



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HF PMT'LERİNDE TERMAL NÖTRON
ETKİLEŞMELERİNİN İNCELENMESİ**

SERAP DOLMA
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı

Danışman
Prof.Dr. K.Gediz AKDENİZ

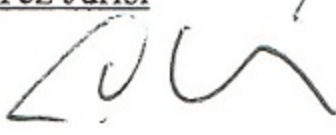
II.Danışman
Prof.Dr. Ramazan SEVER

Ocak,2012

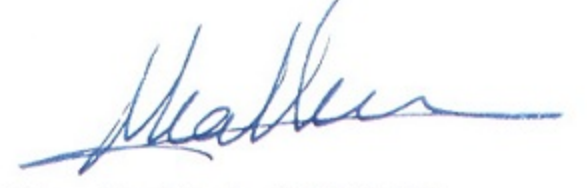
İSTANBUL

2601080404 Öğrenci numaralı Serap DOLMA tarafından hazırlanan bu çalışma 27/01/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. K. Gediz AKDENİZ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Nevin KALKAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Hasan TATLIPINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Deniz Değer ULUTAŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Yar. Doç. Dr. Zeynep ÇİÇEK ÖNEM
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada ve yüksek lisans eğitimim sırasında desteğini eksik etmeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. K. Gediz Akdeniz'e ve ikinci danışmanlığımı kabul eden yardım ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Ramazan Sever'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan Sayın Yar. Doç. Dr. Ferhat Özok'a, yardımlarından dolayı Sayın Sercan Şen'e teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca dostluklarına destek ve yardımlarına minnettar olduğum Yar. Doç. Dr. Alper Dizdar, Erdal Çatak, Onur Buğra Kolcu, Savaş Birol ve Hüseyin Uysal'a çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca yanımda olan, maddi manevi desteklerini eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ocak,2012

Serap DOLMA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
SEMBOL LİSTESİ	v
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI (LHC)	2
2.2. LHC FİZİK ÇALIŞMALARI	3
2.3. CMS DENEYİ	5
2.3.1. İz Sürücü Detektörler (Tracker)	6
2.3.3. Piksel Tracker	7
2.3.3. Şerit Tracker	8
2.3.4. Elektromanyetik Kalorimetre (ECAL).....	9
2.3.5. Hadronik Kalorimetre (HCAL).....	11
2.3.6. Magnet Sistemi.....	18
2.3.7. Müon Detektör Sistemi.....	18
2.3.8. Data Toplama ve Tetikleme (Trigger) Sistemleri.....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM	23
3.1. FOTOÇOĞALTICI TÜPLER (PMT)	23
3.1.1. Foto Katot	24

3.1.3. Anot	25
3.1.3. Anot	26
3.1. HF PMT'LERİ	26
4. BULGULAR	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	40
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: CERN Hızlandırıcı Kompleksi.....	3
Şekil 2.2	: LHC ve Deneyler.....	4
Şekil 2.3	: CMS Detektörü	6
Şekil 2.4	: CMS Detektörü Tracker Sistemi	7
Şekil 2.5	: CMS Piksel Detektörü.....	8
Şekil 2.6	: Silikon Şerit Detektör Sistemi	9
Şekil 2.7	: ECAL Kristallerinin görünüşü	10
Şekil 2.8	: Elektromanyetik Kalorimetrenin 3 boyutlu görseli	11
Şekil 2.9	: Elektromanyetik Kalorimetrenin Geometrik Yapısı	11
Şekil 2.10	: CMS HCAL Detektörü (1/4 lük bölümü)	12
Şekil 2.11	: HO Kalorimetresi'nin (a) Yanlamasına (b) Uzunlamasına kesiti.....	16
Şekil 2.12	: HE Kalorimetresi Görünüşü	16
Şekil 2.13	: HF Kalorimetresi Fiberlerinin Görüntüsü	17
Şekil 2.14	: Müon Detektör Sistemi(1/4 Kesiti)	19
Şekil 2.15	: Bir Sürüklenme Odası (DT) Şeması.....	20
Şekil 2.16	: CMS Level-1 Trigger Sistemi	21
Şekil 2.17	: Data Toplama Sistemi	22
Şekil 3.1	: Fotoçoğaltıcı Tüp Yapısı	23
Şekil 3.2	: İkincil Elektron Yayan Bir Dinotun Modeli.....	25
Şekil 3.3	: ^{10}B ve ^{11}B için Nötron Enerjisinin bir fonksiyonu olarak Nötron Emilimi kesitleri.....	29
Şekil 3.4	: Nötron testleri için kullanılan test düzeneği şeması.....	30
Şekil 4.1	: 24 saatlik HPGe detektör ölçümleri esnasında altın folyodan dışarı verilmiş gama spekturumu ekran çıktısı	32
Şekil 4.2	: Ani nötron artışının osiloskop görüntüsü	33
Şekil 4.3	: Her kutunun 0.1 pC yüke karşılık gelen Hamamatsu R7600 PMT' lerin ADC yük dağılımı	34
Şekil 4.4	: 10^5 kazanımda Hamamatsu R7525-HA PMT'nin ADC yük Dağılımı	35
Şekil 4.5	: Hamamatsu R7600 PMT'leri kullanımı kesildikten önce ve sonra ADC yük dağılımı	36
Şekil 4.6	: Nötron testleri için kullanılan test düzeneği şeması.....	36
Şekil 4.7	: R7525 ve R7600 PMT'lerden ^{90}Sr ve AmBe kaynağı ile alınan verilerin sinyal dağılımı (moderatör+kurşun zırh)	37
Şekil 4.8	: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller(Moderatör+Kurşun)	38
Şekil 4.9	: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Moderatör+Kurşun zırh Olmadan).....	39
Şekil 4.10	: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Sadece Kurşun zırh)	39
Şekil 4.11	:PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Sadece Moderatör) ...	39

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: ϕ - η ve Derinlik Birimlerine göre HCAL Kulelerinin Boyutları	14
Tablo 4.1	: PMT lerin Tipik Özellikleri	27

SEMBOL LİSTESİ

η	: azimutal açı
ϕ	: psedurapidite
X_0	: Moliere yarıçapı
n	: kırılma indisi
β	: parçacık hızı
T	: tesla
P_T	: dikine momentum
HLT	: yüksek seviye tetikleme
$L1$	: birinci seviye tetikleme

ÖZET

HF PMT'LERİNDE TERMAL NÖTRON ETKİLEŞMELERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışma, borosilica camlı PMT'ler ile termal nötron bor etkileşimi tarafından üretilen sinyallerin hızı ve boyutunu araştırmakta ve yeni PMT'ler ile karşılaştırılmalarını yapmaktadır. Ayrıca CERN'de yapılan LHC ve LHC deneyleri (ATLAS, CMS, LHCb ve ALICE) kısaca tanıtılacaktır. HF detektörünün yapısı ve kullanılan PMT'ler hakkında bilgi verilecektir. HF'de gözlenen anormal olaylar tanımlanacak ve nötronların PMT camlarına çarpması sonucu gözlemlenebilecek olaylar tartışılacaktır. Deneyde yapılan nötron testleri anlatılacak kullanılan yöntem ve araçlar tanıtılacaktır.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THERMAL NEUTRON INTERACTIONS ON HF PMTS

This study investigates the rate and the size of the signals generated by thermal neutron boron interaction in borosilica window PMTs, comparisons are researched with the new PMT's. In addition, the LHC and LHC experiments (ATLAS, CMS, LHCb and ALICE) settled in CERN will be introduced. Informations about HF detector structure and PMT are given. Abnormal events that can be observed from HF detector are defined and neutrons colliding to PMT's windows are discussed. The methods which are used in the experiment, and the neutron tests will be explained.

1. GİRİŞ

İsviçre'nin Cenevre kentinde kurulmuş olan CERN'de (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) yapılan LHC (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) 27km uzunluğunda ve çapı 3.8 kilometredir. LHC deneylerinde veri alımına 2009 yılında başlanılmıştır. 2009 yılından bu yana kütle merkezi enerjisi 7 TeV olan p-p (proton-proton) çarpışmaları sırasında ortaya çıkacak olan çevresel etkilerin kullanılan detektör sistemlerinde olan etkilerinin bilinmesi ve incelenmesi yapılan çalışmaların sağlıklı olabilmesi açısından önemlidir. LHC deneylerinden biri olan CMS (Kompakt Müon Selenoidi) deneyinde HF'de (İleri Hadron Kalorimetresi) PMT (Fotoçoğaltıcı Tüpler) kullanılmaktadır. LHC deneylerinde p-p çarpışmaları sonucunda İleri kalorimetredeki etkilerinin incelenmesi yapılacak fizik çalışmaları için önem arz etmektedir. Bu çalışmada HF'de kullanılan PMT'lerin termal nötronlarla etkileşmesi incelenmiştir. CMS'de yapılması planlanan geliştirme yenileme çalışmalarında kullanılması düşünülen yeni PMT'ler ile karşılaştırması yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

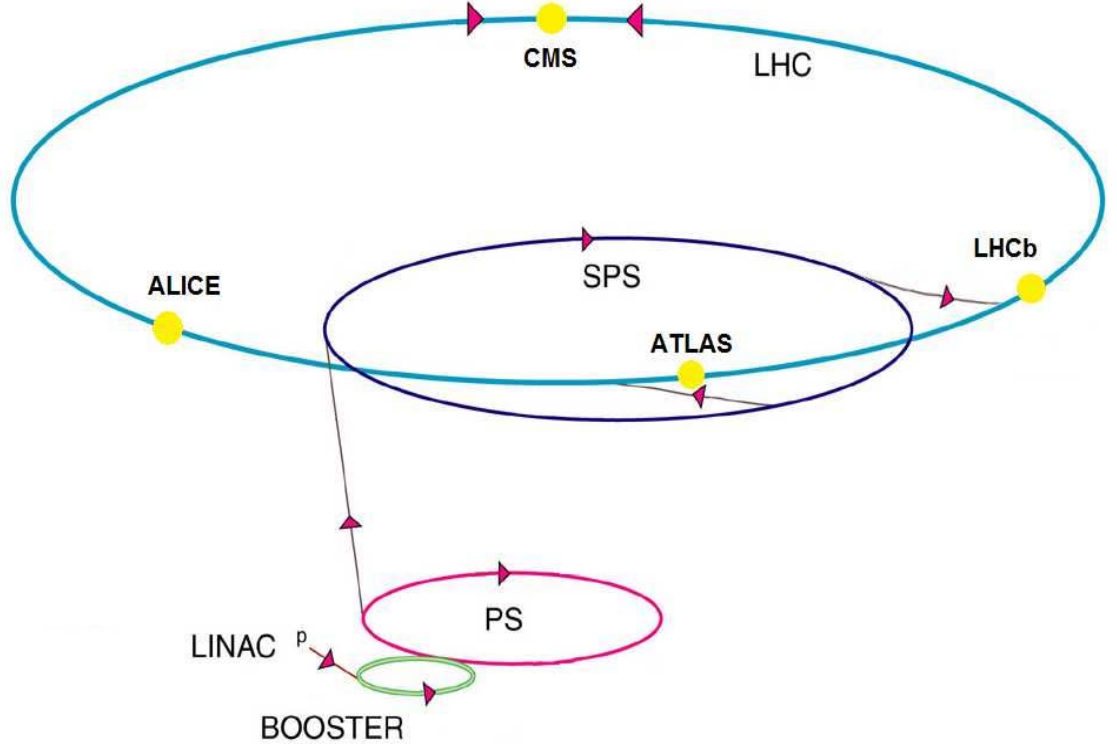
2.1. BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI (LHC)

Yüksek Enerji Fiziği , maddeyi oluşturan temel parçacıkları ve bu parçacıklar arasındaki etkileşmeyi inceleyen bir bilim dalıdır. Dünya'nın en önemli Yüksek enerji Fiziği merkezlerinden biri olan CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) İsviçre-Fransa sınırında Cenevre kenti yakınlarında bulunmaktadır.

CERN'de bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) , yerin 100 m altında çevresi 27 km uzunluğunda daha önceden kullanılmış Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı (LEP) tünellerine kurulmuştur. LHC 2008 yılının sonlarına doğru Standart Modelin (SM) ötesindeki fizik konularını araştırmak için çalışmaya başlamıştır. LHC'nin planlanan tam çalışma kapasitesi , kütle merkezi enerjisi ($\sqrt{s} = 14\text{TeV}$) proton-proton (p-p) çarpışmaları , zıt yönde hareket eden 7'şer TeV enerjiye sahip proton demetleri çarpıştırılarak sağlanacaktır. LHC de 2009 yılında 900 GeV kütle merkezi enerjili çarpışma verileri alınmış olup 2010 yılında 3,5 GeV enerjiye sahip proton demetleri 7 GeV kütle merkezi enerjisine sahip çarpışma verileri alınmıştır. Kademeli olarak 10 TeV kütle merkezi enerjisine çıkılarak tam kapasite çalıştırılacaktır. Ayrıca LHC de kurşun-kurşun (Pb-Pb) çalışmaları da gerçekleştirilmektedir.

LHC'de parçacık demetlerini dairesel yörüngede tutabilmek için 19°K sıcaklığında çalışacak 8.33T 'lık 1232 süper iletken dipol magnet kullanılmaktadır. Protonları yüksek enerjilere hızlandırmak için , öncelikle doğrusal hızlandırıcıda (LINAC) 50 MeV'e Booster de 1.4 GeV'e, Proton Sinkrotronunda (PS) 25 GeV'e ve Süper Proton Sinkrotronunda (SPS) 450 GeV'lik enerjiye ulaşarak LHC ye aktarılacaktır. LHC çemberinde proton demetleri 8 adet Radyo Frekans Kavitesi (RF) kullanılarak 7 TeV 'lik enerjiye ulaştırılacaktır. Bu işlem proton demetlerinin enerjilerinde 400 MHz salınımlarla 55 mV/m lik elektrik alan altında LHC deki her bir tur için 16 MeV'lik artışlarla sağlanacaktır. Her proton demeti 7.5 cm uzunluğunda olup içerisinde yaklaşık 10^{11} proton bulunur ve demetin etkileşme noktası enine genişliği 15 μm 'dir.

LHC de gözlemlenebileceği öngörülen bilgilere ulaşılabilmesi için etkileşme oranlarının yeterince yüksek olması gerekmektedir. LHC'de ilk birkaç yıl düşük ışınlılıkta ($L=2 \times 10^{33} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) çalıştıktan sonra $L=10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ değerine çıkılması planlanmaktadır. Yüksek ışınlılıkta yaklaşık 10^{11} proton taşıyan proton demetleri her 25ns de bir çarpıştırılacaktır.



Şekil 2.1: CERN Hızlandırıcı Kompleksi

2.2 LHC FİZİK ÇALIŞMALARI

LHC üzerinde dört ayrı çarpışma noktasına yerleştirilmiş dört deney bulunmaktadır.

