

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

135689

YÜKSEK LİSANS TEZİ

M. Numan BAKIRCI

İŞİLDAYAN (SCINTILLATING) FİBERLER İLE DEDEKSİYON
TEKNİKLERİ

Y.Ö. YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2003

135689

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞILDAYAN (SCINTILLATING) FİBERLER
İLE DEDEKSİYON TEKNİKLERİ**

M. Numan BAKIRCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 21.01/2003 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....

Prof.Dr. Süleyman GÜNGÖR
DANIŞMAN

İmza.....

Prof.Dr. Gülsen ÖNENGÜT
ÜYE

İmza.....

Yrd. Doç. Dr. Sami ARICA
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 2112



Prof. Dr. Fikri AKDENİZ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FBE.2002.YL.218

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İŞILDAYAN (SCINTILLATING) FİBERLER İLE
DEDEKSİYON TEKNİKLERİ**

M. Numan BAKIRCI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Süleyman GÜNGÖR

Yıl: 2003, Sayfa: 63

Jüri: Prof. Dr. Süleyman GÜNGÖR

Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT

Yrd. Doç. Dr. Sami ARICA

Bu çalışmada sintilatör fiberler ve bunların yüksek enerji fiziğinde, astrofizikte ve tıpta kullanıldığı uygulama alanları açıklanmıştır. Sintilatör fiberler sahip oldukları hızlı bozunma zamanları, esneklikleri ve kolay elde işlenebilir olmaları nedeniyle yüksek uzaysal çözünürlük ve yüksek hız gerektiren dedektör uygulamalarının ihtiyacını büyük oranda karşılamaktadır. Sintilatör fiberlerin kullanıldığı dedektör sistemleri hızla gelişmekte olan bir konudur. Özellikle pozisyon duyarlı fotoçoğaltıcılar ile beraber kullanıldıkları sistemlerin geliştirilerek tıptaki ve kalite kontrolündeki uygulamaları için yeni teknolojilerin geliştirileceği bir proje önerisi Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı çerçevesinde hazırlanmaktadır. Çukurova Üniversitesi yüksek enerji fiziği grubu bu proje önerisine katılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sintilatörler, Sintilatör Fiberler, İz Dedektörleri

ABSTRACT

MSc THESIS

DETECTION TECHNIQUES USING SCINTILLATING FIBERS

M. Numan BAKIRCI

DEPARTMENT OF PHYSICS

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman GÜNGÖR

Year: 2003, Pages: 63

Jury: Prof. Dr. Süleyman GÜNGÖR

Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT

Assist. Prof. Dr. Sami ARICA

In this work, scintillating fibers and its applications in high energy physics, astrophysics and medicine were described. Because of their fast decay time, flexibility and easy handling, they meet the requirements of high spatial resolution and fast response time for the dedector applications . The field of dedector systems with scintillating fibers is growing rapidly. A project is being prepared to developing systems using photomultipliers with scintillating fibers for medical and quality control applications in the frame of European Union 6th Framework projects. The Çukurova University high energy physics group has joined this project.

Key Words: Scintillators, Scintillating Fibers, Tracking Dedectors

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşumunda desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Süleyman GÜNGÖR'e, değerli zamanını benim için harcayan ve düşüncelerinden ve deneyimlerinden çok yararlandığım Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT'e, sorularımı yanıtlamaktan bıkmayan Prof. Dr. Ramazan ESEN'e, eleştirilerinden faydalandığım Doç. Dr. Aysun AKYÜZ ve Arş. Gör. Taylan YETKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca varlıklarından güç aldığım sevgili anneme, babama ve ruhumun diğer yarısı olan eşime her zaman yanımda olduklarını hissettirdikleri için teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	I
ABSTRAC.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL VE METOD.....	6
3.1. Yüklü Parçacıkların Atomik Çarpışmalarla Enerji Kaybı.....	6
3.2. Lüminesans.....	7
3.2.1. Işığın Soğurulması.....	7
3.2.2. Floresans.....	8
3.2.3. Fosforesans.....	9
3.3. Fotoçoğaltıcılar.....	9
3.3.1. Kuantum Verimliliği.....	11
3.4. Işık Kılavuzları.....	11
3.5. Sintilatörler.....	12
3.5.1. Sintilasyon.....	12
3.5.2. Organik Sintilatörler.....	13
3.5.2.1. Organik Kristaller.....	14
3.5.2.2. Organik Sıvılar.....	15
3.5.2.3. Plastikler.....	16
3.5.3. İnorganik Kristaller.....	16
3.5.4. Gaz Sintilatörler.....	18
3.5.5. Camlar.....	18
3.6. Sintilatör Fiberler.....	19
3.6.1. Temel Prensipler.....	19

3.6.2. Sintilatör Fiberlerin Çalışma Esasları.....	25
3.6.3. Sintilatör Fiberlerde Sintilasyon Olayı.....	28
3.6.4. Sintilatör Fiberlerle Fotoelektron sayımı.....	30
3.7. Fiber Sintilasyonlarının Dedeksiyonu.....	30
3.7.1. Fotokatodlar.....	30
3.7.2. Pozisyon Duyarlı Fotoçoğaltıcılar (PSPM).....	31
3.7.3. Görünür Işık Foton Sayaçları (VLPC).....	31
3.7.4. Fosfor Ekranlar.....	33
3.7.5. Yakın Odaklı Görüntü Şiddetlendiriciler.....	33
3.7.6. Mikrokanallı Levha Görüntü Şiddetlendiriciler.....	34
3.7.7. Yük Kuplaj Cihazları (CCD).....	35
3.6.8. Şilikon Piksel Dizinleri ile Görüntüleme (ISPA).....	36
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	37
4.1. Sintilatör Fiberlerin Uygulama Alanları.....	37
4.2. Sintilatör Fiberlerin Yüksek Enerji Fiziğindeki Uygulamaları.....	37
4.2.1. Sintilatör Fiberler ile Parçacık İzlenmesi.....	37
4.2.1.1. Temel Düşünceler.....	37
4.2.1.2.Parçacık Dedeksiyonundaki Gürültü Kaynakları.....	38
4.2.1.3. UA2 Fiber İzleyicisi.....	39
4.2.1.4. L3 Deneyi.....	40
4.2.1.5. SDC Fiber İzleyici.....	40
4.2.1.6. CHORUS Fiber İz Dedektörü.....	41
4.2.1.7. İnce Tanecikli Merkezi İzleyici Tasarımı.....	42
4.2.1.8. E835 Sintilatör Fiber İz Dedektörü.....	43
4.2.1.9. Helisel Sintilatör Fiber Hodoskop.....	44
4.2.1.10. DIRAC Deneyi.....	44
4.2.1.11. K2K Dedektörü.....	45
4.2.1.12. D0 Dedektörü.....	46
4.2.1.13. Sintilatör Fiberlerin Diğer İz Teknikleriyle Karşılaştırılması.....	47
4.2.2. Sintilatör Fiberler ile Kalorimetri.....	48

4.2.2.1. Temel Düşünceler.....	48
4.2.2.2. Kurşun-Sintilatör Fiber Kalorimetre.....	49
4.2.2.3. Kurşun-Fiber Kalorimetre Tekniğinin Diğer Kalorimetre Teknikleri İle Karşılaştırılması.....	52
4.3. Sintilatör Fiberlerin Astrofizikteki Uygulamaları.....	52
4.4 Sintilatör Fiberlerin Tıptaki Uygulamaları.....	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Plastik Sintilatör Fiberlerin Üretiminde Kullanılan

Polimerlerin Özellikleri (Rebourceard, 1999)..... 22

Çizelge 3.2. Sintilatör Fiberler İle Kullanılan Floresant Moleküllerin Optik

Özellikler (Rebourceard, 1999)..... 23



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Sintilatörlerdeki soğurma ve yayılımı temsil eden Jablonski Diyagramı.....	7
Şekil 3.2. Tipik bir fotoçoğaltıcının şematik yapısı (Leo, 1993).....	10
Şekil 3.3. Işık Kılavuzu çeşitleri :(a) balık kuyruğu, (b) bükülmüş (Leo, 1993).....	12
Şekil 3.4. Değişik amaçlar için katkılanmış ve şekillendirilmiş organik Sintilatörler (http://www.amcrys-h.com/organics.htm).....	14
Şekil 3.5. Değişik dalgaboylarında yayılım yapan sıvı sintilatörler (http://www.amcrys-h.com/liquids.htm).....	15
Şekil 3.6. İnorganik kristallerde sintilasyon mekanizması.....	17
Şekil 3.7. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçerken ışığın izlediği yol.....	21
Şekil 3.8. Tek kaplamalı bir sintilatör fiberin şematik görünümü.....	22
Şekil 3.9. Çok kaplamalı bir SciFi'nin şematik görünümü.....	24
Şekil 3.10. 3HF katkılanmış PS özlü SciFi'nin kesiti(Atac, 2002).....	24
Şekil 3.11. Çok kaplamalı bir SciFi'nin (a) kesiti (b) büyütülmüş hali (Atac, 2002).....	25
Şekil 3.12. Fibere kabul konisi içerisinde giren ışığın izlediği yol.....	26
Şekil 3.13. PS, P-TP ve 3HF'e ait soğurma ve yayılım spektrumu (Atac, 2002).....	29
Şekil 3.14. Pozisyon duyarlı fotoçoğaltıcının şematik şekli ve çalışma prensibi (ICFA, 1999).....	31
Şekil 3.15. Görünür ışık foton sayacının çalışma prensibi (Joram 2002).....	32
Şekil 3.16. Yakın odaklı görüntü şiddetlendiricinin şematik görünümü (http://www.proxitronic.de/prod/bv/eein.htm).....	33
Şekil 3.17. Mikrokanallı levha ve çalışma prensibi (http://www.proxitronic.de/prod/bv/eein.htm).....	34
Şekil 3.18. Mikrokanallı levhaya sahip yakın odaklı görüntü şiddetlendiricinin şematik yapısı (http://www.proxitronic.de/prod/bv/eein.htm).....	35
Şekil 4.1. Sintilatör fiberlerin iz dedektörü olarak kullanıldığı (a), (b), (c), (d), (e) düzlemsel, (f), (g), (h), dairesel geometriler (Ruchti, 1996).....	38

Şekil 4.2. CHORUS dedektörünün şematik görünümü (Eskut, 1997).....	41
Şekil 4.3. Chorus dedektöründe kullanılan sintilatör fiber demetinin kesiti (Eskut, 1997).....	42
Şekil 4.4. Sintilatör fiberlerin kullanıldığı merkez iz dedektörü için önerilen geometri (Leutz, 1995).....	43
Şekil 4.5. COSY'deki EDDA dedektörünün Şematik Yapısı (Hinterberger, 1999).....	44
Şekil 4.6. DIRAC deneyindeki sintilatör fiber hodoskop'un şematik yapısı (Adeva, 1994).....	45
Şekil 4.7. KEK'te bulunan K2K dedektörünün şematik görünümü (Kim, 2002).....	45
Şekil 4.8. K2K dedektöründeki SciFi iz dedektörü (Kim, 2002).....	46
Şekil 4.9. D0 dedektöründeki silikon ve fiber izleyicilerin görünümü (Jesik 1999).....	47
Şekil 4.10. KLOE dedektöründe kullanılan kurşun-fiber elektromanyetik kalorimetrenin yapısı (Lee-Franzini, 1995).....	50
Şekil 4.11. H1 dedektöründe kullanılan kurşun-fiber yapıdaki elektromanyetik kalorimetrenin iki tabakasına ait kesit (Weber, 1997).....	51
Şekil 4.12. E864 deneyinde kullanılan kurşun bloklardan birinin kesiti (Pruneau, 1998).....	51
Şekil 4.13. BETS deneyinde kullanılan kurşun fiber görüntüleyici kalorimetre (Torii, 2000).....	53
Şekil 4.14. CRIS'te kullanılan SciFi iz dedektörünün üstten görünümü (Klarmann, 1998).....	54
Şekil 4.15. Radyasyon dozimetrisi için geliştirilen SciFi kamera (Terasawa, 2001).....	55
Şekil 4.16. SONTRAC için geliştirilen SciFi iz dedektör prototipi (Ryan, 1999)...	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
FNAL	: Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı
ns	: Nanosaniye
ps	: Pikosaniye
fm	: Femtosaniye
PMT	: Fotoçoğaltıcı Tüp
E	: Enerji
h	: Planck Sabiti
ν	: Frekans
ϕ	: İş Fonksiyonu
λ	: Işığın Dalga Boyu
PS	: Polisitren
PMMA	: Polimetilmetakrilat
EMA	: Ek Dış Soğurucu
SciFi	: Sintilatör Fiber
P-TP	: p-Terfenil
3HF	: 3Hidroksiflovan
PVT	: Poliviniltoluen
PVA	: Polivinilaktat
PSPM	: Pozisyon Duyarlı Fotoçoğaltıcı
VLPC	: Görünür Işık Foton Sayacı
CCD	: Yük Kuplaj Cihazı
ISPA	: Silikon Piksel Dizini İle Görüntüleme
MeV	: Milyon Elektron Volt
keV	: Kilo Elektron Volt
m	: metre
cm	: santimetre
mm	: milimetre
μm	: mikrometre

1. GİRİŞ

1854'te J.Tyndall'ın, ışığın bükülmüş bir boru içerisinde geçebileceğini dolayısıyla ışığın eğilebileceğini göstermesi günümüzde optik fiber kabloların bilgi iletim aracı olarak kullanılması için dev bir adım olmuştur. 1970 yılında fiber optik dalga kılavuzlarının keşfiyle büyük, hantal ve yavaş olan iletişim ağının yerini çok hızlı (ışık hızı) ve bir tek saç teli kalınlığında bir ağ almıştır. Bir fiber binlerce bakır telin yaptığı işi tek başına yapabilmektedir. Fiberlerdeki mantık oldukça basittir: Snell'in kırılma yasası gereği 'ışık çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçerken normalden uzaklaşarak kırılır' ilkesi yardımıyla ışığın bir ortam içerisinde tam yansımalarla ilerlemesi amaçlanmıştır. Bunun için gereken şey saydam ve havadan daha yoğun bir ortamdır. Günümüzde fiberler camlardan yapılmaktadır. Işığın tam yansımalarla ilerlediği camdan yapılmış kısma öz, özü hem olumsuz çevresel etkilerden korumak hem de fiber içerisindeki tam yansıma verimliliğini artırmak için çevreleyen örtüye ise kaplama adı verilir.

Optik fiberler günümüzde iletişimin vazgeçilmez parçalarından biridir. Optik fiberler ile iletişimin gerçekleştirilmesi için, fiber ile iletmek istenen bilgi bir dönüştürücü yardımıyla elektrik sinyallerinden ışığa dönüştürülür. Fiber içerisinde ilerleyen ışık, fiberin diğer ucundaki dönüştürücü ile tekrar elektrik sinyallerine dönüştürülür. İletilen bu bilgi bir telefon görüşmesi olabileceği gibi ses, görüntü, data vb. bilgileri de içerebilir.

Tüm bu gelişmeler insanoğlunun bilgiyi ve teknolojiyi hayata uygulayıp onu daha kolay ve elverişli hale getirebilmesi içindir. Amaç yalnızca dünyanın daha yaşanılır bir hale getirilmesi değil aynı zamanda bilimin ihtiyaçlarının da çağın ve bulunan noktanın gerektirdiği şekilde karşılanmasıdır. Bu ihtiyaçlar arasında maddenin yapısının araştırılması öncelikli konulardandır. Bu amaçla günümüzde çok yüksek enerjilere ulaşabilen hızlandırıcılar inşa edilmektedir. Bu hızlandırıcılarda temel parçacıklar çok yüksek enerjilerde çarpıştırılıp devasa dedektörlerle atom altı dünyanın gizemleri araştırılmaktadır. Bu hızlandırıcılardaki ışıklık $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'e çıkmaktadır. Dolayısıyla çok kısa bir sürede ortaya çıkan oldukça kısa ömürlü çok sayıdaki parçacığın izlerinin ve enerjilerinin belirlenmesi

yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü dedektörlerin tasarlanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Parçacıkların veya radyasyonun maddeyle etkileşmesiyle ortaya çıkan her olay parçacık dedektörlerinin çalışma ilkesi için bir temel oluşturur. Manyetik alanda yüklü bir parçacığın yörüngesindeki sapma, bize parçacığın momentumu hakkında bir bilgi verebilir. Yine yüklü veya nötr parçacıkların maddeyle etkileşmeleri bir çok durumda iyonizasyonla sonuçlanır ve serbest kalan yükler toplanıp yükseltilerek elektrik sinyallerine dönüştürülür. Böylece parçacıkların enerjileri hakkında bilgi edinilebilir.

Parçacıkların maddeyle etkileşmeleri sırasında çeşitli olaylar olur. Esnek veya esnek olmayan saçılma, Cherenkov radyasyonu yayınlanması, nükleer reaksiyonlar, bremsstrahlung gibi olaylar bu etkileşimler arasında sayılabilir. Parçacıkların maddeyle olan bu etkileşmeleri ışığında, 1903 yılında Crookes tarafından belirli maddelerin bir radyasyon ya da parçacık ile etkileşerek parıldama yapmalarından yola çıkarak spinhariskop'u icat etmesiyle sintilasyon (parıldama) olayı ilk olarak parçacık fiziğinde kullanılmaya başlanmıştır (Leo, 1994). Bu dedektörde ZnS ekrana çarpan α parçacıkları'nın oluşturduğu parıldamalar bir mikroskop yardımıyla gözle görülebiliyordu. Fakat bunların kullanılması çok pratik olmadığından popülaritesi uzun sürmemiştir. Devam eden çalışmalar sonucunda 1900'lü yılların ortalarına kadar üç temel dedektör tipi geliştirilmiştir: iyonizasyon odaları, orantılı sayaç ve Geiger-Müller sayacı. Belirli uygulamalar dışında bu dedektörler günümüzde sıkça kullanılmamaktadır. 1940'ların sonlarına doğru sintilasyon sayaçlarının geliştirilmesi bu araçların kullanımını gündemden düşürmüştür. 1944 yılında zayıf sintilatör (radyasyonla etkileşerek parıldayan madde) parıldamalarını tespit eden fotoçoğaltıcı tüplerin Curran ve Baker tarafından kullanılmaya başlamasıyla sintilatör sayaçları, nükleer fizikte ve yüksek enerji fiziğinde tekrar kullanılabilir hale gelmiştir (Leo, 1994). 1960'ları sonlarına doğru çok telli orantılı sayaçların keşfedilmesi, yine gazların iyonizasyon özelliklerinden yola çıkarak geliştirilen sürüklenme odası ve zaman projeksiyon odası günümüz büyük dedektörlerinin temelini oluşturmaktadır.

Dedektörler, istenilen amaca göre tasarlanır, çünkü bir dedektörün her çeşit radyasyona aynı duyarlılığı göstermesi mümkün değildir. Dolayısıyla büyük

dedektörler aynı anda farklı radyasyonları algılayabilecek şekilde farklı alt dedektörlerden oluşacak şekilde tasarlanırlar. Bu alt dedektörlerden olan merkezî iz dedektörleri çarpışma sonrası oluşan parçacıkların izlerinin belirlenmesinde, elektromanyetik ve hadronik kalorimetre enerji ölçümlerinde ve müon spektrometresi müonların algılanmasında kullanılır.

Merkezî iz dedektörlerinin, çarpışma sonrası oluşan parçacıkların izlerini yüksek uzaysal çözünürlükte belirleyebilmeleri için ince tanecikliliğe, yüksek ışıklık altında oluşan parçacıkların tümünü gözlemleyebilmek ve çok kısa ömürlü olanları tespit edebilmek amacıyla çok hızlı cevap zamanına sahip olmaları gerekir.

İz dedektörlerinin sahip olması gereken özellikler dikkate alınarak değişik iz dedektörleri dizayn edilmiştir. Bunlar arasında silikon şeritler, çok telli gaz odaları sayılabilir. Bu iz dedektörü yöntemleri yukarıda belirtilen ince taneciklilik ve kısa cevap zamanı dışında, çarpma sayısı, iki iz çözünürlüğü, kanal sayısı ve ısı üretimi gibi temel ayırt edici özellikleri dikkate alınarak günümüzdeki büyük dedektörlerinin merkezî iz dedektörü dizaynına bir temel oluştururlar.

