçüm düzeneği ile 200-1100nm dalga boyu aralığında geçirgenlik ve lüminesans ölçümleri ile filmin optik karakterizasyonu yapılmıştır. Detektör numunesi, 340nm'nin altında gözlenen güçlü bir absorblama bölgesine sahiptir ve 400-450nm bölgesindeki geniş tepe ile floresans emisyonu vermiştir. Kaydedilen emisyon spektrumu, film sintilatörü ile birleştirilecek olan foto çoğaltıcı tüpün (PMT) kuantum verimlilik bölgesi ile eşleşmektedir. Filmin durma gücü ORTEC-Alpha Duo Si-yüzey engelli yüklü parçacık ölçüm sistemi ile incelenmiştir. Beta ve alfa zayıflatma ölçümleri için sırasıyla Sr90 / Y90 ve Th230 standart kalibrasyon kaynakları kullanılmıştır. Tüm alfa parçacıkları detektör malzemesi tarafından durdurulmuş ve beklendiği gibi zayıflatılmış bir beta spektrumu ölçülmüştür. Tasarlanan film detektörünün sintilasyon ölçümleri, detektör malzemesi ORTEC 556 yüksek gerilim güç kaynağına bağlı Hamamatsu R9880u-110 PMT ile birleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Çıkış sinyalleri PSI-DRS4 FPGA tabanlı osiloskop ile sayısallaştırılmış ve bir PC ile

kaydedilmiştir. Toplanan verilerin çevrimdışı zaman ve genlik analizi ROOT yazılımı ile yapılmıştır. Üretilen film sintilatör detektörü, beta ve alfa parçacıkları için yeterli sinyal-gürültü oranı ile sırasıyla 40ns ve 32ns sönüm zaman değerlerine, 841.3ps ve 984ps çıkış zaman değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sintilatör, film detektör, yüklü parçacık, Polistiren, PPO.

Charged Particle Detection by Doped Polystyrene Film Scintillator

Ezgi AZ

Department of Physics

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kenan KOÇ

In this thesis, the production and characterization of film charged particle scintillation detector has been accomplished. Direct casting method is used to obtain a 100 μ m film by doping 2,5-Diphenyloxazole (PPO) in Polystyrene (PS) matrix dissolved by chloroform. The optical characterization of the film was made by transmittance and luminescence measurements in 200-1100nm wavelength range by a UV-Vis spectrometer and a fluorescence measurement setup. The detector sample has a strong absorption region that is observed below 340 nm and yield fluorescence emission with the broad peak at 400-450 nm region. The recorded emission spectrum is matching with the quantum efficiency region of the photomultiplier tube (PMT) that will be coupled with the film scintillator. The stopping power of the film is studied with an ORTEC-Alpha Duo Si-surface barrier charged particle detection system. For beta and alpha attenuation measurements, Sr90/Y90 and Th230 standard calibration sources are used respectively. As all the alpha particles blocked by the detector material, a diminished beta spectrum is acquired as expected. The scintillation response of the designed film detector is

handled by coupling detector material to Hamamatsu R9880u-110 PMT powered by an ORTEC 556 high voltage power supply. The output signals are digitalized by a PSI-DRS4 FPGA based digital oscilloscope and recorded via a PC. The offline time and amplitude analysis of the collected data are done by ROOT framework software. The produced film scintillator detector has rise time values of 841.3ps and 984ps with accompanying fall time values 40ns and 32ns for beta and alpha particles respectively with an adequate signal to noise ratio.

Keywords: Scintillator, film detector, charged particle, Polystyrene, PPO.

Nükleer yöntemlerin kullanım alanlarındaki çeşitlilik ile birlikte bu yöntemlerin ihtiyaç duyduğu radyasyon detektörlerine olan ihtiyaç da buna paralel olarak artmıştır. Ölçüm sistemleri ise amaca uygun olarak tasarlanmaktadır. Radyasyon ölçümünde kullanılacak olan ölçüm sistemleri, temel olarak ilgilenilen radyasyon kaynağı ve enerji aralığına göre geliştirilmelidir. Nükleer ölçüm sistemlerinde, ölçülmek istenen fiziksel büyüklüklere bağlı olarak farklı detektör türleri kullanılmaktadır. Farklı fiziksel süreçler ile radyasyon etkileşmesi yapan bu detektör çeşitlerinin birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı özellikleri vardır.

Genel olarak kullanılacak olan detektörlerin özellikleri iyonlaştırıcı radyasyon kaynağının türüne ve kullanım amacına göre farklılıklar gösterir. Enerji ayırma gücünün önem taşıdığı çalışmalarda yarı iletken ve inorganik sintilatör detektörler tercih edilirken, hızlı tepki süresi gereken endüstriyel ve tıbbi uygulamalarda organik sintilatörler önem kazanmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde nükleer tıp, parçacık fiziği, astrofizik, savunma sanayi ve madencilik gibi birçok alanda ihtiyaç duyulan sintilatör malzemeler ilk defa 20. yüzyılın başında kullanılmaya başlandı. İlk sintilatör, 1903 yılında Sir William Crookes tarafından Çinko Sülfür(ZnS) bir ekran kullanılarak yapıldı. 20.yüzyılın ortalarına doğru Curran ve Baker tarafından foto çoğaltıcı tüp(PMT) kullanılarak geliştirildi ve bu durum günümüzde kullanılan modern sintilasyon detektörlerinin doğuşu niteliğindedir.

Radyasyon enerjisini görünür fotonlara dönüştürme özelliğiyle, sintilatörler radyasyonu tespit için insanlık tarafından kullanılan en eski malzemelerden biri olma özelliği taşımaktadır. Sintilasyon sürecinin zaman içerisinde daha iyi anlaşılıp tanınmasıyla foton tespiti amacıyla çok çeşitli sintilatör malzemeler geliştirilmiş ve ticarileştirilmiştir. Birçok uygulama için temel olarak yüksek ışık çıkışı, hızlı bozunma süresi, yüksek yoğunluk ve yüksek atom numarasına(Z) sahip olmasını

gerektirir[1]. Bunlara ek olarak sintilatör malzemelerinin, emisyon dalga boyuna göre saydam olması, farklı enerjilere sahip fotonlar arasından ayırım yapabilmesi yani enerji çözünürlüğüne sahip olması, büyük boyutlarda elde edilebilmesi ve uygun bir maliyete sahip olması önemlidir. Bu amaçlar doğrultusunda kullanılan malzemelerin içeriğine dayanarak, sintilatörler organik ve inorganik sintilatörler olarak sınıflandırılırlar[2]. Tipik olarak, inorganik sintilatörler lüminesans aktivatör atomları ile katkılı tek kristal yığın(bulk) inorganik malzemelerden oluşur. Diğer taraftan organik sintilatörler ise floresans molekül katkılı organik matrislerden oluşur. İnorganik sintilatörler genellikle enerji çözünürlüğü, yüksek durdurma gücü ve ayırma gücü tespitinde daha iyi performans göstermektedir. Buna karşın, organik sintilatörler ise daha kısa bir tepki süresine sahip olmaları, üretim kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle tercih edilmektedir[3].

Nükleer tıp alanında kullanılan görüntüleme cihazlarının tasarımı, sintilatör özelliklerinin önem kazandığı alanların başında yer almaktadır. Özellikle kişiye özgü tedaviye olan yönelimle birlikte, detektörün hassasiyeti, zaman ve enerji çözünürlüğü sintilatörleri gelişime zorlamaktadır. Literatür göz önüne alındığında, dünyada artan kanser vakaları nedeniyle daha fazla ön plana çıkan erken tanı konusunda istenilen duyarlılık ve doğruluğa erişilmesini mümkün kılabilmek amacıyla, cihazın kalbi niteliği taşıyan sintilasyon malzemelerinin karakterizasyonu büyük önem arz etmektedir [4].

Ayrıca son on yılda, sintilasyon kristallerine ve diğer geleneksel sintilatör tiplerine makul alternatifler için yapılan araştırmalar, katkı maddelerini homojen şekilde kuşatabilecek şeffaf kompozit matrislerin kullanılmasının yolunu açmıştır. Bu tür kompozit malzemeler kristal esaslı detektörlere kıyasla genellikle daha düşük sintilasyon özelliklerine sahipken, diğer taraftan daha ucuz ve istenilen geometride üretilme avantajlarına sahiptirler. Böylece tepki süresi ve ölçüm geometrisinin önemli olduğu alanlarda geleneksel sintilatörlerin yerini alabilmektedirler[5]. Örneğin, 2,5-difeniloksazol (PPO), 1,4-bis(5-fenil-2-oksazolil)benzen (POPOP) gibi organik floresans katkıların, gözenekli sol-jel silika matrislerine dâhil edilmesiyle yeni kompozit sintilasyon detektörleri elde edilmiştir[6].

Özellikle polimer matris tabanlı kompozit sintilasyon detektörleri konusunda son zamanlarda literatürde gittikçe daha fazla çalışma yer almaktadır. Kim [7] çalışmasında, proton terapisinde, demet eksenı doğrultusunda absorblanan dozu ölçmekte, iki boyutlu bir doz ölçüm sistemi tasarlayarak ölçüm süresini kısaltmıştır. Bu ölçüm sisteminde Polimetilmetakrilat (PMMA) tabanlı dozimetre ile tek boyutta hareket eden CCD-kamera sistemi kullanmıştır.

Quaranta[8] ise, PPO ve 2,5-bis (5-ter-butıl-2 benzoksazol)tiofen (BBOT)'i, polimer içinde katkı maddeleri olarak dağıtarak yüksek ışık verimine sahip polisiloksan bazlı sintilatörler sentezlemiştir. Çalışmada incelenen örneklerde, siloksan matrisi ve dalga boyu kaydırıcı katkılar (PPO) arasındaki enerji transferinin, difenilsiloksan gruplarının artışına bağılı olarak artmış ve sintilasyon veriminin iyileştiğı gösterilmiştir.

Bir diğerk örnekte ise Nam[9], epoksi reçine, PPO ve POPOP gibi organik katkıları kullanarak beta-ışını saptamak için ince bir plastik sintilatör plakası geliştirilmiştir. Epoksi reçine matris ve organik katkıların karışım oranları, test edilen malzemelerin absorbsansları, geçirgenlikleri ve emisyon spektrumlarına göre belirlenmiş ve PPO ve POPOP'un kütlece optimal ağırlık yüzdeleri sırasıyla % 0.2 ve % 0.01 olarak verilmiştir. Hazırlanan plastik sintilatör, standart Sr-90 kaynağını ölçmek için kullanılmış ve geniş alanlı bir plastik sintilatör hazırlanmıştır.

Bu alandaki literatür değerkendirildiğinde üretim kolaylığı ve çeşitliliğı nedeniyle organik sintilatörlere olan ilginin arttığı gözlemlenmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, çözültiden döküm yöntemi ile küçük boyutlarda sintilatör film üretim yöntemlerinin ve yüklü parçacık algılama karakterlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda hazırlanmış PPO içeren PS matris esaslı film yüklü parçacık sintilatörü üretilmiş, alfa ve beta radyasyonu ile etkileşimi incelenmiştir. Tasarlanan detektörün durdurma gücü, optik özellikleri, standart alfa ve beta kaynaklarına tepkisi incelenerek üretim ve karakterizasyon yöntemleri belirlenmiştir.

Çalışmada taban malzeme olarak PS matris ve bunun içine dağıtılmış PPO katkısı kullanılarak çözeltiden döküm yöntemiyle sintilatör malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Taban ve katkı malzeme seçiminde sintilatör özelliği gösteren ve uygun maliyet ile elde edilebilecek malzemeler göz önünde bulundurulmuştur.

1.3 Hipotez

Radyasyon ölçümü için kullanılacak detektörlerde parçacık ve detektör etkileşmesi büyük önem taşımaktadır. Yüklü parçacık ölçümlerinde Coulomb etkileşmesinin baskın olması nedeniyle sintilatör kalınlığı herhangi bir sorun oluşturmayacaktır. Bu durum göz önünde bulundurularak, yüklü parçacık detektörü olarak kullanılması amacıyla floresans katkılı organik sintilatörler film olarak oluşturulabilir.