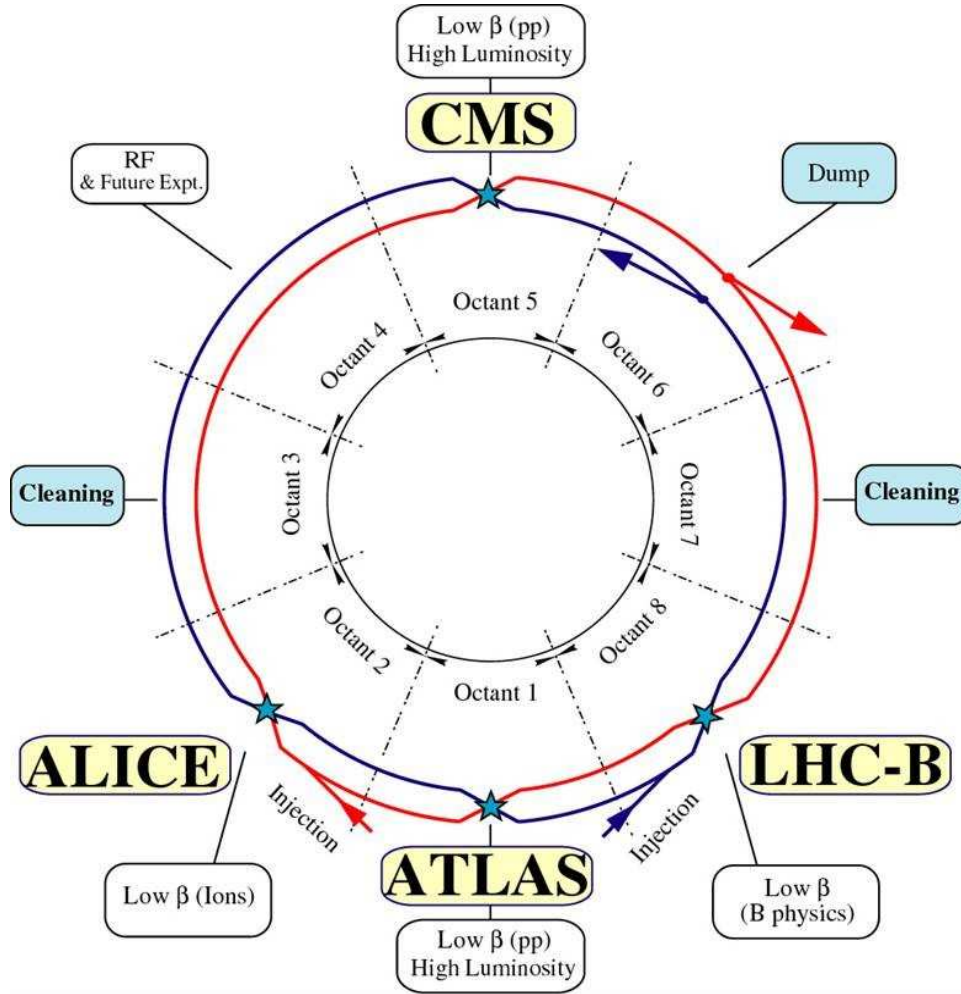
Bu deneyler ;

- ATLAS (A Torodial LHC Apparatus)
- ALICE (A Large Ion Collider Experiment)
- CMS (Compact Muon Selenoid)
- LHCb (LHCb physics experiment)

ATLAS ve CMS, çok amaçlı detektörlerdir. Elektro-zayıf simetri kırınımı ve kütlenin kaynağı başta olmak üzere standart model (SM) ve ötesi fizik araştırmaları için tasarlanmışlardır.

ALICE, ağır iyon çarpışmalarında çok yüksek yoğunlukta oluşması beklenen kuark-gluon plazması yapısı üzerine çalışmalar için tasarlanmıştır.

LHCb deneyi ise b mezon sektöründe CP (yük eşleniği- Parite) kırınım etkilerini inceleyecektir.



Şekil 2.2: LHC ve Deneyler

LHC'de bu deneylerden başka iki farklı deney daha bulunmaktadır.

- TOTEM(TOTAL Elastic and diffractive cross section Measurement)
- LHCf(LHC Forward experiment)

TOTEM detektörü CMS detektörünün yakınlarına konumlandırılmıştır ve proton-proton etkileşiminin tesir kesitini %1 duyarlılıkla ölçebilmeyi amaçlamaktadır.

LHCf detektörü ise ATLAS detektörünün yaklaşık 140 m ilerisine yerleştirilmiştir ve p-p çarpışmalarında üretilen π^0 tesir kesitini yüksek psedurapiditelerde hesaplayarak, yüksek enerjilerdeki kozmik ışınımın atmosferdeki saçaklanmalarını modelleyebilmek için gereken bilgileri sağlayacaktır.

2.3. CMS DENEYİ

CMS detektörü azimutal simetriye sahip silindirik bir şekle sahiptir. 21.6 m uzunluğunda, çapı 14.6 m ve toplam ağırlığı 14500 tondur.

CMS deneyinin araştırma spektrumunu oldukça genişler. Standart Model'in öngördüğü Higgs parçacığının deneysel olarak test edilmesi, SUSY parçacıklarının keşfi, karanlık enerji ve karanlık madde problemleri, madde-antimadde eşitsizliği CMS deneyinde araştırılacak olan başlıca konulardır. Ayrıca LHC de yapılacak olan kurşun-kurşun (Pb-Pb) çarpışmalarında ağır iyon fiziği çalışmaları yapılabilecektir.

CMS detektörü, herbiri etrafında eşmerkezli tabakalar halinde yerleştirilmiş birkaç alt detektörden oluşan gelişmiş bir detektördür. CMS detektörü içten dışa başlayarak, manyetik alan altındaki yüklü parçacıkların izlerinin ve momentumlarını ölçebilecek silikon piksel ve iz sürücü (tracker) detektörleri, elektron ve fotonların enerji ve momentumlarını hesaplayabilecek Elektromanyetik Kalorimetre (ECAL) onu takiben güçlü etkileşim parçacıklarının enerji ve momentumlarını ölçebilecek Hadronik Kalorimetre (HCAL), yüklü parçacıkların saptırılmasını sağlayacak olan Süper İletken Selenoid ve son olarak müonların belirlenmesi ve müonların momentumlarının hesaplanabilmesi için Müon Detektörlerinden oluşmuştur.

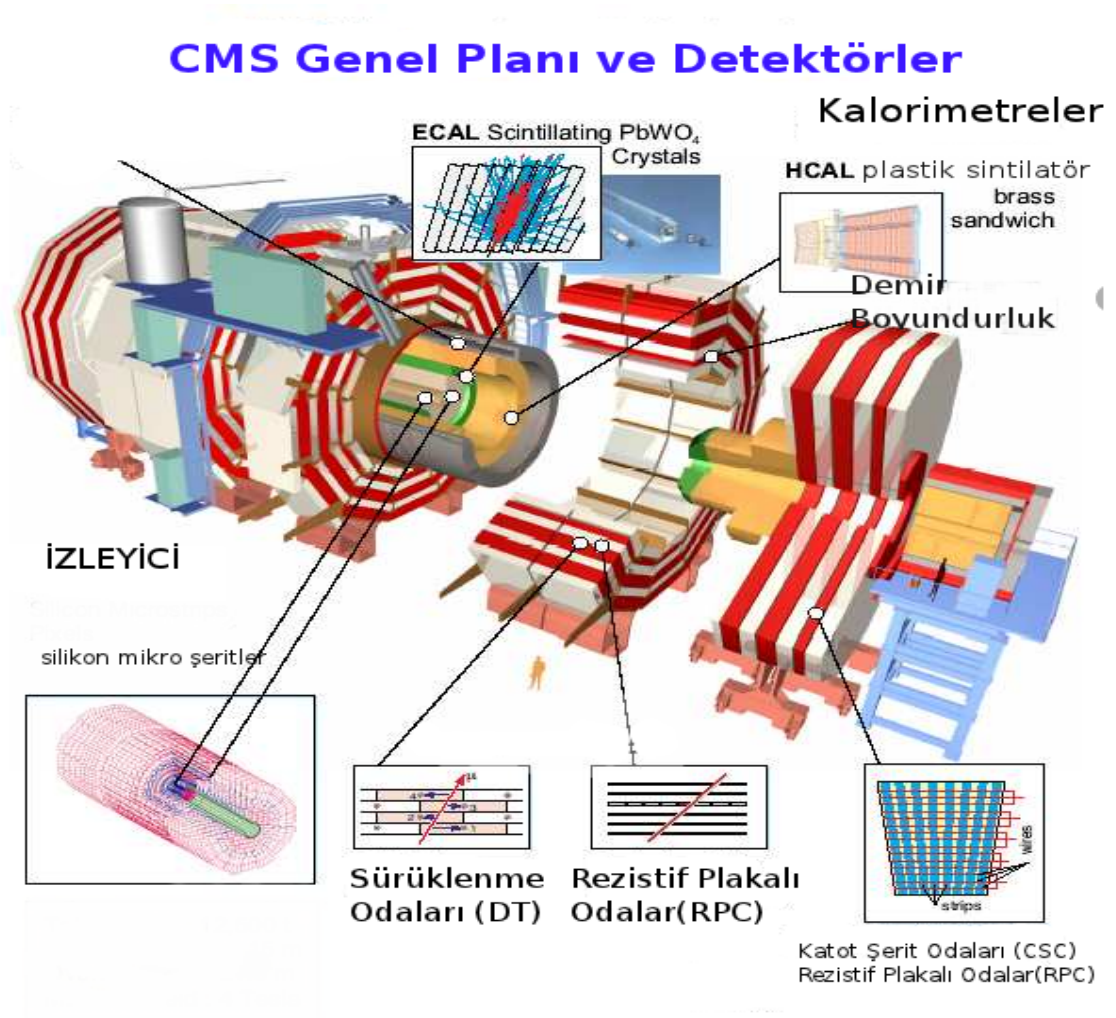
CMS referans çerçevesinde; x-ekseni çarpıştırıcı merkezine, z-ekseni demet eksenine paralel ve y-ekseni x ve z eksenlerine dik olarak seçilmiştir. Ayrıca z-ekseni ile olan kutup açısı θ ve y-ekseni ile olan azimutal açı ϕ olmak üzere iki açı tanımlanır. Genellikle rapidite yerine psedurapidite (η) kullanılmaktadır.

$$\eta = -\ln(\tan(\theta/2)) \quad (2.1)$$

Psedurapidite y rapiditesinin bir yaklaşımıdır ve rapidite aşağıdaki denklem ile belirtilir.

$$y = \ln\left(\frac{E + P_z}{E - P_z}\right) \quad (2.2)$$

Burada E, parçacığın enerjisi ve P parçacığın momentumunu belirtir.

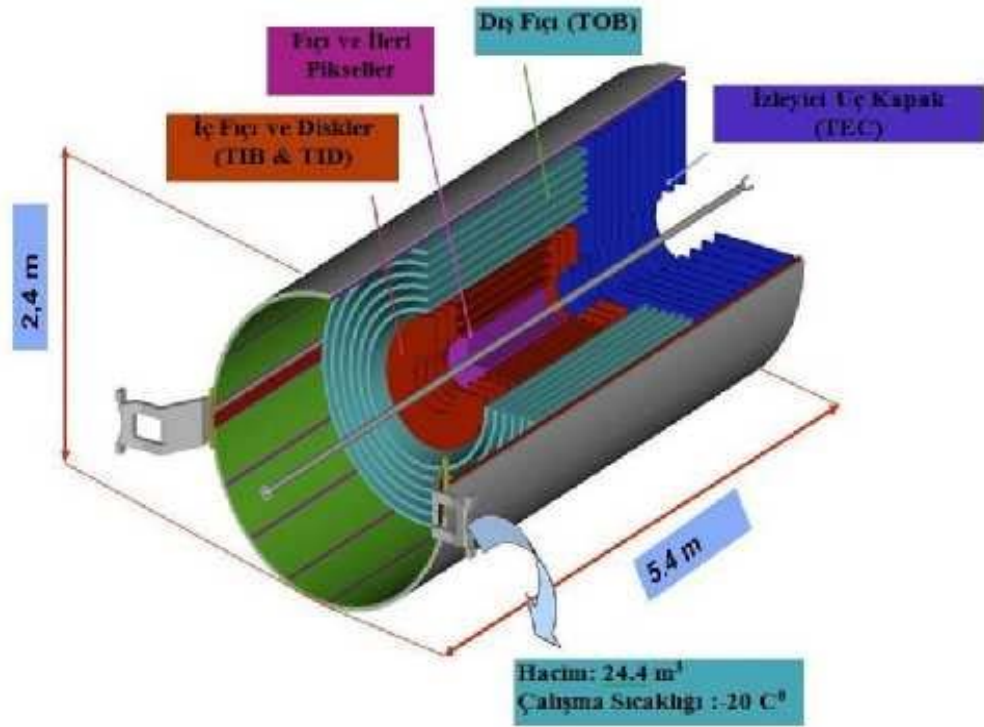


Şekil 2.3: CMS Detektörü

2.3.1 İZ SÜRÜCÜ DETEKTÖRLER (TRACKER)

CMS detektörünün en iç kısmında $-2.5 < |\eta| < 2.5$ rapidite aralığında bulunan İz Sürücü detektörünün amacı, etkileşme noktasına zıt yönlerde gelen parçacıkların momentumlarını silikon sensörler (piksel ve şerit) yardımıyla ölçerek bu parçacıkların izlerini belirlemek ve etkileşme köşelerini bulmaktır.

Traker sistemi iki kapak (TEC-Tracker End Cap) arasında bulunan Merkezi Silindir kısımlarından oluşur. Merkezi Silindir biriminde ise üç piksel katmanı ve on silikon şerit katman bulunmaktadır. On silikon şerit katmanının dördü Merkezi silindir iç kısmını (TIB-Tracker Inner Barrel) kalan altısı ise Merkezi silindir dış kısmını (TOB-Tracker Outer Barrel) oluşturur.

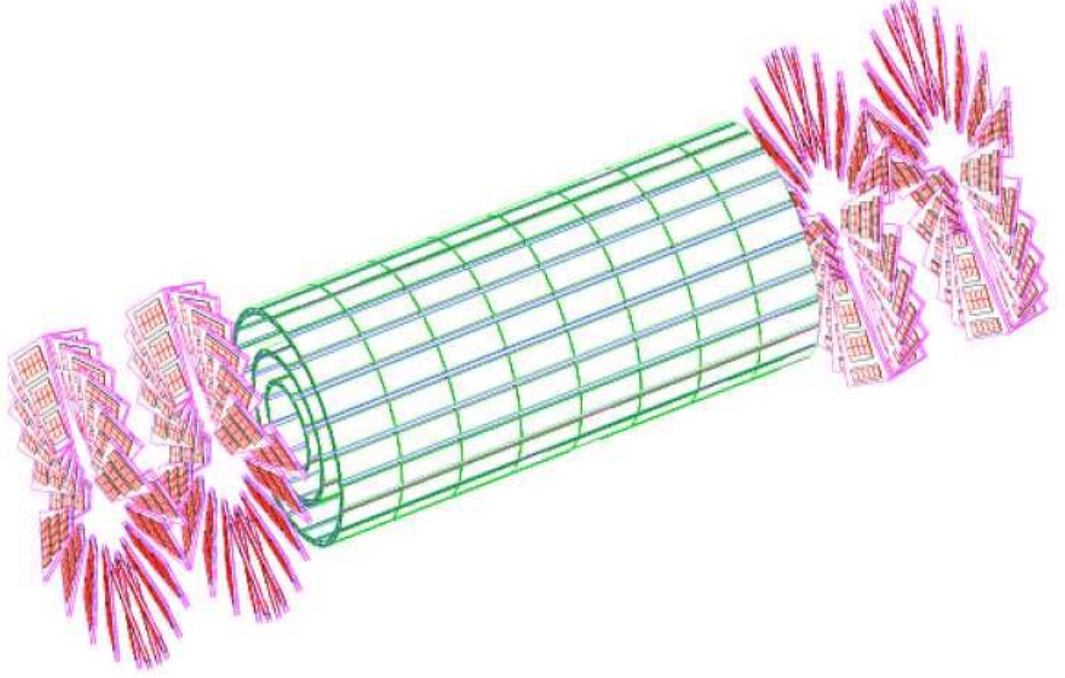


Şekil 2.4: CMS Detektörü Tracker Sistemi

2.3.2 PİKSEL TRACKER

Piksel tracker iki kısımdan oluşur. İlk kısım yarıçapları 4.4 cm, 7.3 cm ve 10.2 cm, etkileşme noktası 53 cm uzunluğunda üç merkezi silindir katmandan oluşmaktadır. Diğer kısım ise iki kapak diskidir. Radyal eksen 6 cm'den 15 cm'ye arttırılacak şekilde merkezi silindirin her iki tarafında $|z|=34.5$ cm ve 46.5 cm olan bölgelere yerleştirilmişlerdir. Köşe çözünürlüğünü en üst düzeye çıkarabilmek için yaklaşık 100x150 mm² boyutlarına sahip 66 milyon piksel, merkezi silindir ve kapaklarda sırasıyla 768 ve 672 piksel modülünden oluşacak şekilde düzenlenmiştir.

Kapak diskler herbir dilimi 20° lik açılarla yerleştirilmiş tribün benzeri bir geometride birleştirilmiştir. Sonuç olarak uzaysal çözünürlük r-j için 10 mm ve z de 20 mm'dir. z de birincil köşe çözünürlüğü yaklaşık 40 mm'dir.