Sintilatörler de hızlı cevap zamanına sahiptirler. Ancak sintilatörlerin iz dedektörü amacıyla kullanılabilmesi için tek başına hızlı cevap zamanına sahip olmaları yeterli değildir. Bunların iz dedektörlerinin ihtiyacını karşılayacak şekilde ince taneciklilik, kolay şekillendirilebilir ve elde edilebilir olma gibi özelliklere de sahip olmaları gerekmektedir. Sintilatörlerin, hızlı cevap zamanı, kolay elde edilebilirlik ve şekillendirilebilirlik gibi özellikleri ile iletişimde kullanılan optik fiberlerin ince ve saydam olma özelliklerinin birleştirilmesiyle, sintilatörler fiber formuna sokulmuş ve bu fikirden yola çıkılarak merkezî iz dedektörleri tasarımında bir çığır açılmıştır.

Bu çalışmada sintilatörler, sintilatör fiberler ve sintilatör fiberlerin geçmişteki ve günümüzdeki uygulamaları hakkında genel bir bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Organik ve inorganik sintilatörlerle parçacık dedeksiyonunda son yirmi yıl içerisinde önemli gelişmeler olmuştur. Nükleer ve parçacık fiziğinden astrofiziğe, tıptaki uygulamalara kadar geniş bir çerçevede kullanımları gündeme gelmiştir. Organik ve inorganik sintilatörler katı, sıvı veya gaz olarak kullanılacak uygulamaya göre istenilen şekle sokulabilmektedirler. Ancak sintilatörlerin fiber formuna sokulup nükleer fizikte ve yüksek enerji fiziğinde yerini alması S.R.Borenstein'in 1981'de poliviniltolueni (PVT) fiber formuna sokmasıyla başlar (Borenstein, 1982). Bu düşüncenin temeli, fiber formuna sokulmuş polimer bir sintilatörün kırılma indisi daha düşük başka bir polimer (polivinilaktat (PVA)) ile kaplanarak bir ışık kılavuzu oluşturulmasına dayanmaktadır. Oluşturulan bu ışık kılavuzunun ucuna ışığa duyarlı bir dedektör yerleştirilerek sintilatörde oluşturulan ışık tespit edilebilmektedir. Yine 1981'de Potter cam fiber uygulamasını başlatmıştır (Potter, 1982). 1983 Yılında R. Ruchti terbiyumoksit katkılanmış 25 µm çaplı cam fiberleri görüntü şiddetlendiriciler ile beraber 4 mm kalınlığında bir düzlem hedef olarak kullanmıştır (Ruchti, 1983). 1986 Yılında A.Bross, 10 ms bozunma zamanına sahip terbiyumoksit katkılanmış cam fiberler yerine seryumoksit katkılanmış olanları kullanarak 120 ns bozunma zamanı elde etmiştir (Bross, 1986). Allemand (1984) ve Blumenfeld (1984) 1984'de plastik sintilatör fiberlerin özellikleri hakkında bilgi vermişlerdir.

Öz maddesi olarak kullanılan PVT'nin ışık çıkışının düşük olması, kaplama maddesi olan PVA'nın yapışma özelliği ve istenilen incelikte kaplama elde edilememesi gibi nedenlerden dolayı bunların yerine öz maddesi olarak polistiren'nin (PS) ve kaplama maddesi olarak polimetilmetakrilat (PMMA) kullanılmasıyla, sintilatör fiberlerin kullanımları daha elverişli hale getirilmiştir (Rebourgeard, 1999). Bu gelişmeler ışığında 50-100 µm çaplı yüksek çözünürlüklü plastik sintilatör fiberler iz dedektörü uygulamalarında geniş yer bulmuştur. Ancak radyasyon dayanıklılıklarının zayıf olması ve manyetik alanlarda ve dar hacimlerde küçük çaplı fiberlerin veri kaydı sistemindeki zorluklar nedeniyle plastik sintilatör fiberlerin yüksek enerji fiziğinde kullanılmaları kısıtlı olmuştur. Bu nedenlerden dolayı sintilatör fiberler yerine büyük hadron çarpıştırıcısında (LHC) bulunan CMS ve

ATLAS dedektörlerinin iz dedektörleri için silikon ve gaz şerit dedektörleri tercih edilmiştir (CMS technical proposal, 1994, ATLAS Technical proposal, 1994). Ancak sintilatör fiberler radyasyon oranının daha düşük olduğu CHORUS (Annis, 1995) ve UA2 (Ruchti, 1995) deneylerinde, FNAL’deki E835 (Ambrogiani ve ark., 1998) deneyinde iz dedektörü olarak başarıyla kullanılmış ve FNAL’deki D0 (Wayne, 1997) deneyinde iz dedektörü olarak halen kullanılmaktadır. Elektromanyetik kalorimetri uygulamaları için CERN’deki JETSET deneyinde (JETSET Collaboration, 1986), Frascatideki KLOE deneyinde (Lee-Franzini ve ark., 1995) ve DESY’deki H1 deneyinde (Weber ve ark., 1997) yer almıştır. Astrofizikte balon ile yapılan BETS deneyinde (Torii ve ark., 2000) kalorimetre olarak, bir uydu projesi olan ACE çerçevesinde uzaya gönderilen CRIS spektrometresinde (Klarmann ve ark., 1998) iz dedektörü olarak ve uzay araçlarında radyasyon dozimetrisi için geliştirilen sintilatör fiber kamera (Terasawa ve ark., 2001) üç boyutlu görüntüleyici olarak kullanılmıştır. Tıpta ise radyobiyojoloji alanında biyopsi amaçlı kullanılmaları için teknikler geliştirilmektedir (Atac, 2000).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Yüklü Parçacıkların Atomik Çarpışmalar Yoluyla Enerji Kaybı

Deneysel nükleer fizikte veya parçacık fiziğinde radyasyonun maddeyle etkileşmesi çok büyük önem taşımaktadır. Parçacığın madde içerisinden geçerken enerji kaybetmesi, normal yolundan sapması veya soğurulması gibi etkileşmeler parçacık dedeksiyon cihazlarının tasarımı, hassaslığı ve verimliliğinin belirlenmesinde bir temel oluşturur. Radyasyon madde içerisinden geçerken maddeyi elektronlar ve çekirdeklerin toplamından oluşan bir bütün olarak düşünmek gerekir. Dolayısıyla radyasyonun ve maddenin türüne bağlı olarak reaksiyonlar, elektronlarla veya tüm çekirdekle ya da çekirdeği oluşturan bileşenlerle, izin verilen kanallarda gerçekleşir.

Genel olarak yüklü parçacıkların maddeden geçişini iki temel özellik karakterize eder: (1) parçacığın enerji kaybı, (2) parçacığın geliş doğrultusundan sapması. Bu etkiler öncelikli olarak şu iki olay sonucunda ortaya çıkar:

1. Maddenin atomik elektronlar ile etkileşmesi
2. Çekirdekten esnek saçılması

Bu reaksiyonlar madde içerisinde her birim uzunlukta birçok kez ortaya çıkar. Ancak etkileşimlerin tümü bunlarla sınırlı değildir. Ortaya çıkabilecek diğer olaylar şunlardır:

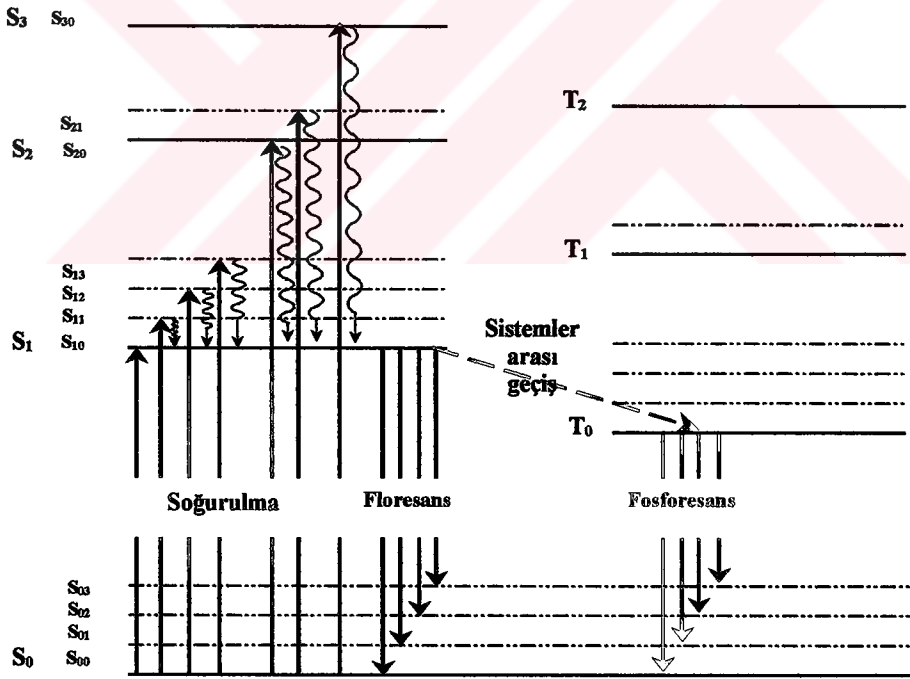
3. Cherenkov radyasyonu yayılması
4. Nükleer reaksiyonlar
5. Bremsstrahlung

Yüklü parçacıkları iki grupta inceleyebiliriz. (1) elektronlar ve pozitronlar, (2) elektrondan daha ağır olan parçacıklar (örneğin müonlar, pilyonlar, protonlar, α parçacıkları ve diğer hafif çekirdekler). Ağır parçacıkların madde içerisinden geçerken enerji kaybetmeleri tamamen esnek olmayan çarpışmalardan kaynaklanmaktadır. Bu çarpışmalarda etkin tesir kesiti $\sigma \cong 10^{-17} - 10^{-16} \text{ cm}^2$ dir ve parçacığın enerjisi, iyonizasyon veya uyarılma ile sonuçlanacak şekilde atoma aktarılır.

3.2. Lüminesans

3.2.1. Işığın Soğurulması

Atomların enerji seviyeleri ve bu seviyeler arasındaki geçişler Jablonski diyagramı ile gösterilirler. Bu diyagramda tekli spin seviyeleri ile üçlü spin seviyeleri ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 3.1.). Tekli ve üçlü spin seviyelerinin temel durumları sırasıyla S_0 ve T_0 , bu seviyelerin üzerindeki uyarılmış tekli ve üçlü spin seviyeleri ise sırasıyla ($S_0, S_1, S_2 \dots$) ve ($T_1, T_2 \dots$) ile gösterilmiştir. Ayrıca her bir elektron seviyesinde molekülün uyarılmış titreşimsel modlarına uygun ince yapılar vardır. Elektron seviyeleri arasındaki enerji farkı birkaç eV olmasına karşın titreşimsel seviyeler arasındaki enerji farkı daha küçüktür.



Şekil 3.1 Sintilatörlerdeki soğurma ve yayınımlı temsil eden Jablonski diyagramı

Yeterli enerjiye sahip bir foton, molekülün bir valans elektronu tarafından soğurulduğunda (Şekil 3.1.), elektron temel (S_0) seviyeden uyarılmış tekli (S_1 , S_2 ..) seviyelerin titreşimsel seviyelerinden herhangi birine uyarılır. Işığın soğurulduğu bu olay (düz yeşil oklar) bir femtosaniye ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) kadar çok kısa bir sürede gerçekleşir. Daha sonra uyarılan molekül, titreşimsel durulma yoluyla veya iç dönüşüm yoluyla S_1 uyarılmış seviyesinin en alt titreşimsel seviyesine iner (dalgalı yeşil oklar). Bu radyasyonsuz geçiş olayı bir pikosaniye ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$) gibi kısa bir sürede gerçekleşir.

Enerji soğuran elektronun üçlü seviyeye uyarılması elektronun spin yönünü değiştirmesini gerektirdiğinden kuantum teorisi gereğince yasaklanmıştır. Dolayısıyla spin yönünün değişimi olasılığı çok düşük ve buna uygun soğurulma bantları çok zayıftır.

Elektromanyetik radyasyonun yayınlandığı bütün olaylar lüminesans olarak adlandırılır. Lüminesans, gelen radyasyonun türüne bağlı olarak kendi arasında; fotolüminesans, elektrolüminesans, katodolüminesans ve kimyasal reaksiyonlarla ortaya çıkan kimyasallüminesans olmak üzere dört gruba ayrılır.

Sintilatör fiberlerde gerçekleşen olay fotolüminesanstır. Fotolüminesans, kendi arasında iki ana grupta incelenir; floresans ve fosforesans. Floresans ve fosforesans, elektronun uyarılması sırasında spininin değişmemesine veya değişmesine bağlı olarak birbirinden ayrılır.

3.2.2. Floresans

Floresans, uyarılan elektronun S_1 uyarılmış seviyesinin en düşük titreşimsel seviyesinden, S_0 temel seviyeye geçiş yapmasıyla ortaya çıkar (Şekil 3.1.). Bu geçiş radyasyon yayınımla (düz mavi oklar) ya da radyasyonsuz (iç dönüşüm) ile molekülün türüne bağlı olarak 1-100 ns süresi içerisinde gerçekleşebilir. Floresans olayı molekülün uyarıldığı enerji seviyesinden bağımsız olarak birinci uyarılmış seviyenin (S_1) en düşük titreşimsel seviyesinden başlar. Floresans yayınımlarının başladığı bu seviyenin enerjisi, elektronun uyarıldığı ilk enerji seviyesinden biraz

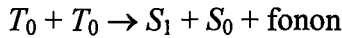
düşüktür ve buna Stoke's kayması adı verilir. Bu geçiş sırasında elektronun spin yönelimi değişmez.

Floresans olayı şu özelliklere sahiptir:

1. Yayınlanan radyasyonun spektrumu uyarılma için gereken dalga boyundan bağımsızdır.
2. Yayınlanan radyasyon daha büyük dalga boylu bölgeye kayar.
3. Soğurulma spektrumunun ince yapısı uyarılmış seviyenin (S_1) titreşimsel modları tarafından karakterize edilmesine rağmen, floresans spektrumu temel seviyenin (S_0) titreşimsel modları tarafından karakterize edilir.

3.2.3. Fosforesans

Fosforesans olayında S_1 uyarılmış seviyesinin en alt titreşimsel seviyesinde bulunan elektron, sistem içi geçiş (kesikli kırmızı ok) ile üçlü seviyeye geçebilir ve bu seviyede çok uzun süre kalabilir (Şekil 3.1.). Bunun nedeni tekli→üçlü ve üçlü→tekli geçişinin elektronun spin yönelimini değiştirmesini gerektirmesidir. Sistemler arası geçişle S_1 seviyesinin en alt titreşimsel seviyesinden T_0 temel seviyesine geçen elektron S_0 seviyesine ya sistem içi geçişle radyasyonsuz olarak ya da başka bir molekülün T_0 seviyesi ile etkileşerek (düz kırmızı oklar) bir radyasyon yayınlamak için iner.



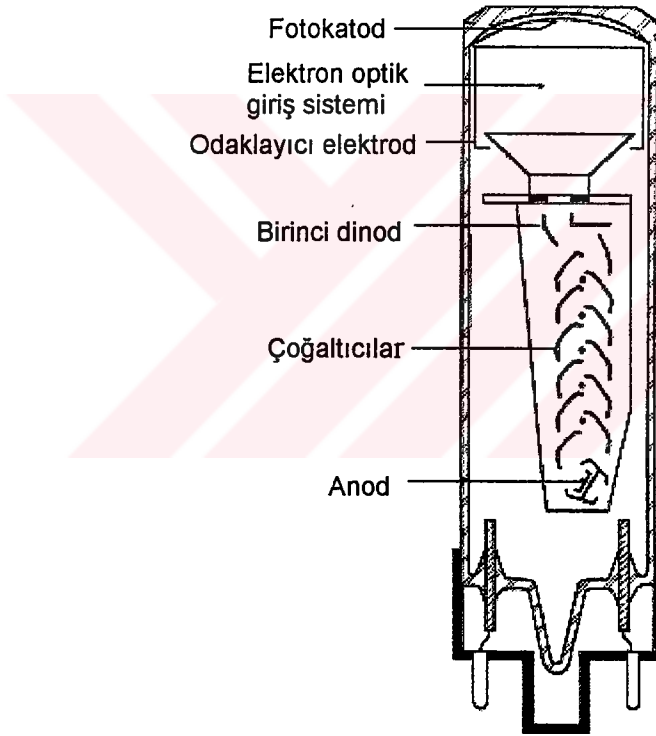
Bu olayda radyasyon, uyarılan moleküller arasındaki etkileşimin karakteristiği olan bir zaman gecikmesiyle yayınlanır.

3.3. Fotoçoğaltıcılar

Fotoçoğaltıcılar (PMT), ışığı elektrik akımına dönüştürebilen elektron tüpleridir. Tipik bir fotoçoğaltıcı tüpün şematik yapısı Şekil 3.2.'de görülmektedir. Bu cihazlar çok duyarlı olduklarından nükleer fizikte ve yüksek enerji fiziğinde

çoğunlukla sintilatörlerle birlikte kullanılmaktadırlar. Bir fotoçoğaltıcı tüp, ışığa duyarlı maddeden yapılmış katod (fotokatod) ve bunu takiben elektron toplama ve odaklama sistemi, elektron çoğaltma sistemi (dinod zinciri) ve son olarak elektrik sinyalinin alındığı anoddan oluşur.

Fotokatoda çarpan bir elektron fotoelektrik olay ile bir elektron koparır ve bu elektron, katod-anod arasına uygulanan yüksek gerilim ile hızlanarak ilk dinoda çarpar. Buradan yayınlanan ikincil elektronlar dinodlar zinciri yardımıyla çoğaltılır ve elektron çığı oluşur. Oluşan bu elektron çığı anoda çarparak bir elektrik pulsu oluşturur ve bu puls şiddetlendirilerek analiz edilir.



Şekil 3.2. Tipik bir fotoçoğaltıcının şematik yapısı (Leo, 1993)

Fotoçoğaltıcılar sintilatörler ile beraber kullanıldıklarında sintilatör tarafından yayınlanan fotonların enerjisi sintilatör içerisinden geçen parçacığın sintilatör içerisinde bıraktığı enerji ile doğru orantılı olması nedeniyle fotoçoğaltıcılar yalnızca radyasyonun varlığı hakkında değil aynı zamanda radyasyonun enerjisi hakkında da bilgi sağlarlar.

3.3.1. Kuantum Verimliliği

Fotoelektrik olay Einstein'ın bilinen formülü ile

$$E = h\nu - \phi \quad (3.1)$$

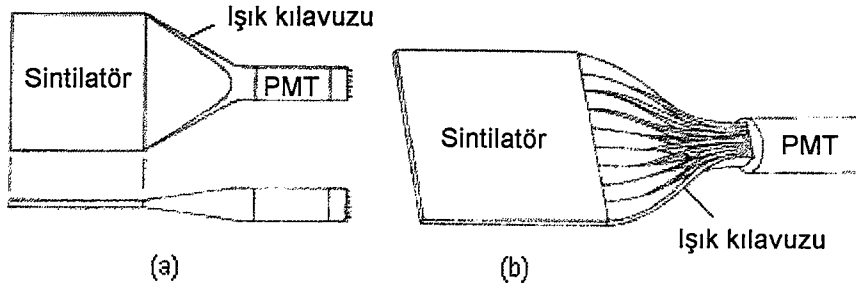
şeklinde ifade edilir. Burada E yayınlanan elektronun kinetik enerjisi, ν gelen ışığın frekansı ve ϕ iş fonksiyonudur. (1) ifadesinden görüldüğü gibi fotoelektrik olayın gerçekleşebilmesi için iş fonksiyonundan büyük foton enerjisine dolayısıyla belirli bir ışık frekansına ihtiyaç vardır. Fotoelektrik dönüşümün verimliliği gelen ışığın frekansına ve ışığın etkileştiği maddenin türüne göre değişiklikler gösterir. Fotokatodun tüm uzaysal cevabı *Kuantum Verimliliği* olarak adlandırılır ve

$$\eta(\lambda) = \text{yayınlanan fotoelektron sayısı} / \text{gelen } \lambda \text{ dalga boylu foton sayısı} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada λ gelen ışığın dalgaboyudur.

