

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zahide DEMİR

**CMS'DEKİ CASTOR KALORİMETRESİNDE KULLANILAN FOTO-
ÇOĞALTICI TÜPLERİN KALİTE KONTROL TESTLERİNİN YAPILMASI
VE SONUÇLARININ İNCELENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS'DEKİ CASTOR KALORİMETRESİNDE KULLANILAN FOTO-
ÇOĞALTICI TÜPLERİN KALİTE KONTROL TESTLERİNİN
YAPILMASI VE SONUÇLARININ İNCELENMESİ**

Zahide DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Bu Tez .././2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği /Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Doç.Dr.İsa DUMANOĞLU Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT Doç.Dr.Mustafa TOPAKSU
Danışman Üye Üye

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof.Dr.İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü**

Bu çalışma Ç.Ü. Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FEF2009YL29

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.

Sevgili Aileme...

ÖZ

YÜKSEK LİSANS

**CMS'DEKİ CASTOR KALORİMETRESİNDE KULLANILAN FOTO-
ÇOĞALTICI TÜPLERİN KALİTE KONTROL TESTLERİNİN
YAPILMASI VE SONUÇLARININ İNCELENMESİ**

Zahide DEMİR

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman: Doç.Dr.İsa DUMANOĞLU

Yıl: 2010 Sayfa:74

Jüri: Doç. Dr. İsa DUMANOĞLU
Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT
Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU

CASTOR, CMS deneyinin bir alt dedektörüdür. Relativistik elektronlar ve pozitronlar kuvars plakalardan geçerken Cherenkov ışınımı oluştururlar. Bu ışınım foto-çoğaltıcı tüpler tarafından dedekte edilecektir. Bu foto-çoğaltıcı tüpler CASTOR'a monte edilmeden önce Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği laboratuvarında test edildi ve yanıtı zaman parametreleri, kazanç, karanlık akım gibi işlevsel parametreler analiz edilerek sonuçları tartışıldı. Bu tez CMS-CASTOR foto-çoğaltıcı tüplerinin kalite kontrol test sonuçlarını içermektedir.

Anahtar Kelimeler: CMS, CASTOR, BHÇ, PMT, ÇU Laboratuvarı

ABSTRACT
MSc

**THE QUALITY CONTROL TESTS OF CMS-CASTOR DETECTOR'S
PHOTOTUBES**

Zahide DEMİR

**DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor: Assoc.Prof.Dr.İsa DUMANOĞLU

Year: 2010, Pages: 74

Jury: Assoc.Prof.Dr.İsa DUMANOĞLU

Prof. Dr.Gülsen ÖNENGÜT

Assoc.Prof.Dr. Mustafa TOPAKSU

CASTOR, is a sub-detector of the CMS experiment. Cherenkov light is produced by relativistic electrons and positrons passing through quartz plates. This light will be detected by PMTs. Before being mounted on CASTOR, this photomultiplier tubes were tested in Çukurova University laboratory and functional parameters such as time parameters and gain, dark current were analyzed and discussed. This thesis contains the results of quality control tests of the CMS-CASTOR's PMTs.

Key Words: CMS, CASTOR, BHÇ, PMT, ÇU laboratory

TEŞEKKÜR

Tez konumu belirleyen ve çalıŐmalarım boyunca desteğini esirgemeyen hocam Doç.Dr. İsa DUMANOĞLU'na, çalıŐmalarım sırasında bana yol gösteren ve tecrübelerini bana aktaran hocam Prof.Dr. GlŒen ÖNENGÜT'e, bu süreçte engin bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen ve her zaman beni motive eden hocam Prof.Dr. Ramazan ESEN'e, hafta içi ve hafta sonları da dahil olmak üzere Adana yazının aşırı sıcağında geç saatlere kadar yorgunluktan bitkin dŐmemize rağmen bıkmadan usanmadan sürekli veri aldığımız laboratuar' da beraber çalıŐtığımız, hem bana bir ağabey hem de bir arkadaş olan Dr.Bayram TALİ'ye, verileri kayıt etme aŐamasında yardım eden grup arkadaşım Mustafa KURNAZ'a, ve laboratuar fotoğraflarını ekmemde bana yardım eden grup arkadaşlarım Yalçın GÜLER'e ve ağlar ZORBİLMEZ'e ve ayrıca yüksek lisans yaptığım süre zarfında her zaman bana destek olan, yardım eden ve yol gösteren değerli arkadaşım Ar.Gör Sertaç ÖZTÜRK'e ve değerli ağabeylerim Yar.Doç.Dr Salim ERİ ve Dr.Numan BAKIRCI'ya çok teşekkür ederim.

Ayrıca, bugün sahip olduğum her Œeye ulaŐmamda her zaman yanımda olan annem Nimet DEMİR'e, babam Muhsin DEMİR'e, sevgili kardeŐim Tolga DEMİR'e sonsuz teŐekkürleri sunuyorum.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
3. MATERYAL VE METOD.....	21
3.1. Foto-Çoğaltıcılar.....	21
3.2. Foto-Katot.....	23
3.3. Foto-Katotların Standart Tipleri	23
3.4. Foto-Katotların Diğer Tipleri.....	26
3.5. Optik Özellikler.....	27
3.5.1. Giriş Penceresi	27
3.5.2. Elektron-Optiksel Giriş Sistemi	29
3.5.3. Genel Amaçlı Tüpler	30
3.5.4. Hızlı Cevap Tüpler	31
3.5.5. Dinot Materyaller	32
3.5.6. Dinot Şekilleri	33
3.5.6.1. Dairesel Kafes Tipi	33
3.5.6.2. Kutu Izgara Tipi	33
3.5.6.3. Doğrusal Odaklayıcı Tip	34
3.6. Elektron Çoğaltıcılar	34
3.7. Anot Toplama Bölgesi	35
3.8. Çoğaltıcıların Özel Tipleri	37
3.8.1. Ga-P(Cs) Dinotlu Tüpler	37
3.8.2. Çapraz-Alan Foto-Çoğaltıcılar	37
3.9. Mikro Kanallı-Levha Foto-Çoğaltıcılar	37