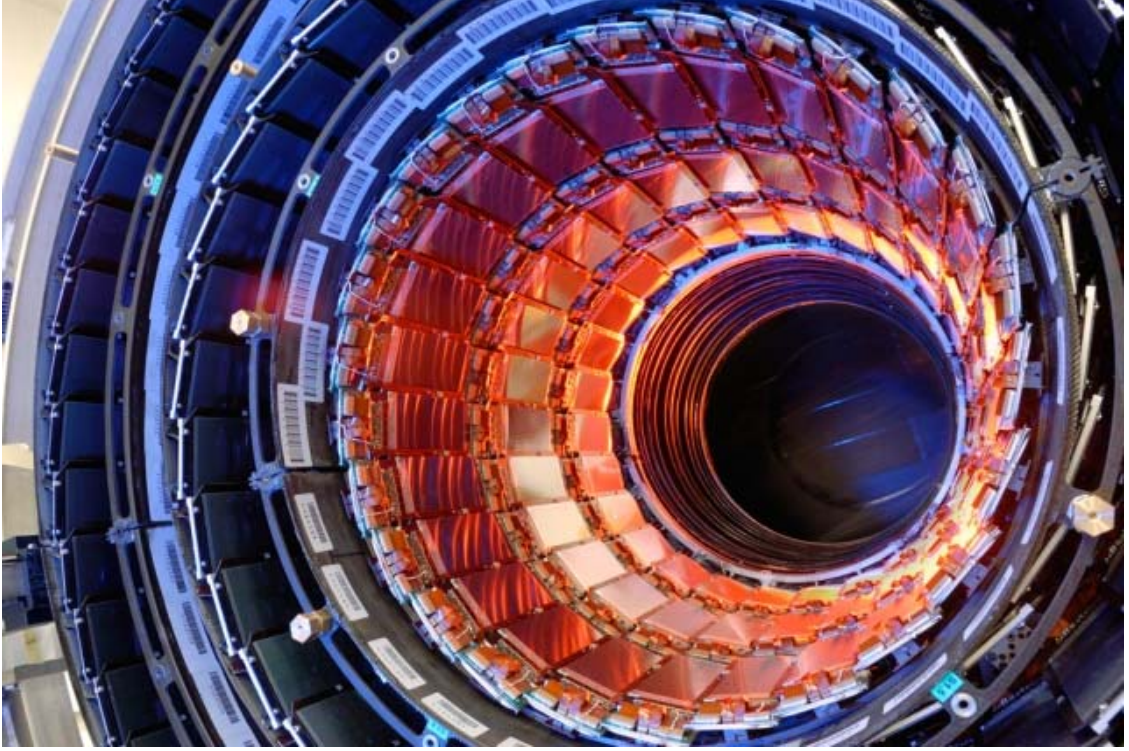


Şekil 2.5: CMS Piksel Detektörü

2.3.3 ŞERİT TRACKER

Şerit Tracker piksel detektörünün dışına yerleştirilmiştir. Bu alt detektör, herbir birimi 512 yada 768 şeritten oluşmuş modüllerden meydana gelmiştir. Silikon şerit tracker yaklaşık 15400 modülden oluşmaktadır. Bu modüller -20°C sıcaklığında çalışabilecek şekilde sıcaklık kontrollü karbon-fiber yapı içerisine yerleştirilmişlerdir. Bu trackerda bulunan 9.6 milyon şerit altı bölgeye ayrılmıştır; Merkezi Silindir İç Birimi (TIB), iki İç Disk (TID), Merkezi Silindir Dış Birimi (TOB) ve iki Kapak (TEC).

Silikon şeritlerin uzunluğu yarıçapı 59 cm den küçük olanlar için 11.9 cm ve geri kalanlar için 18.9 cm dir. Uzun şeritlerin kalınlıkları 500 mm, kısa olanların ki ise 320 mm'dir. Silikon şerit detektör $|\eta| < 2.4$ olan bölgeyi kapsamaktadır.



Şekil 2.6: Silikon Şerit Detektör Sistemi

2.3.4 ELEKTROMANYETİK KALORİMETRE (ECAL)

CMS deneyindeki ilk kalorimetre katmanı Elektromanyetik Kalorimetre (ECAL) dir. ECAL, merkezi silindir (EB-ECAL Barrel) ve Kapak (EE-ECAL Endcap) birimlerinin birleşiminden oluşmuştur. EB kısmı $0 < |\eta| < 1.48$, EE kısmı $1.48 < |\eta| < 3.0$ psedurapidite aralığını kapsamaktadır. CMS elektromanyetik kalorimetresi kurşun tungsten kristallerinden (PbWO_4) oluşturulmuştur. Bu kristallerin düşük radyasyon uzunluğuna ($X_0=0.89$), küçük ¹Moliere yarıçapına (2.19 cm) ve yüksek yoğunluğa (8.3 g/cm^3) sahip oluşu kalorimetreye sıkı bir yapı özelliği kazandırılmasında etkili olmuştur. Kalorimetrenin merkezi silindir bölgesinde çarpışma noktasından 1.29 m uzaklığa yerleştirilmiş koniye benzer 61200 adet PbWO_4 kristali vardır ve kalorimetrenin en küçük elemanının boyutu $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.175 \times 0.175$ birimdir. EB 36 eş süper modülden oluşmaktadır.

¹ Bir elektromanyetik duşu dikey genişliği Moliere yarıçapıyla verilir. Kritik enerjideki bir elektronun dikey yöndeki sapmasını ifade eder. (Fabjan ve Gianotti,2003)

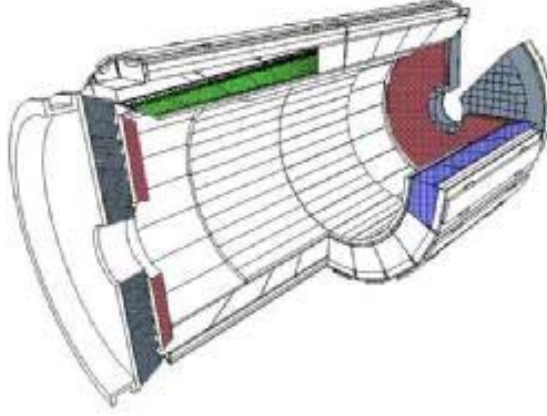
Her modülde ise 1700 kristal bulunmaktadır. Her kristal 0.0174° lik $\Delta\phi$ - $\Delta\eta$ aralığını kapsamaktadır. Yarı dairesel aliminyum destekler içerisine yerleştirilmiş 5x5 kristal birimlerine süper kristal denilmektedir.

Çarpışma noktasından 3.17 m uzaklıkta bulunan kapak kısmında ise çok parçacıklılığı $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.175 \times 0.175$ den $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.05 \times 0.05$ 'e kadar değişen 14648 tane kristal bulunmaktadır.

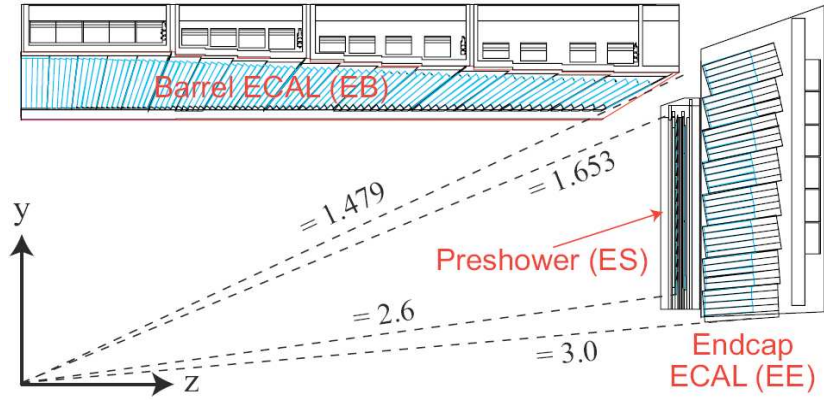


Şekil 2.7: ECAL Kristallerinin görünüşü

Kristaller radyasyona oldukça dayanıklıdırlar ve ışık yayınlama süreleri oldukça kısadır. (25 ns). Kristallerde ışık elde edilme oranlarının görece düşük olmasından dolayı (30g/MeV) yüksek manyetik alanda çalışabilecek, yüksek verimliliğe sahip foto detektörler kullanılmaktadır. EB kısmında çığ foto diyot (APDs- Avalanche Photo Diodes) ve EE kısmında vakum fototriod(VPTs- Vacuum Photo Triodes) kullanılmıştır. CMS Deneyinde ECAL Higgs araştırmalarında önemli bir role sahiptir. ECAL elektromanyetik etkileşen parçacıklara (elektron, pozitron, foton) karşı duyarlıdır ve bu parçacıkların detektörde bıraktıkları enerjileri tam olarak ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.8: Elektromanyetik Kalorimetrenin 3 boyutlu görseli



Şekil 2.9: Elektromanyetik Kalorimetrenin Geometrik Yapısı

2.3.5 HADRONİK KALORİMETRE(HCAL)

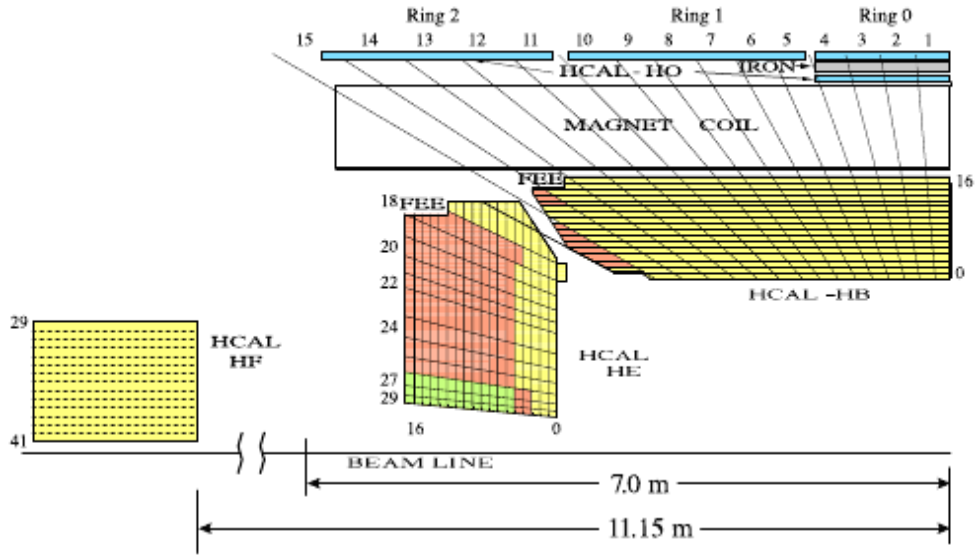
Hadronlara karşı duyarlı olan Hadronik kalorimetre (HCAL) ECAL'ın etrafını saracak şekilde dizayn edilmiştir. HCAL ECAL ile birlikte parçacık jetlerinin enerjilerini ve yönlerini ölçebilecek bir yapıya sahiptir. Görünür dik ve kayıp dik enerji ölçümleri için hermetik bir yapıdadır. HCAL enerji çözünürlüğü dağılımında gaussiyen olmaya kuyruk kısmının minimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için HCAL'ın magnet içerisindeki etkileşme uzunluğu arttırılmış ve magnetin dışına ekstra ısıldayıcı katmanlar yerleştirilmiştir.

HCAL Merkezi Kalorimetre ve İleri Hadron Kalorimetresi (HF) olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur.

- Merkezi Kalorimetre $|\eta| < 3.0$
- İleri Kalorimetre $3.0 < |\eta| < 5.0$ olan bölgeyi kapsamaktadır.

Solenoid içerisinde yer alan 4T'lık manyetik alan içerisine yerleştirilen merkezi kalorimetre kapaklı silindirik yapıdadır. Soğurucu olarak 50 mm kalınlığında bakır plakalar arasına 3.7 mm kalınlığında plastik ısıldayıcılar (sintilatör) yerleştirilmiştir. Plastik ısıldayıcılardan alınan sinyallerin taşınmasında dalga boyu kaydırıcı fiberler (WLS) kullanılmıştır. Merkezi kalorimetre, hadronik merkezi silindir (HB), Hadronik kapak (HE) ve Hadronik dış kalorimetre (HO) birimlerinden oluşmuştur.

- HB kısmı $0 < |\eta| < 1.3$
- HE kısmı $1.3 < |\eta| < 3.0$ olan bölgeyi kapsamaktadır.



Şekil 2.10: CMS HCAL Detektörü (1/4 lük bölümü)

HB, HE ve HO birimlerinde foto detektör olarak çok kanallı hibrit diyotlar (HPDs) kullanılmaktadır. HCAL birimleri, η ve ϕ boyutlarına sahip kulelerden ve bu kulelerden oluşmuş kanallara bölünmüştür.

ϕ ile gösterilen parametre, parçacık demeti doğrultusuna paralel olan z-ekseni ve bu eksene dik x-y düzleminde oluşan 3 boyutlu koordinat sisteminde x-y düzleminde değer alan bir parametredir. η psedurapidite ise ;

$$\eta = -\ln[\tan(\theta/2)] \text{ ile ifade edilir.} \quad (2.3)$$

θ ile gösterilen açı ise z-ekseninden ölçülen açıdır. Bu geometri, detektörün çok parçacıklı yapısını gösterir. Buna göre çok parçacıklı yapıda en küçük detektör elemanının boyutu $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$ birimdir.

Kule indeksi	η aralığı		HCAL Detektör Birimi	Boyut		Derinlik Sayısı
	düşük	yüksek		η	ϕ	
1	0.000	0.087	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
2	0.087	0.174	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
3	0.174	0.261	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
4	0.261	0.348	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
5	0.348	0.435	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
6	0.435	0.522	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
7	0.522	0.609	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
8	0.609	0.696	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
9	0.696	0.783	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
10	0.783	0.870	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
11	0.870	0.957	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
12	0.957	1.044	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
13	1.044	1.131	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
14	1.131	1.218	HB,HO	0.087	5°	HB=1,HO=1
15	1.218	1.305	HB,HO	0.087	5°	HB=2,HO=1
16	1.305	1.392	HB,HE	0.087	5°	HB=2,HE=1
17	1.392	1.479	HE	0.087	5°	HE=1
18	1.479	1.566	HE	0.087	5°	HE=2
19	1.566	1.653	HE	0.087	5°	HE=2
20	1.653	1.740	HE	0.087	5°	HE=2
21	1.740	1.830	HE	0.090	10°	HE=2
22	1.830	1.930	HE	0.100	10°	HE=2
23	1.930	2.043	HE	0.113	10°	HE=2
24	2.043	2.172	HE	0.129	10°	HE=2
25	2.172	2.322	HE	0.150	10°	HE=3
26	2.322	2.500	HE	0.178	10°	HE=3
27	2.500	2.650	HE	0.150	10°	HF =2
*28	2.650	3.000	HE	0.350	10°	HE =2
29	2.853	2.964	HF	0.111	10°	HF =2
30	2.964	3.139	HF	0.175	10°	HF =2
31	3.139	3.314	HF	0.175	10°	HF =2
32	3.314	3.489	HF	0.175	10°	HF =2
33	3.489	3.664	HF	0.175	10°	HF =2
34	3.664	3.839	HF	0.175	10°	HF =2
35	3.839	4.013	HF	0.174	10°	HF =2
36	4.013	4.191	HF	0.178	10°	HF =2
37	4.191	4.363	HF	0.172	10°	HF =2
38	4.363	4.538	HF	0.175	10°	HF =2
39	4.538	4.716	HF	0.178	10°	HF=2
40	4.716	4.889	HF	0.173	20°	HF=2
41	4.889	5.191	HF	0.302	20°	HF=2

Tablo 2.1: η - ϕ ve Derinlik Birimlerine göre HCAL Kulelerinin Boyutları

HB, herbiri 4.3 m uzunluklu iki eşit yarı silindirik birimden oluşmaktadır. İki HB birimi birbirine eş 18 adet herbiri 20° ye karşılık gelen ϕ değerine sahip modüllerden oluşmuştur.