3.4. Işık Kılavuzları

Bazı deneylerde alan yetersizliği, manyetik alanların varlığı veya kullanılan sintilatörün şeklinin fotoçoğaltıcı ile beraber kullanılmasına elverişli olmaması sebebiyle fotoçoğaltıcılar doğrudan sintilatörlerle birleştirilemeyebilirler. Bu gibi durumlarda sintilatörler fotoçoğaltıcı tüp ile bir ışık kılavuzu aracılığıyla birleştirilirler (Şekil 3.3). Işık kılavuzları genellikle optik kalitedeki pleksiglas, lusit veya perspeks gibi maddelerden yapılmışlardır ve tam yansıma prensibine göre ışığı bir yerden başka bir yere iletirler. En çok kullanılan ışık kılavuzu şekilleri, balık kuyruğu (Şekil 3.3.a) şeklinde ve bükülmüş (Şekil 3.3.b) olanlardır. Kullanılan diğer bir yöntem de sintilatör ile fotoçoğaltıcı arasında esnek bir bağlantı sağlayan optik fiberlerin kullanılmasıdır. Bu yöntem küçük sayaçlar için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Işık Kılavuzu çeşitleri : (a) balık kuyruğu, (b) bükülmüş (Joram, 2002)

3.5. Sintilatörler

3.5.1. Sintilasyon

Sintilatör olarak adlandırılan maddeler lüminesans özelliği gösterirler. Lüminesans özelliği gösteren bu maddeler ısı, ışık, radyasyon vb. enerji türlerini soğurduklarında bu enerjiyi görünür ışık olarak geri yayarlar. Bu geri yayılım, enerjinin soğurulmasından hemen sonra veya daha kesin olarak 10^{-8} s içinde gerçekleşirse floresans, soğurulmadan dolayı uyarılan enerji seviyeleri yarı kararlı enerji seviyeleri ise bu durumda geri yayılım gecikeceğinden fosforesans olarak adlandırılan olay ortaya çıkar. Fosforesans olayında soğurulma ve geri yayılım arasında geçen zaman maddenin türüne bağlı olarak birkaç mikrosaniye ile birkaç saat arasında değişen aralıklarda olabilir.

Geri yayılım olayı zamanın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki ifadeyle temsil edilebilir (Leo, 1993):

$$N = \frac{N_0}{\tau_d} e^{\left(\frac{-t}{\tau_d}\right)} \quad (3.3.)$$

Burada N , t zamanında yayınlanan foton sayısı, N_0 , yayınlanan toplam foton sayısı ve τ_d bozunma sabitidir.

Genel olarak sintilatörler bir fotoçoğaltıcıya ya doğrudan ya da bir ışık klavuzu ile birleştirilirler. Sintilatörden bir radyasyon geçtiğinde, atom ve moleküller uyarılır ve ışık yayınlanmasına sebep olur. Yayınlanan ışık fotoçoğaltıcıya gelir, burada yükseltilerek elektrik sinyaline dönüştürülür ve analiz edilir. Sintilatörler gelen radyasyon hakkında değişik bilgiler edinmemizi sağlarlar. Sintilatörlerin başlıca özellikleri şunlardır:

1. Enerji duyarlılığı: Sintilatörlerin çoğu belirli bir minimum enerjinin üstünde enerjiye lineer bağımlılık gösterirler. Yani sintilatörden ışık çıkışı uyarılma enerjisi ile doğru orantılıdır. Bu özellikleri sintilatörlerin enerji spektrometresi olarak kullanılmalarına imkan verir
2. Hızlı cevap zamanı: Sintilasyon olayı çok kısa bir zaman süresi içerisinde (3-4 ns) gerçekleştiğinden sintilasyon dedektörleri yüksek fon ortamlarında rahatça kullanılabilirler.
3. Puls şekil ayrımı: Parçacıklar farklı iyonlaştırma güçlerinden dolayı farklı floresans mekanizmalarına yol açarlar. Dolayısıyla yayınlanan ışık pulslarının şeklinin analiz edilmesinden parçacıkların türü hakkında bilgi edinilebilir.

Günümüzde birçok sintilatör maddesi bulunmasına karşın iyi bir sintilatörün genel olarak aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- uyarılma enerjisini yüksek verimlilikle floresans radyasyonuna dönüştürmesi,
- kendi floresans radyasyonuna geçirgen olması,
- fotoçoğaltıcıların spektral cevabına uygun spektral aralıkta yayınım yapması,
- kısa bozunma sabitine(τ) sahip olması.

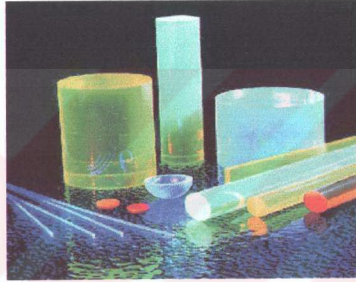
Aşağıda günümüzde kullanılan altı tip sintilatör açıklanmaktadır.

3.5.2. Organik Sintilatörler

Organik sintilatörler benzen halkaları içeren aromatik hidrokarbon bileşikleridir. Bunların en önemli özellikleri birkaç nanosaniye veya daha az olan bozunma süreleridir. Bu bileşiklerdeki sintilasyon ışığının kaynağı, moleküllerin serbest valans elektronları tarafından gerçekleştirilen geçişlerdir. Bu yerleşik

olmayan elektronlar belirli bir atoma veya moleküle bağlı değildir ve π moleküler orbitalleri olarak bilinen orbitallerde bulunduklarından π elektronları olarak adlandırılırlar. Bu orbitallerin tipik enerji diyagramları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

Elektronun S_1 seviyesinden S_0 'ın titreşimsel seviyelerinden birine bozunması için gereken enerji $S_0 \rightarrow S_1$ geçişi için gerekli enerjiden düşüktür. Bu durum sintilatörlerin kendi radyasyonlarına geçirgen oldukları anlamına gelir.



Şekil 3.4. Değişik amaçlar için katkılanmış ve şekillendirilmiş organik sintilatörler (<http://www.amcrys-h.com/liquids.htm>)

Organik sintilatörlerdeki lüminesans olayının moleküler yapıda olması nedeniyle bunlar sintilasyon özelliklerini kaybetmeden birçok geometrik biçimde kullanılabilirler (Şekil 3.4.). Organik sintilatörler hızlı cevap zamanına sahip olmalarına karşın ışık çıkışları düşüktür. Küçük atom numarasına sahip oldukları için nötron dedeksiyon verimlilikleri yüksek olmasına rağmen gama dedeksiyon verimlilikleri yüksek değildir.

3.5.2.1. Organik Kristaller

En çok kullanılan kristaller antrasen ($C_{14}H_{10}$), trans-stilben ($C_{14}H_{12}$) ve naftalin ($C_{10}H_8$) dir. Antrasen hariç bu kristaller birkaç nanosaniye gibi çok kısa

cevap zamanına sahiptirler. Bu kristaller (stilben hariç) sert olduklarından çok dayanıklıdır.

3.5.2.2. Organik Sıvılar

Bu maddeler bir organik çözücü içinde bir veya daha fazla organik sintilatörün çözünmesiyle oluşur. Sintilasyon olayı daha önce açıklandığı gibi olmasına rağmen soğurulma mekanizması biraz farklıdır. Bu çözeltilerde enerji çözücü tarafından soğurulur ve çok kısa bir sürede sintilatöre aktarılır.



Şekil 3.5. Değişik dalga boylarında yayınım yapan sıvı sintilatörler (<http://www.amcrys-h.com/organics.htm>)

Çözeltilerde kullanılan organik sintilatörler arasında en çok kullanılanları, p-Terpenil ($C_{18}H_{14}$), PBD ($C_{20}H_{14}N_2O$), PPO ($C_{15}H_{11}NO$), POPOP ($C_{24}H_{16}N_2O_2$) ve en çok kullanılan çözücüler ksilen, toluen, benzen, fenilsikloheksan, trietilbenzen ve desalin'dir. Sıvı sintilatörlerin verimliliği çözelti konsantrasyonu ile artmaktadır. Sıvı sintilatörlerin cevap zamanı 3-4 ns civarındadır. Özel amaçlar için veya verimliliği artırmak için sıvı sintilatörlere kolayca katkılanma yapılabilmektedir. Aynı şekilde ışığı bir dalga boyunda soğurup başka bir dalga boyunda yayan dalga boyu değiştiriciler de katkılanarak fotoçoğaltıcıların fotokatodları için daha uygun bir hale

getirilebilirler (Şekil 3.5.). Sıvı sintilatörler çözelti içerisindeki safsızlıklara çok duyarlıdır (Leo, 1994).

3.5.2.3. Plastikler

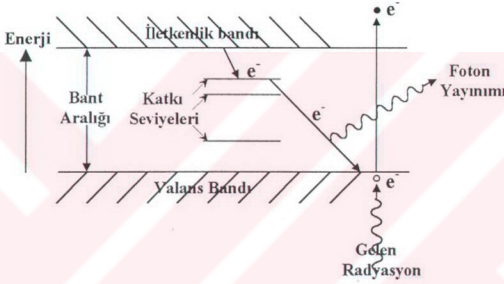
Günümüz nükleer ve parçacık fiziğinde kullanılan organik dedektörlerin çoğunda plastik sintilatörler kullanılmaktadır. Organik sıvılardan farklı olarak plastik sintilatörler, organik sintilatörlerin katı plastik çözücü içerisinde çözülmesiyle elde edilir. En çok kullanılan plastikler arasında poliviniltoluen (PVT), polifenilbenzen, ve polistren (PS) bulunmaktadır. Çözücü olarak ise PBD, p-Terfenil, ve PBO tercih edilmektedir. Ayrıca dalga boyu değiştirici olarak çok az miktarlarda POPOP eklenebilir. Plastikler 2-3 ns gibi çok hızlı bozunma sabitine sahiptirler. Plastiklerin en büyük avantajı esnek olmalarıdır. Kolaylıkla kesilebilir ve istenilen şekle getirilebilirler. Genellikle çok sert olmalarına rağmen aseton ve diğer aromatik bileşiklerden oluşan çözeltilerde kolayca çözünürler. Ayrıca su, saf metil, silikon yağı ve düşük alkollere dayanıklıdır (Leo, 1994).

3.5.3. İnorganik Kristaller

İnorganik sintilatörler küçük miktarlarda aktivatör safsızlığı ihtiva eden toprak alkali kristalleridir. Günümüzde Talyum'un aktivatör olarak kullanıldığı NaI(Tl) en çok kullanılan inorganik kristaldir. Bundan başka CsI(Tl) kristali de kullanılmaktadır. Diğer kristaller arasında CsF₂, CsI(Tl), CsI(Na), KI(Tl) ve LiI(Eu) sayılabilir. Alkali olmayanlar maddeler arasında Bi₄Ge₃O₁₂ (bizmutgermanat yani BGO), BaF₂, ZnS(Ag), ZnO(Ga), CaWO₄, CdWO₄ bulunmaktadır. İnorganik sintilatörlerin cevap zamanı yaklaşık 500 ns civarındadır. İnorganik sintilatörlerin en büyük dezavantajı nemden etkilenmeleridir. Bu nedenle havası alınmış kapalı ortamlarda kullanılırlar. Yüksek yoğunluğa ve atom numarasına sahip olmalarından dolayı durdurma güçlerinin yüksek olması inorganik sintilatörlerin bir avantajıdır. Diğer sintilatörler arasında en yüksek ışık çıkışına sahip olmaları, bunların daha iyi

enerji çözünürlüğüne sahip olmalarını sağladığından yüksek enerjili elektron ve pozitronlar ile gama ışını dedeksiyonunda kullanılabilmelerine imkan verir.

Organik sintilatörlerde sintilasyon mekanizması moleküler yapıda olmasına karşılık inorganik sintilatörlerde sintilasyon mekanizması kristallerin elektronik band yapısının bir karakteristiği olarak karşımıza çıkar (Şekil 3.9.).



Şekil 3.6. İnorganik kristallerde sintilasyon mekanizması

Bir nükleer parçacık kristal içerisine girdiğinde iki temel olay ortaya çıkabilir; ya serbest elektron ve deşik oluşturacak şekilde valans bandından bir elektron iletim bandına uyarılır ya da iletim bandının hemen altındaki eksiton bandına bir elektron uyarılarak bir eksiton oluşturulur. Bu durumda elektron ve deşik bir çift oluşturacak biçimde birbirlerine bağlıdırlar ve kristal içerisinde serbestçe hareket ederler. Eğer kristal içerisinde safsızlık atomları varsa valans bandı ile iletimlik bandı arasındaki yasak enerji bölgesinde elektronik enerji seviyeleri oluşur. Kristal içerisinde serbestçe hareket eden veya eksitonu oluşturan bir deşik bu safsızlık atomlarından birini uyarabilir ve uyarılan atom temel duruma bir radyasyon yayarak geçer. Eğer geçiş herhangi bir radyasyon yayınlanmadan gerçekleşirse bu safsızlık merkezleri birer tuzak haline dönüşür ve enerji diğer olaylara harcanır.

3.5.4. Gaz Sintilatörler

Gaz sintilatörler çoğunlukla ksenon, argon, kripton ve helyum gibi soy gazlardan oluşurlar. Bu sintilatörlerde her bir atomun kendisi uyarılır ve 1 ns gibi kısa bir sürede tekrar temel duruma dönerler. Dolayısıyla bunların cevap zamanları oldukça yüksektir. Ancak yayınladıkları ışığın spektrumu genelde fotoçoğaltıcıların duyarlı olmadıkları morötesi bölgededir. Bu sorunu gidermek için gazın bulunduğu odanın çeperleri difenilstilben (DPS) gibi bir dalgaboyu değiştirici ile kaplanarak, sintilatörden gelen morötesi spektruma sahip ışık, mavi-yeşil bölgedeki ışığa dönüştürülür. Bir başka çözüm yolu ise fotoçoğaltıcıların giriş penceresinin bir dalgaboyu değiştirici ile kaplanmasıdır.

Gaz sintilatörler ağır yüklü parçacık deneylerinde veya fizyon parçalanma deneylerinde verimliliği artırmak için 200 atm basınçta ve birkaç gazdan oluşan bir karışım ile kullanılmaktadırlar. Yakın geçmişte gaz sintilatörler dedektör olarak uzay fizik deneylerinde de kullanılmaya başlanmıştır (Leo, 1994).

3.5.5. Camlar

Cam sintilatörler seryum aktivatörlü lityum veya bor silikatlardan oluşurlar. Ancak cam bor'un ışık çıkışı lityumdan çok düşük olduğundan günümüzde pek kullanılmamaktadır. β ve γ radyasyonlarına duyarlı olmalarına rağmen cam dedektörler çoğunlukla nötron dedeksiyonunda kullanılırlar. Cam sintilatörlerin en önemli özellikleri organik ve inorganik maddelere dayanıklı olmalarıdır. Bu fiziksel ve kimyasal özellikler cam sintilatörlerin zor çevre koşullarında kullanılmalarına imkan tanır. Cam sintilatörlerin cevap zamanları plastik ve inorganik sintilatörlerin cevap zamanı arasındadır ve ışık çıkışları diğerlerine göre azdır (Leo, 1993).

3.6. Sintilatör Fiberler

3.6.1. Temel Prensipler

Parçacık dedeksiyonunda kullanılan tekniklerden biri olan sintilatör fiberlerin çalışma prensiplerinden bahsetmeden önce sintilatör fiberlerle ilgili bazı tanımlamaların önceden açıklanması faydalı olacaktır. Bu tanımlamalardan bazıları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- **Öz (Core):** Çoğunlukla PS veya PVT gibi aromatik polimerlerin taban maddesi olarak kullanıldığı ve floresans ile oluşan ışığın tam yansımalarla fiber içerisinde ilerlediği bölüm.
- **Kaplama (Cladding):** Fiberin öz bölümünün kaplanması için çoğunlukla polimetilmetakrilat'ın (PMMA) kullanıldığı, özün kırılma indisinden daha düşük kırılma indisine sahip bölüm.
- **Sinyal Karışması (Crosstalk):** Sintilatör fiberler demet olarak kullanıldığında ortaya çıkan fiberler arasındaki sinyal karışması.
- **Stoke Farkı (Stokes Shift):** Sintilatörlerin soğurma ve yayınım spektrumundaki pikler arası dalgaboyu farkı.
- **Förster Geçişi (Förster Transition):** PS floresans verimi düşük olduğundan aromatik bir sintilatör ile katkılanması gerekmektedir. Bu durumda donör (PS) ve akseptör (sintilatör) arasında radyasyonsuz enerji transferi gerçekleşir. Bu geçişe Förster geçişi adı verilir. Bunun için donörün uyarılmış seviyeden temel seviyeye elektronik geçişinin, akseptörün soğurulma frekansına uygun olması gerekir. Dolayısıyla donörün yayınım spektrumunun bir kısmının akseptör molekülünün soğurma spektrumuyla üst üste gelmesi moleküller arası Förster geçişinin oluşabilmesi için gereken şarttır.
- **Sönümlenme Uzunluğu (Attenuation Length):** Sintilatör fiber içerisindeki ışık yoğunluğunun yansıma kayıplarından dolayı başlangıçtaki değerinin $1/e$ oranında azaldığı uzunluktur.

- Ek Dış Soğurucu (Extra Mural Absorber (EMA)): Işığın fiberden kaçışını engellemek için soğurucu ya da yansıtıcı özelliğe sahip florinli polimerden oluşan kaplama maddesidir.
- Dalgaboyu Değiştirici (Wavelegth Shifter): Sintilatörlerden yayımlanan ışığın dalgaboyunu değiştirmek amacıyla kullanılan katkılardır.

Sintilatör fiberler (SciFi) günümüzde haberleşme ve diğer alanlarda kullanılan normal fiberlerle karıştırılmamalıdır. Sintilatör fiberler plastik sintilatör malzemelerin fiber formuna sokulmasıyla elde edilirler. Bu fiberlerin çalışma ilkesi normal fiberlerin çalışma ilkesi ile aynıdır. Her ikisinde de ışığın fiber içerisinde tam yansımalarla bir yerden başka bir yere taşınması amaçlanır. Ancak sintilatör fiberlerde ışık fiberin kendi içerisinde sintilasyon yoluyla üretilir.

Sintilatör fiberler birkaç mikrometre ile milimetre arasında değişen çaplarda, sintilatör tabanlı öz ve bu özü çevreleyen ve daha düşük kırılma indisine sahip kaplama maddesinden oluşur. Bu yapıdaki fiberlere *basamak indisli fiberler* (step index fibre) adı verilir. Kullanılan bir başka yapı ise *derece indisli fiberlerdir* (gradient index fibre). Bu yapıda kırılma indisi özün merkezinden yüzeye doğru düzenli olarak azalır. Ancak derece indisli yapı sintilatör fiberlerde kullanılmamaktadır.

Yüklü bir parçacık, plastik sintilatörden oluşan fiberin özü içerisinde geçerken iyonizasyona sebep olur ve sintilasyon sonucu oluşan ışık tam yansımalarla fiberin ucuna kadar gelir ve fotoçoğaltıcı veya bir görüntü şiddetlendirici yardımıyla tespit edilir. Sintilatörler yardımıyla iyonlaştırıcı radyasyonun tespiti geçmişte ilk olarak nükleer fizikte ve daha sonraları parçacık fiziğinde denenmiştir. Ancak 1950'lerin sonlarına doğru kabarcık odaları ve kıvılcım odaları daha iyi iz ve çözünürlük kalitesi verdiği için bu teknik daha fazla kullanılmamıştır (Leutz, 1995). 1980'lerin başlarında parçacık çarpıştırıcıların keşfi ve yüksek fon ortamında nadir parçacıkların tespit edilmesindeki zorluklar nedeniyle sintilatör fiberler tekrar parçacık dedeksiyonundaki yerlerini almışlardır. Kısa bozunma zamanları, yüksek veri transfer hızı, esneklikleri ile istenilen geometrinin elde edilmesi bunların en büyük avantajlarıdır.