Maddenin yapısına ilişkin ilk teoriler antik yunan filozoflarının varsayımlarına dayanmaktadır. İlk defa M.Ö. 4.yüzyılda, Demokritos tarafından bölünemeyen anlamına gelen *atom* kelimesi, maddenin yapısına ilişkin bir tanımlama olarak kullanmıştır. Fakat bu ve bunun gibi fikirler, deneylere dayanmadığı için birer varsayım olmaktan öte gitmemiştir. 19.yüzyılın başlarında deneysel bilim metodlarının kullanılmasıyla birlikte, varsayımlara yönelik fikirlerin yerini bilimsel teoriler almıştır. Günümüzde maddenin yapısı ile ilgili bilimsel çalışmalar atom fiziği adı altında ele alınmaktadır. Atomu anlamaya yönelik yapılan bilimsel çalışmalar, 1896 yılında Becquerel'in belirli atomların radyoaktifliğini keşfine ve 1898'de Marie Curie ve eşi Pierre Curie'nin radyoaktif maddeleri daha iyi açıklamasına neden olmuştur[10]. 1911 yılında Rutherford radyasyonun anlaşılmasına yönelik yaptığı çalışmalar sonucu atom çekirdeğinin varlığını önermiştir[11]. Atom çekirdeğinin kabul edilmesiyle birlikte, atomun çekirdeğinde meydana gelen etkileşmeler nükleer fizik adında yeni bir bilim alanının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu bölümde, radyasyonun madde ile etkileşmesi, bu etkileşmeler sonucu oluşan ikincil ışımlar ve ortaya çıkan radyoaktif parçacıkları tanımlamaya yönelik kullanılan detektörler yer almaktadır.

2.1 Radyasyonun Madde İle Etkileşmesi

Radyasyon, atomun kabuklarında bulunan atomik elektron, çekirdek veya her ikisi ile de etkileşime girebilir. Radyasyonun madde etkileşmesi mermi parçacığının elektrik yüküne bağlı olarak iki ana grup altında incelenir. Proton, elektron, alfa ve ağır iyonlar($A > 4$) gibi yüklü parçacıklar temelde Coulomb potansiyeli ile etkileşirken, nötron, gama(γ) ışınları, X-ışınları gibi yüksüz parçacıklar esnek ve/veya esnek olmayan çarpışmalar veya nükleer reaksiyonlar ile maddeyle etkileşirler. Yüklü bir parçacık bir malzemeden geçerken kinetik enerjisini

kaybettiği için yavaşlar. Yüksüz bir parçacık ise malzemeden geçerken iyonizasyon, saçılma ve nükleer reaksiyonlara neden olur[12].

Yüklü parçacığın madde ile etkileşimi;

- > Coulomb etkileşmesi,
- > Bremsstrahlung,
- > Nükleer etkileşmeler ve
- > Cherenkov radyasyonu

olarak incelenir.

Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi:

- > Fotoelektrik olay,
- > Compton saçılması ve
- > Çift oluşumu
- > Nükleer reaksiyonlar

olarak incelenir[13].

Ağır yüklü parçacıklar, belirli bir enerji için en az nüfuz edici radyasyondur. Protonlar, alfa(α) parçacıkları gibi yüklü parçacıklar, elektrondan çok daha büyük olması nedeniyle etkileşime girdikleri maddenin atomik elektronları tarafından sadece hafifçe saptırılırlar. Belirli bir enerji için, hızları bir elektronunkinden daha düşük, momentumları daha yüksektir. Madde ile elektrostatik etkileşmeler sonucunda yavaşlarlar. Bu nedenle ağır parçacıkların malzeme içerisindeki hareketi, sürekli bir yavaşlama eylemi olarak değerlendirilebilir.

Hafif yüklü parçacıklar elektronlar (e^-), pozitronlar (e^+) ve beta (β) parçacıklarıdır. Elektronlar maddeden geçtiğinde, iyonlaşma, uyarma ve Bremsstrahlung gibi birkaç olası şekilde etkileşebilir. İyonlaşma ve uyarma, floresans lambada, bir X-ışını cihazında veya beta parçacıklarına maruz kalan maddede meydana gelir. Bir malzemeye giren bir elektron düşük bir enerjiye sahipse, molekülleri önemli ölçüde etkileşmeden geçip gider. Eğer enerjisi büyükse, atomun elektronlarına enerji verebilir, elektronların daha yüksek enerji durumlarına uyarılmasına veya daha sonra ışık yaymasıyla iyonlaşmasına neden olabilir[14].

> **Frenleme Radyasyonu (Bremmstrahlung)**

İvmelenen her serbest yüklü parçacık bir elektromanyetik radyasyon yayımı ile kinetik enerjisinin bir kısmını kaybeder. Bu kayıp sıfırdan parçacığın kinetik enerjisine varan geniş bir aralıkta yayımlanan çok enerjili bir süreçtir. Coulomb kuvveti etkisi altında gerçekleşen bu süreçte parçacığın sahip olacağı ivme yüküne ve kütlesine bağlıdır. Bu nedenle yüksek atom numaralı ortamda hareket eden yüklü hafif parçacıklar için daha büyük öneme sahiptir.

> **Durdurma Gücü(Stopping Power)**

Durdurma gücü, Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu(ICRU) tarafından, enerji transferlerini içeren iyonlaşma veya uyarım nedeniyle malzemedeki birim yol uzunluğu başına yüklü parçacıkların ortalama enerji kaybı olarak tanımlanır[15]. Bu durumda, yüklü parçacıkların tüm enerjilerini kaybetmesi ortam içinde kat edebilecekleri yola, yani malzemenin demet asıl eksenine doğrultusundaki kalınlığına bağlı olarak değişim gösterir:

$$S = -\frac{dE}{dx} \quad (2.1)$$

Durdurma gücü aynı zamanda Bethe Formülü olarak da bilinmektedir:

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi r_0^2 z^2 \frac{m_e c^2}{\beta^2} N Z [\ln \left(\frac{2mc^2}{I} \beta^2 \gamma^2 \right) - \beta^2] \quad (2.2)$$

Bu denklemde; $\frac{dE}{dx}$ durdurma gücü, r_0 elektron yarıçapı, z mermi parçacık yükü, m_e elektronun durgun kütlesi, c ışık hızını, N atomik yoğunluğu [$N = \rho(N_A/A)$], ρ yoğunluğu, N_A Avagadro sayısı, A kütle numarası] , Z atom numarası, $\beta = v/c$ parçacığın görelî hızı ve I malzemenin ortalama uyarılma potansiyelidir.[16].

Mermi parçacığın bağlı olarak farklı terim katkıları içerir. Denklem 2.2 ile verilen form p , d , t , α için kullanılır.

Elektron (Denk 2.3) ve pozitron (Denk 2.4) için aşağıdaki denklemler daha iyi sonuç verir.

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi r_0^2 Z^2 \frac{m_e c^2}{\beta^2} N Z \left\{ \ln \left(\frac{m_e c^2}{I} \beta \gamma \sqrt{\gamma - 1} \right) + \frac{1}{2\gamma^2} \left[\frac{(\gamma-1)^2}{8} + 1 - (\gamma^2 + 2\gamma - 1) \ln(2) \right] \right\} \quad (2.3)$$

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi r_0^2 Z^2 \frac{m_e c^2}{\beta^2} N Z \left\{ \ln \left(\frac{m_e c^2}{I} \beta \gamma \sqrt{\gamma - 1} \right) + \frac{\beta^2}{24} \left[23 + \frac{14}{\gamma+1} + \frac{10}{(\gamma+1)^2} + \frac{4}{(\gamma+1)^8} \right] + \frac{\ln(2)}{2} \right\} \quad (2.4)$$

Bethe formülünden yola çıkılarak, durdurma gücü hedef malzemenin atomik yoğunluğu (N) ve atom numarası (Z) ile doğru orantılıdır. Buna ek olarak düşük uyarılma potansiyeline sahip malzemelerde daha yoğun bir enerji kaybı elde edilir.

> Zayıflatma(Attenuation)

Beta parçacıklarının erimini ölçmeye yönelik çalışmalar, radyoaktif kaynak ile detektör arasına farklı kalınlık ve katkılarda radyasyon emici malzemeler yerleştirilerek yapılmıştır. Detektöre ulaşan beta parçacıklarının sayısı, arada kalan malzemenin kalınlığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Beta parçacıkların tayfı:

$$I(E) = I_0 e^{-\mu(E)x} \quad (2.5)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Burada I_0 başlangıçtaki foton yoğunluğunu, x mesafeyi ve μ enerjiye bağlı zayıflatma sabitini temsil etmektedir.

> Yüklü Parçacıkların Erimi

Alfa parçacığının diğer nükleer radyasyon formlarına göre yüksek kütlesi ve yükü, ona daha fazla iyonizasyon gücü verir, ancak maddeye nüfuz etme kabiliyetini azaltır. Havada, alfa parçacıkları sadece birkaç santimetre hareket edebilir. Bu kısa mesafe mesafesi parçacığın başlangıç enerjisine bağlı olarak değişir.

$$R_{hava} = (0.005E + 0.285)E^{3/2} \quad (2.6)$$

burada R havadaki alfa parçacığının cm cinsinden ortalama doğrusal aralığıdır ve E parçacığın MeV cinsinden enerjisidir. Ampirik formül, 4-15MeV enerji aralığındaki alfa parçacıkları için uygulanır. Enerjileri 4 ila 7 MeV arasında olan alfa parçacıklarının erimleri;

$$R_{hava} = 0.3E^{3/2} \quad (2.7)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

2.2 Yüklü Parçacık Kaynakları

Bir atom çekirdeğinin bir başka atom çekirdeğiyle veya alfa parçacığı, beta parçacığı, gama ışını, nötron, proton veya ağır bir iyonla bombardıman edilmesi sonucu, atomun doğasında yani kendisinde ve özelliklerinde değişiklik meydana gelmesine *nükleer reaksiyon* denir. Bu reaksiyonlar bir mermi parçacığın ağır bir çekirdeğe atılması ile oluşturulabileceği gibi alfa, beta, gama bozunmaları gibi doğal süreçler ile de gerçekleşirler. Fisyon veya transmutasyon gibi nükleer reaksiyonlar kullanılarak kararlı veya yarı kararlı durumdaki çekirdekler kararsız hale getirilebilir. Nükleon fazlalığı bulunan bu çekirdekler sahip oldukları enerji fazlasını yayımlayarak kararlı duruma dönüşürler. Bu tür radyoaktif kaynaklar araştırma laboratuvarları, tıbbi nükleer tesisler gibi pek çok tesiste radyasyon kaynağı olarak işlev görür.

Üretilmiş radyasyonun bozunma süreci, üstel olarak bir azalmayı takip etmekte ve yayımlanan parçacık sayısının zaman içerisindeki değişimi:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada N_0 başlangıçtaki parçacık sayısı, λ ise karakteristik bozunma sabitidir.

❖ Nükleer Bozunma Reaksiyonları

Nükleer bozunum veya *radyoaktivite* kararsız bir parçacığın, parçacık atarak kararlı hale geçmesi olarak adlandırılır. Radyoaktif bozunmada, reaksiyon sonucu oluşan ürün çekirdek ve/veya çekirdeklerinin toplam enerjisi, reaksiyondaki ana çekirdeğin enerjisinden daha azdır. Bu enerji farkı, genellikle bozunma sırasında

yayılan radyasyonlar tarafından taşınır. Serbest bırakılan radyasyonun türüne bağlı olarak, radyoaktivitenin üç ana sınıflandırması vardır. Bunlar;

- > Alfa bozunması,
- > Beta bozunması,
- > Gama bozunması [17].

Alfa Bozunması

Uyarılmış halde bulunan bir atomun iyonize helyum olarak bilinen alfa parçacığı atmasıyla, uyarılmış halden taban durumuna geçmesine *alfa bozunması* adı verilir. Atom numarası 82'den büyük ($Z > 82$) olan radyonüklidlerde daha baskın olarak absorblanan bir bozunum parçacığıdır. Alfa parçacıkları maddede geniş iyonizasyona neden olur. Madde ile etkileşime giren alfa parçacıkları ayrıca floresansla sonuçlanabilen moleküler uyardırmaya neden olabilir. Oluşan bu floresans veya sintilasyon, nükleer parçacıkların gözlenmesine de neden olmuştur[18].