Ayrıca her bir kanal kule olarak isimlendirilen 16 adet η değerine bölünmüştür.

Kalorimetrenin gövdesi bakır alaşımdan oluşurken, iç ve dış plakalar paslanmaz çelikten oluşmaktadır. Modüller parçacık demeti yönüne paralel pirinç soğuruculardan oluşmaktadır. Yapısal direnci arttırmak için ilk ve son soğurucu katman paslanmaz çelikten oluşmaktadır. Soğurucu tabakaların arasına 17 adet plastik ısıldayıcı plaka yerleştirilmiştir.

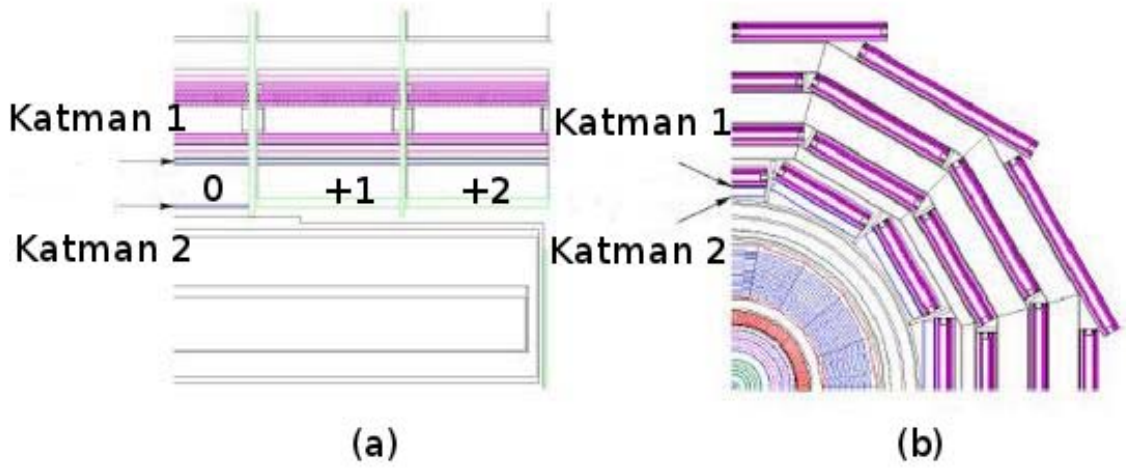
HB katmanının özellikleri;

- 0. Katman → 9 mm ısıldayıcı - 61 mm paslanmaz çelik soğurucu
- 1-8. Katman → 3.7 mm ısıldayıcı - 50.5 mm pirinç soğurucu
- 9-14. Katman → 3.7 mm ısıldayıcı - 56.5 mm pirinç soğurucu
- 15-16. Katman → 3.7 mm ısıldayıcı - 77 mm paslanmaz çelik soğurucu

Herbir ısıldayıcıdan gelen sinyal WLS fiberleri ile uygun dalgaboyuna getirildikten sonra veri okuma sistemine bağlanır.

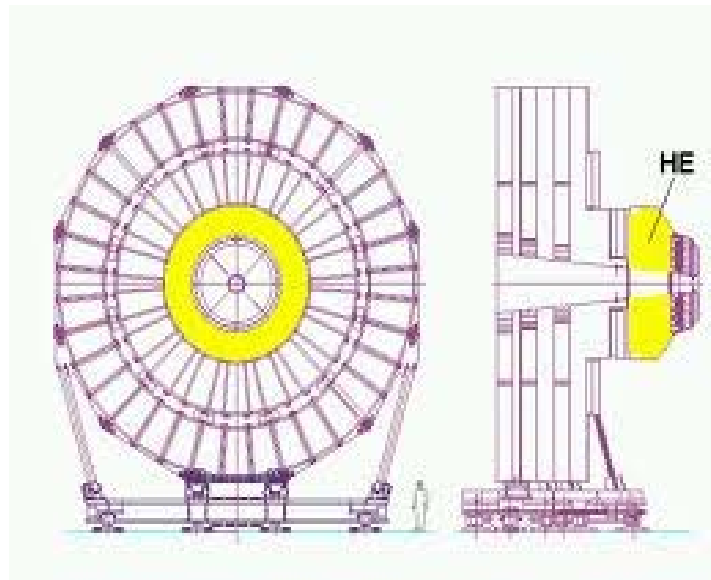
HCAL'ın $\eta=0$ bölgesinde HB'nin kalınlığı hadronik duş için yeterli gelmemektedir. Bu nedenle merkezi silindir kısmında magnet sisteminin dışına ilave olarak iki katman daha eklenmiştir. Bu iki katman ve ara bölgede yer alan aktif ortamdan oluşan kısım Hadronik Dış Yüzey Kalorimetresi (HO) olarak adlandırılır. HO, $|\eta| < 1.26$ olan bölgeyi kapsamaktadır. HO kalorimetresi, aynen müon detektörü ve sarmal mıknatıs gibi halka şeklinde 5 kısımdan oluşmaktadır. -1, -2, 0, +1, +2. Son halkadan (-2) ilk halkaya (+2) gidildikçe η değeri artmaktadır.

HO'da aynen HB'de olduğu gibi x-y düzleminde kanallara ayrılmıştır. Her bir halka x-y düzleminde 12 adet herbiri 30° ye karşılık gelen ϕ değerlerine sahip modüllerden oluşmaktadır. Ayrıca her kanal kendi içerisinde $\phi=5^\circ$ lik 6 dilime ayrılmıştır. HO'da da parçacıkların etkileşeceği aktif ortam olarak plastik ısıldayıcı plakalar kullanılmıştır ve HO'nun iki katmanının arasına yerleştirilmişlerdir.



Şekil 2.11: HO Kalorimetresi'nin (a) Yanlamasına (b) Uzunlamasına kesiti

Hadronik Kapak Kalorimetresi (HE) Hadronik merkezi silindir kalorimetresine oldukça benzer bir kalorimetredir ve HB'nin her bir ucuna yerleştirilmiş iki kapaktan oluşmaktadır. $1.3 < |\eta| < 3.0$ psedurapidite aralığını kapsamaktadır. HE'de birbirine eş 5° lik ϕ değerine sahip kanallar 14 adet η değerine sahip kulelere bölünmüştür.



Şekil 2.12: HE Kalorimetresi Görünüşü

İleri Kısım Hadronik Kalorimetre (HF) etkileşme noktasından 11.2 m uzaklıktadır ve $3.0 < |\eta| < 5.0$ pseudorapidity aralığını kapsamaktadır. HF çelik soğurucu malzeme içerisine yerleştirilen radyasyona dayanıklı fiberlerden oluşmuştur. Fiberler iki farklı uzunluğa sahiptirler. Uzun fiberler 1.65 m kısa fiberler ise 1.43 m uzunluğundadır. Fiberler soğurucu malzeme içerisine 5 mm'lik aralıklarla parçacık demeti yönüne paralel olacak şekilde konumlandırılmışlardır.



Şekil 2.13: HF Kalorimetresi Fiberlerinin Görüntüsü

HF kayıp dik enerjinin ve jetlerin belirlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Kayıp dik enerji ölçümleri, hem üst kuark hemde nötrino içeren kanallardaki SM Higgs araştırmaları için oldukça önemlidir. HF Çerenkov ışığını varlayabilme özelliğine sahip bir kalorimetredir. Kalorimetreye gelen parçacıklar demir soğurucu ile etkileşerek yeni parçacıklar oluştururlar. Bu etkileşmeler parçacıkların enerjisi tükenene kadar devam eder. Art arda devam eden etkileşmelerin sonucu oluşan olayların toplamına parçacık duşu (saçaklanma) denir. Parçacık duşu etkileşen parçacıkların türüne göre elektromanyetik ya da hadronik duş olarak isimlendirilir. Elektromanyetik parçacıklardan oluşan duşa elektromanyetik duş, hadronlardan oluşan duşa ise hadronik duş denilmektedir. Her hadronik duşun içerisinde elektromanyetik bir bileşen bulunmaktadır. HF'de kullanılan uzun ve kısa fiberler farklı Foto çoğaltıcı tüplere (PMT- Photo Multiplier Tubes) bağlanmıştır. Uzun fiberlerin oluşturduğu kanallar için derinlik 1, kısa fiberler için ise derinlik 2 olarak belirlenmiştir. Kısa fiberler soğurucuların 22 cm

içerisine yerleştirilmişlerdir. Uzun fiberler elektromanyetik parçacıkların, kısa ve uzun fiberler ise hadronların bıraktıkları enerjiyi ölçmek için kullanılmaktadırlar.

Elektromanyetik saçaklanmalar genellikle ilk 22 cm içerisinde enerjilerinin büyük bölümünü aktaracağından sinyalleri daha çok uzun fiberler üzerinde gözlemlenir. Hadronik saçaklanmalar ise uzun ve kısa fiberlerin her ikisi üzerinde de gözlemlenebilmektedirler. Saçaklanma oluşumu esnasında fiberlerin içerisinde geçen parçacıkların hızı ışık hızından büyük ise ($v/c > 1/n$) parçacıklar Çerenkov ışıması yaparlar. Oluşan ışınım açısı;

$$\cos\theta = 1/n\beta \text{ ile verilir.} \quad (2.4)$$

(n ; kırılma indisi, β ; Çerenkov ışımasının ışık hızına oranı)

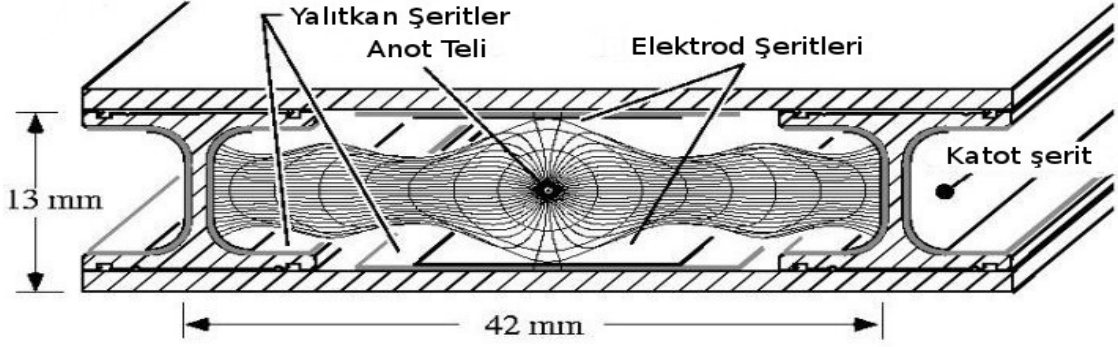
Oluşan ışıma tam yansıma koşulunu sağlayan ışınlar fiber içerisinde tam yansımaya uğrayarak ışık klavuzları yardımıyla fotoçoğaltıcılara ulaşırlar. HPD ya da PMT'lerden alınan analog sinyaller QIE (Charge-Integrator and Encoder) denilen analog sinyalleri, analogdan dijitale çeviren (ADC) elektronik kartlar yardımıyla dijital sinyallere dönüştürürler. QIE'ler içerisinde dört adet kapasitör bulunmaktadır. Bu kapasitörlerde 25 ns periyotlarla gelen yük toplanır. Toplanan yükler detektör için geniş dinamik skalası 7 bit'lik nonlineer dijital sinyallere dönüştürülür.

2.3.6 MAGNET SİSTEMİ

CMS deneyinde magnet olarak 6 m iç çapında, 13 m uzunluğunda süper iletken selenoid kullanılmaktadır. Bu büyük süper iletken selenoid 4T büyüklüğünde homojen manyetik alan üretir. Magnetin ürettiği alan sayesinde yüklü parçacıklar ilk verteksten başlayarak saptırılmaya başlanacak ve müon izlerinin hassasiyetle ölçebilmesi için gerekli olan engelleme gücü sağlanacaktır. Dış hadron kalorimetre dışındaki kalorimetreler ve izleme detektörleri parçacıklar geçerken enerji çözünürlüğü kaybını en aza indirmek için selenoid içinde bulunmaktadır.

2.3.7 MUON DETEKTÖR SİSTEMLERİ

CMS müon sistemi CMS detektörünün dış bölgesinde yer alan müon izleme aracıdır. CMS müon sisteminde müonları belirlemek ve müonların momentumlarının hesaplanabilmesi için üç çeşit detektör bulunmaktadır. Sürüklenme odaları (DT-Drift



Şekil 2.15: Bir Sürüklenme Odası (DT) Şeması

2.3.8 DATA TOPLAMA VE TETİKLEME (TRIGGER) SİSTEMLERİ

Tetikleme ve dataların toplanması, CMS' deki en önemli teknolojik zorluklardan biridir. Her 25 ns saniyede $10^{-34} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ışınlılığa (Luminosity) sahip parçacık demetlerinin (10^{11} Adet protonun) karşılıklı olarak etkileşeceği hesaplanmaktadır. Olayların tümü fiziksel olarak ilginç olmadığı için, karmaşık sistemde ilginç olayları muhafaza edip istenmeyen detayları eleyerek daha detaylı on-line analizlerinin yapılabileceği makul bir orana düşürmek için bir filtre sistemine gerek duyulur.

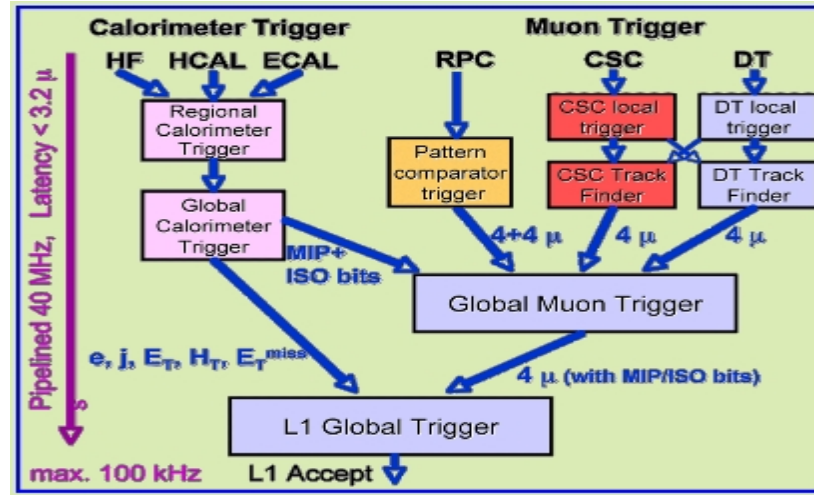
CMS deneyinde bu indirgeme birkaç basamakta yapılabilir ve bu basamaklar “seviyeler” olarak adlandırılır. Her seviyede analiz edilen data miktarı arttırılırken ve daha çok karmaşık algoritma datalara uygulanırken veri büyüklüğü daha fazla indirgenir. Her tetikleyici seviyede uygun adayı bulmak için hızlı ve basit algoritmalar kullanılır. Bunlar, izole edilen ve izole edilmeyen müonlar, elektronlar, fotonlar, merkezi ve ileri jetleri, τ -jet adayları, toplam görünür ve kayıp dikine enerjisidir.

- 1.Seviye tetikleme (L1-Level 1 Trigger) ;

L1 Sistemi CMS deneyi için üretilmiş elektronik sistemlere dayanmaktadır. Veri okuma elektronik sistemlerindeki sistem hafızalarında bütün yüksek çözünürlüklü veriler tutulurken kabaca biçimlendirilmiş kalorimetre ve müon detektörleri verilerini kullanarak işlem yapar. L1 mekanizması detektör üzerindeki ve detektör alanındaki servis bölgesinde bulunan tetikleme elektronik sistemlerinin şeması Şekil 2.19' da gösterilmektedir. Tetikleme sisteminde L1'in seçimine kadar geçecek süre 3.2 ms olarak belirlenmiştir. L1 seçimden sonra olay oranlarının 100 kHz mertebesine düşürülmesi

gerekmektedir. L1 tetikleme sistemine kalorimetre ve müon sistemleri katılmaktadır ve L1 tetikleme kararları belli eşik değerlerinin üzerindeki E_T - P_T değerlerine sahip jet,müon,.. gibi obje adayları ve kalorimetre kümelerinin belirlenmesine bağlıdır. LHC’de 40 MHz’lik frekanslık demet geçişindeki dataları alır ve onu 100 kHz’e kadar indirir. L1 seçimlerinde sadece band genişliğinin 1/3'lük kısmı kullanılırken diğer 2/3'lük kısmı emniyet sınırı olarak kullanılır. Bu seviyede tetikleyici seçimi, müon sistemi ve kalorimetrelerden gelen bilgiler ile yeniden yapılandırılan tetikleyici adaylar ve de olay oranını düşük (yüksek) ışıklılıklarda 100 kHz’e düşürmek için eşik sınırlamaları kullanılarak yapılır.