Işık ortamlar arası geçiş yaparken ortamların kırılma indisine ve gelme açısına bağlı olarak kırılmaya uğrar (Şekil 3.7.). Işık ortamlar arasından geçerken Snell'in kırılma yasasına göre,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = \dots\dots\dots = n_4 \sin \theta_4 \quad (3.4)$$

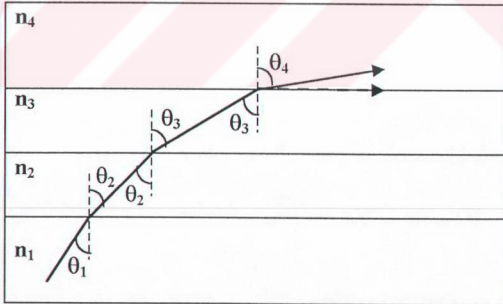
kırılmaya uğrar. Işığın geldiği ortama geri dönmesi için gereken şart,

$$\theta_4 = 90^\circ \Rightarrow \sin \theta_4 = 1 \quad (3.5)$$

olmalıdır. (3.4.) bağıntısı kullanılarak ışığın gelme açısı için,

$$\sin \theta_1 = \frac{n_4}{n_1} \quad (3.6)$$

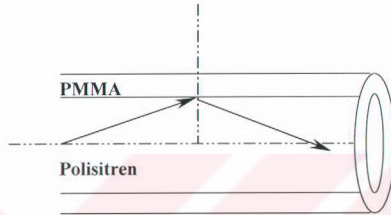
bulunur.



Şekil 3.7. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçerken ışığın izlediği yol

Sintilatör fiberlerin şimdiki şekillerine sahip olmaları 1980'lerin başında S.R.Borenstein'in (1982) PVT'yi öz maddesi olarak kullanmasıyla başlar. Temel düşünce, bir polimer sintilatörün, kırılma indisi daha düşük başka bir polimer

(polivinilaktat) ile kaplanarak bir ışık klavuzu elde edilmesi fikrine dayanmaktadır. Günümüzde sintilatör fiberlerde, fiberin öz bölümünün taban maddesi olarak PS, özü çevreleyen kaplama maddesi olarak PMMA kullanılmaktadır. Bu tür fiberlere tek kaplamalı fiberler adı verilir (Şekil 3.8.)



Şekil 3.8. Tek kaplamalı bir sintilatör fiberin şematik görünümü

Öz ve kaplama maddesi olarak kullanılan polimerlerin optik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. PS'nin taban maddesi olarak kullanılmasının nedeni yüksek kırılma indisine sahip olması ve kolayca fiber formuna sokulmasıdır.

Çizelge 3.1. Plastik sintilatör fiberlerin üretiminde kullanılan polimerlerin özellikleri (Rebourgeard ve ark., 1999)

Madde		Kullanım Yeri	Maksimum Yayınım(nm)	450 nm'deki Kırılma İndisi
Polisitren	PS	Öz	305	1,613
Polimetilmetakrilat	PMMA	Kaplama	Zayıf	1,502
Polivinilaktat	PVA	Kaplama	Zayıf	1,46

Sintilatör fiberler, öz içerisinde geçen iyonlaştırıcı parçacıkların dedeksiyonunda kullanılırlar. PS'nin içerisinde geçen minimum iyonlaştırıcı parçacık yaklaşık olarak $dE/dx = 200$ keV/mm enerji bırakır (Rebourgeard ve ark.,

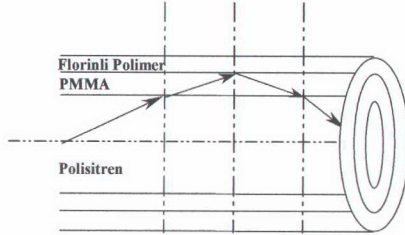
1999). Bu enerji etkili bir yolla fotonlara dönüştürülmeli ve bu fotonlar daha sonra fiberin ucundaki fotokatod ya da daha ilerde açıklanan diğer tekniklerden biriyle dedekte edilmelidir. Ancak PS saf olarak kullanıldığında çok düşük geçirgenlik göstermekle beraber %3'den daha düşük kuantum verimliliğine sahiptir (Rebouregeard ve ark., 1999). Bu dezavantaj PS'nin katkılanmasıyla ya iki bileşenli sistem (PS+ PBBO) ya da üç bileşenli sistem (PS+bPBD+POPOP) elde edilerek giderilir. Bazı katkı maddelerinin floresans özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Üç bileşenli sistemde PS'nin yayınladığı radyasyon ikinci bileşen tarafından soğurulur ve floresans ile yayınlanan fotonlar üçüncü bileşen (dalgaboyu değiştirici) tarafından soğurularak, daha büyük dalga boyunda tekrar yayınlanır.

Çizelge 3.2. Sintilatör fiberler ile kullanılan floresant moleküllerin optik özellikleri (Rebouregeard ve ark., 1999)

Katkı	Molar Kütile(g)	Maksimum Soğurma(nm)	Maksimum Yayınım(nm)	Kuantum Verimliliği	Bozunma Zamanı(ns)
b PBD	354,5	305	365	0,51	1,83
POPOP	392	370	430	0,85	1,5
PBBO	347,4	328	395	0,79	2,1
PMP450	294	305	435	0,74	3,6
3HF	238	340	530	0,40	8
p-terfenil	230	275	340	0,93	0,95

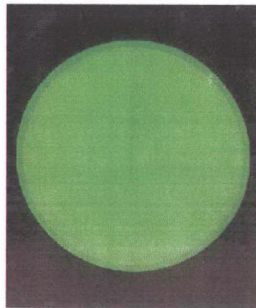
Günümüzde sintilatör fiberler tek kaplamalı olduğu gibi toplam iç yansımayı artırmak amacıyla çok kaplamalı olarak da üretilmektedir (Şekil 3.9.). Bu durumda PS öz ve PMMA'dan oluşan yapı ikinci bir kaplama maddesi (florinli polimer ($n = 1,42$)) ile kaplanır. Bu yöntemle bir yöndeki toplam iç yansıma yaklaşık iki kat artmaktadır (Ruchti, 1996).



Şekil 3.9. Çok kaplamalı bir SciFi'nin şematik görünümü

Çift kaplamalı yeşil ışık yayan bir sintilatör fiberin kesiti Şekil 3.11. (a) ve (b)'de görülmektedir.

Bazı dedektörlerde fiberler demetler halinde kullanıldığı zaman bir fiber içerisinde üretilen sintilasyon ışığı sınır açısından küçük açılarda öz-kaplama ara yüzeyine geldiğinde, komşu fiberin dalgaboyu değiştiricisini uyarabilir ve fiberler arasında sinyal karışmasına (crosstalk) neden olabilir. Bunu önlemenin bir yolu yukarıda açıklanan şekilde polisitrenin tek bileşen ile katkılanarak (PMP, 3HF) iki bileşenli sistem elde edilmesidir. Şekil 3.10.'da iki bileşenli (PS+3HF) sistemden oluşan tek kaplamalı sintilatör fiberin kesiti görülmektedir.



Şekil 3.10. 3HF katkılanmış PS özlü SciFi'nin kesiti (Atac, 2002)

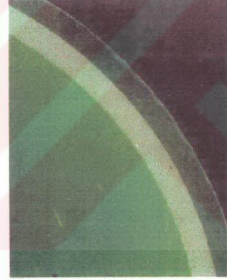
Diğer bir yol ise fiber kaplama maddesi PMMA'nın çevresinin tam yansımının daha verimli olması amacıyla, kırılma indisi PMMA'dan daha düşük olan EMA ile kaplanmasıdır.

Sintilatör fiberler günümüzde camlardan veya plastiklerden de üretilmektedir. Bunlardan başka katı fiberlerin yerine cam borucukların içerisine sintilatör sıvıların doldurulmasıyla da sıvı sintilatörlü fiberler elde edilmektedir. Cam fiberlerle karşılaştırıldıklarında plastik fiberler ve sıvı sintilatörler daha hızlı cevap zamanları, daha uzun ilerleme derinliği ve daha fazla foton üretimi özellikleri nedeniyle parçacık dedeksiyonu için daha elverişlidirler.

Çapı 1 mm ve altında olan sintilatör fiberlerin başlıca uygulama alanı iz dedektörleri, 1 mm ve üstündekiler için kalorimetridir.



(a)

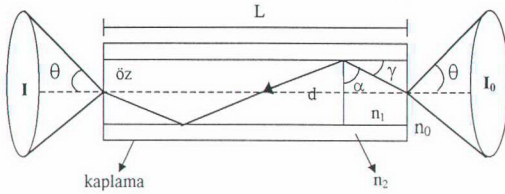


(b)

Şekil 3.11. Çok kaplamalı bir SciFi'nin (a) kesiti, (b) büyütülmüş hali (Atac, 2002)

3.6.2. Sintilatör Fiberlerin Çalışma Esasları

Yukarıda da belirttiğimiz gibi sintilatör fiberin PS'den oluşan özü, daha düşük kırılma indisi PMMA ile kaplanmıştır. Oluşan ışık kılavuzunda meridyensel (kılavuzun merkezi boyunca ilerleyen) ışığın izlediği yol Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Fibere kabul konisi içerisinde giren ışığın izlediği yol

Snell'in kırılma yasası gereği öz-kaplama ara yüzeyinden ışığın tam yansımaları için,

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \quad (3.7)$$

şartının sağlanması gerekir. Bu şartın sağlanması için ışığın fiber içine öz-hava ara yüzeyinden,

$$n_1 \sin \gamma = n_0 \sin \theta = NA \quad (3.8)$$

şartı ile girmesi gerekir. Burada n_1 , n_2 ve n_0 sırasıyla öz, kaplama ve havanın kırılma indisleri, NA (Numerical Aparture) ise fiberin sayısal açıklığıdır. (3.7) ve (3.8) eşitlikleri yardımıyla fiberin sayısal açıklığı için,

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sin \theta \quad (3.9)$$

bulunur. Buradan θ 'nın değeri için,

$$\theta = \sin^{-1}(NA) \quad (3.10)$$

elde edilir. Bu eşitlik ile sentilasyon yoluyla oluşan ışığın kabul konisi (2θ) içerisinde kalan bölümünün tam yansımaya uğrayacağı sonucunu elde ederiz.

Kaplamanın diğer bir görevi de fiber içerisindeki tam yansıma özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek olan dış çevresel koşullara karşı fiberin öz bölümünü korumaktır. Meridyensel ışık ışınlarının tam yansımalarla fiber içerisinde kalan kısmı için

$$t = 1 - (n_2/n_1) \quad (3.11)$$

yazılabilir. (3.11) eşitliğindeki (n_2/n_1) oranı, ışığın fiberler arası sinyal karışmasını engellemek amacıyla ek kaplama olan EMA tarafından soğrulan kısımdır. Aslında ek kaplama olmasa dahi öz-kaplama ara yüzeyinden kaçan ışık komşu fibere tekrar giremeyecek bir açıda kırılır ve farkedilir bir sinyal karışmasına sebep olmadan 50 mm'lik fiber uzunluğunda ortadan kaybolur (Leutz, 1995). Fiber içerisinde kalan ışık fiberin ucuna ulaşınca kadar N kez tam yansımaya uğrar:

$$N = \frac{L}{d} \tan \gamma \quad (3.12)$$

Burada L fiberin boyu, d fiberin çapıdır. Sintilatör fiberlerin çapları uzaysal çözünürlüğü belirlediğinden iz dedektörlerinde küçük çaplı sintilatör fiberler kullanılır. (3.12) eşitliğinden görüleceği gibi fiber çapının küçülmesi fiber içerisindeki yansıma sayısının artmasıyla sonuçlanır. Yansıma sayısı arttığında öz-kaplama ara yüzeyindeki safsızlıklar nedeniyle ışık şiddetinde bir azalma olur. Bu azalma miktarı,

$$\frac{I}{I_0} = q^N \quad (3.13)$$

ile verilir. Burada $q \leq 1$, tam yansıma katsayısıdır. (3.12) ve (3.13) eşitlikleri birleştirilirse

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -(1-q)\frac{L}{d}\tan\gamma \quad (3.14)$$

bulunur.

Yansıma uzunluğu Λ_R , ışığın şiddetinin, yansıma kayıplarından dolayı başlangıçtaki değerinin $1/e$ 'si oranında azaldığı L uzunluğudur:

$$\frac{I}{I_{ik}} = e^{\frac{-L}{\Lambda_R}} \quad (3.15)$$

Λ_R şu şekilde hesaplanır (D'Ambriso, 1991):

$$\Lambda_R = \frac{1.5}{1-q} \frac{n_1}{NA} d \quad (3.16)$$

Yansıma uzunluğunun yanında soğurulma uzunluğu Λ_A ($I_A/I = 1/e$) ve saçılma uzunluğu Λ_{Sc} ($I_{Sc}/I = 1/e$) dikkate alındığında toplam fiber sönümlenme uzunluğu Λ

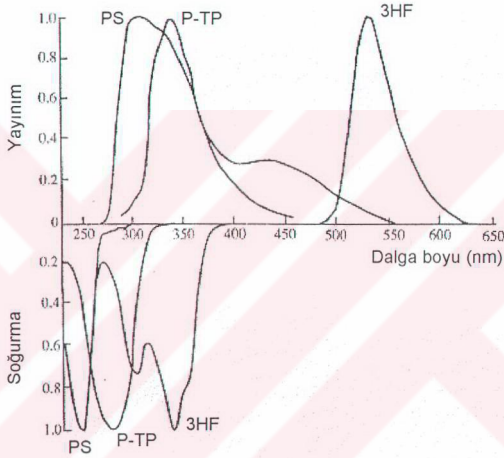
$$\Lambda^{-1} = \Lambda_A^{-1} + \Lambda_R^{-1} + \Lambda_{Sc}^{-1} \quad (3.17)$$

olarak bulunur.

3.6.3. Sintilatör Fiberlerde Sintilasyon Olayı

Sintilatör fiber içerisinde geçen parçacığın kaybettiği enerji ilk olarak PS'in elektronik seviyelerini uyarır. Fakat PS'nin floresans ışık verimi çok düşük olduğundan aromatik bir sintilatör ile katılanması gerekir. Her bir kuantum seviyesi arasındaki moleküler enerji transferinin olabilmesi için PS'nin yayılım bandıyla sintilatörün soğurma bandının üst üste binmesi gerekir. PS, P-TP ve 3HF'e ait soğurma ve yayılım spektrumları Şekil 3.16.'da görülmektedir. Katılanan

sintilatörün yayınımlı PS'nin saydam olmayan bölgesinde ise yayınının geçirgen bölgede olması için dalgaboyu değıştirciye ihtiyaç vardır (üç bileşenli sistem). Dalgaboyu değıştircilerin soğurma spektrumları ikinci bileşenin yayınımlı spektrumuyla, yayınımlı spektrumu fotoçoğaltıcının fotokatodunun kuantum verimliliğine uygun olmalıdır.



Şekil 3.13. PS, P-TP ve 3HF'e ait soğurma ve yayınımlı spektrumu (Atac, 2002)

Yeteri kadar yüksek sintilatör konsantrasyonu PS ve sintilatör arasında, çoğunlukla radyasyonsuz ve dolayısıyla yerel enerji transferi sağlar. Bu, PS'e nazaran yüksek konsantrasyonda PMP eklenerek elde edilebilir. PMP'nin büyük Stokes değışimi nedeniyle yayınımlı PS'in geçirgen olduğu bölgededir ve dalgaboyu değıştirci eklemeye gerek yoktur (iki bileşenli sistem).

Üç bileşenli sistemde ışık soğurulması ve yayınımlı iki katkı arasında optik soğurulma uzunluğunun 150 μm den uzun olmasını gerektirir. Dolayısıyla birinci katkıdan yayımlanan ışık küçük çaplı fiberlerden kaçabilir ve komşu fiberin ikinci katkısı olan dalgaboyu değıştirciye uyarak istenmeyen sinyal karışmasına neden

olabilir. Bu durumda fiber demetleri EMA ile kaplanamayacağından tek bileşenli sistem kullanılarak istenmeyen sinyal karışmasının önüne geçilebilir.

3.6.4. Sintilatör Fiberlerle Fotoelektron sayımı

Fotoelektron sayımı, yansıma uzunluğunun aksine sintilatör fiberlerin kalitesi ve performansının belirlenmesinde objektif bir rol oynar. Denklem 3.17'den görüldüğü gibi sönümlenme uzunluğu farklı ilerleme terimlerinden oluşur. Dolayısıyla logaritmik sönümlenme grafikleri düz çizgilerden sapar. Bu nedenle sönümlenme uzunlukları belli fiber uzunluk aralıkları için verilir.

Günümüzde fotoçoğaltıcılara dayalı birçok fotoelektron sayım tekniği geliştirilmiştir. Bunun nedeni daha yüksek hız, daha yüksek çözünürlük elde edebilmektir. Örneğin fotoelektronlarla bombardıman edilen bir silikon diyot içeren elektrostatik odaklı hibrit fotoçoğaltıcı tüp ile 13kV'luk potansiyel farkı altında bir fotoelektron başına 3575 tene elektron-deşik çifti elde edilebilmektedir (Leutz, 1995).

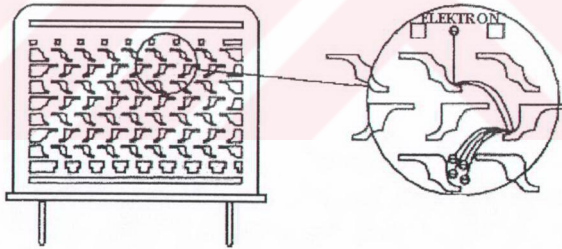
3.7. Fiber Sintilasyonlarının Dedeksiyonu

3.7.1. Fotokatodlar

Fotokatodlar, fotoçoğaltıcı tüpün ışık giriş penceresinin iç tarafına ince bir film tabakası oluşturacak şekilde buharlaştırılarak oluşturulurlar. Günümüzde fotokatodlar yarıiletken maddelerden yapılmaktadırlar. Bunun nedeni yarıiletkenlerin fotonları elektronlara çevirmedeki kuantum verimliliklerinin metallere nazaran daha yüksek olmasıdır. Fotoçoğaltıcı tüpe birleşik olan fiberlerin uzaysal çözünürlüklerini korumak amacıyla giriş penceresi birbirine birleştirilmiş cam fiberlerden yapılmıştır.

3.7.2. Pozisyon Duyarlı Fotoçoğaltıcılar (PSPM)

Pozisyon duyarlı fotoçoğaltıcıların dinod sistemi geleneksel fotoçoğaltıcılardan farklıdır. PSPM'lerde dinod sistemi üzerinde özel şekillendirilmiş kanallar bulunan tabakalardan oluşur. İkincil yayınımlar bu kanalların duvarlarıyla etkileşim sonucu oluşur. 10-12 dinod tabakasına sahip bir PSPM'de kazanç 10^6 kadar olabilir (ICFA 1999). Tipik bir PSPM'nin şematik görünümü Şekil 3.14.'te görülmektedir. Sintilatör fiberlerden gelerek fotokatoda çarpan fotonların görüntüsü dinodlarda elektron çoğalması ile korunur ve çok anod'lu kısımda yeniden oluşturulur. Uzaysal çözünürlükte olabilecek kayıpların başlıca nedeni dinodlarda ikincil elektronların yayılmasıdır. Ancak bu dezavantaj yüksek kazanç ve hızlı cevap zamanı ile dengelenmiştir. Anod düzlemi ya ağ şeklinde örülü tellerden (en fazla 16×16) ya da 3mm aralıklı birbirine paralel 256 adet tel sırasından oluşur (Leutz, 1995).