Çekirdekdeki nükleonları birbirine bağlayan çekici kuvvet kısa menzilli ve toplam bağlanma kuvveti de yaklaşık olarak çekirdeğin kütle numarası (A) ile orantılıdır. Protonlar arasındaki itici elektrostatik kuvvet sınırsız bir menzilde ve atomun kütle numarasının karesi (Z^2) ile orantılıdır. Kütle numarası 120'den büyük ($A > 120$) olan çekirdeklerde, çekici kuvvet tarafından protonlar arasındaki denge zor sağlanmaktadır. Alfa bozunumu ise çekirdeğin kütle numarasının küçülerek kararlı bir durumda bulunması sağlar. Potansiyel kuyu güçlü nükleer kuvvetle ilişkilidir. Bu kuvvet eriminin ötesinde kız çekirdek ve alfa parçacığı arasından Coulomb kuvvetine bağlı olarak oluşan elektrostatik itme:

$$U = \frac{2(Z-2)}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.10)$$

burada r çekirdeğin merkezinden olan mesafedir, Z ana çekirdeğin atom numarasıdır ve $(Z-2)$ kız çekirdeğin atom numarasıdır.

$$Q = (m_X - m_Y - m_\alpha)c^2 \quad (2.11)$$

$$T_\alpha = \frac{Q}{(1 + \frac{m_\alpha}{m_Y})} \quad (2.12)$$

Beta Bozunması

Uyarılmış halde bulunan bir atomun bir beta(β^- , β^+) parçacığı ve bir nötrino veya anti nötrino(ϑ_{e^-} , ϑ_{e^+}) atmasıyla, uyarılmış halden taban durumuna geçmesine *beta bozunması* adı verilir. Temel beta bozunma süreçleri:

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + \beta^- + \vartheta_{e^-} \quad (2.13)$$

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + \beta^+ + \vartheta_{e^+} \quad (2.14)$$

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + \vartheta_{e^+} \quad (2.15)$$

Bozunma sırasında bir kız çekirdek ve iki parçacık olmak üzere toplam üç ürün açığa çıkar. Kız çekirdek, serbest nötron bozunmasında bile leptonlardan daha ağırdır ve bu nedenle enerjinin çoğu leptonlar tarafından taşınır. Serbest nötron bozunmasında bile geri tepen proton, Q değerinin en fazla yaklaşık 0.4KeV veya %0.05'ini oluşturabilir. Sonuç olarak, bozunma sonucu oluşan elektronun kinetik enerji genellikle küçük enerjilerde pik yapan ve beta uç nokta enerji olarak adlandırılan bir enerji dağılımını oluşturur.

$$Q = (m_n - m_p - m_{e^-} - m_{\vartheta_{e^-}})c^2 \quad (2.16)$$

$$T_e^{maksimum} = (m_p + m_e)c^2 \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2Q_n m_p c^2}{[(m_p + m_e)c^2]^2}} \right] \quad (2.17)$$

$$T_e^{maksimum} \approx \frac{Q_n}{1 + \frac{m_e}{m_p}} \quad (2.18)$$

2.3 Lüminesans

Uyarılmış bir atomun, uyarılmış halden temel enerji düzeyine dönerken fazla olan enerjisinin tamamını veya bir kısmını ışık şeklinde atmasına *lüminesans* adı verilir. Bu süreç uyarılma mekanizmasına bağlı olarak; kemilüminesans, elektrolüminesans veya elektro kemilüminesans, biyölüminesans ve fotölüminesans olarak sınıflandırılır.

- **Kemilüminesans**

Kimyasal bir reaksiyonun sonucunda oluşan ışımadır.

- **Elektrolüminesans**

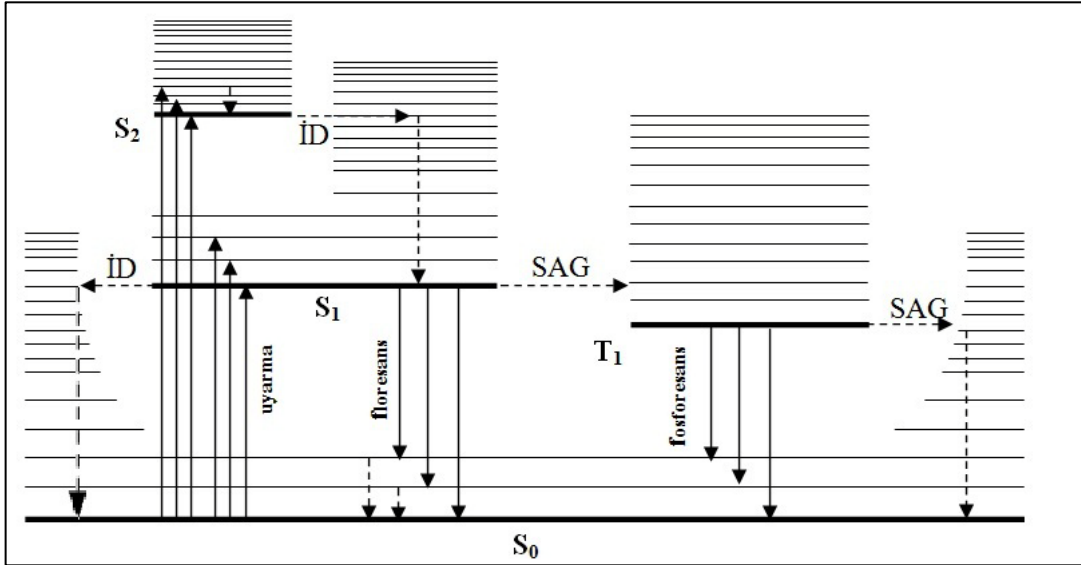
Malzemeye uygulanan elektrik akımına veya elektrik alanına karşı oluşan ışımadır.

- **Biyolüminesans**

Canlı bir organizmanın bedeninde meydana gelen kimyasal tepkime sonucu, canlı bedeninde meydana gelen bir ışımadır.

- **Fotolüminesans**

Malzemede fotonların soğrulmasının (absorpsiyon) ardından meydana gelen ışımadır. Fotolüminesanta soğrulan fotonun dalga boyundan daha büyük dalga boyunda foton yayınlanır (emisyon). Buna *Stokes Kayması* denir ve bir uyarılma sonucu emisyon ve absorpsiyona eğrilerinin maksimumlarının arasındaki dalga boyu farkı olarak tanımlanır. Uyarılan bir molekül çeşitli yollarla enerji kaybederek kararlı durumuna döner. Şekil 2.1'deki Jablonski diyagramında uyarılma sonucu enerjinin olası kaybedilme mekanizmaları gösterilmiştir.

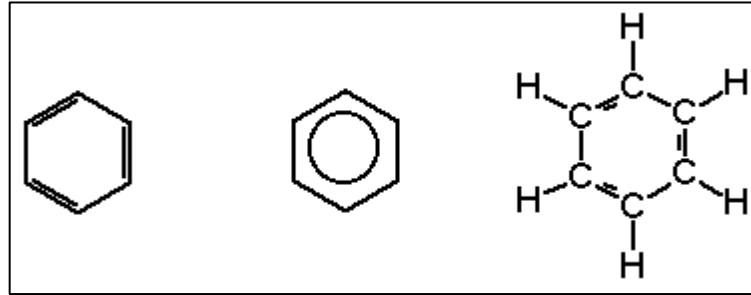


Şekil 2.1 Jablonski diyagramı[19]

Bir molekülün taban durumunda Pauli ilkesine göre zıt spin yönelimli olan iki elektron bulunur ve taban durumu S_0 simgesi ile gösterilir. Bu elektronlardan biri uyarıldığında ve spin yönelimi değişmeden yüksek enerjili orbitalerden birine geçtiğinde uyarılmış singlet bir durumda olur. Bu singlet durumlar için $S_1, S_2, \dots$ simgeleri kullanılır. Diğer taraftan taban durumdaki bir elektron uyarılma sonucu

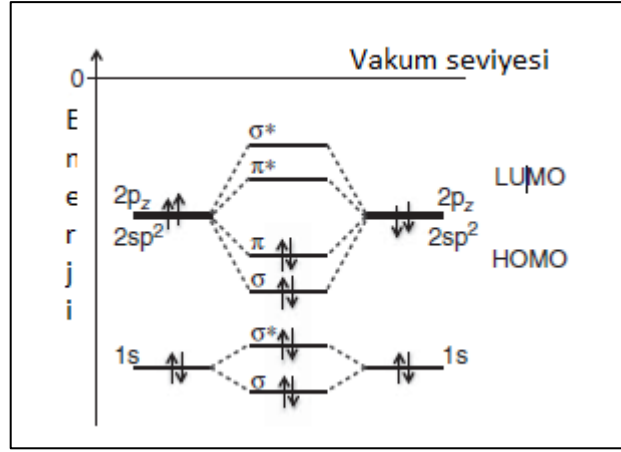
üst seviyelere geçerken spin yönelimi değişirse triplet bir durumda olur ve bu durumlar $T_1, T_2, \dots$ simgeleri ile gösterilir. Fotoluminesanda ışımalı geçişler floresans ve fosforesans olarak ikiye ayrılır. Bunların dışındaki geçişler ışımasız geçişlerdir. Floresans, genel olarak S_1 ile S_0 enerji seviyeleri arasında meydana gelen ışımalı geçiştir ve $10^{-10} - 10^{-7}$ s zaman aralığında gerçekleşmektedir. Nadir de olsa başka S düzeylerinden geçişlerde olmaktadır. Fosforesans ise triplet seviyeden yapılan ışımalı geçiştir. Fosforesansda geçiş için daha uzun bir zaman ölçeği söz konusudur ve $10^{-6} - 1$ s mertebesinde gerçekleşmektedir [20].

Floresans olarak aktif moleküller daha çok aromatik hidrokarbonlardır. Şekil 2.2’de bunların en basit yapıda olanlarından benzenin şematik gösterimleri verilmektedir. Floresans karakterleri çevrimsel yapıdaki çift bağların ardışık olarak yer değiştirmesinden (delokalizasyon) ve sahip oldukları π elektron sistemi kaynaklanmaktadır [20]. π bağı orbitalerin üst-üste gelerek elektronlarını ortaklaşa kullanmaları ile oluşan kovalent bir bağıdır. İki atom p orbitaleri aralarında sigma bağı yaptıktan sonra yine p orbitaleri bağ yaparsa bu bağ artık π bağıdır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi benzendeki bazı karbonlar arasında çift bağ bulunmaktadır. Bu çift bağlardaki ikinci bağlar π bağıdır ve bu çift bağlar belli bir yönde sürekli olarak yer değiştirir.



Şekil 2.2 Benzen ve değişik gösterimleri [20]

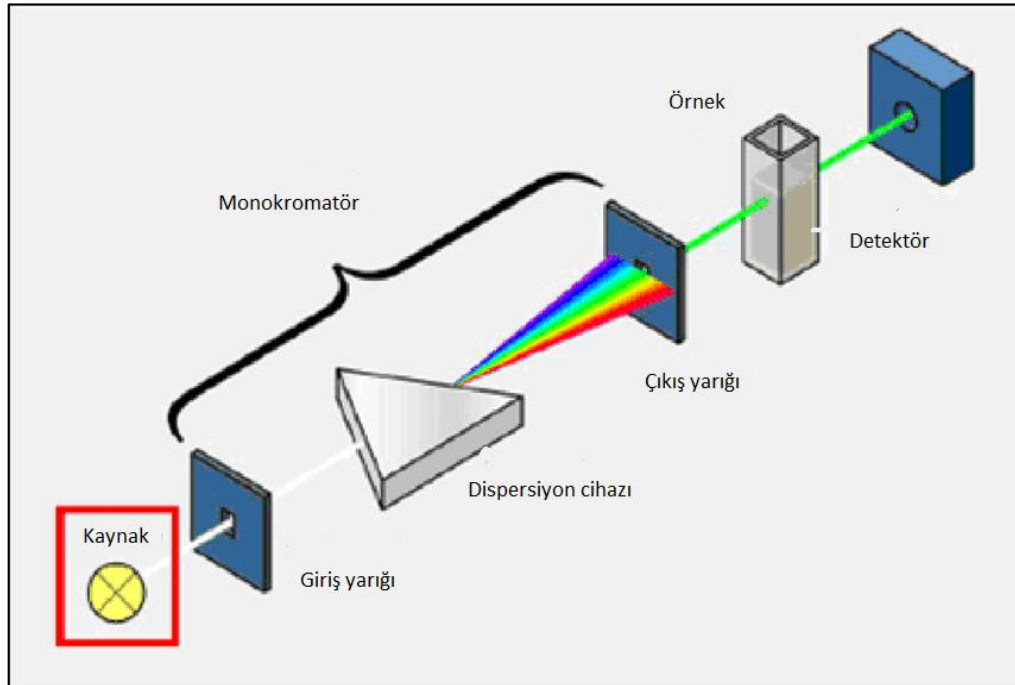
Organik moleküllerde elektron uyarıldığında enerjisi en yüksek dolu moleküler orbitalden (HOMO), enerjisi en düşük dolu olmayan moleküler orbitale (LUMO), ya da enerjisi daha büyük olan boş bir duruma geçer. Şekil 2.3’e göre HOMO-LUMO geçişi $\pi-\pi^*$ geçiştir. Uyarılmış elektron taban duruma geri dönerken ışıma yapar.