Bütün datalar 3.2 ms içinde toplanıp işleminden geçirildikten sonra 10 kHz oranında veri Yüksek Seviye Tetikleme Sistemine iletilir.

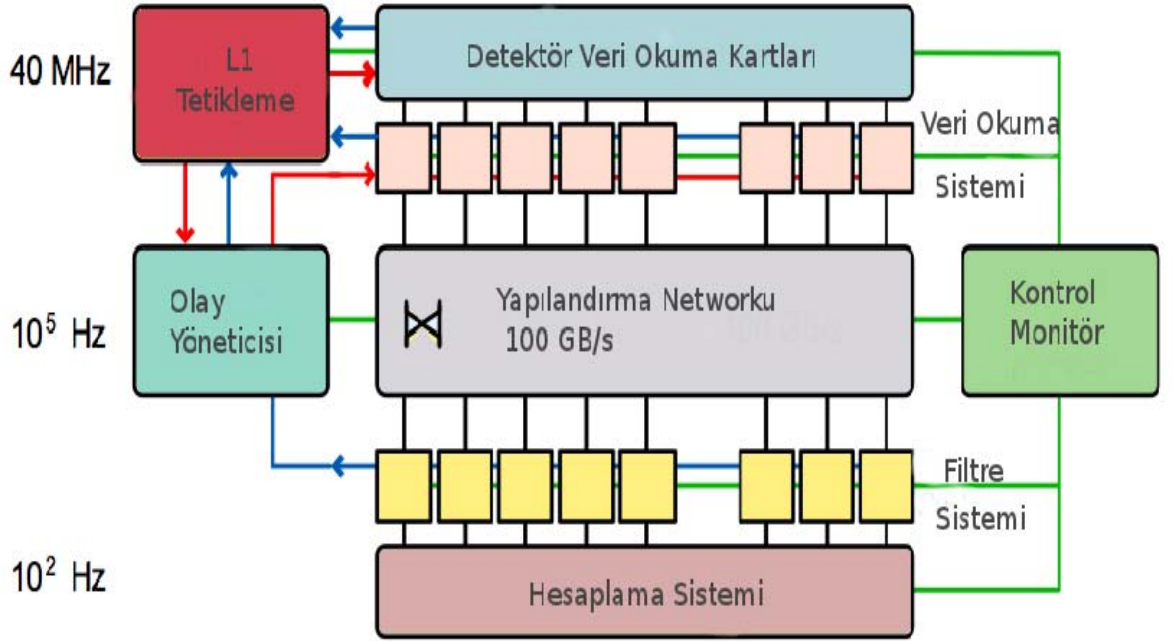


Şekil 2.16: CMS Level-1 Trigger Sistemi

- Yüksek Level Tetikleme Sistemi (HLT- High Level Trigger);

HTL sistemi ticari işlemcilerden oluşan hesap kümeleri ve bu hesap kümelerinde çalışabilen yazılımlardan oluşmaktadır. HLT, hızlı algoritmalar ile L1 çıkış oranını 100Hz’e indirir. Veri toplama sisteminde saklanması düşünülen veri boyutları olay başına yaklaşık olarak 1 MB mertebesinde. L1’den gelen tetikleyici adayları birkaç seviye kullanılarak (Seviye-2, Seviye-2.5, Seviye-3) tekrar tanımlanabilirler ve sonunda bu ham objeler fizik kanallarının kimliğini tespit etmek için kullanılır. Tetikleyici seviyenin tipi ve sayısı HLT seviyesinde esnektir ve LHC’nin uygun şartlarına göre en

iyi şekilde kullanılabilir. Mevcut dizaynda Seviye-2 tetikleyicisi sadece mion ve kalorimetre bilgilerini kullanarak işlem yapar ve objeleri daha iyi yapılandırmak için L1 eşik değerlerini kullanarak olay oranını 10 faktör kadar azaltır. Seviye 2.5 katmanında mion ve kalorimetre bilgileri dışında piksel detektörlerinden gelen bazı ham bilgileri de kullanabilir. Seviye-3'te olayın tam yeniden yapılandırılmasını (Reconstruction) izleyiciden gelen tüm bilgiler kullanılarak yapar. Bu sistem off-line yapılandırma algoritmalarını kullanabilmeye olanak sağlar. Her aşamada işlem görecekt olay sayısı azaltılmaktadır. Sonuç olarak fizik kanallarının kimliğini tespit etmek üzere on-line analizler yapılabilmek için uygun olayların kaydedilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.17: Data Toplama Sistemi

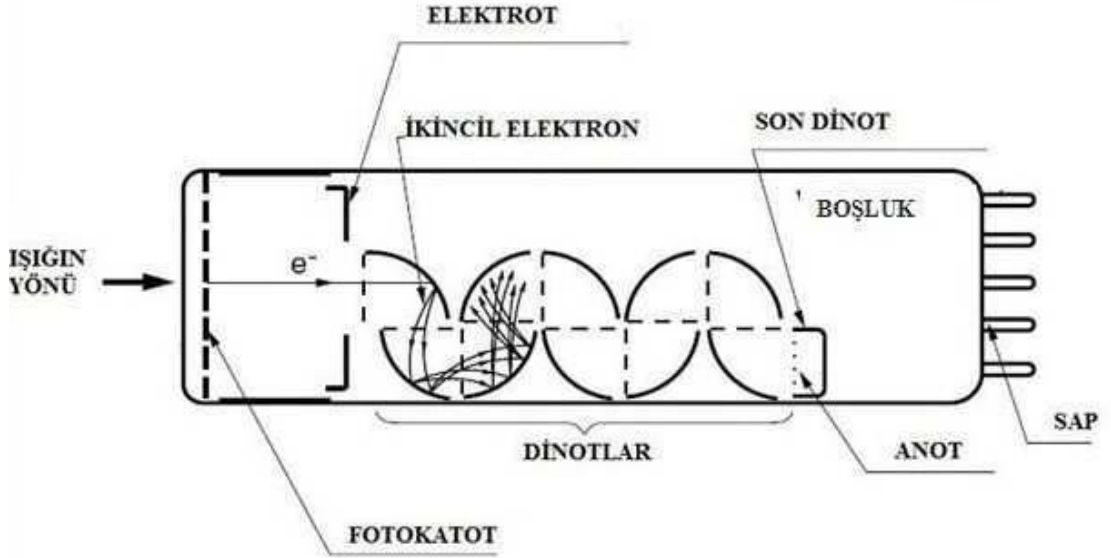
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 FOTOÇOĞALTICI TÜPLER (PMT)

PMT'ler fotosensörler içinde yüksek duyarlılığa sahip olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılır ve yüksek hızlı tepki verme zamanı gibi avantajlara sahiptirler.

PMT'nin kullanımı parçacık fiziği deneylerinde oldukça yaygındır.

Fotoçoğaltıcılar ışığa duyarlı bir maddeden yapılan katottan, elektron çoğaltan ve dinot adı verilen bir sistemden ve son olarak da sinyalin alındığı anottan oluşur. Bütün bu parçalar vakum ortam içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 3.1: Fotoçoğaltıcı Tüp Yapısı

Işığın PMT'ye girerek ışık pulsu oluşturmada izlediği yol;

- Işık önce giriş penceresinden geçerek foto katot içerisindeki elektronları uyarır ve fotoelektronlar boşluk içerisinde yayılırlar.
- Fotoelektronlar odaklayıcı foto katot tarafından birincil dinota doğru hızlandırılır ve odaklanır, dinota çarpan elektronlar yeni (ikincil) elektronların yayılımına neden olur. Bu ikincil yayılım art arda her bir dinotta tekrarlanır.
- Son dinota çarparak yayılan ikincil elektronlar anot tarafından toplanır.
- Bu olay kendini tekrarlayarak bir elektron duşu oluşur ve bu duş anotta kuvvetlendirilebilir ve analiz edilebilir bir akım vermek için toplanır.

3.1.1 FOTO KATOT

Bir anot ve bir katot havası boşaltılmış bir tüp içerisine yerleştirilerek bir fotoelektrik sistem oluşturur. Anot ve katot iki elektrot gibi düşünülebilir. Elektrotlar arasında bir boşluk olduğu için bu iki uç arasından akım geçmez. Ancak katot (bu sistemde buna foto katot denir) üzerine yeterince foton (ışık) düşürülürse akım geçer. Foto katota çarpan ışık orada bulunan elektronlar tarafından soğurulur. Foton soğurulan elektronların enerji düzeyini artırır ve ya bir üst yörüngeye geçmesine sebep olur ve elektronun atomu dolayısıyla foto katotu terk edip anota doğru hareket etmesini sağlar. Böylece katotla anot arasında bir devre oluşarak akım karşı tarafa geçer. Bu olay fotoelektrik olay olarak bilinir. Fotoelektrik olay genel olarak iç fotoelektrik ve dış fotoelektrik olay olarak sınıflandırılır. Dış fotoelektrik olayda foto elektronlar bir materyalden boşluğa yayılır. Foto katot bir yarı iletkendir. İç fotoelektrik etkide ise foto elektronlar bir materyalin iletim bandından uyarılır veya fotovoltaiik (güneş pili) olaylar ile temsil edilir (Hamamatsu, 2006).

Bir PMT'nin foto katotu gelen fotonun enerjisini fotoelektrik etki ile elektrik akımına çevirir. Bu değişimin verimliliği (foto katotun hassaslığı) gelen fotonun dalga boyu ile değişir. Foto katot ve gelen ışığın dalga boyu arasındaki bu ilişki spektral tepki olarak bilinir.

PMT'lerdeki foto katotların özellikleri, kullanılan malzemeye bağlı olarak değişir. Foto katotlar alkali metallere oluşan yarı iletken maddelerin bileşiminden yapılmıştır.

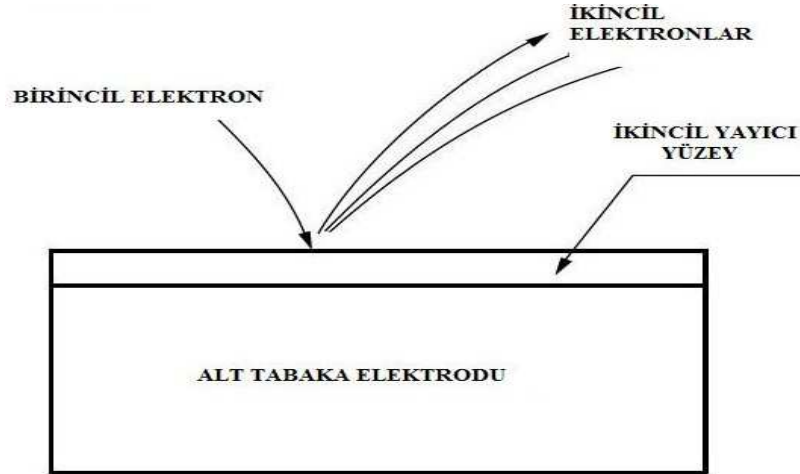
Fotoelektronları ve ikincil elektronları bir dinotta toplamak ve yayılan elektronun geçiş zamanını minimuma indirmek için, elektrotlar elektron yörünge analizi ile uygun hale getirilmelidir. Bir PMT'deki elektronun hareketi, elektrotların yeri ve elektrota uygulanan voltajın belirlediği elektrik alanına bağlıdır. PMT tasarlanırken foto katot'dan ilk dinota olan elektronun yörüngesi foto katot'un şekli (düzlem veya küresel pencere), odaklanan elektrot ve uygulanan voltaj göz önüne alınmalıdır.

3.1.2 DİNOT

Bir PMT'nin elektrot yapısı ve potansiyel dağılımı, optimum performans sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Foto katottan yayılan foto elektronların yörüngeleri dikkate alınarak, foto elektronlar ilk dinottan son dinota kadar çoğaltılır, akımın artması ile elektron sayısı 10'dan 108'e kadar değişir ve sonuçta elektronlar anota gönderilir. (Hamamatsu, 2006).

Dinotlar için kullanılan başlıca ikincil yayıcı materyaller alkali antimonide, berilyum oksit (BeO), magnezyum oksit (MgO), galyum fosfit (GaP), galyum arsenit fosfit (GaAsP) dir.

Malzemeler, nikel, paslanmaz çelik veya bakır berilyum alaşımından yapılan bir alt katmanın üzerine sarılır. İlk elektron bir E_b başlangıç enerjisi ile bir dinotun yüzeyine çarptığında, δ ikincil elektronlarını oluşturur. Her birincil elektron başına düşen ikincil elektronların sayısı, ikincil yayılım oranı olarak adlandırılır. İdeal durumda, akımın artışı veya bir PMT'nin kazancı dinot katmanının sayısı n ile verilir. Ortalama ikincil yayılım oranı δ her katman için δ' olacaktır. Uygun dinot çeşitleri PMT'nin kullanılacağı uygulamaya göre seçilir. Çünkü tepki zamanı, homojenlik, ikincil elektronların toplama verimliliği, doğrusallığı ve kazancı dinotların yapısına ve bölme sayısına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.2: İkincil Elektron Yayan Bir Dinotun Modeli

3.1.3 ANOT

Bir fotoçoğaltıcı tüpün anotu, çok katmanlı dinottan oluşan ikincil elektronların toplandığı ve dış devrelere akım olarak aktarıldığı bir elektrottur. Anot elektron yörüngeleri için en uygun yapıda tasarlanmalıdır. Anot genellikle bir çubuk, levha veya ızgara Şeklinde  retilir. Bir anot tasarlanırken en önemli faktörlerden biri, boşluk y k etkilerinin engellenmesi ve büyük bir çıkış akımı elde etmek için son dinot ile anot arasında yeterli potansiyel farkının oluŐturulmasıdır. PMT foto katotu, gelen fotonların enerjisini foto elektronlara dönüŐtürür. Foto katot duyarlılığı, gelen ışığın dalga boyu ile değişmektedir. Spektral tepki kuantum verimliliği ve ışınım duyarlılığı terimleriyle ifade edilir. Kuantum verimliliği salınan fotoelektron sayısı b l  katota gelen foton sayısıdır. Foto katot ve gelen ışığın dalga boyu arasındaki bu ilişki spektral tepki özelliği olarak bilinir.

3.2 HF PMT'LERİ

CMS HF kalorimetresinde  erenkov sinyalleri PMT'ler aracılığıyla toplanırlar. LHC ortamında PMT camlarına çarpan yüklü parçacıklar HF kalorimetresinde büyük oranda hatalı sinyal ve arka plan gürültüsü oluŐurmaktadırlar. Oluşan hatalı sinyaller, hatalı olayların gözlenmesine neden olmaktadır. CMS deneyi upgrade çalışmalarında PMT olaylarının ve çevresel diğer etkileri azaltabilmek ve HF kalorimetresi performansını arttırabilmek için halen kullanılmakta olan HF PMT'lerinin yerine yeni PMT'lerin kullanılması düŐünülmektedir.