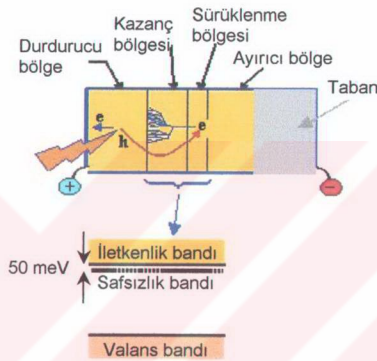


Şekil 3.14. Pozisyon duyarlı fotoçoğaltıcının şematik şekli ve çalışma prensibi (ICFA, 1999)

3.7.3. Görünür Işık Foton Sayacıları (VLPC)

Görünür ışık foton sayacıları görünür ışık bölgesine duyarlı silikon katıhal fotoçoğaltıcılarıdır. Görünür bölgedeki bir foton ya katkısız durdurucu bölgede ya da katkılı kazanç bölgesinde soğurulur. Durdurucu tabakada oluşan elektron deşik

çiftindeki elektron, uygulanan potansiyel farkı nedeniyle eklemın üst bölgesine sürüklenirken, deşik, kazanç bölgesine doğru sürüklenir. Bu bölgeye sürüklenen deşik, nötr donör safsızlıklarını iyonlaştırarak serbest elektronların oluşmasına yol açar (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Görünür ışık foton sayacının çalışma prensibi (Joram, 2002)

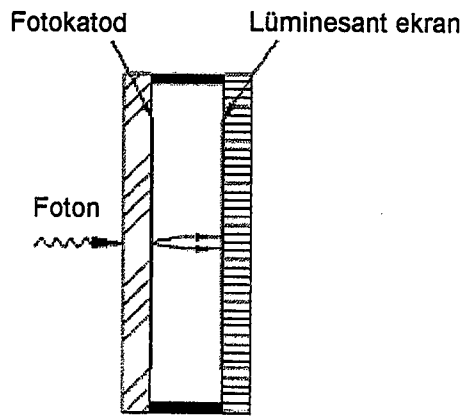
Safsızlık konsantrasyonu, enerji bandının silikonun iletkenlik bandından 0.05 eV'luk bir enerji aralığı oluşturacak şekilde yeteri kadar yüksektir. Kazanç bölgesinde soğurulan bir foton, 1 kV cm^{-1} 'lik bir elektrik alan altında durdurucu bölgedeki deşik sayısı kadar elektron çığı üretir. Oluşan çığ, elektron ve deşiklerin yeniden birleşmeleri nedeniyle 10^4 elektronla sınırlıdır. Görünür ışık foton sayacılarının kazançları yansıtıcı boya ile 550 nm 'de %85 oranına ulaşmaktadır. Bu cihazların enerji duyarlılığı hassas olduğundan termal gürültüyü engellemek için verimli çalışma sıcaklığı olan $6,5 \text{ K}$ 'ne soğutulmaları gerekir (Atac, 2000). Bu sıcaklığın altında çığ kazancı düşmekte, üstünde ise sinyal-gürültü oranı kötüleşmektedir. Görünür ışık foton sayacı fotokatodların aksine ancak tek bir fiber ile kullanılabilirlerinden, iz dedektörlerinin ince tanecikliliğini sınırlarlar.

3.7.4. Fosfor Ekranlar

Fosforlar çok küçük miktarlarda katkı ihtiva eden çok saf inorganik kristal maddelerdir. Fosforlar elektron enerjisini ışıma enerjisine dönüştürürler. Fosfor kristalleri 0,2 ile 20 μm büyüklüğündedir ve görüntü şiddetlendiricilerin optik fiber çıkış penceresinin iç kısmına buharlaştırılırlar. Fiber görüntülerinin optoelektronik zincire (sintilatör fiber, fiber optik pencere, görüntü şiddetlendirici, sintilasyon ekranları vb. bileşenlerden oluşur) aktarılması için bunların hızlı, yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip ve ışık yayılım spektrumunun kullanıldıkları fotoçoğaltıcıların ya da CCD kameraların soğurma spektrumuna uygun olması gerekmektedir.

3.7.5. Yakın Odaklı Görüntü Şiddetlendiriciler

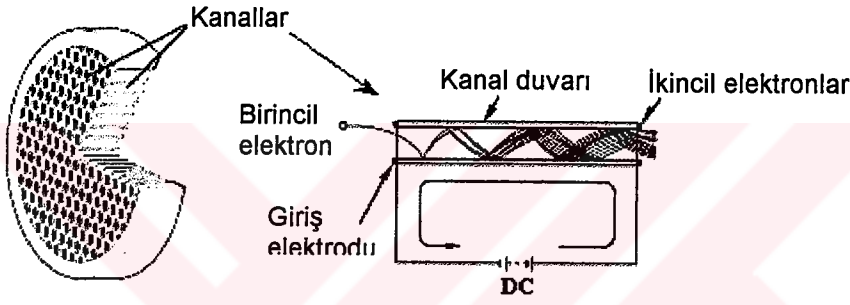
Bu cihazlarda fotokatod ve fosfor ekran arası mesafe çok kısa (3-5 mm) olduğundan görüntü, fotokatod ile fosfor ekran arasında bozulmadan aktarılır (Şekil 3.16.). Bu cihazların çözünürlükleri 40 çift çizgi mm^{-1} ile sınırlıdır. Kullanılacak uygulamaya göre istenilen sinyal yükseltilmesi ard arda üç şiddetlendirici kullanılarak elde edilebilir.



Şekil 3.16. Yakın odaklı görüntü şiddetlendiricinin şematik görünümü
(<http://www.proxitronic.de/prod/bv/eein.htm>)

3.7.6. Mikrokanallı Levhalı Görüntü Şiddetlendiriciler

Mikrokanallı levhalı görüntü şiddetlendiriciler ile çok büyük oranda elektron çığı elde edilmektedir. Bu tip görüntü şiddetlendiriciler yakın odaklı görüntü şiddetlendiricideki fotokatod ve fosfor ekran arsına bir veya birkaç tane mikrokanallı levha (MCP) yerleştirilmesiyle elde edilir. Mikrokanal levha 0,5-1mm kalınlığında bir disk ve bu diskin iki yüzü arasındaki birbirine çok yakın ve 6-15µm çapındaki ince içi boş borucuklar sisteminden oluşur (Şekil 3.17.).

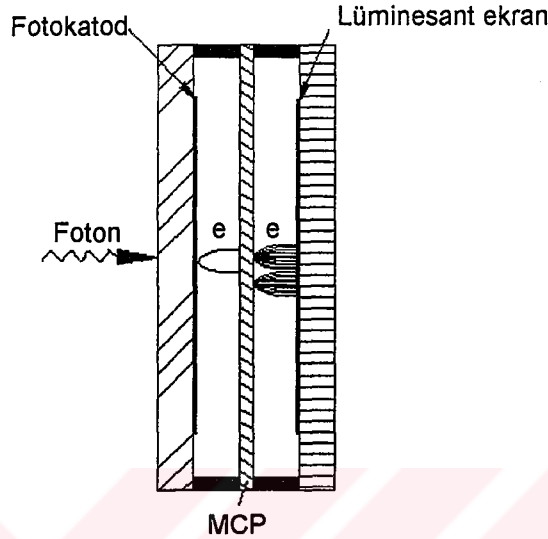


Şekil 3.17. Mikrokanallı levha ve çalışma prensibi
(<http://www.proxitronic.de/prod/bv/eein.htm>)

Disk in iki yüzü arasında birkaç yüz volt'luk potansiyel farkı uygulanır. Katoddan yayınlanan elektronlar 200 V'luk potansiyel farkı altında hızlandırılarak mikrokanallı levhaya gönderilir. Levha üzerinde bulunan mikrokanallara giren elektronlar, kanalların duvarlarına çarparak elektron çığı oluştururlar. Kanallardan çıkan elektronlar 10 kV'luk potansiyel farkı altında fosfor ekrana doğru gönderilirler.

Bir tüp içerisindeki fotokatod ve fosfor ekran arasında mikrokanallı levha yerleştirilmesiyle yüksek fotoelektron çıkışının elde edildiği görüntü şiddetlendiricileri elde edilir (Şekil 3.18). Mikrokanallı levhaların dezavantajı, mikrokanalların paketlenme kesrinin (birim alandaki kanal sayısı yoğunluğu) uzaysal çözünürlüğü ve sintilatör fiberlerin gerçek çarpma (hit) yoğunluğunu azaltmasıdır. Ayrıca manyetik alanlar varsa, elektronların mikrokanalların duvarlarıyla olan etkileşimi

engellenmekte ve dolayısıyla elektron çığının oluşumu olumsuz yönde etkilenmektedir.



Şekil 3.18. Mikrokanallı levhaya sahip yakın odaklı görüntü şiddetlendiricinin şematik yapısı (<http://www.proxitronic.de/prod/bv/eein.htm>)

3.7.7. Yük Kuplaj Cihazları (CCD)

Yük kuplaj cihazları optik görüntüleri elektronik sinyallere dönüştüren, video kameralarda görüntüleme aracı olarak, yüksek enerji fiziğinde parçacık izlenmesinde ve tıbbi görüntüleme ve astronomide geniş bir şekilde kullanılan silikon tabanlı cihazlardır. Bu cihazlarda, kenar uzunlukları μm boyutunda olan fotoelemanlar (silikon pikseller) yaklaşık 1 cm^2 lik bir alan üzerinde iki boyutlu bir görüntü düzlemi (görüntü bölgesi) oluşturacak şekilde bir araya getirilmişlerdir. Her piksel bir MOS kapasitöründe fotoyükleri biriktirir (uzay yükü bölgesi). Yükler daha sonra veri kaydedicisinde voltaj sinyallerine dönüştürülür. Bu olaylar MHz hızında gerçekleşir ve tüm değerlendirme işlemi birkaç ms süre alır. Birçok durumda her bir piksel bir diyod yardımıyla aşırı yüklenmeye karşı korunur. Fazla olan yükler zayıf birer akım olarak sistemden atılır. CCD'ler çoğunlukla ışık görüntüleme amacıyla kullanılan çok hassas ve düşük gürültülü cihazlardır.

3.7.8. Silikon Piksel Dizinleri ile Görüntüleme (ISPA)

Özellikle sintilatör fiberlerden elde edilen düşük yoğunluklu ışık ışınlarının tespiti ve foton sayımı için kullanılan diğer bir yöntem, ışığa duyarlı fotokatodlardan yayınlanan elektronlarla bombardıman edilen görüntüleyici silikon piksel dizinlerinin (ISPA) ya da hibrit fotoçoğaltıcıların (HPMT) kullanılmasıdır.

Devam eden gelişmeler geleneksel görüntü güçlendiricilerdeki fosfor ekranların silikon piksel dizinler ile değiştirilmesi ve dijital veri kaydı sistemiyle entegre edilmesi yönündedir. Bu yöntemle veri kayıt zamanı kısalmaktadır ve büyük optoelektronik zincirlerle entegre edilmiş birkaç görüntü güçlendiriciye kıyasla tek bir ISPA tüpü ile daha iyi çözünürlük elde edilmektedir (Leutz, 1995). Fotoelektronların uzaysal çözünürlükleri ya fotokatod ve piksel matris'in birbirlerine çok yakın bir biçimde yerleştirilmesiyle ya da elektrostatik veya manyetik odaklama yapılarak korunmaktadır. Bahsedilen ikinci durumda tüp eksenini manyetik alana paralel olacak şekilde yerleştirilir ve fotokatoddan yayınlanan elektronlar bir heliks çizerek geciktirilirler. Böylece dedektörde, silikon piksel anod tarafından daha fazla bilginin işlenmesi sağlanır.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Sintilatör Fiberlerin Uygulama Alanları

Sintilatör fiberler (SciFi), kısa bozunma zamanları, esneklikleri gibi özellikleri nedeniyle yüksek enerji fiziğinde parçacık izlenmesi ve kalorimetride, tıpta görüntülemeye, astrofizikte gama ışın teleskop uygulamalarında geniş bir şekilde yer almıştır. Devam eden bölümlerde sintilatör fiberlerin kullanım alanlarına göre özellikleri ve kullanım şekilleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

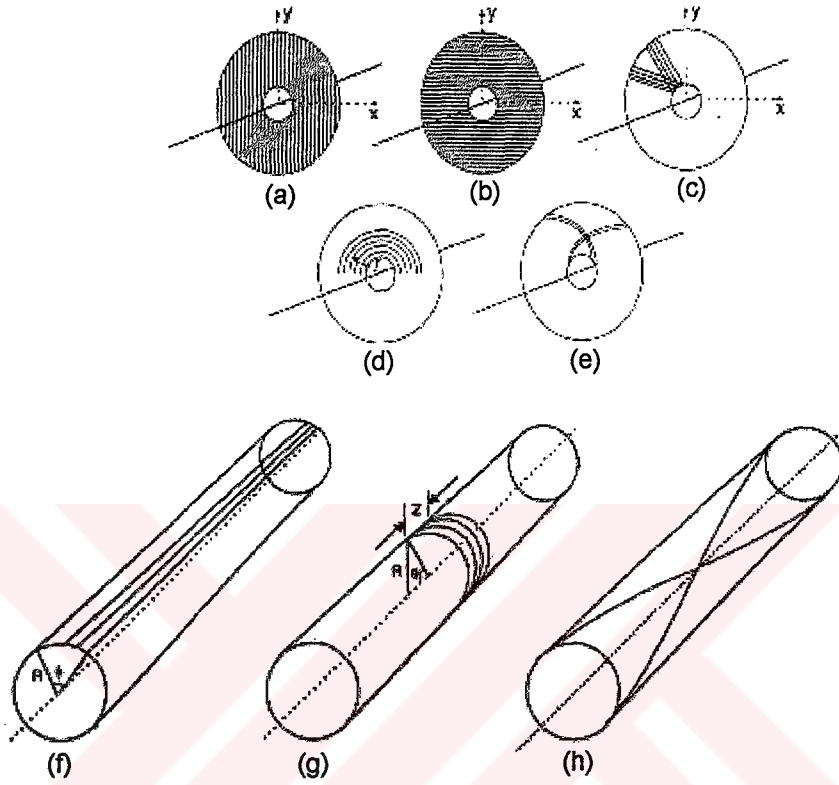
4.2. Sintilatör Fiberlerin Yüksek Enerji Fiziğindeki Uygulamaları

4.2.1. Sintilatör Fiberler ile Parçacık İzlenmesi

4.2.1.1. Temel Düşünceler

Özellikle yüksek ışımalı dedektörlerde elektronik sinyallerden parçacık izlerinin oluşturulabilmesi için hızlı cevap zamanı, yüksek uzaysal çözünürlük, iyi iki-iz ayrımı, küçük hacim ve momentum çözünürlüğü için iyi taneciklilik gereklidir. İyi taneciklilik, hacimi azaltması yanında yüksek uzaysal çözünürlük ve çok iyi momentum çözünürlüğü sağlar. Uzaysal çözünürlük sinyal veren fiberlerin benek büyüklüğüne ve iz rezidülerinin kök ortalama karesine bağlıdır.

Sintilatör fiberlerden oluşan iz dedektörleri geçmişte başarıyla kullanılmış, günümüzde de bazı dedektör sistemlerinde kullanılmaktadır. Sintilatör fiberlerin esnek ve kolay şekillendirilebilir olması bunların iz dedektörü olarak değişik geometrilerde kullanılmasına imkan vermektedir. İstenilen amaca göre veya dedektör sisteminin yapısına göre sintilatör fiberlerden oluşan iz dedektörleri, ya dedektör sisteminin uc bölgesinde ya da çarpışma bölgesini çevreleyen silindir üzerinde değişik yönelimlerde konumlandırılabilir. Sintilatör fiberlerin iz dedektörü olarak kullanıldığı değişik geometriler Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sintilatör fiberlerin iz dedektörü olarak kullanıldığı geometriler. a, b, c, d, e düzlemsel, f, g, h, dairesel geometriler (Ruchti, 1996).

4.2.1.2. Parçacık Dedeksiyonundaki Gürültü Kaynakları

Parçacık izlerinin belirginliğini bozan gürültü fiberlerin kurulumundan ya da optoelektronik veri kaydı sisteminden kaynaklanabilir. Başlıca gürültü kaynakları:

- İzlenen parçacık tarafından oluşturulan δ ışınları ya da fiberler arası sinyal karışması
- Görüntü şiddetlendiricilerin anodlarından fotoelektronların geri saçılması
- CCD kameraların analog veri kaydından kaynaklanan elektronik gürültü

Sintilatör fiberlerde gürültünün iki kaynağı vardır. Bunlardan birincisi, daha önceden açıklandığı gibi sintilatör ışığının komşu fiberin dalgaboyu değiştiricisini uyarmasıyla oluşan sinyal karışması ki bu sorun tek bileşenli sistemle giderilebilir,

ikincisi ise sintilatör fiberlerin fotokatoda yakın olan kısmından sınır açısından küçük açıyla gelen ve fiberden kaçan ışınların saçılma veya difüzyonla fotoçoğaltıcının fotokatoduna ulaşmasıyla ortaya çıkar. Bu sorun ise fiberlerin yine daha önceden değinilen soğurucu ya da yansıtıcı özelliğe sahip EMA ile kaplanmasıyla giderilebilir.

Görüntü şiddetlendiriciler söz konusu olduğunda hızlandırılan elektronlar anoddan (fosfor ekran) geri saçılabilirler. Bu elektronlar elektrik alan etkisiyle tekrar anoda doğru yönelirler ve gürültü sinyalinin oluşmasına neden olurlar. Fosfor ekranlar yerine dijital veri kayıtlı ISPA tüpleri uygun eşik ayarı yapılarak kullanıldığında bu sorunun önüne geçilebilir (Gys ve ark., 1995; D'Ambriso ve ark., 1995)

CCD'lerdeki gürültü kaynakları; $\sqrt{N}$ (N, bir pikselde bulunan elektron sayısı) ile ifade edilen fotonik gürültü, veri kaydı diyotunun referans potansiyeline ulaşması için yüklendiği sırada oluşan gürültü ve elektronların silikonun iletkenlik bandına termal uyarılmasıyla ortaya çıkan sızıntı sinyalleri olmak üzere üç tanedir (Leutz, 1995)

4.2.1.3. UA2 Fiber İzleyicisi

İlk büyük boyutlardaki fiber iz dedektörü CERN SPS'te (Süper Proton Sinkrotron) kurulan UA2 dedektöründe kullanılmıştır. Sintilatör fiberlerden oluşan merkez iz dedektörü, elektron tanımlanması amacıyla hem bir dış izleyici olarak hem de duş öncesi ölçümleri için kullanılmıştır. UA2 merkez iz dedektörü silindirik yapıda düzenlenmiştir. PS tabanlı ve PVA kaplamalı, 1 mm çapında ve 2,1 m uzunluğundaki PBD ve POPOP katkılanmış üç bileşenli mavi ışınımlı sintilatör fiberlerden altmışbin adet kullanılmıştır. Fiberler arası sinyal karışmasını engellemek için her sintilatör fiberin çevresi alüminyum ile parlatılmıştır. Üç boyutlu görünüm için fiberler gruplandırılarak üç değişik doğrultuda yerleştirilmişlerdir. Birinci grup, dedektör eksenine paralel, diğer iki grup ise bu eksenle $\pm 16^\circ$ 'lik açı yapacak şekilde helisel olarak yerleştirilmiştir. Bu fiberlerin veri kayıtları 32 görüntü şiddetlendiricili CCD dizinleri ihtiva eden optoelektronik zinciri tarafından yapılmaktadır. Her bir

zincir iki elektrostatik odaklı görüntü şiddetlendirici ve bir mikrokanallı levha içeren eden yakın odaklı görüntü şiddetlendiriciden oluşmuştur. Görüntüler sırasıyla, fiber optik pencere, fotokatod ve fosfor ekranlar üzerinden verilerin işleneceği sinyali üreten CCD'lere gönderilmiştir. Plastik sintilatör fiberlerden oluşan iz dedektöründe ~150 µm iz çözünürlüğü elde edilmiştir. Manyetik alan olmamasından dolayı sintilatör fiberler opoelektronik zincire herhangi bir ışık kılavuzu veya optik birleştiriciye ihtiyaç duyulmadan bağlanmıştır. UA2 dedektörü $W^\pm$ ve Z^0 fiziğinde başarıyla kullanılmıştır (Ruchti,1996).

4.2.1.4. L3 Deneyi

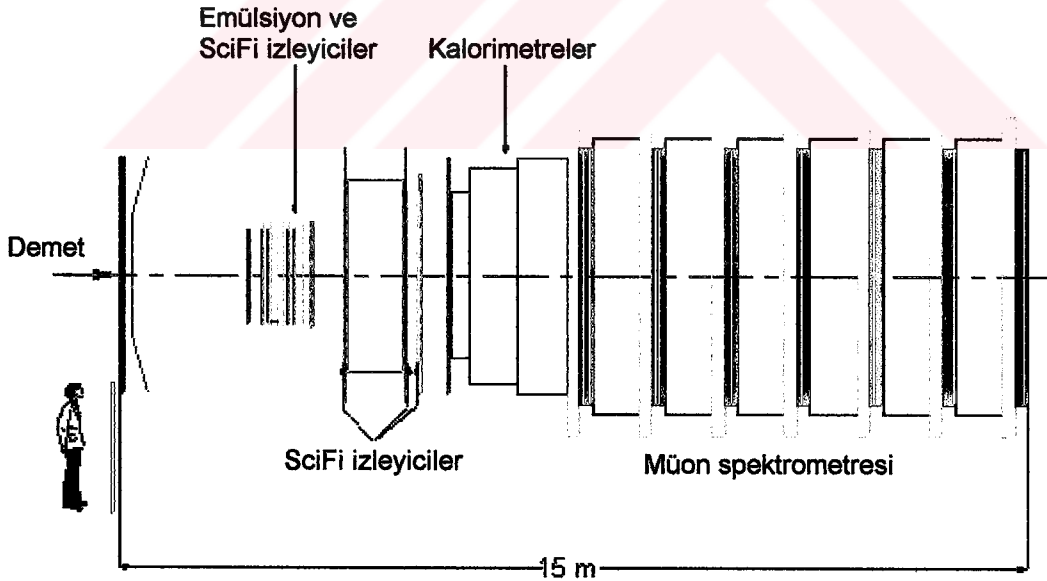
Plastik sintilatör fiberlerden oluşan bu sistem, CERN LEP'teki (Large Electron Positron Collider) L3 deneyinde merkezi zaman izdüşüm odasının kalibrasyonu için kullanılmıştır. Bu sistem 1,3 m uzunluğunda ve 530×1000 µm dikdörtgen kesite sahip bir tabakada bulunan 700 µm aralıklı mavi renkte ışık yayan PS tabanlı Ve b-PBD ve BDB katkılanmış üç bileşenli sintilatör fiberlerden ve bu fiberlere doğrudan bağlı mikrokanal levhalı fotoçoğaltıcı tüplerden oluşmaktadır. Bu sistem ile 245 µm iz çözünürlüğü elde edilmiştir (Ruchti, 1996).