Şekil 2.3 Eten molekülünde HOMO-LUMO [21]

2.4 UV-Visible Spektroskopisi

UV-Visible spektroskopisi, UV-Visible ışınının molekül tarafından soğurulduğu bir tür absorpsiyon spektroskopisidir. Bu ışın molekül tarafından soğurulduğunda, elektronların uyarılmasına ve molekülün elektronik enerji seviyeleri arasında geçişe yol açtığından, buna elektronik spektroskopi de denir. Bir UV-Visible spektrofotometrenin çalışma prensibi şematik olarak Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 UV-Visible spektrofotometre diyagramı[22]

Genel olarak bir UV-Visible spektrofotometresinde iki çeşit lamba ışık kaynağı olarak kullanır. Bu lambalardan biri olan döteryum lambası 190nm ile 800nm arasında ışık yayarken, tungsten lamba ise 370 nm ile 1100 nm arasında ışık yayar. Daha sonra bir fotodiyot dizini 190 nm ile 1100 nm arasında ışığı dalga boylarına ayırır. UV-Visible spektroskopi optik yoğunluk olarak da isimlendirilen absorbans (A) veya geçirgenlik (T) ölçümüne dayanır.

$$A = \log_{10}\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (2.19)$$

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.20)$$

Burada I_0 spektrometre 'den örneğe gönderilen ışığın şiddeti, I ise örnekten geçen ışığın şiddetidir.

2.5 Detektörler

Nükleer reaksiyon sonucu oluşan radyoaktif parçacıkları tanımlamak için kullanılan cihazlara radyasyon detektörü adı verilmektedir. Bu detektörler, detektör hacmi içine giren her bir parçacığın detektör malzemesi ile etkileşmesine bağlı olarak bir sinyal üretirler. Bu cihazlar solduğumuz havada ve/veya içtiğimiz suda bulunan radyoizotopların sayısı, teşhis için insan vücuduna uygulanan bir radyoaktif madde örneğinin alımı, nükleer reaksiyonların radyoaktif ürünlerini tanımak vb. için kullanılırlar[14]. En yaygın detektör türleri: Gaz dolgulu sayıcılar, Sintilatörler, Yarıiletken kristaller, Kivılcım Odaları, Kabarcık Odaları, Fotografik emülsiyonlar, Cherenkov sayıcılarıdır.

Detektörler;

- > Detektör hacmine giren her bir parçacık için elektronik gürültü seviyesinin üstünde bir sinyal üretmeli,
- > Gelen her parçacığın sayılabilmesi için sinyal süresi kısa olmalı,
- > Eğer enerji ölçümü yapılacaksa sinyal genliği ile parçacık enerjisi arasında bilinen sabit bir bağıntı olmalı ve detektörler aynı enerjideki parçacıklar için aynı sinyali üretmelidir.

Detektörler yapıldıkları malzemeye bağlı olarak farklı fiziksel süreçler ile sinyal üretirler. Gaz dolgulu sayıcılarda, elektronların uyarılması veya bir gazın

iyonlaştırılması sonucu oluşan serbest elektronların ve iyonların hareketi elektrotlarda bir akım oluşturur. Yarı iletken detektörlerde bu akım elektron boşluk çiftlerinin oluşması ile elde edilir. Sintilasyon detektörleri ise bu akım sinyalini iki aşamada üretirler. Sintilasyon yapabilen bir malzemeden elektron kopmasıyla floresans fotonlarının ortaya çıkması ve bu fotonların metal iş fonksiyonuna bağlı olarak bir foto çoğaltıcı tüp aracılığı ile elektrik sinyallerinin üretilmesi ile çalışır[13].

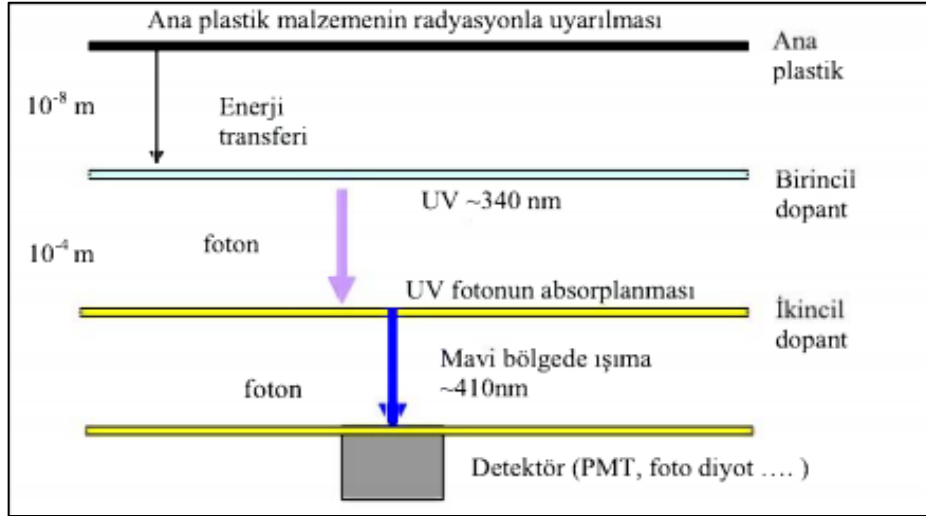
Ayrıca radyoaktif kaynağın özellikleri, kaynakta meydana gelen bozunum oranı, yarı ömür, malzeme miktarı vb. birçok bilgide yapılan bu zaman ve/veya enerji bağımlı ölçümlerden elde edilebilir. Radyoaktivite analizi, gerek radyoaktif kaynakların, gerekse bu kaynakların bulunacağı ortamın neden olduğu fon etkileri nedeniyle oldukça zordur. Örneğin; radyoaktif bir kaynaktan yayılan radyasyon çeşitli tip, şiddet ve enerji değerlerine sahip olabilir. Bu nedenle radyasyon tercih edilecek detektörler türü ilişkili elektronik donanım da değişim gösterecektir. Radyoaktivite analizi, yönteminin veya radyasyon detektörünün doğru seçilmesi hususuna bağlıdır. Bu durum hem radyasyonun özelliklerinin anlaşılmasında, hem madde ile etkileşme mekanizmalarının belirlenmesine hem de yarı ömür, şiddet, enerji gibi birçok kavramın anlaşılmasında önem arz etmektedir.

Sintilasyon Detektörleri

İyonlaştırıcı etkiye sahip yüklü veya yüksüz parçacıkların saydam bir malzemeden geçerken ürettiği parıldamaya (parlama, ışık) *sintilasyon* adı verilir. Genel anlamıyla sintilasyon, belirli bir enerjide gelen radyasyonun, nüfuz ettiği malzemenin hacmiyle etkileşerek elektromanyetik dalgalara dönüştürüldüğü durumdur. Radyasyonun malzemeye etkileşmesi sonucunda oluşan elektromanyetik dalgaların frekansı görünür tayf aralığında veya yakın çevresinde yer alır. Burada önem arz eden durum, malzemeden üretilen ışıldamanın uygun elektronik cihazlarla algılanabiliyor olmasıdır.

Sintilasyon detektörlerinin çalışma prensibi malzemede oluşan ışımların okunması üzerinedir. İyonlaştırıcı radyasyon sintilatöre girer ve sintilatör materyali ile etkileşir. Bu durum elektronların uyarılmış bir duruma geçmesine neden olur. Yüklü parçacıklar için oluşan iz, parçacığın serbest yoludur. Gama ışınları gibi yüksüz

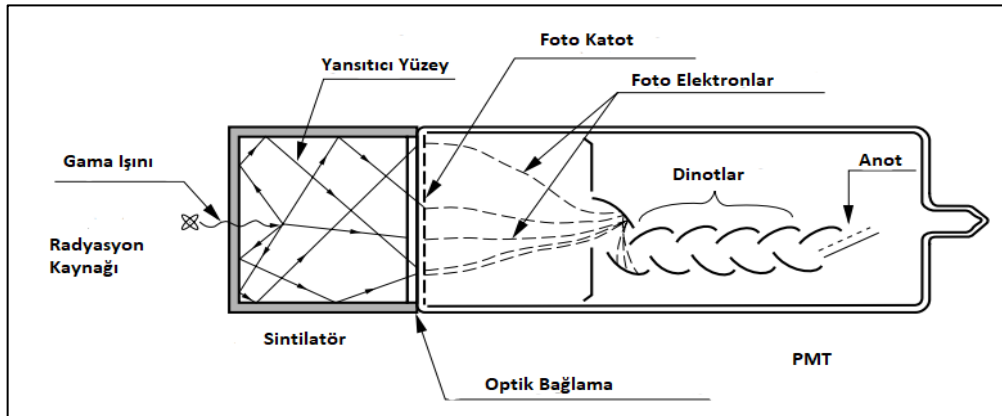
parçacıklarda ise enerji fotoelektrik etki, Compton saçılması veya çift üretimi yoluyla uyarılmış bir elektrona dönüştürülür.



Şekil 2.5 Sintilasyon aşamaları[23]

Sintilatör malzemesinin uyarılmış atomları görünür ışık tayfında bir foton yayar. Yayılan fotonun yoğunluğu, iyonlaştırıcı parçacık tarafından bırakılan enerji ile orantılıdır. Bu durumda ışıma yapan malzemeye ise floresans malzeme denilir.

Sintilatörde oluşturulan ışık, bir foto çoğaltıcı tüpün foto katoduna çarpar ve foton başına en fazla bir foto elektron salar. Bir dizi yüksek voltaj bölücü kullanarak, bu birincil elektron grubu elektrostatik olarak hızlandırılır ve odaklanır, böylece ilk elektrotun ilave elektronları serbest bırakmaya yetecek kadar enerjiyle çarpmasını sağlarlar.



Şekil 2.6 Foto çoğaltıcı tüp(PMT) diyagramı [24]

Bu ikincil elektronlar, daha fazla elektron salan ikinci bir dinodu vurur. Bu işlem foto çoğaltıcı tüpte gerçekleşir.

Sonraki her bir dinod etkisi 2^n (n elektron sayısı) daha fazla elektron salar ve bu nedenle her dinod aşamasının bir akım yükseltici etkisi söz konusudur. Her aşama, hızlanan alanı sağlamak için öncekinden daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Son dinotda, daha fazla amplifikasyon için yeterli büyüklükte bir darbe üretmek için yeterli elektronlar mevcuttur. Birim zaman başına bu atımların sayısı ayrıca radyasyonun yoğunluğu hakkında bilgi verir.

Bir sintilatör kristalinin sintilasyon detektörü olarak kullanılabilmesi için temelde 3 elektronik ışık sensörüne bağlanması gereklidir. Bunlar;

- ❖ Foto çoğaltıcı tüp (PMT),
- ❖ Yük bağlaşımlı aygıt (CCD) kamera,
- ❖ Foto diyottur.

Malzemenin ideal bir sintilasyon malzemesi olması için aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Yüklü parçacıkların kinetik enerjisini yüksek bir ışıma verimliliği ile saptanabilir ışığa dönüştürmelidir.
- Işık verimi mümkün olduğunca geniş bir aralıkta depolanan enerjiyle orantılı olmalıdır.
- Ortam, iyi ışık toplama için kendi emisyon dalga boyuna karşı şeffaf olmalıdır.
- İndüklenen lüminesansın bozulma süresi kısa olmalıdır, böylece hızlı sinyal darbeleri üretilebilir.
- Malzeme iyi bir optik kalitede olmalı ve pratik bir detektör olarak ilgi çekecek kadar büyük boyutlarda üretime tabi tutulmalıdır.
- Işıma ışığının bir foto çoğaltıcı tüpe veya başka bir ışık sensörüne verimli bir şekilde bağlanmasını sağlamak için, kırılma indisinin camın kırılma indisine yakın (~ 1.5) olması gerekir.[12]

Sintilatörler iki temel grupta incelenir:

- > İnorganik kristaller,
- > Organik kristaller.