PMT Tipleri	PMT Tip Numaraları	Fotokatot	Kuantum Çözünürlüğü (max.%)	Tipik Kazanç	Pencere Alanı(mm ²)
Dört Anotlu PMT	R7600U-100-M4	Süper Bialkali	35	1.3x10 ⁶	324(kare)
Dört Anotlu PMT	R7600U-200-M4	Ultra Bialkali	43	1.3x10 ⁶	324(kare)
Dört Anotlu PMT	R8900U-100-M4	Süper Bialkali	35	1.0x10 ⁶	324(kare)
Tek Anotlu PMT	R7600U-100	Süper Bialkali	35	1.0x10 ⁶	324(kare)
Tek Anotlu PMT	R7600U-200	Ultra Bialkali	43	1.0x10 ⁶	324(kare)
Mini PMT	R9880U-110	Süper Bialkali	40	2.0x10 ⁶	50(yuvarlak)
HF PMT	R7525	Bialkali	25	5.0x10 ⁵	490(yuvarlak)

Tablo 3.1 : PMT lerin tipik özellikleri

Tablo 3.1 bu çalışmada inceleyeceğimiz PMT'lerin tipik özelliklerinin bir özeti niteliğindedir. Dört anotlu PMT'lerin üç farklı çeşiti (R7600U-100-M4, R7600U-200-M4 ve R8900U-100-M4) , tek anotlu PMT'lerin iki çeşidi (R7600U-100 ve R7600U-200) ve miniPMT (R9880U-110), birbirleriyle ve halen kullanılmakta olan HF PMT (R7525) ile test edilmişlerdir ve artan kuantum verimliliği nedeniyle aday PMT'leri HF PMT'lerine göre üstün performans sunmuştur. PMT camına yüklü bir parçacık çarptığında, geometrik özelliklerinden dolayı sinyal üretme oranı eskisine göre düşüş göstermiştir. (HF PMT cam kalınlığı merkezde 2mm dir ve kenarlara doğru daha da

kalınlaşır, tek ve dört anotlu PMT camları 1mm'den daha incedir ve miniPMT camı ise merkezde 0.5mm kalınlığındadır).

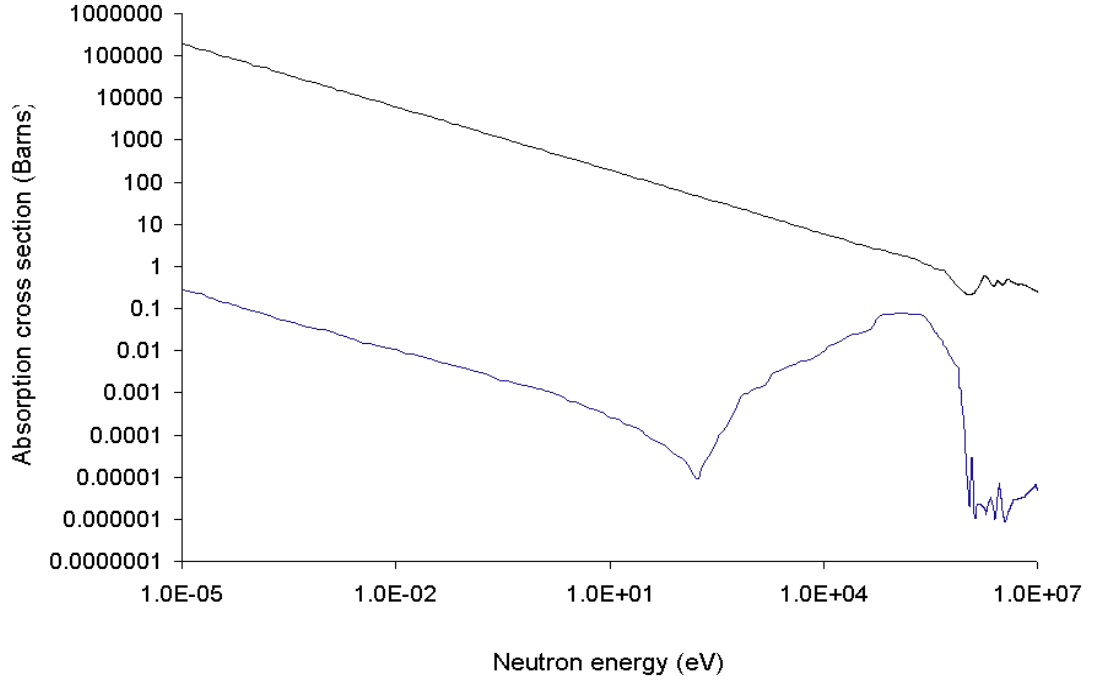
Bu çalışmada PMT'lerin borosilica camlarıyla etkileşime giren termal nötronların ürettiği sinyallerin oranı ve boyutları incelenmektedir. Her ne kadar gerçekte borosilica camları termal nötronları absorbe etsede, Hamamatsu R7525 ve R7600-U200-M4 borosilica PMT'leri ile yapılan testler 10^5 reaksiyon sonucunda yalnızca bir büyük PMT sinyali göstermiştir. Bu sinyallerin ortalama pulse genişliği 30 fotoelektrona eşdeğerdir. Nötron ortamının PMT'lerde oluşturacağı etkilerin bilinmesi alınan verilerin analizinde önemli rol oynayacaktır. Nötronların PMT'lerde oluşturacağı sinyallerin hatalı olay üretimine ve gürültü sinyal oranlarının artmasına neden olabilmektedir. Bu etkilerin belirlenmesi ve bu etkilerden kaynaklanan hatalı HF sinyallerinin anlaşılabilmesi ve bu sinyallerin gerçek sinyallerden temizlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle HF PMT'leri ve HF'te kullanılması düşünülen aday PMT'ler üzerinde çeşitli testler, CERN'de ve IOWA Üniversitesi tıbbi sinklotronunda yapılmıştır. HF PMT'lerinde kullanılan borosilica camları %5 bor oranına sahiptirler ve bu camlarla LHC de oluşacak olan termal nötronların etkileşime girmesi PMT'lerde sinyal üreterek hatalı-yanlış olayların gözlenmesine neden olacaktır.

Bor yakalayan nötronlar için tesir kesiti, düşük nötron enerjilerinde önemli ölçüde artış gösterir. Bor ve termal nötronların etkileşiminde iki yol vardır ;

$$^{10}B_5 + ^1n_0 \rightarrow ^7Li_3 + ^4\alpha_2 \quad (\text{enerjisi } 2.79\text{MeV, taban durumda}) \quad (3.1)$$

$$^{10}B_5 + ^1n_0 \rightarrow ^7Li_3 + ^4\alpha_2 + \gamma(0.48\text{MeV}) \quad (\text{enerjisi } 2.310 \text{ MeV, uyarılmış durumda}) \quad (3.2)$$

Termal nötronlar borla etkileşime girdiğinde, reaksiyon zamanının %94'ünde 7Li 'nin uyarılmış durumda olmasına neden olur. Kalan %6'lık dilimde ise taban durumdadır. Her iki durumda da reaksiyon enerjisi gelen nötron enerjisine göre çok büyüktür. 7Li ve Li 'nin kinetik enerjisi neredeyse reaksiyon enerjisine eşittir ve enerji momentum korunumu uyarılmış durum için $E_{Li}=0.84\text{MeV}$ ve $E_{\alpha}=0.47\text{MeV}$, taban durum için $E_{Li}=1.16\text{MeV}$ ve $E_{\alpha}=1.78\text{MeV}$ olarak verir.[2]



Şekil 3.3: ^{10}B ve ^{11}B için Nötron Enerjisinin bir fonksiyonu olarak Nötron Emilimi Kesitleri
(Siyah ^{10}B ve Mavi ^{11}B 'i temsil etmektedir.) [2]

Iowa Üniversitesi Pozitron Emisyon Tomografi (PET) merkezi kompakt medikal sinklotron(çevrimsel hızlandırıcı) nötron kaynağı olarak kullanılmaktadır. Protonlar ya da deutron gibi parçacıklar, sinklotron içerisinde yüzlerce yörünge üzerinden geçerek yüksek enerjilere götürülürler. Her bir yörünge esnasında, partikül yaklaşık 90 keV'lik bir enerji almaktadır. Yörüngeler sinklotronun maksimum yarıçapına yaklaştıkları zaman elektrostatik sapma yoluyla uzaklaştırılırlar ve radyoaktif olmayan gaz ya da likit ile doldurulmuş olan küçük hacimli içi boş metalik silindirleri etkilerler. Nükleer reaksiyonlar, PET radiotracerlarını birleştirebilecek gerekli radyoaktiviteyi üretmek için, yüksek enerji parçacığı (proton ya da deutron) ve hedefin içerikleri arasındaki silindir içerisinde yer alır.

Nötron kaynağı olarak, ^{18}O hedef ile ^{18}F üretim çalışmaları kullanılmıştır. Eğer bu yüksek protonlardan biri ^{18}O çekirdeği ile etkileşime girerse, bir (p,n) reaksiyonu 110 dakika ^{18}F radyoizotopunun formasyonu ile sonuçlanır. Özellikle;



Üretilen 14 MeV nötronlar, 4π yönünde 10^{10} nötron/s hızında dışarı verilir. Bu hızlı nötronları ısı dengesine kavuşturmak için, polietilen ve parafin kullanılarak bir moderatör oluşturulmaktadır. 50 cm uzunluğunda ve 20 cm çapındaki bir alüminyum silindir parafin ile doldurulmuştur ve ön pencere polietilen plaka ile kaplanmıştır. PMT ve onun tabanını tutmak için silindirin merkezinde bir boşluk bırakılmıştır. (Şekil 3.4). Bağımsız sistem, PET hedefinden 1 m uzakta pozisyonlandırılmıştır. Bu pozisyonda, ısı dengesine kavuşturucu yüz, $\sim 10^7$ 14 MeV nötron/s almaktadır. PMT'yi gama radyasyondan korumak için, PMT'nin önünde 5 cm uzunluğunda bir bizmut silindir kullanılmıştır ve ısı dengesine kavuşturucunun ön yüzeyini 3 mm kalın kurşun levha ile kaplanmıştır. Tüm kablolar korunmakta ve tüm sistem hep beraber topraklanmaktadır. PMT sinyali, bir Tektronix 5104 dijital osiloskop ve (i) V792 32 Kanal QDC, (ii) V812 16 Kanal Sabit Fraksiyon Ayırtaç, (iii) V976 Fan giriş/çıkış ve (iv) V975 8 Kanal Hızlı Amplifikatör içeren bir VME sistemi kullanarak işlendiği kontrol odasına taşınmaktadır. PMT'ten gelen sinyal, 40 ns geçit oluşturmak için fan girişi/çıkışı ile ayrılmaktadır.



(a)

(b)

(c)

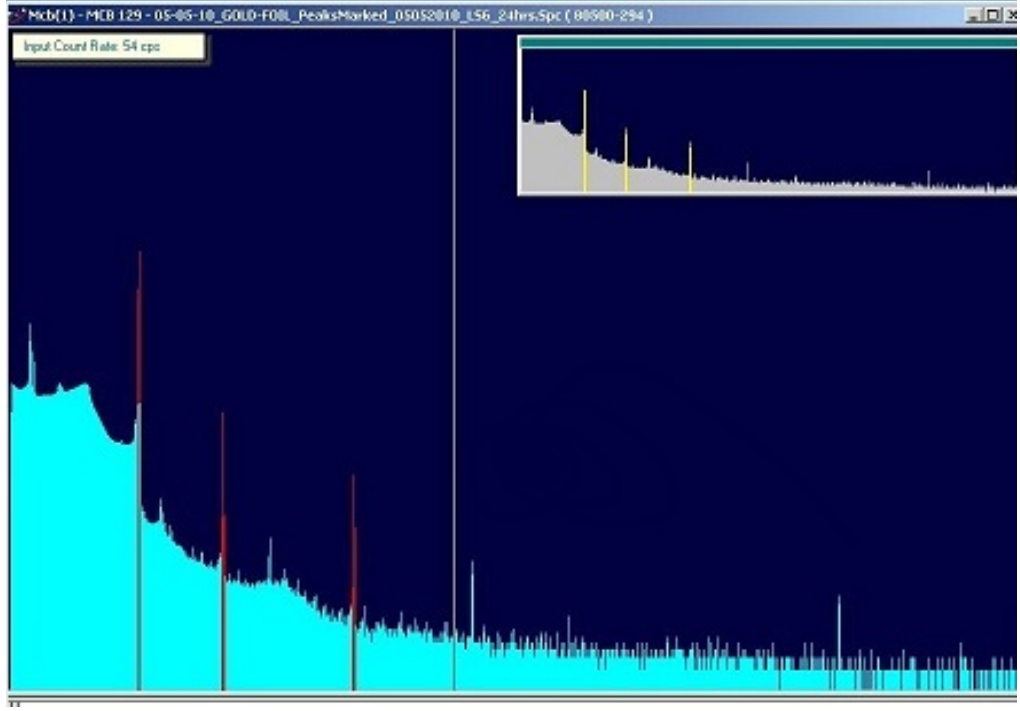
Şekil 3.4: (a) Isı dengesine kavuşturucunun merkezindeki polietilen boşluk.(b) PMT'yi boşluğa yerleştirmek için delik ile bitmiş ısı dengesine kavuşturucunun arka görüntüsü. (c) Isı dengesine kavuşturucu, sinklotronun hedefinden 1 m uzağa pozisyonlanmaktadır.[2]

4.BULGULAR

Moderatör içindeki termal nötronların akışını belirlemek için altın folyo kullanılmıştır. 0.01 inç kalınlıkta ve 0.75 inç çapındaki 1.36 g. altın folyo, PMT'nin ön yüzüne bantlanmış ve 80 dakikalık bir çalışma esnasında 30 μ A ışında nötronlar ile bombardıman edilmiştir. Çalışmanın sonundan üç saat sonra, altın folyo gama spektroskopisi için Ortec HPGe detektörüne alınmıştır (Şekil 4.1). Altın folyo, HPGe detektörünün yüzeyinden 5 cm uzakta bir dayanak üzerine pozisyonlandırılmıştır. 24 saat spektral tarama esnasında, detektörün ölü zamanının 0.5%'den daha az olduğu ölçülmüştür. Önceki karışık gama kaynak spektral taramalara dayalı olarak hesaplanan detektör etkinlik düzeltmeleri tarama zamanında gerçek gama emisyonları sayısını ölçmek için uygulanmıştır. Altın izotopları için 67 saatlik yarılanma ömrünü göz önüne alarak, çürüme düzeltmesi ışının hemen sonunda folyonun aktivitesini hesaplamak için uygulanmıştır. Nötron akışı ϕ , aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

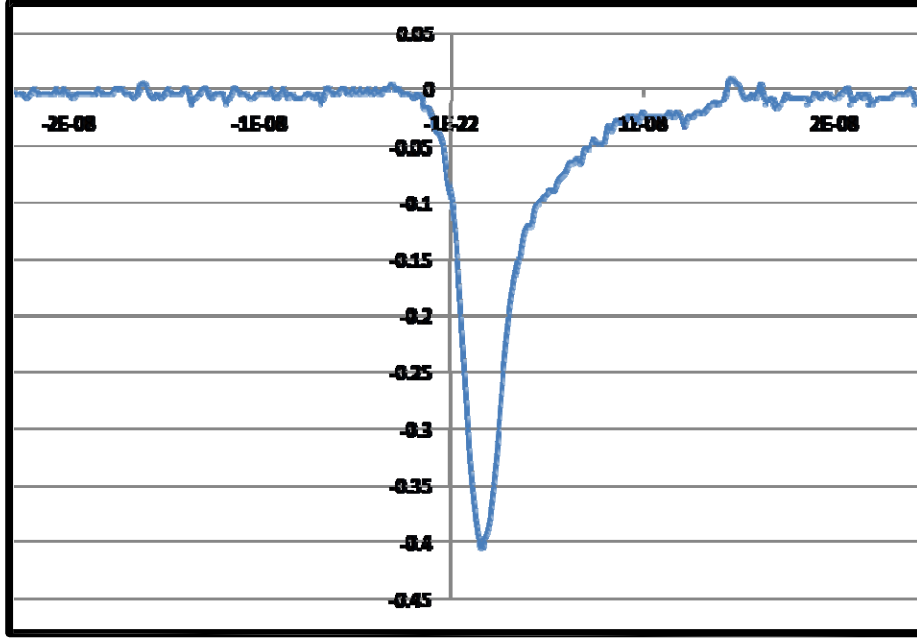
$$R = (m \times N_A \times \sigma \times \phi) / \text{Atomik Ağırlık} \quad (4.1)$$

R, bombardımanın sonunda altın folyonun aktivite oranı, HPGe detektör etkinliği ve çürüme zaman düzeltmelerinden sonra, 17313 Bq olarak ölçülmektedir, m altın folyonun kütlesidir, N_A Avagadro Sayısıdır, σ altın nötron ara kesitidir (98 barn), ϕ nötron akış yoğunluğu ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Çalışma esnasında, moderatör içinde nötronların akışı $4 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1: 24 saatlik HPGe detektör ölçümleri esnasında, altın folyodan dışarı verilmiş gama spektrumunun ekran çıktısı. [2]

Borosilica-nötron etkileşimlerini belirlemek için, borosilica PMT sinyalleri kuartz pencere ve zarf, Hamamatsu R7600 PMT ile kıyaslanmıştır ve kapsam ölçümlerinde, $\sim 1\text{Hz}$ frekans ve borosilica PMT (Hamamatsu R7600-U200-M4 ve Hamamatsu R7225-HA) çalışma esnasındaki karanlık akımın üç katına kadar genlik ile, rastgele ani artışlar gözlemlenmiştir. Bu ani artışlar kuartz PMT (Hamamatsu 7600) çalışması esnasında gözlemlenmemiştir. Borosilica pencere PMT'lerden aday nötron ani artışları, pulse şekli 4-5 ns keskin yükselme ve düşme zamanında ki hafif kuyruk ile (şekil 4.2) HF Kalorimetre kuartz fiberlerden gelen Çerenkov sinyallerine benzerdir. Bu zamanlama özelliğine dayalı olarak borosilica PMT penceresindeki nötron etkileşimlerini ayırt etmeyi imkansız kılar.