4.1.5. SDC Fiber İzleyici

Amerikada yapımına başlanan fakat daha sonra vazgeçilen süperiletken süper çarpıştırıcısında (SSC) planlanan Soleonidal Dedector Collaboration (SDC) deneyinde silikon izleyicilerden oluşan merkezi iç izleyiciyi çevreleyen merkezi dış izleyici yaklaşık 460.000 çok kaplamalı sintilatör fiberden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Sintilatör fiberler eşmerkezli 6 silindirik yapı üzerine yerleştirilmişlerdir. Her bir sintilatör fiberin veri kaydı bir VLPC ile yapılmıştır. Bu tasarım fiber izleyicilerin çarpıştırıcı deneylerinde güçlü bir dedeksiyon ve tetikleme yöntemi olduğunu göstermiştir (Ruchti, 1996).

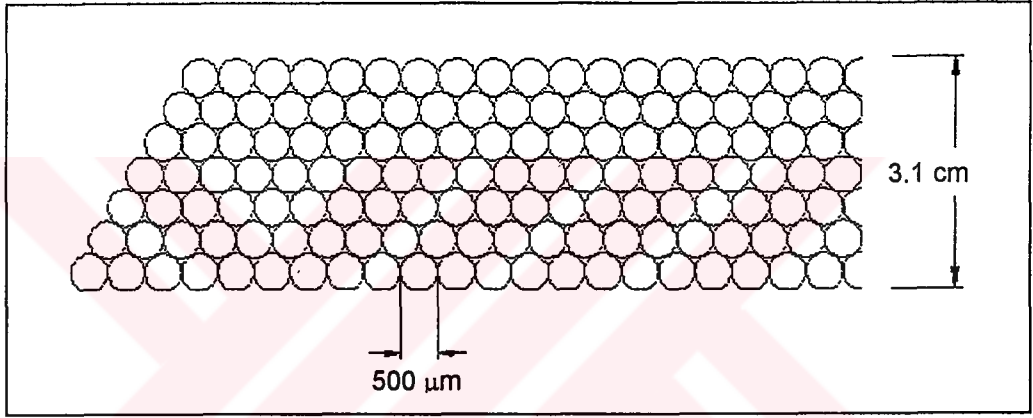
4.2.1.6. Chorus Fiber İz Dedektörü

Sintilatör fiberlerle iz dedektörü olarak kullanıldığı uygulamalardan biri de $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ nötrino salınımlarının araştırılması için CERN’de kurulan CHORUS dedektörüdür (Şekil 4.2.). Deneyde ν_τ -nükleon etkileşmelerinden çıkan τ bozunumlarının, 230 litre (800kg) emülsiyonda tespit edilmesi düşünülmüştür. Nükleer emülsiyon 1 μ m uzaysal çözünürlük sağladığından kısa ömürlü parçacıkların tespitinde hedef olarak kullanılabilir (Eskut, 1997). Emülsiyon hedef içerisindeki nötrino etkileşimlerini belirlemek amacıyla emülsiyon hedefin hemen arkasına emülsiyon hedef içerisinde oluşan ikincil izlerden yola çıkarak nötrino etkileşimlerinin koordinatlarını belirlemek amacıyla dikdörtgen fiber şeritler yerleştirilmiştir. Bunun için 1 milyondan fazla 0,5 mm yarıçaplı ve 2,3 m uzunluğundaki sintilatör fiber kullanılmış ve fiberlerin toplam uzunluğu 2500 km’yi bulmuştur. Bu fiberler yedi kat üst üste birleştirilmiş şeritler halinde yerleştirilmiştir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.2. CHORUS dedektörünün şematik görünümü (Eskut, 1997)

Bu şeritlerin uçları alüminyum ile parlatılarak fiberlere %80 yansıtıcılık kazandırılmıştır. Fiber şeritlerinin uçları bir araya getirilmiş ve her birinde dört görüntü şiddetlendirici ve bir CCD kamera bulunan 58 optoelektronik değerlendirme sistemine bağlanmıştır. Hedef bölümünü takiben momentum ölçümleri için altıgen manyetik spektrometre, hadronik duş ölçümleri için spagetti kalorimetre ve müonların dedeksiyonu için bir müon spektrometresi bulunmaktadır. CHORUS deneyinden Nisan 1994'te veri alımına başlanmış ve Kasım 1997'e kadar veri alınmıştır.

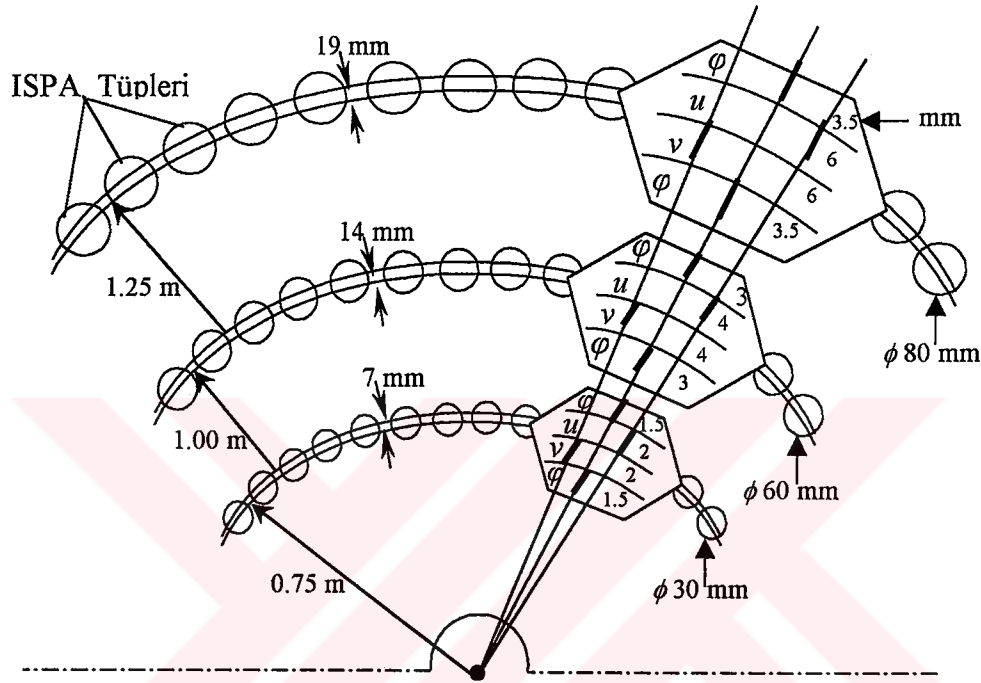


Şekil 4.3. Chorus dedektöründe kullanılan sintilatör fiber demetinin kesiti (Eskut, 1997)

4.2.1.7. İnce Tanecikli Merkezi İzleyici Tasarımı

Bu tasarımda iz dedektörü çarpıştırıcı ile aynı eksene sahip üç silindirik fiber kabuğundan oluşmuştur (Şekil4.4.). Her kabukta dört kat fiber bulunmaktadır. Bu tabakalardan iki tanesi izlerin (r, ϕ) koordinatlarını belirlemek için çarpıştırıcı eksenine paralel ve bu iki tabaka arasında kalan diğer iki tabakadaki fiberler ise izlerin z-koordinatlarını belirlemek amacıyla çarpıştırıcı eksenine birkaç derecelik açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Bütün iz dedektörlerinde küçük çaplı fiberlerin kullanılması, izlerin kesinliği ve uzaysal çözünürlük açısından kaçınılmazdır. Ancak 200 μm 'nin altındaki çaplara sahip fiberlerin yerleştirilmesindeki zorluklar nedeniyle bu fiberler birleştirilerek demetler halinde kullanılırlar. Bu demetler her izlerce

altıgen kesitli fiber birleştirilir ve kenar uzunluğu 1 mm veya daha fazla olan demetler elde edilerek iyi bir iz dedektörü için gereken ince taneciklilik özelliği sağlanmış olur.



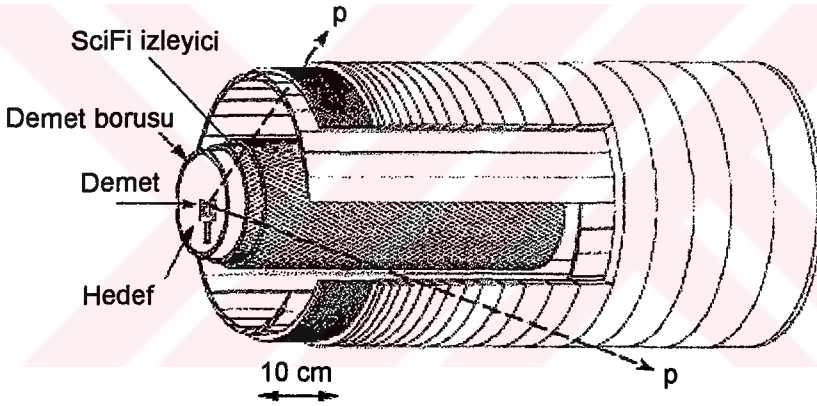
Şekil 4.4. Sintilatör fiberlerin kullanıldığı merkez iz dedektörü için önerilen geometri (Leutz, 1995)

4.2.1.8. E835 Sintilatör Fiber İz Dedektörü

Amerika Birleşik Devletlerinde Fermi Ulusal Laboratuvarındaki (FNAL) E835 deneyi $p\bar{p}$ çarpışmalarında çarmonyum enerji seviyelerini araştırmak amacıyla kurulan E760 deneyinin geliştirilmiş bir şeklidir. Bu deney çok büyük hadronik fon dışında elektromanyetik son durumları tespit etmek amacıyla güncellenmiştir. Dedektörün merkezi izleyicisinin bileşenlerinden biri olan fiber izleyici, eş merkezli iki silindir üzerinde 430 sintilatör fiberin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her fiberden gelen ışık VLPC'lere birer normal fiber ile iletilmektedir (Ambrogiani, 1998).

4.2.1.9. Helisel Sintilatör Fiber Hodoskop

Almanyada Cooler Sinkrotron'da (COSY) bulunan EDDA deneyinde hızlı protonların ve hafif yüklü parçacıkların oluşturdıkları çoklu etkileşimleri tespit etmek amacıyla helisel sintilatör fiber hodoskop geliştirilmiştir (Hinterberger, 1999). Bu hodoskop eşmerkezli iki silindirik kabuktan oluşmuştur. İç kısımdaki silindirik kabuk üzerinde, 2,5 mm çapındaki 640 sintilatör fiber dört kat oluşturacak şekilde helisel olarak yerleştirilmiştir. Üç boyutlu görünüm için fiber tabakalarından ikisi sağ yönde diğer ikisi ise sol yönde dedektör eksenine göre $\pm 25,17^\circ$ 'lik açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Her fiber 16 kanallı fotoçoğaltıcıya (MCPMT) bağlanmıştır.

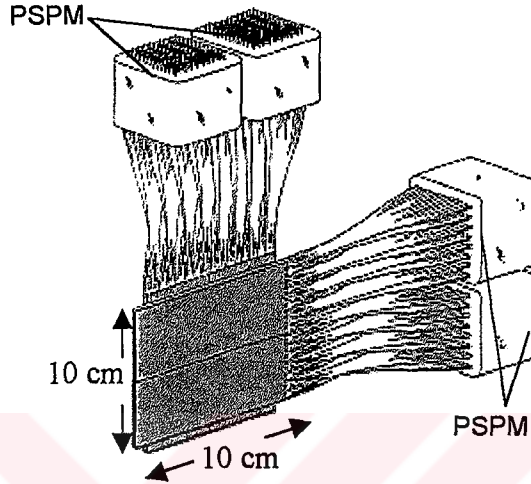


Şekil 4.5. COSY'deki EDDA dedektörünün Şematik Yapısı (Hinterberger, 1999)

4.2.1.10. DIRAC Deneyi

$\pi^+ \pi^-$ saçılmalarını incelemek amacıyla CERN'de DIRAC deneyi kurulmuştur (Gallas, 2002). Piyon çiftlerinin bağıl momentumlarının bilinmesi için piyon çiftlerinin açılma açısının bilinmesi gerekir. DIRAC dedektöründe bu açığı belirlemek amacıyla iz dedektörü olarak sintilatör fiberlerden oluşan hodoskop kullanılmıştır. Bu hodoskop 0,5 mm çapındaki fiber dizinlerinden oluşmuştur. Bu fiber dizinlerinden oluşan $105 \times 105 \text{ mm}^2$ 'lik yüzey alanına sahip 5 fiber düzlem plaka, x ve y koordinatlarının ölçümü için birbirlerine dik olacak şekilde arka arkaya

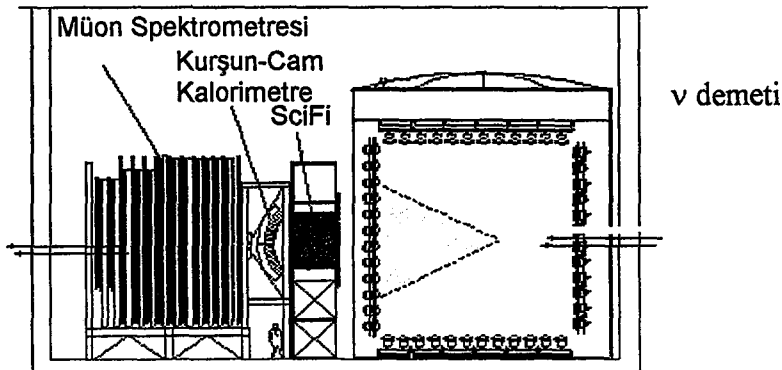
ışın demetinin önüne yerleştirilmiştir (Şekil 4.6). Her bir fiber yaklaşık 300 mm uzunluğunda normal fiber ile veri kaydının yapıldığı PSPM'lere bağlanmıştır. Bu sistem ile %98'lik dedeksiyon verimliliği ve yaklaşık olarak 0,6 ns zamansal çözünürlük elde edilmiştir



Şekil 4.6 DIRAC deneyindeki sintilatör fiber hodoskop'un şematik yapısı (Adeva, 1994)

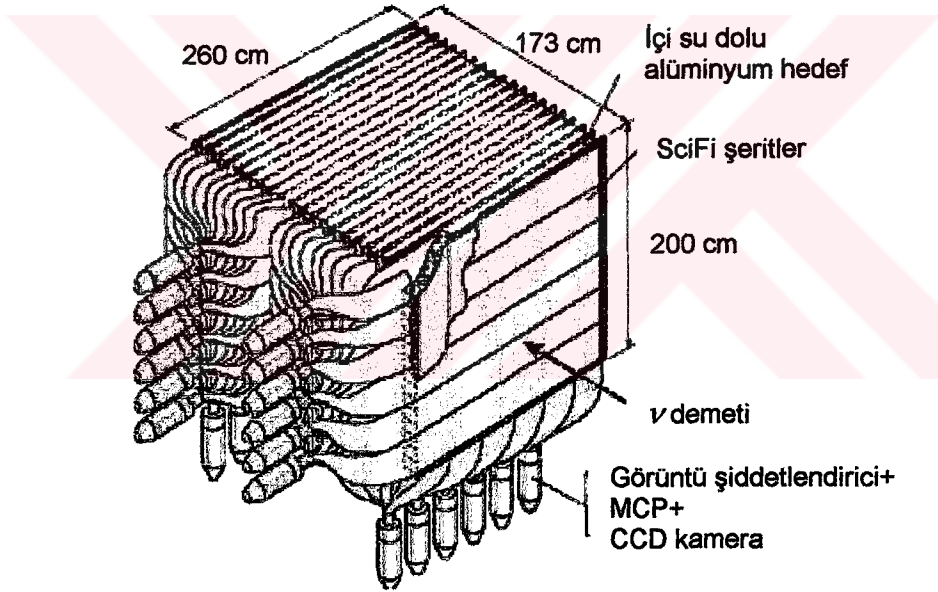
4.2.1.11. K2K Dedektörü

Sintilatör fiberlerin iz dedektörü olarak kullanıldığı bir diğer uygulama Japonyada Ulusal Yüksek Enerji Hızlandırıcı Laboratuvarı'ndaki (KEK) K2K dedektörüdür.



Şekil 4.7. KEK'te bulunan K2K dedektörünün şematik görünümü (Kim ve ark, 2002)

Nötrino osilasyonlarını araştırmak amacıyla kurulan bu dedektör, 1 kton su ile dolu olan Cherenkov dedektörü, sintilatör fiberlerden oluşan iz dedektörü, kurşuncam kalorimetre ve müon dedektörü gibi alt dedektörlerden oluşmuştur (Şekil 4.7.). Sintilatör fiberlerden oluşan iz dedektöründe fiberler yatay ve düşey yönde yerleştirilmiş 20 tabakadan oluşmuştur (Şekil 4.8.). İki kat fiberden oluşan tabakaların kalınlığı 1,3 mm'dir. Çapı 0,7 mm ve uzunluğu 3,7 mm olan fiberlerden toplam 274080 adet kullanılmıştır. Her bir fiber tabakası içleri su ile dolu olan 19 adet alüminyum bölmeyle birbirinden ayrılmıştır. Sintilatör fiberler demetler halinde birleştirilmiş ve bir görüntü şiddetlendirici, bir optik lens ve bir CCD kameradan oluşan veri kaydı zincirine bağlanmıştır (Kim ve ark. 2002).

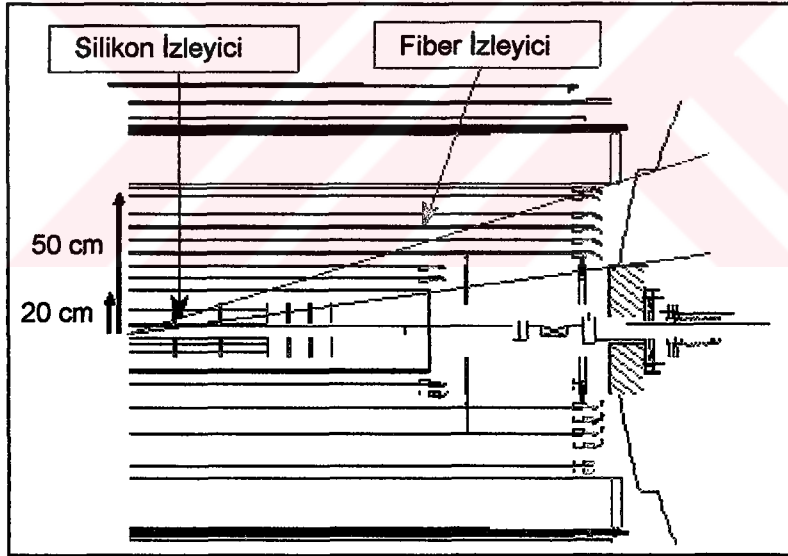


Şekil 4.8. K2K dedektöründeki SciFi iz dedektörü (Kim ve ark., 2002)

4.2.1.12. D0 Dedektörü

FNAL'de bulunan D0 dedektörü, top kuark oluşumu ve bozunması, top kuark ve $W^\pm$ bozonunun kütle ölçümü ve bottom kuark ile ilgili çeşitli araştırmaların da dahil olduğu bir çok değişik fiziksel olay hakkında araştırma yapılması amacıyla kurulmuştur (Wayne, 1997). Dedektörün merkezi iç izleyicisi silikon izleyicilerden

ve bu bölümü çevreleyen dış izleyici, sintilatör fiberlerden oluşmaktadır. Sintilatör fiberler, dedektör ekseninden 20, 30, 40 ve 50 cm uzaklıkta bulunan eşmerkezli dört silindir üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4.9.). Her bir silindir üzerinde iki kat fiberden oluşan dört tabaka fiber demeti bulunmaktadır. Bu tabakalardan iki tanesi dedektör eksenine paralel, diğer ikisi ise izlerin üçüncü boyutunun oluşturulabilmesi için, dedektör eksenine $\pm 1.5^\circ - 3^\circ$ 'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. D0 dedektöründe çok kaplamalı, %1 P-TP ve 1500 ppm 3HF katkılanmış uzunlukları 1,7 ile 2,7 m arasında değişen 830 μm çaplı PS fiberlerden yaklaşık olarak seksenbin tane kullanılmıştır. Bu fiberler görünür spektrumun sarı yeşil bölgesinde 530 nm'de yayıma sahiptirler. Sintilatör fiberler, veri kaydı sistemindeki VLPC'lere normal fiberler ile birleştirilmişlerdir. VLPC'lerin kullanılmasının sebebi kuantum verimliliklerinin %80 (Atac, 2000) olması ve gürültü oranlarının % 0.1 veya daha az olmasıdır (Wayne, 1997).