Organik Sintilatörler

Organik sintilatörler tipik olarak çeşitli şekillerde birbirine bağlı benzen halka yapıları içeren aromatik bir hidrokarbon bileşiğidir. En yaygın organik kristal sintilatörler, Naftalin ($C_{10}H_8$), Antrasen ($C_{14}H_{10}$), Stilbene ($C_{14}H_{12}$)'dir. Organik maddelerdeki sintilasyon mekanizması inorganik kristallerdeki mekanizmadan oldukça farklıdır. İnorganik sintilatörlerde, örneğin sodyum iyodür (NaI) veya sezyum iyodür (CsI) gibi, sintilasyon kristal kafesin yapısından dolayı ortaya çıkar. Organik malzemelerdeki floresans mekanizması, tek bir molekülün enerji seviyelerindeki geçişlerden kaynaklanır ve bu nedenle flüoresans, fiziksel durumdan bağımsız olarak gözlemlenebilir[2].

İnorganik Sintilatörler

İnorganik sintilatörler, iyonlaştırıcı radyasyonla etkileştiğinde ışık yayan özelliklere sahip tek kristal malzemelerden oluşur. Sintilasyon ışığı yoluyla iyonlaştırıcı radyasyonun saptanması, belgelenen en eski tekniklerden biridir. İnorganik sintilatör türlerine sodyum iyodür (NaI-Tl), çinko sülfür (ZnS-Ag), lantan bromür (LaBr₃) vb. örnek olarak verilebilir. Bazı yaygın sintilatörlere ait özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Bazı yaygın sintilatörlerin sintilasyon özellikleri

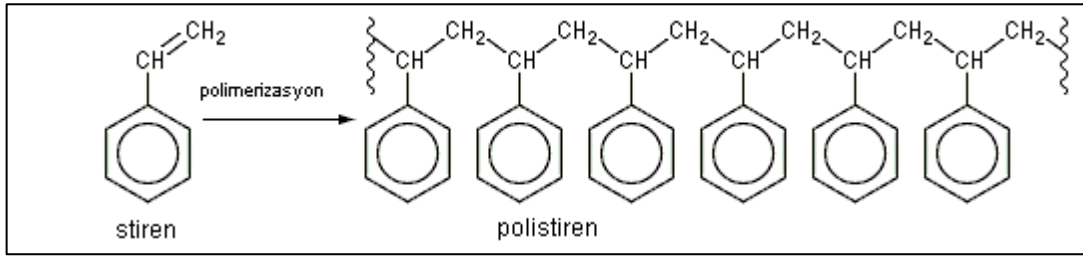
Sintilatör	Yoğunluk (g/cc)	Emisyon dalga boyu(nm)	Işık çıkışı (foton/Mev)	Bozunma zamanı(ns)	Kaynakça
NaI(Tl)	3.67	410	38.000	230	[1]
CsI(Tl)	4.51	560	65.000	300	[28]
Plastik Sintilatör	1.03	423	10.000	2	[29,30]

2.6 Organik Sintilatör Materyalleri ve Özellikleri

Bu tez çalışmada Polistiren(PS) matris içine dağıtılmış 2,5-difeniloksazol (PPO) sintilasyon katkısı kullanılmıştır.

- **Polistiren**

Polistiren, Şekil 2.7’de gösterilen formül ile stiren monomerinin polimerizasyonu elde edilmektedir. Polistiren iyi elektriksel ve nem direncine sahip, amorf, ucuz ve kolay kalıplanan bir polimerdir. Benzen halkasının zincir takviye etkisi nedeniyle, camsı geçiş sıcaklığı (Tg) 90-100 ° C aralığındadır. Bu Tg değerinin ve polimerin amorf doğasının bir sonucu, oda sıcaklığında sert ve şeffaf bir malzemeye sahip olmaktadır[25].



Şekil 2.7 Polistirenin kimyasal yapısı [26]

Çalışmada kullanılan polistiren matrisin bazı fiziksel özellikleri Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2 Polistirenin kimyasal özellikleri

CAS Numarası	9003-53-6
Özkütle(g/mL)	0,96-1,04
Erime Noktası(°C)	240
Camsı Geçiş Sıcaklığı(°C)	100
Gerilme Direnci(MPa)	42

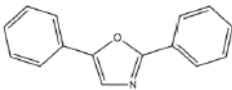
Tablo 2.2 Polistirenin kimyasal özellikleri (devamı)

Uzama(%)	1,8
Darbe Dayanımı(J/m)	21
Kırılma İndisi	1,6
Dielektrik Sabiti	2,6
Isı İletkenlik Katsayısı(W/mK)	0,033

- **2,5-difeniloksazol (PPO)**

2,5-Difeniloksazol (PPO) organik bir sintilatör katkı malzemesidir. Daha kısa dalga boyu ışığını daha uzun dalga boyu ışığına dönüştürdüğü anlamına gelen bir dalga boyu kaydırıcısı kullanılır. Emisyon spektrumu UV bölgesi içinde 385nm civarında zirve yapar. Çalışmada kullanılan PPO organik sintilatör molekülünün şematik gösterimi ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3 PPO'nun kimyasal özellikleri

	PPO 
CAS Numarası	92-71-7
Ampirik Formül	$C_{15}H_{11}NO$
İsimlendirme	2,5-difeniloksazol
Molekül Ağırlığı(g/mol)	221,25

Tablo 2.3 PPO'nun kimyasal özellikleri (devamı)

Kaynama Noktası(°C)	360
Erime Noktası(°C)	72-73
Safılık(%)	99
Görünüm	Beyaz Toz

3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Detektör Malzemesinin Hazırlanması

Bu çalışmada PS matris içine dağıtılmış PPO sintilasyon katkısı kullanılarak film formunda yüklü parçacık detektörü üretildi. Filmin üretimi için kristal formda PS'e, kütlece %5.05 oranında PPO eklendi. Elde edilen katı karışım ağzı kapalı bir erlen içinde kütlece %50 oranında Kloroform ile sürekli karıştırılarak çözüldü. Çözelti, manyetik karıştırıcı üzerinde 40 °C'deki sabit sıcaklık banyosunda sürekli karıştırıldı ve hava kabarcıklarının oluşmaması için, dönüş hızı, karışımın viskozitesine bağlı olarak düzenli olarak ayarlandı. Elde edilen bu homojen çözelti temiz bir cam yüzeye yavaşça dökülerek Şekil 3.1'de gösterilen 100µm'lik film aplikatörü ile 10x20 cm ebatlarında yayıldı. Cam üzerine yayılan bu film oda koşullarında ve tozlanmayacağı şekilde kurutuldu.



Şekil 3.1 Film aplikatör

3.2 Detektör Karakterizasyonu

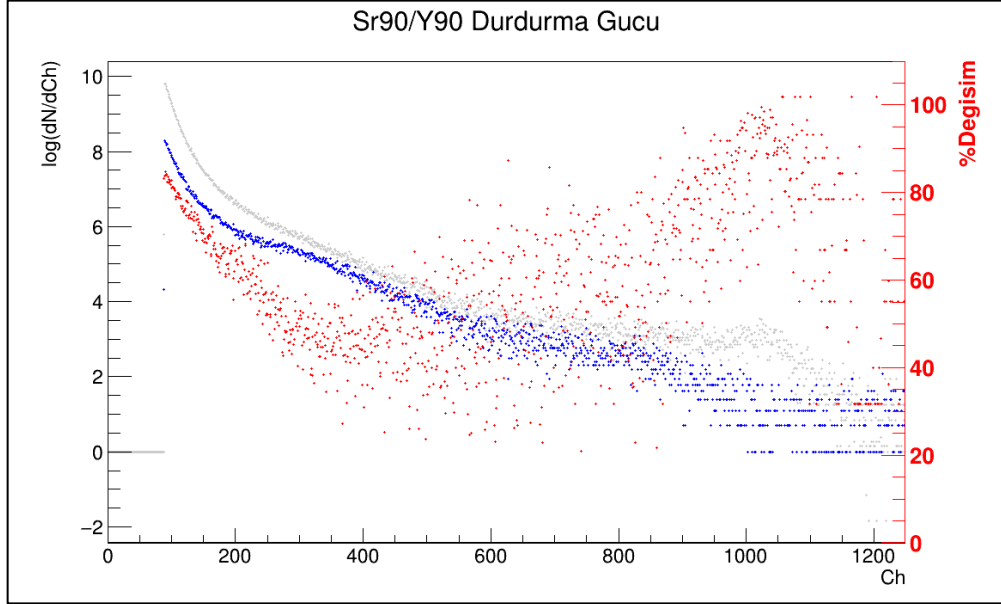
Çözeltiden döküm yöntemiyle hazırlanmış olan PS matris esaslı katkılı filmin; yüklü parçacık detektörü olarak kullanılabilmesi, aşağıdaki özellikleri sağlaması ile mümkündür:

- > Yüklü parçacıkların 100 μ m' lik kalınlık içinde tüm enerjilerini yitirmeleri.
- > Yitirdikleri bu enerjinin matris malzeme tarafından emilmesi, yani film detektör malzemesinin UV bölgede tutucu olması,
- > Matris malzeme ile etkileşim sonrasında oluşacak UV emisyonun, yapılan katkı tarafından yakalanarak foto çoğaltıcı tüpün (PMT) kuantum verim aralığına uygun dalga boyu aralığında ışıma yapması,
- > Elde edilen filmin görünür bölgedeki bu ikincil ışıma için geçirgen olmasını gerektirir. Bu gerekliliklerin sağlandığını ortaya koyabilmek için hazırlanan filmler sırasıyla durdurma gücü, UV-Vis spektrometresi yöntemi ile tutuculuk/gecirgenliği, UV-Floresans spektrometresi ile UV uyarılmaya karşı yaptıkları ikincil ışıma tayfları ölçüldü.

Durdurma Gücü Ölçümleri

Durdurma gücü (stopping power), İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsünde 50 mm²'lik Si-yüzey engelli detektör ile ORTEC ULTRA Alfa Spektrometresi kullanılarak 3000s'lik ölçümler ile belirlendi. Alfa ölçümleri için Echert Zweig tarafından üretilen 10 μ Ci'lik Th230 alfa kaynağı ve beta ölçümleri için aynı firma tarafından üretilmiş 10 μ Ci'lik Sr90/Y90 beta kaynağı kullanıldı. Düşük vakum altında, ilk olarak enerjiye bağlı olarak kaynak akısı belirlendi daha sonra ise kaynak ve detektör arasına hazırlanan film konularak ölçümler tekrarlandı. Alfa ölçümlerinde 0-5MeV enerji aralığında 3000s süre tayf toplandı. Beklentiler doğrultusunda, hazırlan malzemenin kalınlığı kaynaktan çıkan hemen hemen tüm alfa parçacıklarını tutmakta yeterli olduğundan ikinci ölçümde herhangi bir tayf elde edilemedi. Bununla beraber beta ölçümleri 0-1.5MeV enerji aralığına karşılık gelen ölçümleme ile yapıldı ve elde edilen tayflar Şekil 3.2'de gösterildi. Bu grafikte mavi çizgi örnek yokken alınan kaynak akısı ölçümünü, gri çizgi örnek varken alınan ölçümü, kırmızı çizgi ise her kanaldaki değişim yüzdesini

göstermektedir. Her iki tayf birlikte değerlendirildiğinde; detektöre ulaşan beta parçacıklarının sayısında bir azalma ve beta tayfının son nokta enerjisinde bir düşme görülmektedir. Bu iki gözlem beta parçacıklarının bir miktarının detektör malzemesinden geçmesine rağmen parçacık akısında ve enerjide bir kayıp yaşandığını göstermektedir.

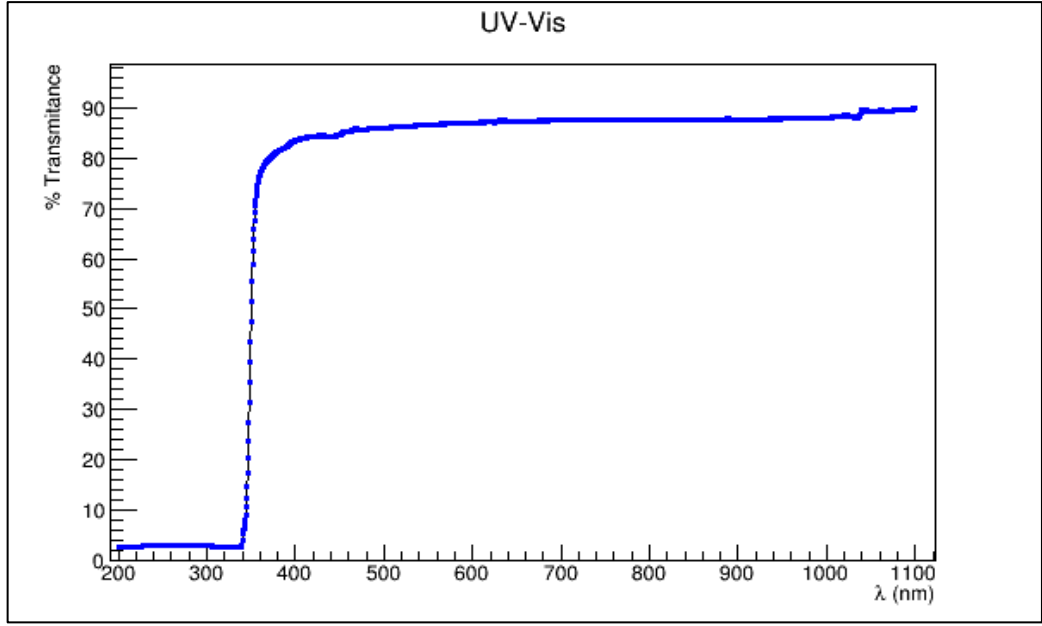


Şekil 3.2 Sr90/Y90 Beta Tayfı

Optik Tayfı

Radyasyon madde etkileşmesinin organik matrislerde UV bölgede ışımalara neden olduğu bilindiğinden ilk olarak üretilen detektörün dalga boyuna bağlı yakalama ölçümleri Shimadzu marka UV-Vis spektrometresi ile yapıldı. 200-1100nm dalga boyu aralığında, malzemenin transmisyon düzeyi belirlendi.