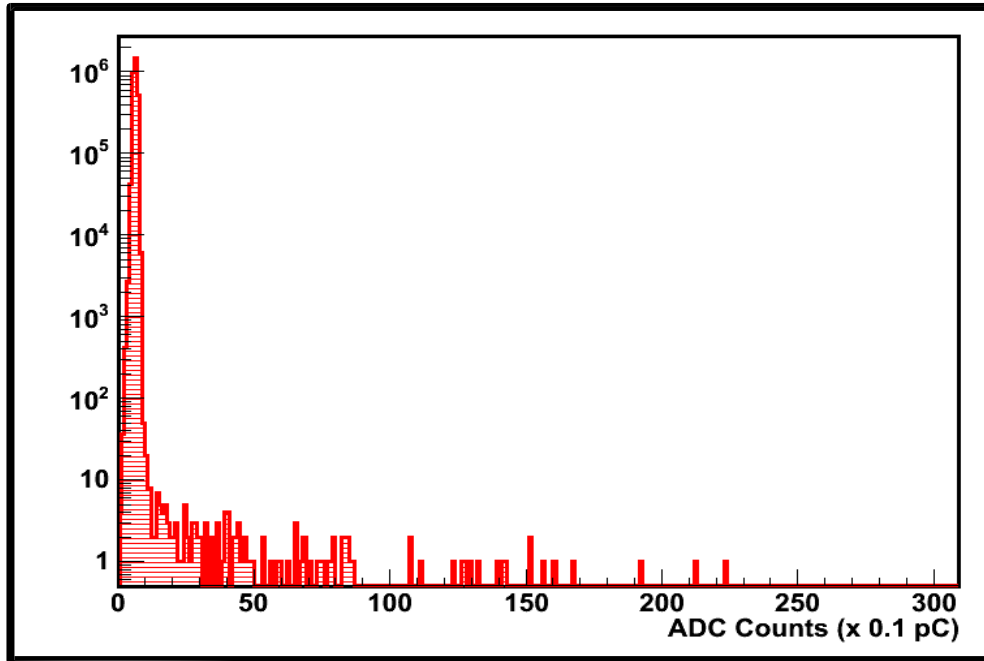


Şekil 4.2 : Ani nötron artışının osiloskop görüntüsü[2]

Şekil 4.2, pulselerin, keskin bir yükselme zamanı ve düşme zamanında hafif bir kuyruk ile 4-5 ns arasında genişliğe sahip olduklarını göstermektedir.

VME data edinme sistemi, bu ani artışların yük dağılımlarının yüksek istatistik çalışmaları için kullanılmıştır. Şekil 4.3, $\times 10$ büyütmeden sonra R7600-U200-M4 PMT'den 30,000,000 tetikleme göstermektedir. PMT, 10^5 kazanım almak için 650 Voltta çalışmaya ayarlanmıştır. ADC sayımlarındaki her kutu, 0.1 pC yüke karşılık gelmektedir. Tüm dört anot sinyalinin "OR" çıkışını geçit tetikleyicisi için kullanılmıştır. Önceki muon-PMT penceresi etkileşim çalışmaları [6,9], 100. ADC kutusunun yukarısında ortaya çıkan pulse grubunun muhtemelen kozmik muonlar nedeniyle olduğunu öngörmektedir. Bu öngörüler göz önünde tutularak, 50. ADC kutusunun etrafındaki olaylar demetinin borosilica penceresindeki nötron etkileşimleri nedeniyle olduğunu düşünmek elverişlidir. $\times 10$ büyütme göz önünde bulundurduktan sonra, PMT'lerde nötron etkileşimlerinden ortalama yükün 5 pC civarında ~ 30 fotoelektron olduğu ölçülmektedir.

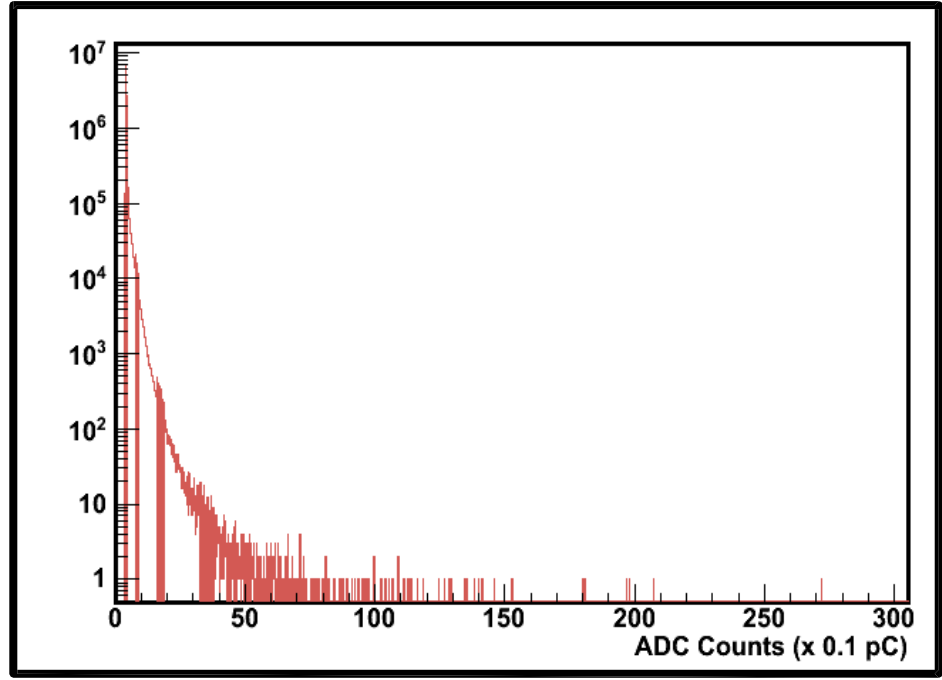
Şekil 4.4, 1100 V, 10^5 kazanımda çalışan Hamamatsu R7525-HA PMT'nin ADC yük dağılımını göstermektedir. R7600-U200- M4'e kıyasla kontrol panelleri üzerinde çok daha fazla olay gözlemlenmiştir. 10-40 pC bölgesinde yüksek sinyal sayısının olası açıklamaları, R7525-HA'nın borosilica zarfı olabilir. Nötronlar moderatöre girdiği zaman, ısı dengesine ulaşma süreci esnasında tüm hacmi doldururlar ve herhangi yönden PMT'ye vururlar. Bu, borosilica zarfı R7525-HA için daha fazla etkileşim oluşturur, buna rağmen ortalama bir nötron – borosilica etkileşim boyutu hala 30 fotoelektron civarındadır.



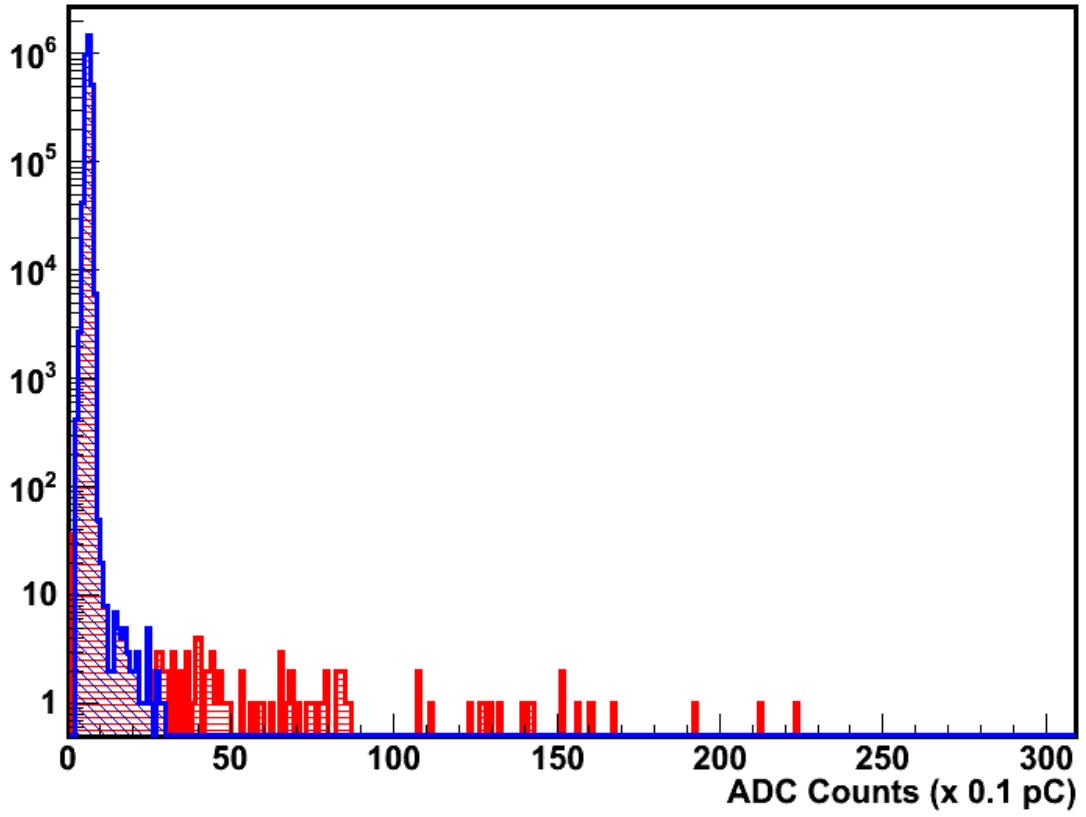
Şekil 4.3: Her kutunun 0.1 pC yüke karşılık gelen Hamamatsu R7600 PMT'lerin ADC yük dağılımı.($\times 10$ büyütme sonrasında 5 pC civarındaki nötron etkileşimlerinin çoğunluğu ile toplam 30,000,000 sayım gösterilmektedir.) [2]

Daha düşük etkileşim hızı nedeniyle metal zarfına sahip olmaktan başka, aynı zamanda R7600-U200-M4'ün 4 anot yapısı, çevrim dışı olan bu olayları ortadan kaldırmaya olanak sağlamaktadır. Camdaki alfa parçacıkları aralığı yaklaşık 40 mikrometre olduğu için nötron olayları bir zamanda sadece bir anotta ortaya çıkmaktadır. Herhangi anottan maksimum sinyalin ortalamadan 5 kat daha az olması istendiği zaman, bu nötron olayları büyük ölçüde ortadan kaldırılabilir (Şekil 4.5). R7600-U200-M4 PMT'ler, air-core bir

ışık kılavuzundan gelen Çerenkov ışığına tabi oldukları zaman, bu varyasyonun 2'den daha az olduğu ölçülmüştür [6]. Bu kesmeden sonra, 30,000,000 örnekten 380 olay ortadan kaldırılmıştır. Bu, bor ile nötron etkileşim hızının 10^{-5} mertebesinde olduğunu göstermektedir. Basit bir şekilde ortalamalarını $4/3$ ile çarparak diğer üç anot sinyalinden bu olayları yeniden inşa edilebilir.

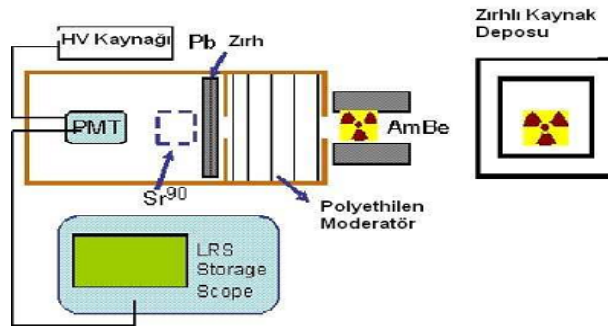


Şekil 4.4 : ⁵10 kazanımında Hamamatsu R7525-HA PMT'nin ADC yük dağılımı.
(x10 büyütme sonrasında 50 pC'den daha düşük olan olayların çoğunluğu
ile toplam 20,000,000 sayım raporlanmıştır.) [2]



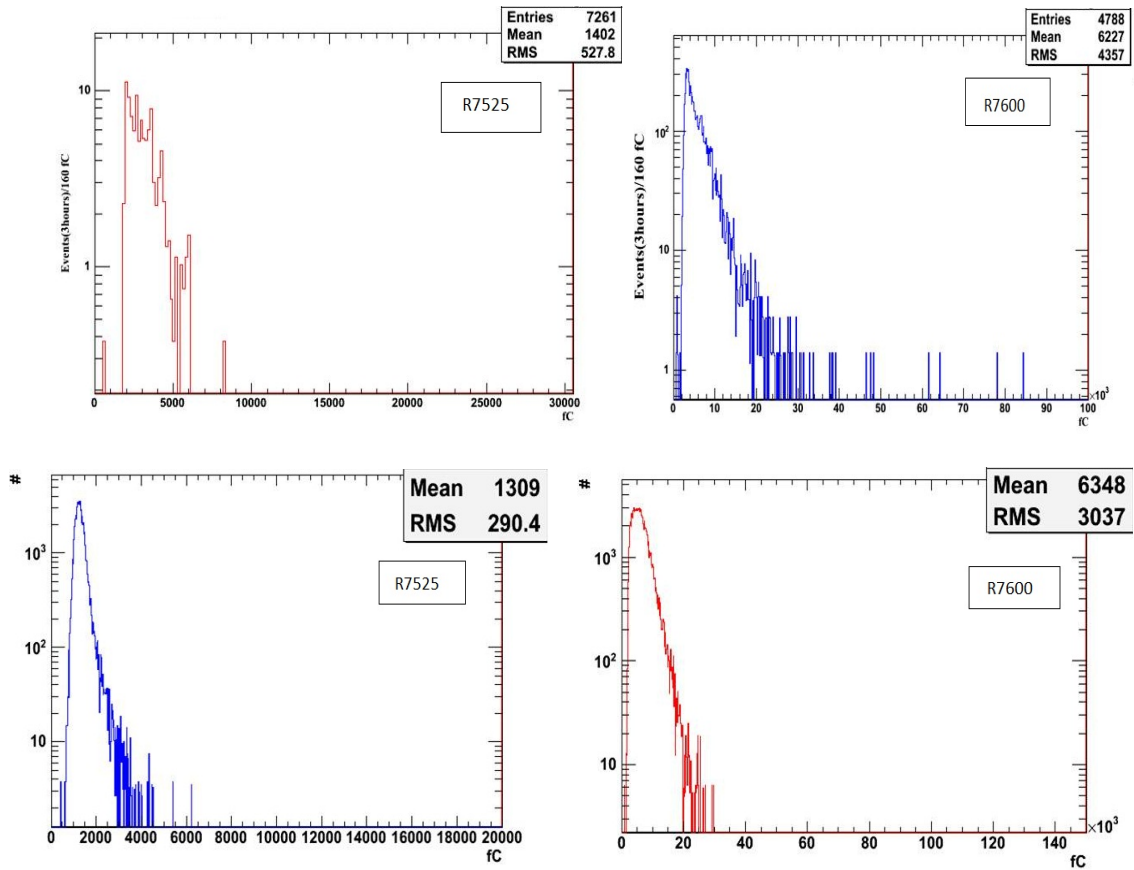
Şekil 4.5: Hamamatsu R7600 PMT'leri kullanımı kesildikten önce ve sonra ADC yük dağılımı [2]

İkinci bir test olarak CERN’de yapılan testlerde nötron kaynağı olarak AmBe kaynak kullanılmıştır. Ayrıca PMT’lerin verdikleri tepkileri karşılaştırmak için β kaynağı olarak ^{90}Sr kullanılmıştır.