Şekil 4.9. D0 dedektöründeki silikon ve fiber izleyicilerin görünümü (Jesik, 1999)

4.2.1.13. Sintilatör Fiberlerin Diğer İz teknikleriyle Karşılaştırılması

İz dedektörü uygulamalarında en çok kullanılan yöntemler çok şeritli gaz odaları (MSGC) gibi gaz sayaçları ve yarıiletkenlerin kullanıldığı silikon tel veya

silikon piksel dedektörleridir. Sintilatör fiberler bu tekniklere kıyasla daha iyi özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Uzaysal çözünürlük, dedektör içerisine giren bir parçacığın etkileştiği noktanın belirlenmesindeki doğruluktur. Bir sinyalin oluşması için parçacığın girmesi gereken derinlik dedektörün yapıldığı maddeye göre değişir. Bu derinlik silikon dedektörler için 0,3 mm, çok şeritli gaz odası için 3mm ve sintilatör fiberler için 0,3 mm'dir (Leutz, 1995).

Sintilatör fiberlerde iki iz çözünürlüğü diğer teknikler ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. İki iz çözünürlüğü, sintilatör fiberler için 50-100 µm, silikon için 100 µm ve çok şeritli gaz odası için 300 µm olarak ölçülmüştür (Leutz, 1995).

Sintilatör fiberlerin çok şeritli gaz odası ve silikon dedektörleri gibi diğer iz tekniklerinden farklılığı veri kaydı sisteminde ortaya çıkmaktadır. Bu tekniklerde veri kaydı için tam bir optoelektronik zincire ihtiyaç vardır. Oysa sintilatör fiberler ile iz dedektörü uygulamalarında veri kaydı sistemi optoelektronik tüplerle yapıldığında, gerekli kanal sayısı çok daha düşüktür. Böylelikle birçok elementten oluşan optoelektronik bir zincirde, sızıntı akımlarının sebep olduğu ve özellikle yarıiletkenleri etkileyen ısınma problemi ortadan kalkmış olur.

4.2.2.Sintilatör Fiberler ile Kalorimetri

4.2.2.1. Temel Düşünceler

Dedektörlerde kullanılan bir başka teknik ise kalorimetridir. Elektromanyetik ve hadronik kalorimetreler dedektörlerde elektromanyetik olarak veya kuvvetli etkileşen parçacıkların enerji ölçümleri için kullanılırlar. Genel olarak bir kalorimetrenin enerji çözünürlüğü,

$$\frac{dE}{E} = \left(\frac{a^2}{E} + b^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

ile verilir. Burada a enerji bağımlılığını gösteren bir sabit, b ise kalorimetrenin elektromanyetik (e) ve hadronik (h) etkileşimlere verdiği cevabı temsil eden bir sabittir.

Hadronik etkileşimler sonucu, hadronik kalorimetrede oluşan duşların düşük enerjili nötron bileşenine daha iyi cevap veren plastik sintilatörler, günümüz dedektörlerindeki kalorimetrelerin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Kalorimetrelerin hadronik duşlara olan cevabının artırılması, dolayısıyla elektromanyetik duşlara olan cevabının düşürülmesi amacıyla kurşun (Pb) gibi yüksek atom numarasına sahip maddelerin kullanılması gerekmektedir. Çünkü bu maddeler düşük enerjili fotonların soğurulmasını sağlarlar. Bu nedenlerden dolayı kurşun ve sintilatörden oluşan kalorimetreler dedektör sistemlerinde kullanılmaktadır.

4.2.2.2. Kurşun-Sintilatör Fiber Kalorimetre

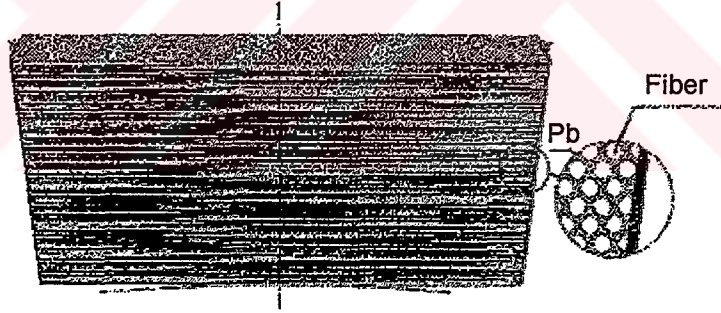
İyi bir kalorimetrenin düşük enerjili nötron duyarlılığı, düşük enerjili fotonların soğurulması, ince taneciklilik ve iyi zamanlama özelliklerine sahip olması gerekir. Dolayısıyla kurşun ile beraber sintilatör fiberlerin kullanılması dedektör sistemleri için önemli olan ince taneciklilik ihtiyacını da karşılamış ve ışığı uzak mesafelere iletebilmeleri ve kolay şekillendirilebilir olmaları nedeniyle kurşun-sintilatör fiber kalorimetreler (spagetti), dedektörlerdeki kalorimetre uygulamalarında yerlerini almıştır.

Bu teknik ilk olarak Burmeister ve arkadaşları tarafından (Leutz, 1995) önerilmiş ve daha sonra CERN'deki WA-89 deneyinde 155 modüllü prototip kalorimetrede kullanılmıştır (Leutz,1995). Bu prototip 1mm çapında ve 2,2 m uzunluğunda 1141 plastik sintilatör fiber, 155 kolondan oluşan altıgen bir yapıda düzenlenmiştir (DeSalvo, 1995).

Sintilatör fiberler ile elektromanyetik kalorimetrenin ilk uygulaması JETSET deneyinde kullanılmıştır (JETSET collaboration, 1986). Bu deneyde 1 mm çaplı PS sintilatör fiberler kurşun ve epoksi'den oluşan bir alaşım içerisine batırılmıştır. Fiber:kurşun:epoksi hacimsel oranı 50:35:15'dir.

Kurşun-sintilatör fiber kalorimetre'nin bir diğer uygulaması CHORUS deneyidir (Eskut ve ark., 1997). CHORUS deneyinde yine dikey olarak gruplandırılmış sintilatör fiberlerden oluşan kalorimetre nötrino demeti önüne yerleştirilmiştir. Bu kalorimetre üç bölümden oluşmuştur. Yüksek tanecikli birinci bölüm elektromanyetik bileşen ölçümü ve daha düşük tanecikli olan diğer iki bölüm hadronik bileşen ölçümü için kullanılmıştır. Kurşun ve sintilatör fiberlerin hacimce oranı 4:1 dir.

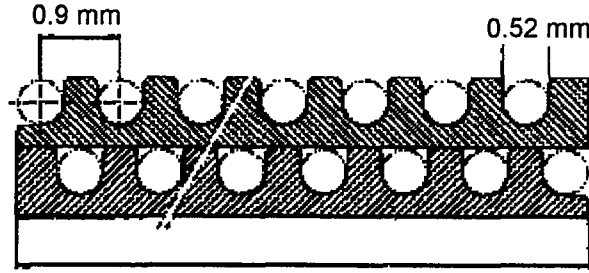
Spagetti türü bir kalorimetre İtalya'nın Frascati şehrindeki DAPHNE ϕ fabrikasındaki KLOE dedektöründe kullanılmıştır (Lee-Franzini, 1995). Bu dedektörde 1 mm çapındaki mavi renkte ışıldama yapan sintilatör fiberler, merkez izleyiciyi çevreleyen 4 m çapında ve 3,75 m uzunluğundaki silindirik yapı üzerinde, dedektör eksenine paralel olarak yerleştirilmiştir. Sintilatör fiberler kurşun plakalar arasına yapıştırma tekniği kullanılarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.10.). Fiber:kurşun:epoksi hacimce oranı 48:42:10'dur.



Şekil 4.10 KLOE dedektöründe kullanılan kurşun-fiber elektromanyetik kalorimetrenin yapısı (Lee-Franzini, 1995)

Almanyadaki DESY laboratuvarında bulunan HERA elektron çarpıştırıcısındaki H1 deneyinde, elektromanyetik ve hadronik kalorimetrelerde sintilatör fiberler kullanılmıştır (Weber ve ark., 1997). Elektromanyetik kalorimetrede 0,5 mm çapındaki fiberler kurşun plakalar üzerinde açılan oyuklara yerleştirilmiştir (Şekil 4.11.). Kurşun:fiber hacimsel oranı, 2,3:1'dir. Hadronik kalorimetrede ise kurşun levhanın her iki yüzünde bulunan oyuklara, çapları 1 mm

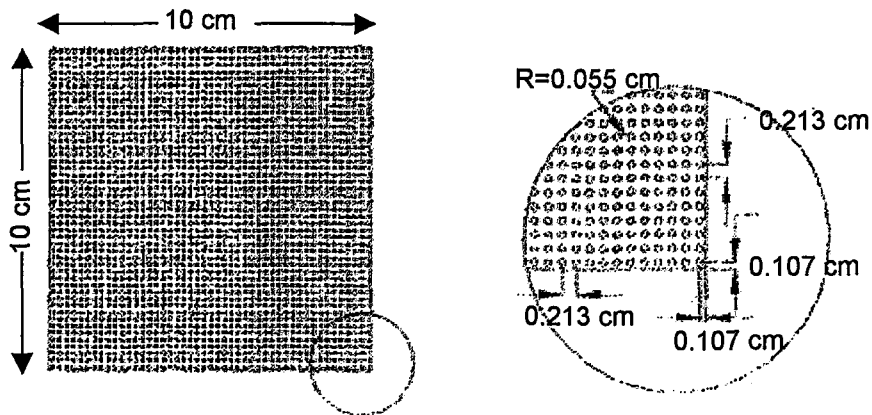
olan sintilatör fiberler yerleştirilmiştir. Kurşun:fiber hacimsel oranı 4:1'dir (Leutz, 1995).



Şekil 4.11. H1 dedektöründe kullanılan kurşun-fiber yapıdaki elektromanyetik kalorimetrenin iki tabakasına ait kesit (Weber, 1997)

Japonya'daki TRISTAN elektron-pozitron çarpıştırıcısındaki AMY dedektöründe kullanılan elektromanyetik kalorimetre, iç içe yerleştirilmiş 24 kurşun silindirden oluşmaktadır. Her bir kurşun tabaka 1mm kalınlığında ve 150 mm uzunluğundadır. Tabakalar arasına 0,5 mm'lik kare kesite sahip 300 adet sintilatör fiber yerleştirilmiştir. Yeşil renkte yayınım yapan sintilatör fiberlerin maksimum yayınımları 480 nm'dir (Sugimoto ve ark., 1997).

Brookhaven Ulusal Laboratuvarındaki E864 deneyinde acayip kuarkların yüksek duyarlılıkla araştırılabilmesi amacıyla kurşun-sintilatör fiber kalorimetre kullanılmıştır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. E864 deneyinde kullanılan kurşun bloklardan birinin kesiti (Pruneau, 1998)

10×10 cm² kesit alanına ve 117 cm uzunluğa sahip kurşun bloklar 58×13'lük bir matris şeklinde bir araya getirilmişlerdir. Her bir kurşun blokta 47×47'lik matris düzeninde yerleştirilen 1mm çaplı sintilatör fiberler, kurşun plakalar üzerine açılan oyuklara boylamasına epoksi ile yapıştırılmışlardır. Bu fiberler ışık kılavuzları yardımıyla PMT'lere bağlanmışlardır (Pruneau, 1998).

4.2.2.3. Kurşun-Fiber Kalorimetre Tekniğinin Diğer Kalorimetre Teknikleri İle Karşılaştırılması

Günümüz dedektörlerinde kalorimetrik enerji ölçümleri için kullanılan birkaç teknik vardır. Bu teknikler arasında sintilatör fiberler tekniğine benzeyen bir teknik, büyük atom numaralı düzlemler arasına yerleştirilmiş sintilatör blokların kullanılmasıdır. Ancak bu yöntem ile mekanik yapılandırma kolay olmasına karşılık ince taneciklilik ve tam doluluğun sağlanamaması bir dezavantaj oluşturmaktadır (Leutz, 1995)

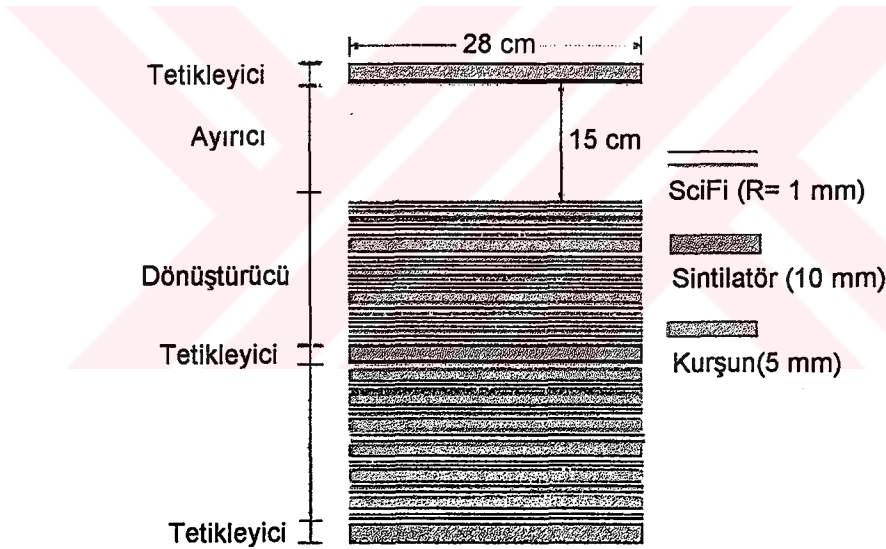
Kalorimetrik enerji ölçümünde kullanılan bir başka yöntem ise soğurucu düzlemler arasına sıvı argon doldurulan kalorimetrelere aittir. Ancak soğurucu düzlemler arasındaki elektron sürüklenme hızı 5 mm/μs olduğundan 300 ile 500 ns arasında değişen uzun bir cevap zamanı söz konusudur (Leutz, 1995)..

Diğer bir teknik ise akordeon kalorimetri tekniğidir (Aubert ve ark. 1991). Bu geometride akordeon gibi bükülmüş kurşun plakalar arasına sıvı argon doldurulmuştur. Bu teknik ile 30 ns'lik cevap zamanı ve spagetti kalorimetreden biraz daha iyi elektromanyetik enerji çözünürlüğü elde edilmiştir (Leutz, 1995).

4.3. Sintilatör Fiberlerin Astrofizikteki Uygulamaları

Sintilatör fiberler iz dedektörü olarak veya kalorimetrik ölçümler için astrofizik deneylerinde kullanılmaktadır. Hızlı cevap zamanları, ince taneciklilik özelliği ve kolay şekillendirilebilir olmaları sintilatör fiberlerin astrofizik alanına kolayca girmelerinin sağlamıştır.

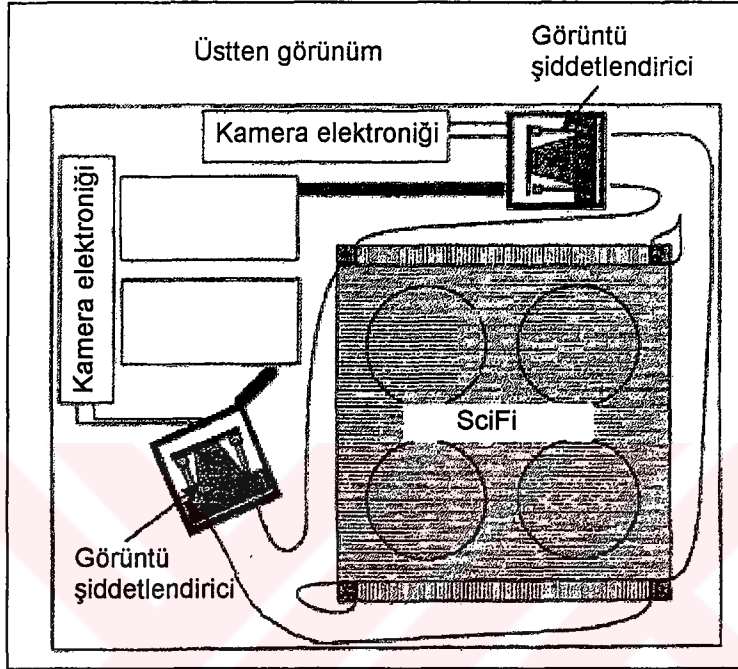
Sintilatör fiberlerin kullanıldığı deneylerden biri BETS (Balloon-Borne Electron Telescope) teleskopudur (Torii ve ark., 2000). Bu deneyde sintilatör fiberler yüksek proton fonunda, 10-100 GeV enerjili elektronları ayırabilen bir görüntüleyici kalorimetre olarak kullanılmıştır. BETS teleskopu, düş dedektörü ve bunu izleyen görüntüleyici kalorimetre ve tetikleyici sistemden oluşmuştur (Şekil 4.13). Genişliği 28 cm olan fiber şeritleri 5 mm kalınlığındaki kurşun tabakalar arasına yerleştirilmiştir. Kurşun tabakaların toplam yüksekliği 40 mm ve toplam fiber şerit sayısı 9 dur. Her bir fiber şerit iki tabakadan oluşmuş ve bu iki tabaka birbirine göre 90°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Dolayısıyla 28 cm × 28 cm'lik bir alan elde edilmiştir. 1 mm çapındaki fiberlerden toplam 10.080 adet kullanılmıştır. Bu fiberler CCD'lerden oluşan bir optoelektronik zincire bağlıdır .



Şekil 4.13. BETS deneyinde kullanılan kurşun fiber görüntüleyici kalorimetre (Torii, 2000)

Sintilatör fiberlerin astrofizik alanında kullanıldığı diğer bir uygulama ise Ağustos 1997'de ACE (Advanced Composition Explorer) uydusu ile fırlatılan CRIS (Cosmic Ray Isotop Spectrometer) spektrometresidir (Klarmann ve ark., 1998). Bu spektrometre ile atom numaraları $3 \leq Z \leq 30$ ve enerjileri $50 \leq E \leq 500$ MeV arasında değişen galaktik kozmik izotopların miktarının ölçülmesi amaçlanmıştır. Enerji ölçümleri için 10 cm çapında dört adet silikon dedektörü, ve bunların üzerinde sintilatör fiberler iz dedektörü olarak kullanılmıştır (Şekil 4.14.). Kare kesite sahip

fiberler, her bir düzlemde birbirlerine göre 90°'lik açı yapan iki tabaka bulunan üst üste üç düzlemde oluşacak şekilde yerleştirilmiş ve 26 cm × 26 cm 'lik bir alan elde edilmiştir.