Yapılan ölçümde Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, hazırlanan filmlerin 340nm uyarıcı dalga boyuna kadar ortalama %3 oranında bir geçirgenlik gösterdiği tespit edildi. Örneğin, 360nm üzerindeki dalga boylarında ise %80'den daha yüksek bir geçirgenliğe sahip olduğu ve 360nm'den daha büyük dalga boylarında da aynı geçirgenliğe sahip olduğu gözlemlendi. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda detektörüm yüksek enerji bölgesindeki etkileşmeler için uygun olduğu değerlendirildi.

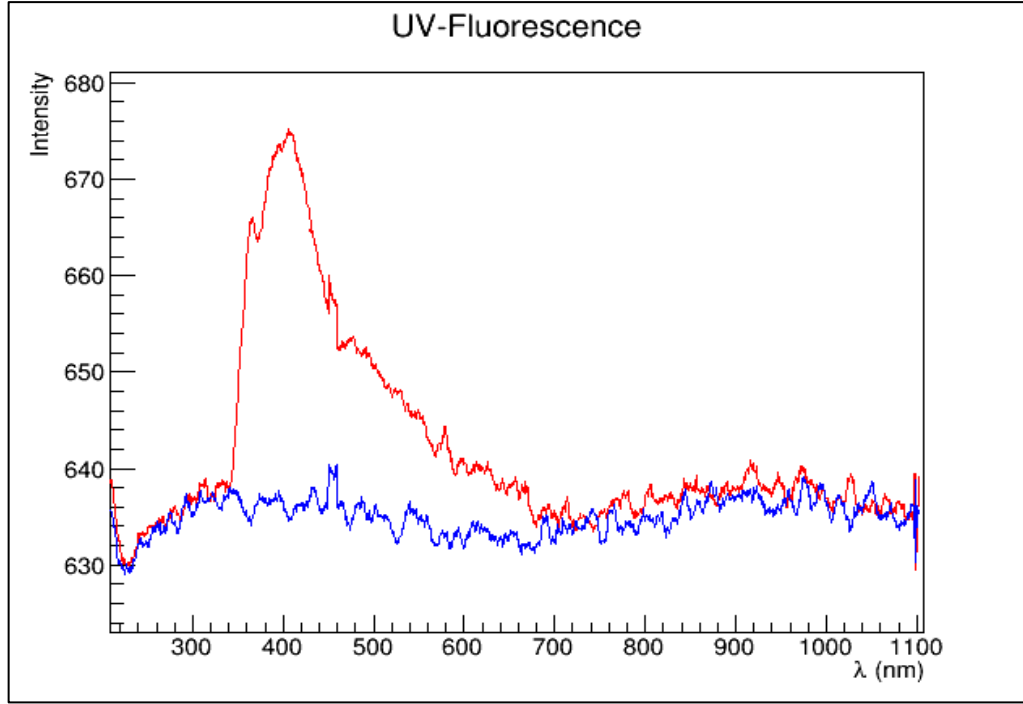


Şekil 3.3 UV-Vis Tayfı

Emisyon Tayfı

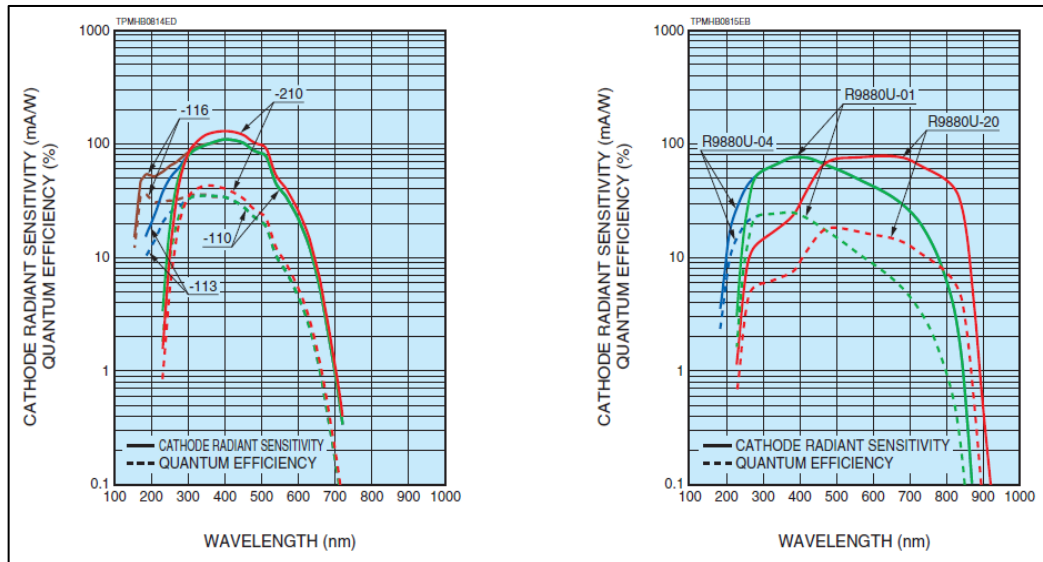
Tasarlanan katkılı organik sintilatör malzemesinin gelen UV bölgedeki uyarımlara karşı ikincil ışınımının incelenmesi amacıyla floresans yöntemi kullanıldı. Ocean Optics USB2000 fiber kablolu spektrometre ve dalga boyu 280nm olan Thorlab marka Power Led bir UV lamba kullanılarak uyarılan örneğin yaydığı ikincil ışınım fiber optik ile destekli bir foto duyar sistemi ile kaydedildi.

Ölçümler üç aşamada yapıldı. İlk olarak ışık kaynağının kapalı ve detektörün malzemesinin olmadığı durumda sistemin kurulu olduğu odanın arka plan ışık şiddet dağılımının belirlendi. İkinci aşamada sadece ışık kaynağı kullanılarak, kaynağın dalga boyuna bağlı şiddet dağılımı elde edildi. Son ölçümde ise ışık kaynağının önüne detektör malzemesi yerleştirilerek malzemenin emisyon tayfı ölçüldü. Tüm ölçümler aynı dalga boyu aralığında ve aynı hassasiyette yapıldı ve ölçüm esnasında sistem her dalga boyu aralığı için 5 ölçüm alarak elde ettiği ortalama değerler kaydedildi. Elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesinde öncelikle ilk ölçümde alınan fon tayfının ikinci ve üçüncü ölçümlerden çıkarılarak, ortamdan kaynaklanabilecek gürültü düzeyleri ayrıştırıldı. Fon gürültüsü temizlenmiş tayf ölçümleri Şekil 3.4' de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Fotolüminesans tayfı

Bu grafikte, mavi çizgi ışık kaynağının tayfını (2. ölçüm) ve kırmızı çizgi ise filme yapılan ikincil katkı nedeniyle oluşan emisyon tayfını (3. ölçüm) göstermektedir. 340nm den başlayan ve 680nm' ye kadar devam eden bu ikincil ışımının şiddet tepesi 400-450nm aralığında ve kullanılması planlanan PMT (Şekil 3.5) ile uyumludur.

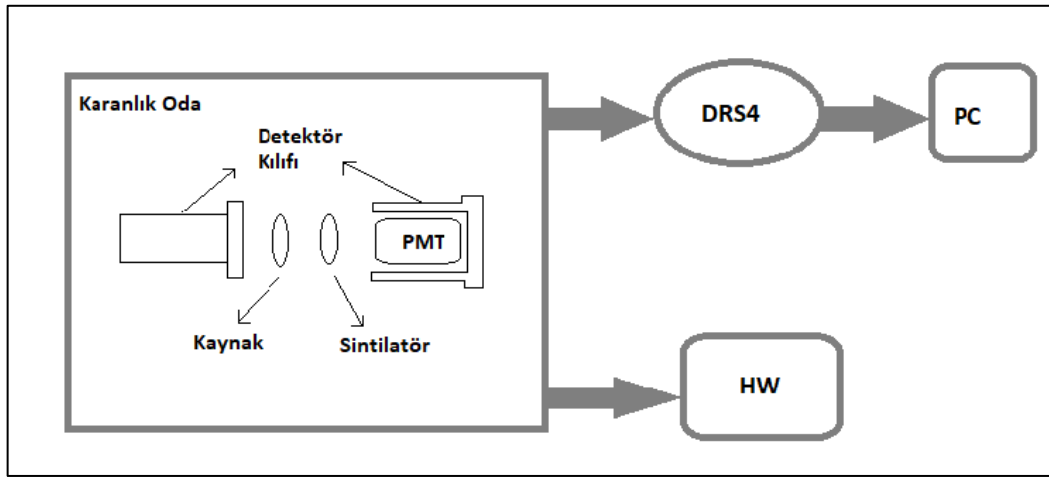


Şekil 3.5 PMT'ye ait dalga boyu/kuantum verim[24]

Işık şiddeti tepesinin düşük dalga boyu başlangıç değeri UV-Vis ölçümleri ile elde edilen geçirgenlik dağılımı ile uyumludur. Parıldama ölçümlerinde kullanılacak olan Hamamatsu marka R9880u-110 model foto çoğaltıcı tüpün, bilgi setinde verilen kuantum verim dalga boyu 300-500nm arasındaki plato yapmaktadır. Bu çalışmada üretilen ince film 340-680nm aralığında ışıma yapsa da en yüksek şiddete PMT tüpün plato bölgesinde ulaşmaktadır.

Parıldama Tepkisi

Yukarıda yapılan karakterizasyon ölçümleri, Şekil 3.6'da gösterilen parıldama ölçüm sistemi şematığının mümkün olan en iyi uyum içinde çalışacağını göstermektedir.



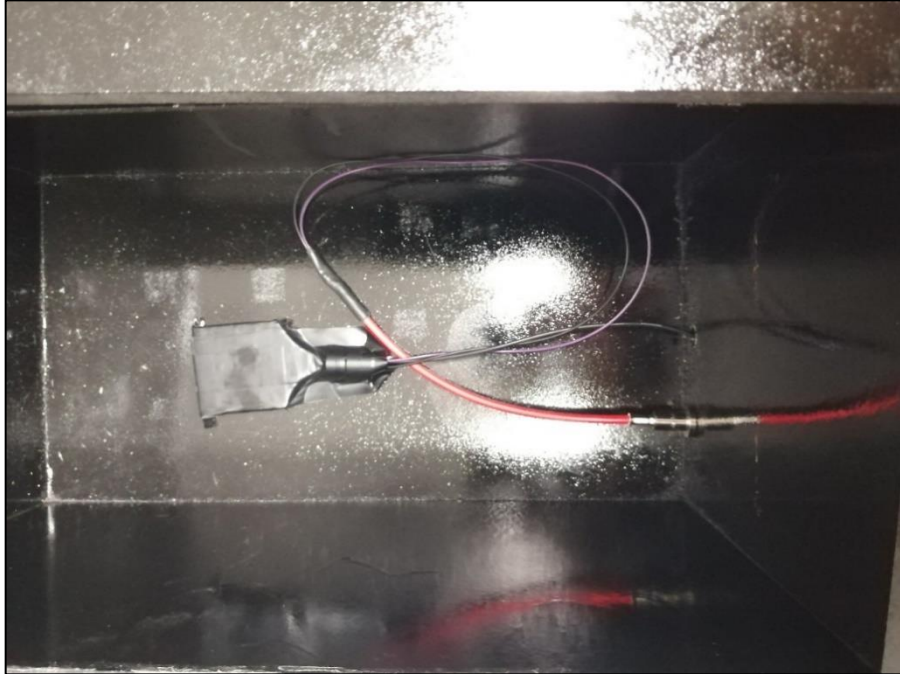
Şekil 3.6 Nükleer ölçüm şematığı

Bu şemada detektör, Hamamatsu R9880U-110 PMT, ORTEC 556 HV yüksek voltaj kaynağı, FPGA tabanlı PSI DRS4 sayısal osiloskop kullanılmıştır. Şema üzerinde gösterilmese de detektör-PMT bağlanması optik izolasyon açısından özel bir çaba gerektirmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan PMT'nin yüksek hassasiyette olması nedeni ile ışık sızmalarının en aza indirilmesi hedeflenerek Şekil 3.7'de gösterildiği üzere PMT, film detektör ve beta kaynağı YTÜ Teknoparkta bulunan Prototip atölyesinde basılan detektör kılıfı ile kapatıldı.