Şekil 4.6: Nötron testleri için kullanılan test düzeneği şeması

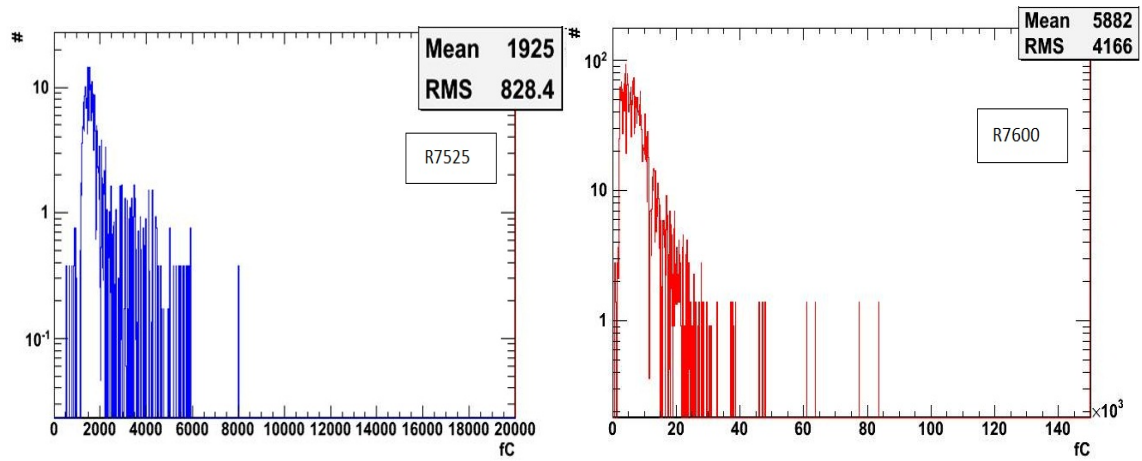
PMT'ler ile kaynak arasına değişik oranlarda zırlama amaçlı olarak kurşun plakalar ve moderatör olarak poliethilen plakalar kullanılmıştır. ^{90}Sr ve AmBe kaynaklar ile PMT'ler önüne moderatör+kurşun zırlama, sadece kurşun zırlama, sadece moderatör ve moderatör ya da kurşun zırlama olmadan veriler alınmıştır. Veriler alınırken HF PMT'leri (R7525) ve aday PMT(R7600) kullanılmıştır. Veri alımı sırasında arka plan sinyali olarak kozmik veriler alınmış ve bu veriler kullanılarak kaynak verilerinden arka plan sinyallerinin çıkarılması sağlanmıştır.



Şekil 4.7: R7525 ve R7600 PMT'lerden ^{90}Sr ve AmBe kaynağı ile alınan verilerin sinyal dağılımı(moderatör+kurşun zırh)

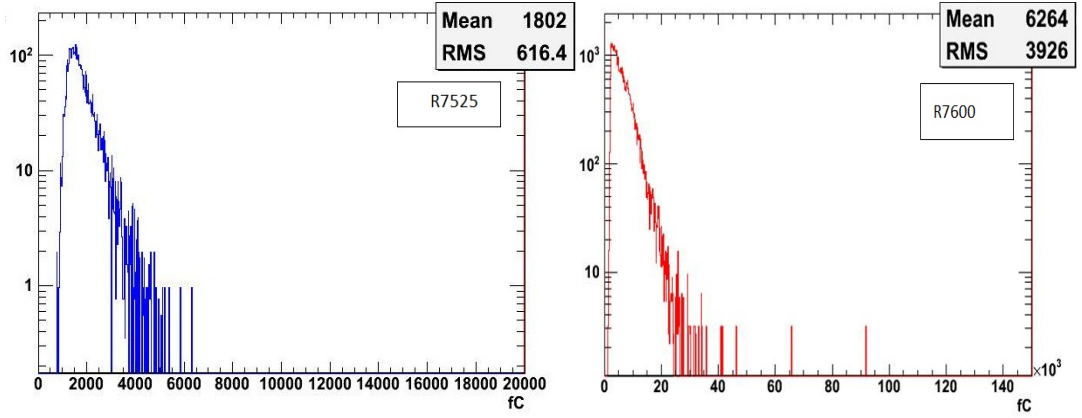
Şekil 4.6'da gösterilen üstteki şekilde PMT'lerin AmBe ile alınan verilerde hızlı nötron+ γ 'lara karşı yayınladıkları sinyaller gösterilmektedir. Altteki şekilde ise ^{90}Sr

kaynağı ile alınan verilerde iki tür PMT için γ sinyali gösterilmektedir. AmBe kaynağı ile alınan verilerde γ ve nötron sinyalleri bir arada bulunmaktadır. Yayınlanan γ ların sinyallerden temizlenmesi için ^{90}Sr kaynağı ile alınan veriler AmBe verilerinden çıkartılarak nötron sinyallerinin γ sinyallerinden ve kozmik sinyallerden ayıklanmasına çalışılmıştır. Test düzeneğinde yapılan değişik yapılandırmalar ile termal ve hızlı nötronların PMT üzerinde bıraktığı sinyaller incelenerek kullanılan kurşun zırh ile γ sinyallerinin oranı azaltılmaya çalışılmıştır. Bunun için her iki PMT ile kurşun zırh+moderatör ile veri alınmış daha sonra kurşun zırh olmadan ya da moderatör olmadan son olarak kurşun zırh ya da moderatör olmadan veriler alınmıştır.[7]



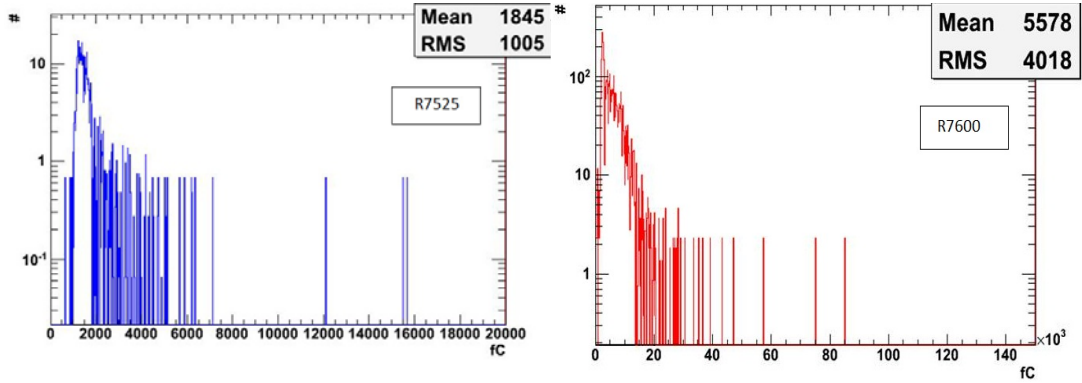
Şekil 4.8: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Moderatör+Kurşun zırh)

Şekil 4.8 de moderatör ve kurşun zırh varken alınan verilerin sinyal dağılımı gösterilmektedir. ^{90}Sr ile elde edilen veriler çıkartılmıştır.



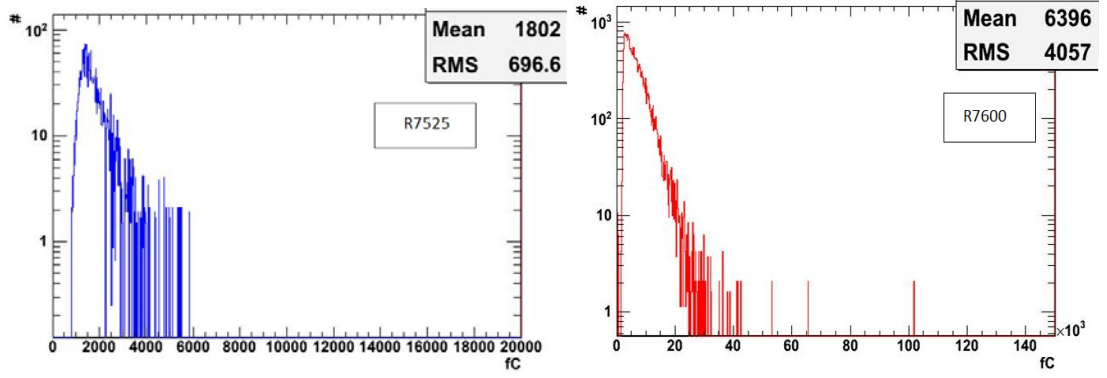
Şekil 4.9: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Moderatör+Kurşun zırh olmadan)

Şekil 4.9 da moderatör ve kurşun zırh olmadan alınan verilerden elde edilen sinyal dağılımı gösterilmektedir. ^{90}Sr elde edilen sinyaller çıkartılmıştır.



Şekil 4.10: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Sadece Kurşun zırh)

Şekil 4.10 da moderatör olmadan sadece kurşun zırh varken alınan verilerden elde edilen sinyal dağılımı gösterilmektedir. ^{90}Sr elde edilen sinyaller çıkartılmıştır.



Şekil 4.11: PMT'lerden AmBe kaynak ile alınan sinyaller (Sadece Moderatör)

Şekil 4.11 de kurşun zırh olmadan sadece moderatör varken alınan verilerden elde edilen sinyal dağılımı gösterilmektedir. ⁹⁰Sr elde edilen sinyaller çıkartılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Borosilica PMT'leri LHC detektörlerinde yaygın olarak kullanılır ve simulasyon çalışmaları PMT konumları boyunca yüksek ışınlılıkta oldukça büyük ölçüde termal nötron akısı olacağını göstermektedir. PMT pencerelerinde kullanılan %5 oranındaki borun yol açabileceği olası gürültü boyutunu belirleyebilmek için Iowa Üniversitesi PET Sinklotron Tesisinde performans testleri yapılmıştır. 14 MeV nötron parafin ve poliethilen moderatör yardımı ile termalize edilmiştir. Moderatör içerisindeki termal nötronların toplam sayısı 4×10^4 nötron/cm²s olarak ölçülmüştür. Testler sırasında borosilica camlı PMT'lerden iki farklı tip, Hamamatsu R7600-U200-M4 ve Hamamatsu R7525-HA, kuartz camlı Hamamatsu R7600 PMT ile birlikte kullanılmışlardır. Borosilica camlı PMT nötron ışınına maruz kaldığında ani sıçramalar gözlenmiştir ve bu ani sıçrama oranının yaklaşık olarak 10^{-5} olduğu hesaplanmıştır. Osiloskop görüntüsü ani sıçramaların 4-5 ns pulse genişliğine sahip olduğunu ve düşme zamanında hafif bir kuyruk olduğunu göstermektedir. Yüksek istatikli çalışmalar borosilica camlı PMT'lerden gelen ortalama sinyal büyüklüğünün termal nötron-bor etkileşiminin yaklaşık olarak 30 fotoelektron ile gerçekleşmesi nedeniyle olduğunu göstermektedir. PMT'lerin cam kalınlıklarında farklılıklar olmasına rağmen ,R7525-HA (1.2 mm- 6mm) ve R7600-U200-M4 (0.6mm), ölçülen nötron sinyalleri oldukça benzerdir.

Bu sonuç, cam içerisinde alfa parçacıklarının kısa menzilli olduğunu göstermektedir ve etkileşim olayı, büyük olasılıkla fotokatoda en yakın 40µm'lik dilimde gerçekleşmektedir.

Ayrıca bu olaylar, 4 anotlu PMT'de(Hamamatsu 7600-U200-M4) 1 anotta 1 defa meydana gelir ve anormal büyük anot sinyali basit bir algoritma yardımıyla giderilebileceği gösterilmiştir.

Nötron kaynağı olarak AmBe kaynak kullanılarak HF PMT'leri ve aday PMT'ler ile testler yapılmıştır. PMT'lerin nötronlarla etkileşimleri ve nötronların PMT'lerde oluşturacağı sinyallerin gözlenmesine çalışılmıştır. Yapılan testler sonucu aday PMT'lerin daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. S. Abdullin et al. (CMS Collaboration), "Design, Performance, and Calibration of CMS Forward Calorimeter Wedges," Eur. Phys. J. C 53, 1 (2008).
2. U. Akgun et al., "Investigation of Thermal Neutron Interactions on Borosilica PMTs", CMS Detector Note, CMS DN-2010/009, 2010.
3. U. Akgun et al., "Afterpulse Timing and Rate investigation of Three Different Hamamatsu Photomultiplier Tubes", Journal of Instrumentation, 3 T01001, 2008.
4. U. Akgun et al., "A Novel Method to Eliminate Muon Events on HF PMT Windows", CMS Detector Note, CMS DN-2009/014, 2009.
5. U. Akgun et al., "Study of CMS HF Candidate PMTs with Cerenkov Light in Electron Showers", CMS Detector Note, CMS DN-2009/012.
6. S. Shatrchyan et al., "Study of Various Photomultiplier Tubes with Muon Beams And Cherenkov Light Produced in Electron Showers", CMS NOTE 2010-003, Journal of Instrumentation 5, 2010.
7. Ferhat ÖZOK; "Süpersimetrik Parçacıkların CMS Deneyinde Gözlenmesi", Doktora Tezi ;İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.;2010.
8. U. Akgun et al., "Afterpulse Timing and Rate investigation of Three Different Hamamatsu Photomultiplier Tubes", Journal of Instrumentation, 3 T01001, 2008.
9. U. Akgun et al., "Tests of CMS HF Candidate PMTs with Muons", CMS Detector Note, CMS DN-2009/011.
10. A. Moeller et al., Analysis of Abnormally High Energy Events in CMS Forward Calorimeters .CMS IN-2008/014, 2008.
11. CMS Calibration,"The Compact Muon Solenoid Technical Proporsal", CERN-LHCC94-038,1994
12. CMS Calibration,"ECAL Technical Desing Report",CERN-LHCC 97-033, 1997.
13. CMS Calibration,"The Hadron Calorimeter Technical Desing Report",CERN-LHCC 97-031, 1997.
14. CMS Calibration,"The Magnet Project, Technical Desing Report", CERN- LHCC 97-010, 1997.

15. CMS Calibration, "The Muon Project, Technical Design Report", CERN- LHCC 97-032, 1997.
16. CMS Calibration, "The Tracker Project, Technical Design Report", CERN- LHCC 98-6, 1998.
17. CMS Collaboration, "CMS Physics TDR: Volume I, Detector Performance and Software," CERN/LHCC 2006-001, 2006.
18. CMS Collaboration, "CMS Physics TDR: Volume II, Physics Performance"; CERN/LHCC 2006-021, 2006.
19. CMS Calibration, "Level-1 Trigger, Technical Design Report", CERN- LHCC 2000-38. 2000.
20. CMS Calibration, "DAQ and High Level Trigger, Technical Design Report", CERN- LHCC 2002-026, 2002.
21. LEO, William R., Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: How-to Approach, Springer, Berlin, 0387572805, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serap Dolma

e-mail : serapdolma@gmail.com

serap.dolma@cern.ch

Doğum Tarihi : 07.04.1983

Doğum Yeri : İstanbul

Uyruğu : T.C

Öğrenim Durumu :

Yüksek Lisans : İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı,
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı (2008-2011)

Danışman : Prof.Dr. K. Gediz AKDENİZ
Prof.Dr. Ramazan SEVER

Tez Adı : “HF PMTlerinde Termal Nötron Etkileşmelerinin İncelenmesi”

Lisans : Akdeniz Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü (2008)

Lise : Çemberlitaş Kız Lisesi (2001)

İlköğretim : Kazım Karabekir İlköğretim Okulu (1997)