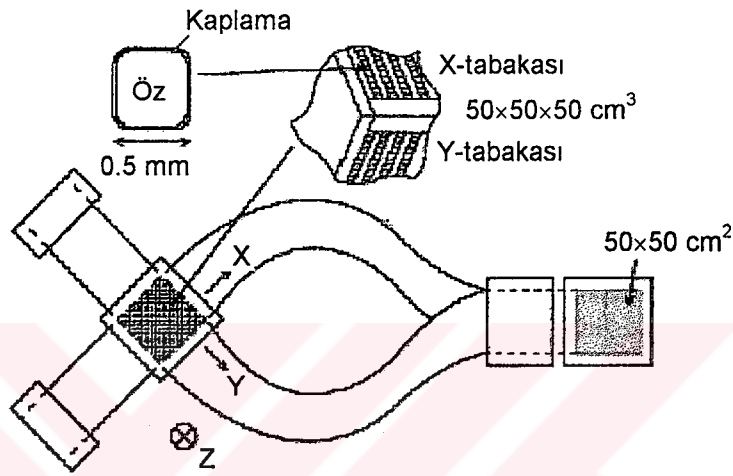


Şekil 4.14. CRIS'te kullanılan SciFi iz dedektörünün üstten görünümü (Klarman, 1998)

Aralık 2001'de gerçekleştirilen balon deneyinde sintilatör fiberlerin kullanıldığı TIGER (Trans-Iron Galactic Element Recorder) teleskopu başarıyla kullanılmıştır (<http://cosray2.wustl.edu/tiger/Tiger01/poster/p13.html>). Bu teleskop dört adet plastik sintilasyon sayacı, iki adet Cherenkov sayacı ve bir sintilatör fiber hodoskopdan oluşmuştur. Bu teleskopla atom numaraları $10 \leq Z \leq 40$ arasında değişen kozmik ışın araştırmaları yapılması amaçlanmıştır (Rielage, 2001). Kozmik ışınların enerji ölçümleri Cherenkov sayaçları ile, izlerinin belirlenmesi sintilatör fiber hodoskop ile yapılmıştır. Bu teleskopun 2003'te tekrar kullanılması planlanmıştır.

Uzay gemilerinde kullanılmak üzere radyasyon dozimetrisi için üç boyutlu görüntüleme cihazı olarak sintilatör fiber kamera geliştirilmiştir (Terasawa, 2001). Bu kamera birbirlerine dik olarak yerleştirilmiş 100 kat fiber tabakasından

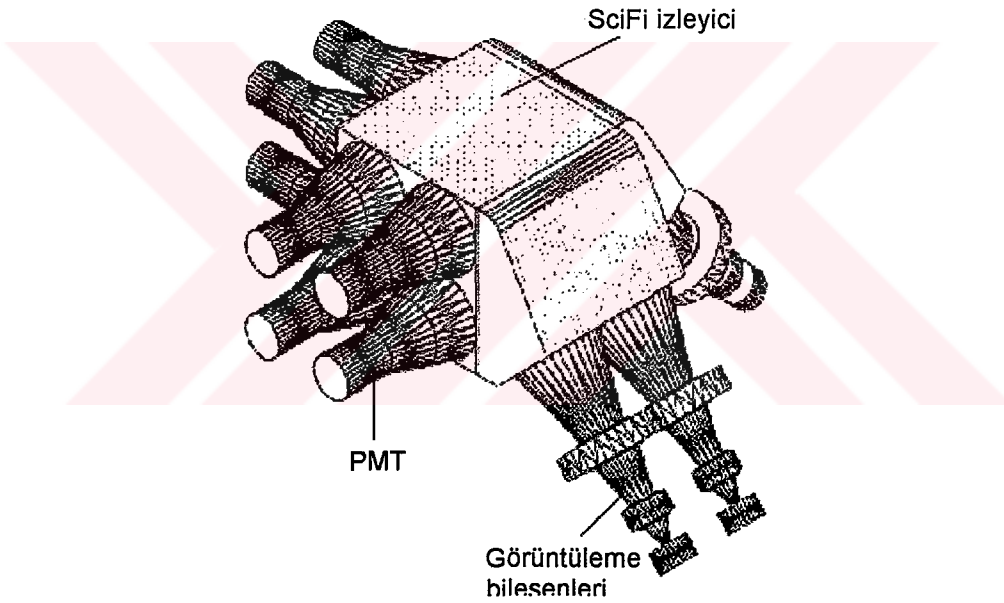
oluşturmuştur (Şekil 4.15.). Her tabakada kare kesite sahip ($0,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$) 100 adet sintilatör fiber bulunmaktadır. Dolayısıyla $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$ 'lük bir duyarlı hacim elde edilmiştir. Fiber tabakaları iki bölümlü görüntü şiddetlendiricisine ve bunlar da CCD kameralara bağlanmışlardır. Sintilatör fiber kamera ile yüklü parçacıklar, nötron ve gama ışınları bıraktıkları izlerden ayırt edilebilmektedir.



Şekil 4.15. Radyasyon dozimetrisi için geliştirilen SciFi kamera (Terasawa, 2001)

Japonya'daki uluslar arası bir proje çerçevesinde 2005 yılında hayat geçirilecek olan CALET (Calorimetric Electron Telescope) teleskopu geliştirilmektedir (Anraku, 2002). Bu teleskop ile enerjileri birkaç GeV ile 10 TeV arasında değişen elektronlar ve 100 MeV ile birkaç TeV arasında değişen gama ışınlarının hassas ölçümlerinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu ölçümler ile evrendeki yüksek enerjili elektromanyetik olayların sistematik bir araştırması yapılacaktır. Dedektörün temel bileşeni bir görüntüleyici kalorimetre (IC) ile tam soğurucu kalorimetrenin (TASC) bileşiminden oluşmuştur. IC ile 10 GeV 'un altındaki enerji ölçümleri kurşun-fiber kalorimetre tekniği ile yapılacaktır. Bu kalorimetrenin 1 mm^2 kesite sahip sintilatör fiberlerden oluşan şeritlerin x ve y doğrultusunda yerleştirilmiş 46 tabakadan oluşması planlanmaktadır. Bu yapı ile $70 \times 70 \text{ cm}^2$ alan elde edilecek ve toplam 32200 adet sintilatör fiber kullanılacaktır.

Amerika'daki New Hampshire Üniversitesi'nde 2010 yılındaki güneş patlamalarında yayınlanacak nötronlardan 20-250 MeV enerjili olanların yönelimlerinin ve enerjilerin ölçümü için SONTRAC (Solar Neutron Tracking Imaging Spektrometer) spektrometresi geliştirilmektedir (Macri, 1999). Bu spektrometre ile plastik sintilatör fiberlerden oluşan dedektör sistemine giren nötronların, sintilatörün bünyesinde bulunan H atomlarıyla esnek çarpışması sonucu saçılan protonların oluşturacakları izler yardımıyla izleri ve enerjileri belirlenecektir. Veri kaydı ise fotoçoğaltıcı tüp, görüntü şiddetlendirici ve CCD kameradan oluşan optoelektronik zincir tarafından yapılması planlanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen SciFi iz dedektörünün prototipi Şekil 4.16.'de görülmektedir .



Şekil 4.16. SONTRAC için geliştirilen SciFi iz dedektör prototipi (Ryan, 1999)

4.4 Sintilatör Fiberlerin Tıptaki Uygulamaları

Sintilatör fiberlerin yüksek çözünürlüklü ve iyi zamansal cevapları nedeniyle tıpta görüntüleme alanında kullanılmaları konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri sintilatör fiberlerin mamografide kullanılmalarıyla ilgilidir. Günümüzde mamografi sistemlerinde fosfor ekran/film birleşiminden oluşan bir

görüntüleme sistemi kullanılmaktadır. Ancak bu sistemle göğüs kanseri göstergesi olan mikro kireçlenmelerden büyüklükleri 250 μm ve üzerinde olanlar görüntülenebilmektedir. Oysa göğüs kanseri vakalarının 1/3'ünde bu mikro kireçlenmelerin büyüklükleri 50-100 μm 'den küçüktür. Ayrıca fosfor ekran/film birleşimi, uygulanan doz ve görüntü kalitesi arasındaki uyumluluğu kısıtlar. Günümüzde mamografi için kullanılan görüntüleme tekniği, sahip olması gereken, yüksek X-ışını soğurulması, yüksek uzaysal çözünürlük için olabildiğince ince yapıda olması ve homojen olması gibi özellikleri karşılayamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı sintilatör cam fiberler ile bir görüntü şiddetlendiricinin beraber kullanıldığı bir görüntüleme sistemi geliştirilmiştir. 12 μm büyüklüğündeki altıgen kesitli sintilatör cam fiberler 10 mm kalınlığında ve 18 mm çapında bir düzlem oluşturacak şekilde birleştirilmiştir. Terbiyum tabanlı öz çeşitli katkılar ile katkılanmıştır. Özün ve kaplamanın kırılma indisleri sırasıyla 1.60 ve 1.48'dir. 2-3 ms bozunma zamanıyla elde edilen ışık miktarı 50 foton/keV'tur. Bu sistem ile fosfor ekrandan elde edilen %30'luk görüntü dönüştürme verimliliğine karşılık sintilatör fiber ve CCD kameranın kullanıldığı sistemde %80 verimlilik elde edilmiştir (Zanella, 1996).

Kanser araştırmaları için sintilatör fiberlerin kullanıldığı bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototipte 0,8 mm çapında ve 3 mm uzunluğunda 3HF katkılı plastik sintilatör fiber, 200 cm uzunluğunda normal fiber ile birleştirilmiştir. Bir VLPC yardımıyla sintilatörden yayınlanan ışık tespit edilmektedir. Bu protipin canlı üzerinde şüpheli görülen bölgelerdeki aktivitenin belirlenmesinde veya ameliyat sonrası kötü huylu tümörlerin tamamen temizlenip temizlenmediğinin kontrol edilmesinde kullanılması düşünülmektedir (Atac, 2000).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sintilatör fiberlere dayalı parçacık fiziği iz dedektörleri geçmişte başarıyla kullanılmış olup gelecekte kullanılmaları konusunda da projeler geliştirilmektedir. Yüksek uzaysal çözünürlükleri, mükemmel zamansal cevapları, homojen yapıları ve kolay işlenebilmeleri gibi özellikleri nedeniyle sintilatör fiber iz dedektörleri, yalnızca günümüzdeki ve gelecekteki hızlandırıcıların yüksek ışıklık ve karmaşık olayları için değil aynı zamanda bilimin ve teknolojinin diğer alanları için de büyük önem taşımaktadır.

Sintilatör fiberlerin iz dedektörü olarak kullanıldığı CERN'deki UA2 dedektöründe, dedektör merkezinden geçen minimum iyonlaştırıcı parçacık için ortalama olarak 2,3 fotelektron kaydedilmiş ve her iz için %96 verimlilikle $\sim 150 \mu\text{m}$ iz çözünürlüğü elde edilmiştir (Ruchti, 1996). Yine CERN'deki L3 deneyinde tek bir fiber tabakası için elde edilen çözünürlük $245 \mu\text{m}$ 'dir (Ruchti, 1996). FNAL'deki D0 dedektöründe her bir fiber tabakasında %99 gibi yüksek verimlilikle $100 \mu\text{m}$ gibi yüksek çözünürlük elde edilmiştir (Baumbauh, 1996).

Astrofizik alanında CRIS ve TIGER deneylerinde başarıyla kullanılmış olmaları, sintilatör fiberlerin geliştirilerek geleceğe yönelik uygulamalarına katkıda bulunmuştur. Günümüzde astrofizik alanında sintilatör fiberlerin kullanıldığı projeler geliştirilmektedir. Bu projelerde sintilatör fiberlerin gerek nötron dozimetrisi için gerekse galaktik kozmik ışınların araştırılmasında iz dedektörü olarak kullanılmaları tasarlanmaktadır.

Tüm bu gelişmeler ışığında sintilatör fiberlerin tıbbî fizik alanında örneğin gama ışın veya pozitron yayılım tomografisinde kullanılmasının büyük bir yenilik olacağı düşünülmektedir. Yalnızca mükemmel uzaysal çözünürlük değil aynı zamanda günümüzde kullanılan metodların maliyetleri açısından da sintilatör fiberlerin kullanımı umut vericidir. Bu nedenle 90'lı yılların ortalarında CERN, Amerika Enerji Departmanı (DOE) ve Avrupa Topluluğu sponsorluğunda, Çek Cumhuriyeti, Fransa, İtalya, Japonya, Rusya, İsveç, Türkiye ve Amerika Birleşik Devletlerindeki bilim adamları ileri teknoloji endüstrileri ile işbirliği yaparak Ar&Ge projeleri çerçevesinde, ışık yayan fiberler ve bu fiberlerden elde edilen ışık

sinyallerinin tespiti alanında çalışmaya başlamışlardır. İlk amaç sintilatör fiber dizinlerinin veri kaydının yapıldığı fotoçoğaltıcı tüplerin verimliliklerinin artırılması ve dolayısıyla bunların değişik uygulamalar için daha işlevsel ve esnek olmalarını sağlamaktır. Bu Ar&Ge projeleri çerçevesinde dinod teknolojisindeki ince kafes tekniğinin geliştirilmesi ile PMT teknolojisine yeni boyutlar katılmıştır: pozisyon duyarlılığı ve manyetik alanlara dayanıklılık. Bu gelişmeler ışığında projeye dahil olan ülkelerde geliştirilen prototipler, endüstri ile işbirliği içerisinde test edilmiş ve bu prototiplerin sintilatör fiber dizinleri ile olan performansları CERN, FNAL ve BNL'deki (Brookhaven National Laboratory) test hüzmeleri ile araştırılıp geliştirilerek önemli gelişmeler sağlanmış ve metal düzlemli minyatür PMT'ler piyasaya sürülmüştür. Bu teknoloji üzerindeki Ar&Ge çalışmaları biyomedikal ve madde yapısı araştırmaları için X-ve gama ışını sayımına dayalı fiber ve kristal matrislerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Değişik ülkelerde farklı araştırma alanlarında yürütülen çalışmaların birleştirilip biyolojik, medikal araştırmalar ve klinik teşhis için teknoloji transferinin sağlanması amacıyla fiber+PSPMT dayalı görüntüleme cihazlarının geliştirilmesi için Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı'na sunulmak üzere hazırlanmakta olan bir proje önerisi çalışmasına Çukurova Üniversitesi deneysel yüksek enerji fiziği grubu da katılmaktadır.

KAYNAKLAR

- ADEVA, B. ve ark., 1994. Lifetime Measurement Of $\pi^+\pi^-$ Atoms To Test Low Energy QCD Predictions. CERN/SPSLC 95-1
- ALLEMAND, L.R. ve ark., Nucl. Instr. and Meth. A 225 (1984) 522
- AMBROGIANI, M., ve ark., 1998. The E835 Scintillating Fiber tracking dedector. Nuclear Physics B (Proc.Suppl.) 61B: 384-389
- ANNIS, P. ve ark., 1995. Performance And Calibration Of The CHORUS Scintillating Fiber Tracker And Opto-Electronics Readout System. Nucl. Instr. and Meth. A 367: 367-371
- ANRAKU, K. ve ark., 2002. The CALET Calorimetrik Electron Telescope, Mission For International Space Station. Nuclear Physics B (Proc.Suppl.) 113: 103-110
- ATAC, M., 2000. Instrumentation in Elementary Particle Physics. Ed. S. Kartal, AIP Conference Proceedings 536, Melville, New York, 1-405
- _____, 2002. Lecture on Scintillating Fibers. Workshop on First Regional ICFA Instrumentation School. (not published)
- ATLAS Technical proposal, CERN/LHCC 94-43, 1994
- AUBERT B: ve ark., 1991. Performance Of A Liquid Argon Electromagnetic Calorimeter With An "Accordion" Geometry. Nucl. Instr. And Meth. A 309: 438-449
- BLUMENFELD, H. ve ark., Nucl. Instr. and Meth. A 225 (1984) 518
- BORENSTEIN, S.R. ve ark., 1982. Scintillating Optical Fibers for Fine Grained Hodoscopes. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-29: 402
- BROSS, A., 1986. Properties Of New Scintillator Glasses And Scintillating Fibers. Nucl. Instr. and Meth. A 247: 319-326
- CMS Technical Proposal, CERN/LHCC 94-38, 1994
- DESALVO, R., 1995. Lead/Scintillating Fibre (Spaghetti) Calorimetry. Nuclear Physics B (Proc.Suppl.) 44: 122-131

- D'AMBRISO, C. ve ark., 1991. Reflection Losses In Polystyrene Fibers. Nucl. Instr. and Meth. A 306: 549-556
- _____, 1995. First Beam Exposures Of A Scintillating Fibre Tracker Read Out By An ISPA-Tube. Nucl. Instr. And Meth. A 359: 1-4
- ESKUT, E. ve ark., 1997. The CHORUS Experiment To Search For $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ Oscillation. Nucl. Instr. And Meth. A 401: 7-44
- GALLAS, M. ve ark., 2002. First level trigger og the DIRAC experiment. Nucl. Instr. And Meth. A 479: 407-411
- GYS, T. ve ark., 1995. A New Position-Sensitive Photon Detector Based On An Imaging Silicon Pixel Array (ISPA-tube). Nucl. Instr. And Meth. A 355: 386-389
- HINTERBERGER, F. ve ark., 1999. A Helical Scintillating Fiber Hodoscope. Nucl. Instr. And Meth. A 431: 428-436
- JETSET Collaboration PS2002 CERN/PSCC 86-23 (1986)
- JETSET collaboration PS202 CERN/PSCC 86-23 (1986)
- JORAM, C., 2002. CERN Summer Student Lectures. Particle Dedectors (not published)
- KIM, B.J. ve ark., 2002. Tracking Performance Of The Scintillating Fiber Dedector In The K2K Experiment. Hep-ex/0206041 V 1:1-24
- KLARMANN, J. ve ark., 1998. Scintillating Optical Fibers In Astrophysics Research. Nuclear Physics B (Proc.Suppl.) 61B: 378-383
- LEE-FRANZINI, J. ve ark., 1995. Consruction Performance Of The Lead-Scintillating Fiber Calorimeter Prototypes For The KLOE Dedector. Nucl. Instr. and Meth. A 354: 352-363
- LEUTZ, H., 1995. Scintillating fibers. Nucl. Instr. And Meth. A 364: 422-448
- LEO P., 1994. Techniques For Nuclear And Particle Physics. Springer-Verlag, Germany, 1-371
- MACRI, J.R. ve ark., 1999. A Scintillating Plastic Fiber Tracking Detector For Neutron And Proton Imaging And Spectroscopy. Nucl. Instr. And Meth. A 422: 49-53

- POTTER, D.M. ve ark., IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-29 (1982) 421
- PRUNEAU, C.A. ve ark., 1998. The E864 Lead-Scintillating Fiber Hadronic Calorimeter. Nucl. Instr. And Meth. A 406: 227-258
- REBOURGEARD Ph. ve ark., 1999. Fabrication And Measurements Of Plastic Scintillating Fibers. Nucl. Instr. and Meth. A 427: 543-567
- RIELAGE, K. ve ark., 2001. Characterization of a multianode photomultiplier tube for use with scintillating fibers. Nucl. Instr. And Meth. A 419: 149-160
- RUCHTI R, ve ark., 1983. Scintillating Glass, Fiber-Optic Plate Detectors For Active Target And Tracking Applications In High-Energy Physics Experiments IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-30: 40
- _____, 1995. Tracking With Scintillating Fibers. Nuclear Physics B (Proc.Suppl.) 44: 308-319
- _____, 1996. The Use of Scintillating Fibers For Charged-Particle Tracking. Annu.Rev.Part.Sci. 46: 281-319
- TERASAWA K, ve ark., 2001. Scintillating fiber camera for neutron dosimetry in spacecraft. Nucl. Instr. And Meth. A 457: 499-508
- TORIİ S, ve ark., 2000. The Balloon-Borne Electron Telescope With Scintillating Fibers (BETS). Nucl. Instr. And Meth. A 452: 81-93
- WAYNE, M.R., 1997. Visible Light Photon Counters and The D0 Scintillating Fiber Tracker. Nucl. Instr. And Meth. A 387: 278-281
- WEBER, M. ve ark., 1997. The H1 Lead/Scintillating Fiber Calorimeter. Nucl. Instr. and Meth. A 386: 397-408
- ZANELLA, G. ve ark., 1996. Scintillating Optical Fibers in Mammography. Nucl. Instr. And Meth. A 382: 567-572

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta, lise ve fizik dalındaki üniversite öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 1995 yılında üniversiteden mezun olduktan sonra Şanlıurfa’nın Birecik ilçesindeki Bağlarbaşı İlköğretim Okulunda öğretmenlik ve yöneticilik yaptı. 1999 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak akademik yaşamına ilk adımını attı. Halen Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir.