Şekil 3.7 Detektör kılıfı

Ek bir tedbir olarak kılıf ile oluşan sistem Şekil 3.8'deki gibi tek duvarı kurşun zırhlı MDF ahşaptan yapılmış bir karanlık oda içerisine yerleştirildi. Daha sonra, önce radyoaktif kaynak olmadan sonra da kaynakla birlikte sinyal ölçümleri alındı.



Şekil 3.8 MDF ahşaptan yapılmış karanlık oda

Parıldama ölçümleri için sistem hazırlanırken ilk olarak PMT tüp ile film detektör PDMS ile birbirlerine bağlandı. PDMS kırılma indisi 1.43 olduğundan film ve PMT arasında iç yansımaları en düşük düzeyde tutarak optik iletimin sağlanması amacıyla kullanıldı. Sonra standart beta kaynağı film üzerine yerleştirilerek detektör kılıfındaki vidalı mekanizma kullanılarak tek eksenli ve ışık geçirimsiz bir kurulum yapıldı. Sonra ORTEC 556 yüksek gerilim kaynağı ile çalışma gerilimi olan -1100V'a getirildi. Kullanılan PMT' nin sinyal çıkışı 50Ω BNC kablo ile DSR4 sayısal osiloskopa bağlandı. Kullanılan DSR4 ile 5G C/s örnekleme hızına $\pm 1V$ ölçüm aralığında 20ns/div zaman ve 50mV/div gerilim çözünürlüğüne ayarlanarak kalibre edildi. Daha sonra düşen sinyali tetik ayarında 20mV eşik gerilimi kistası verilerek ölçümlere başlandı. Yapılan ölçümde bu eşik değerinin üzerinde kalan tüm sinyaller 1024bit hassasiyetle kayıt edildi. Veri toplama süreci toplam 10^6 kayıt elde edilene kadar sürdürüldü.



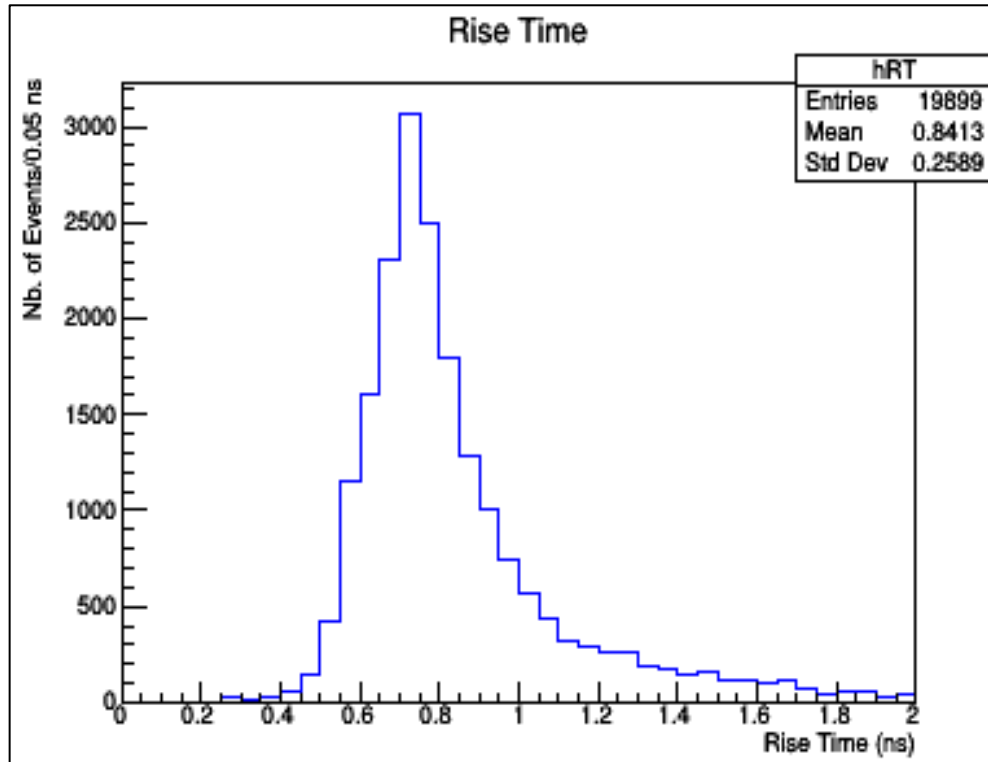
Şekil 3.9 DRS4 Ekran Çıktısı - Kaynak ölçümü (Alfa)

Sintilatör tarafından üretilen dalga şekilleri bir bilgisayar aracılığı ile kaydedildi. Sayısal ölçüm sistemi en yüksek veri toplama döngüsü içinde kullanıldığından ikili (binary) formda ham veri toplanması bilgisayar – ölçüm sistemi verimi açısından

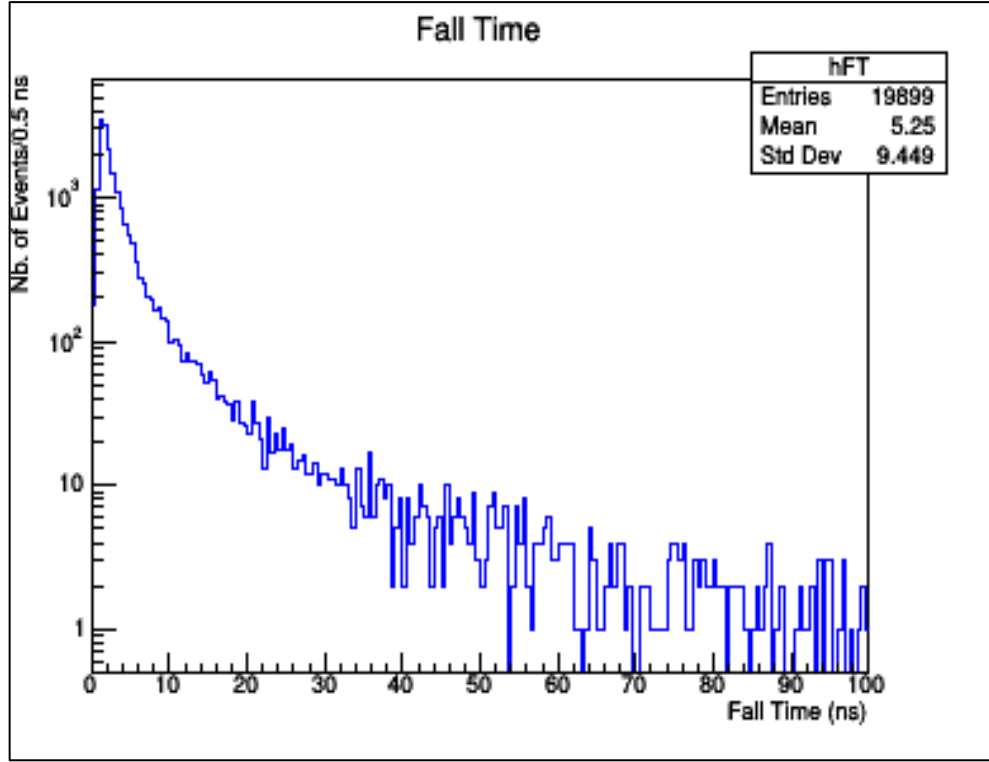
gerekli olduğundan verilerin analizi öncesinde tekrar işlenmesi ve daha kullanışlı bir veri formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle PSI laboratuvarı tarafından DRS4' ün web sitesi üzerinden sağlanan dönüştürme yazılımı kullanılarak, yapılmak istenilen analizlere uygun şekilde gerilim-zaman verisine dönüştürülerek, ROOT@CERN dosya formatında kaydedildi[27].

Sinyal analizi ROOT@CERN programı aracılığıyla gerçekleştirildi. Analiz sırasında öncelikle bir arka plan ile sinyal tepesi belirlendi. Sonra tespit edilen sinyal aralığındaki sinyal tepesinde %10 ve %90 noktaları arasındaki geçişi tespit edildi. Tespit edilen sinyallerde %10-%90 arası kısım çıkış zamanı, %90-%10 arası kısım iniş zamanı olarak belirlendi.

Sinyal şekilleri baz alınarak yapılan bu analizlerde, beta ölçümlerinde kullanılan Sr90/Y90 kaynağı ile alınan ölçümlere ait sinyal karakteristiği Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de gösterildi. Bu ölçümlerde ise çıkış süresi ve düşüş süresi sırasıyla 841.3ps ve 40ns olarak ölçüldü.

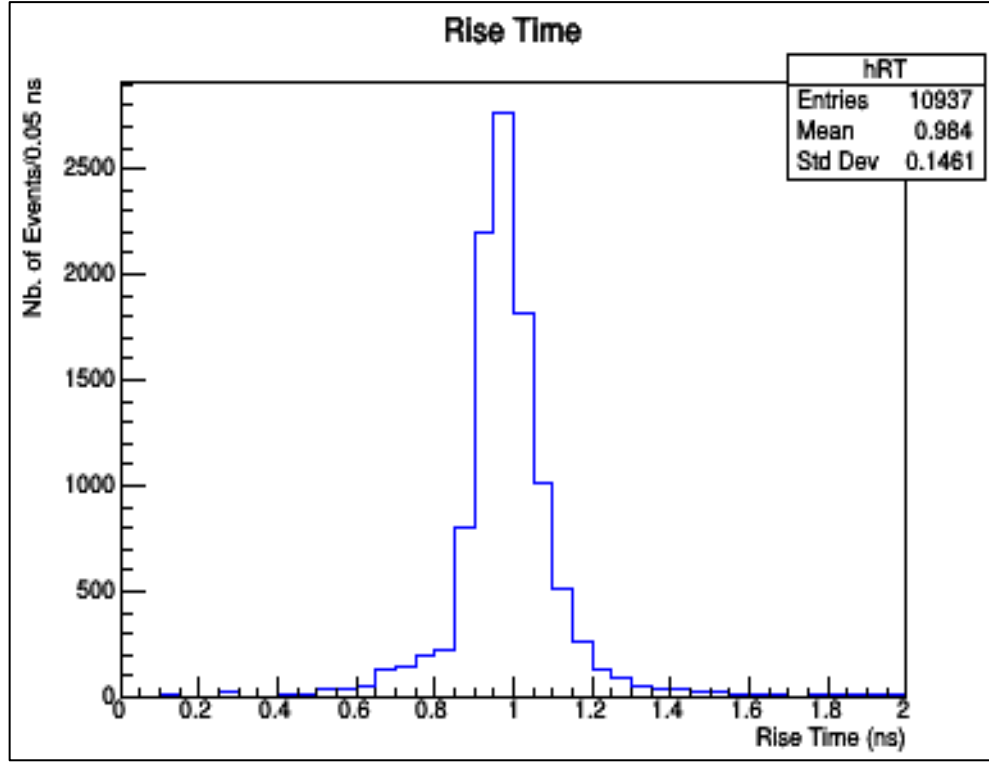


Şekil 3.10 Sr90/Y90 Beta kaynağı sinyal çıkış süresi

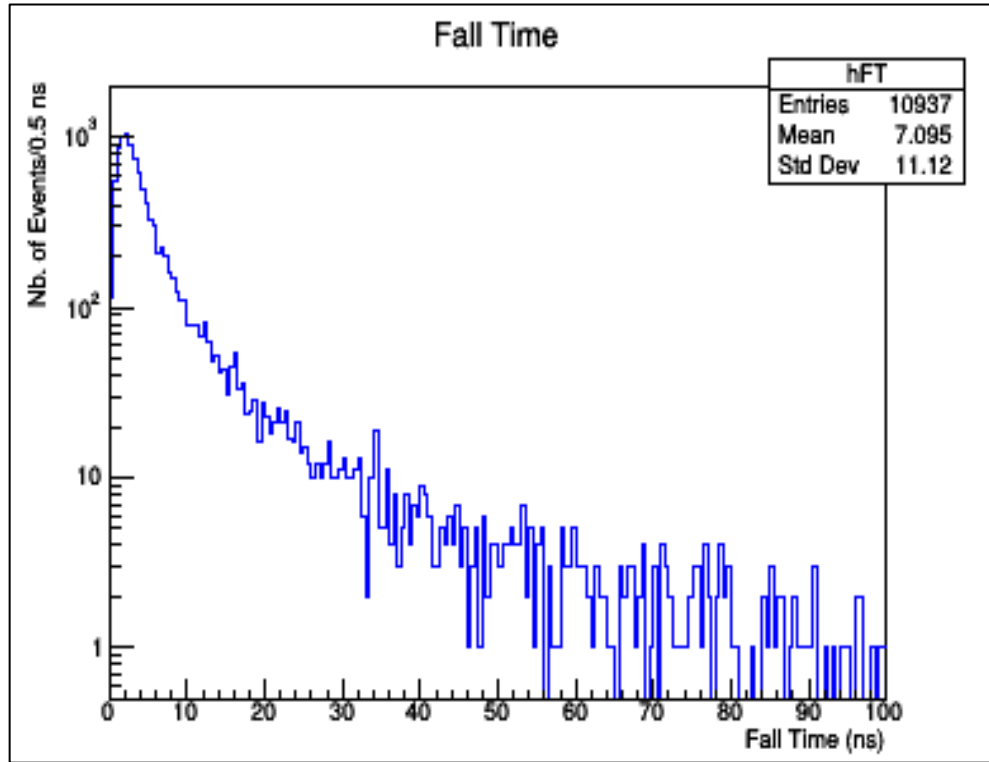


Şekil 3.11 Sr90/Y90 Beta kaynağı sinyal düşüş süresi

Alfa ölçümlerinde kullanılan Th230 kaynağı ile alınan ölçümlere ait sinyal karakteristiği Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de gösterildi. Bu ölçümlerde ise çıkış ve düşüş süresi sırasıyla 984ps ve 32ns olarak belirlendi.



Şekil 3.12 Th230 Alfa kaynağı sinyal çıkış süresi



Şekil 3.13 Th230 Alfa kaynağı sinyal düşüş süresi

Tablo 3.1 Alfa/Beta kaynaklarının iniş/çıkış süreleri

Kaynak	Çıkış Süresi(ps)	İniş Süresi(ns)
Alfa (Th230)	984	32
Beta(Sr90/Y90)	841.3	40

Alınan bu ölçümler Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Kaynak olmadan yapılan ölçümlerde 1000mV mertebesinde görülen sinyal alınan tüm tedbirlere rağmen ışık sızıntısının engellenemediğini gösterdi. Tüm bunlara rağmen Şekil(3.10) ve Şekil(3.11) birlikte değerlendirildiğinde beta tayfının gözlemlendiği ve detektörün yüklü parçacık ölçümü yapabildiği değerlendirildi.



Şekil 3.14 DRS4 Ekran Çıktısı - Kaynak ölçümü (Beta)

Bu tez çalışmasında, taban malzeme olarak PS matris ve bunun içine dağıtılmış PPO floresans katkısı kullanılarak çözeltiden döküm yöntemiyle sintilatör malzeme üretimi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Taban ve katkı malzeme seçiminde sintilatör özelliği gösteren ve uygun maliyet ile elde edilebilecek malzemeler göz önünde bulundurulmuştur.

Bölüm 2’de sintilatör detektörlerinin sahip olması gereken özellikler listelenmiştir. Bu özellikler doğrultusunda üretilen detektör değerlendirildiğinde; sintilatörün 340nm dalga boyuna kadar olan bölgede geçirgenliğinin %3 mertebesinde olduğu 360nm ve üstü dalga boylarında ise %80’ den daha yüksek bir geçirgenliğe sahip olduğu tespit edildi. Örneğin, fotolüminesans sonuçları değerlendirildiğinde, 280nm dalga boyulu uyarıma karşı 400-450 nm aralığında majör tepesi olan emisyon gözlemlenmiştir. Bu iki ölçüm sonucu birlikte ele alınırsa üretilen katkılı film sintilatörün kısa dalga boylarında yutucu, kendi emisyon bölgesinde ise şeffaf davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu değerler aynı zamanda kullanılan PMT’nin kuantum verim aralığı ile uyumludur. Film malzeme ile yapılan durdurma gücü ölçümlerinde, film kalınlığının alfa parçacıkları için yeterli olduğu, bununla beraber beta parçacıklarının büyük bir kısmının filminden geçebildiği gözlemlenmiştir. Organik filmin özgül kütlesi suya yakın olduğundan 100µm kalınlık alfa parçacıklarının serbest yolundan büyük ancak betaların serbest yolundan küçük olması ile açıklanabilir.

Üretilen film detektörün algılama yeteneğinin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde; film detektörün her iki parçacık türüne karşı hassas olduğu ve gürültü seviyesinin üstünde sinyal ürettiği tespit edilmiştir. Detektör radyasyon etkileşim süreleri incelendiğinde; detektör malzemenin beta parçacıkları için 841.3ps ve alfa parçacıkları için 984ps çıkış zamanına ve sırasıyla 40ns ve 32ns sönüm zamanına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen bu sinyal süreleri, detektörün hızlı tepki verdiğinin ve parçacık ayrımı yapabilme niteliğine sahip olduğunun göstergesidir.

Radyoaktif malzeme kullanan tesisler açısından kaynak sızıntısı büyük bir sorun teşkil etmektedir. Oluşan kontaminasyonu yerinde tespit edebilmek için yüklü parçacık detektörlerine ihtiyaç vardır. Özellikle rutin çalışmalar sırasında ve/veya sonrasında oluşan kontaminasyonu anlık olarak tespit edebilmek büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada yüklü parçacık detektörü olarak kullanılmak üzere sunulan organik film sintilatörün yapılacak ilave geliştirmelerle birlikte kontaminasyonun anlık tespiti ile ilgili detektör ihtiyacını karşılanmak konusunda iyi bir aday olduğu düşünülmektedir.

- [1] C.W.E. van Eijk, "Inorganic-Scintillator Development, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research", Bölüm A, sayı 460, sayfa 1-14, 2001.
- [2] Sunil Kumar Sahi, "Synthesis And Characterization Of Nanocomposite Scintillators For Radiation Detection", Doktora tezi, Teksas Üniversitesi, Arlington, 2016
- [3] C. Liu, "High-Z Nanoparticle/Polymer Nanocomposites for Gamma-Ray Scintillation Detectors", Bölüm 1, sayfa 17-20, 2017
- [4] V. Turgeon, G. Kertzscherc, L. Carrola, R. Hopewell, G. Massarwehd, S. A. Engera, "Characterization of Scintillating Fibers for Use As Positron Detector in Positron Emission Tomography", Physics Medica, sayı 65, sayfa 114-120, 2019
- [5] O. Viagin, A. Masalov, I. Bepalova, O. Zelenskaya, V. Tarasov, V. Seminko, L. Voloshina, Y. Zorenko, Y. Malyukin, "Luminescent Properties Of Composite Scintillators Based on PPO and o-POPOP Doped SiO₂ Xerogel Matrices", Journal of Luminescence, sayı 179, sayfa 178-182, 2016.
- [6] Hee-Jung Im, C. Willis, S. Saengkerdsub, R. Makote, M. D. Pawel, S. Dai, "Scintillators for Alpha and Neutron Radiations Synthesized by Room Temperature Sol-Gel Processing", Journal of Sol-Gel Science and Technology, sayı 32, sayfa 117-123, 2004
- [7] D. W. Kim, Y. K. Lim, J. Shin, S. Ahn, D. Shin, M. Yoon, S. B. Lee, Sung-Yong Park, D. Y. Kim, "A Dose Verification Method for Proton Therapy by Using a Plastic Scintillation Plate", Journal of the Korean Physical Society, sayı 55, sayfa 702-708, 2009
- [8] A. Quaranta, S. M. Carturan, T. Marchi, V. L. Kravchuk, F. Gramegna, G. Maggioni, M. Degerlier, "Optical and Scintillation Properties of Polydimethyl-Diphenylsiloxane Based Organic Scintillators", Ieee Transactions On Nuclear Science, sayı 57, sayfa 891-900, 2010
- [9] J. S. Nam, Y. S. Choi, S. B. Hong, B. K. Seo, J. K. Moon, J. W. Choi, "Study on the Characteristics of a Scintillator for Beta-ray Detection using Epoxy Resin", EPJ Web of Conferences, sayı 153, sayfa 1-6, 2017
- [10] P. Radvanyi, J. Villain, "The discovery of radioactivity", Comptes Rendus Physique, sayı 18, sayfa 544-550, 2017
- [11] E. Rutherford, "The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom", Philosophical Magazine, sayı 6, sayfa 669-688, 1911
- [12] G. F Knoll, Radiation Detection and Measurement, 4.baskı, 2.bölüm, sayfa 30, sayfa 47, 8. Bölüm, sayfa 222-223, 2010
- [13] N. Tsoulfanidis, S. Landsberger, Measurement and Detection of Radiation, 4. baskı, 1. bölüm, sayfa 6-7, 4. bölüm, sayfa 111-112, sayfa 141-145, 2015

- [14] K. E. Holbert, R. L. Murray, Nuclear Energy: An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes, 7. Baskı, 5. Bölüm, sayfa 73-75, 12. bölüm, sayfa 177-179, 2015
- [15] Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements, sayı 9, sayfa 6-8, 1970
- [16] M. F. L'Annunziata, Radiactiviy: Introduction and History, 1. baskı, 2. Bölüm, sayfa 133-137, 2007
- [17] P. J. Ouseph, Introduction to Nuclear Radiation Detectors, 1. Baskı, 2. bölüm, sayfa 8-10, 1975
- [18] G. Choppin, J. Rydberg, J. Liljenzin, Radiochemistry and Nuclear Chemistry, 3. baskı, 4. bölüm, sayfa 61-61, 2001
- [19] Esra Alveroğlu, "Hafızalandırılmış polimerik jellerin spektroskopik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi", Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010
- [20] Ali Gelir, "Seçilmiş hedef moleküllere duyarlı polimerik jel sentezi ve fiziksel parametrelerin seçicilik üzerine etkisi", Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009
- [21] A. Köhler, and H. Bässler, Electronic Processes in Organic Semiconductors: An Introduction, 1. Bölüm, sayfa 21, 2015
- [22] Neelakshi Gohain, "Studies on the structure and function of phenazine modifying enzymes PhzM and PhzS involved in the biosynthesis of pyocyanin", Doktora tezi, Max Planck Moleküler Fizyoloji, Dortmund, 2008
- [23] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu-SANAEM, "Ticari polistren kullanarak düşük maliyetli plastik sintilatör üretimi," TR-2011-16, Ankara, Türkiye, 2011.
- [24] Photomultiplier Tubes and Related Products User Manual, Hamamatsu Photonics K.K., Japonya, 2016
- [25] Türker Duyar, "A New method for the preparation and characterization of polystyrene nanocomposites", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013
- [26] Ebru Lale Uğurlu, "Suda petrol kirliliğinin atık strafor, çaylı ve polistiren köpük sorbentleri ile giderilmesi", Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013
- [27] DRS4 Datasheet rev. 0.9 User Manual, Paul Sherrer Instut, Villigen, İsviçre, 2007
- [28] S.E. Derenzo, M.J. Weber, E. Bourret-Courchesne, M.K. Klintonberg, "The quest for the ideal inorganic scintillator", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Bölüm A, sayı 505, sayfa 111-117, 2003
- [29] C.W.E. van Eijk, "Cross-luminescence", Journal of Luminescence, sayı 60-61, sayfa 936-941, 1994
- [30] Y. Huijun, W. Xiangtuo, J. Yuying, Z. Yuanli, "Energy transfer in multi component plastic scintillators", Journal of Luminescence, sayı 30-32, sayfa 833-835, 1984

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: ezgiaz.ea@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. E. Az, K. Koç, Ö. Akçalı, M. A. Kaya, “PPO katkılı Polistiren film ile yüklü parçacık tayini”, HEZARFEN Uluslararası Fen Matematik Ve Mühendislik Bilimleri Kongresi, sayfa 150, 2019