3.10. Mikro Kanallı-Levha Foto-Çoğaltıcıların Avantajları	38
3.11. Gürültü	38
3.11.1. Foton Gürültü	39
3.11.2. Elektron- Çoğaltıcıların Gürültü Katkısı	39
3.11.3. Karanlık Akım	39
3.12. Çevresel Faktörler	43
3.12.1. Sıcaklık	43
3.12.2. Magnetik Alan	44
3.12.2. Radyasyon	46
3.13. Zaman Karakteristikleri	46
3.13.1. Atım Genişliği	46
3.13.2. Yükselme Zamanı	46
3.13.3. Geçiş Zamanı Farklılıkları	47
3.13.4. Geçiş Zamanın Yayılması Ve Zaman Çözünürlüğü	48
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	50
4.1. Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği Laboratuvarı	50
4.2. Zaman Yanıtlama Parametreleri	58
4.3. Kazanç	64
4.4. Karanlık Akım	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGELER DİZİNİ	SAYFA
Çizelge 2.1. BHC parametreleri	5
Çizelge 2.2. Test Algoritması	20
Çizelge 3.1. Bazı standart foto-katotların karakteristikleri	25
Çizelge 3.2. Foto-çoğaltıcılarda kullanılan bazı camlar ve karakteristikleri	30
Çizelge 4.1. Hamamatsu R7378A foto-çoğaltıcı tüplerin özellikleri	51
Çizelge 4.2. Kullanılan osiloskop'un özellikleri	52
Çizelge 4.3. Kullanılan lazerin özellikleri	52
Çizelge 4.4. Kullanılan tungsten lambanın özellikleri	53
Çizelge 4.5. Kullanılan DC güç kaynağının özellikleri	53
Çizelge 4.6. Kullanılan Piko-ampermetrenin özellikleri	54
Çizelge 4.7. Kullanılan nötral yoğunluklu filtrelerin özellikleri	54
Çizelge 4.8. Analog-Dijital dönüştürücünün özellikleri	55
Çizelge 4.9. Pin-Diyod'un özellikleri	56
Çizelge 5.1. Test Algoritması	72
Çizelge 5.2. Hamamatsu şirketi tarafından yollanan sonuçlar ile Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği laboratuvarında yapılan testlerin sonuçlarının karşılaştırılması	72

ŞEKİLLER DİZİNİ	SAYFA
Şekil 2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısının geçtiği yerlerin Cenevre üzerinden çekilmiş fotoğraflardaki gösterimi	2
Şekil 2.2. LEP tünelinin içeriden görünüşü	4
Şekil 2.3. CMS dedektörünün üç boyutlu görünüşü	7
Şekil 2.4. CMS dedektörünün enine görünüşü	9
Şekil 2.5. CMS dedektörünün uzunlamasına görünüşü	10
Şekil 2.6. CMS dedektörünün diğer bir üç boyutlu görünüşü	13
Şekil 2.7. Castor Kalorimetresinin yarım görünümü	15
Şekil 2.8. LHC’de Pb-Pb çarpışmalarında değişik parçacık sayılarının (üstte) ve enerjilerinin(alтта) pseudorapiditenin fonksiyonu olarak dağılımları.....	16
Şekil 3.1. Bir foto-çoğaltıcı tüpün şematik gösterimi	21
Şekil 3.2. Voltaj bölücü devre	22
Şekil 3.3. Çeşitli foto-katotların spektral duyarlılıkları ve kuantum verimlilikleri	24
Şekil 3.4. Negatif elektron eğilimli foto-katotun spektral duyarlılık karakteristikleri	26
Şekil 3.5. Foto-çoğaltıcıların giriş pencerelerinde kullanılan çeşitli camların dalga boylarının fonksiyonu olarak yüzde geçirgenlikleri.....	28
Şekil 3.6. Genel amaçlı iki foto-çoğaltıcının elektron giriş sistem geometrisi	30
Şekil 3.7. Çeşitli dinot materyalleri için ikincil yayılım oranı	32
Şekil 3.8. Daire-Kafes tipli dinot	33
Şekil 3.9. Kutu-Izgara tipli dinot	33
Şekil 3.10. Doğrusal-Odaklayıcı dinot	34
Şekil 3.11. Toplama Bölgesi (a) Odaklanmış dinot tipi (b) Izgara tipli dinot	36
Şekil 3.12. Son dinot ve anot için Voltaj-Akım grafiği	36

Şekil 3.13.	Mikrokanallı–levha foto-çoğaltıcıların içinden bir kesit	38
Şekil 3.14.	Sıcaklığın fonksiyonu olarak saniye başına karanlık akım atımlarının sayılarındaki değişiklik	41
Şekil 3.15.	Karanlık akımın baskın üç nedeninin besleme voltajının fonksiyonu olarak değişimi	42
Şekil 3.16.	Magnetik alanın fonksiyonu olarak kazanç değişimleri (a)Lineer odaklayıcı dinota sahip foto-çoğaltıcı tüp için (b) Panjur Tipli dinota sahip foto-çoğaltıcı tüp için	45
Şekil 3.17.	Magnetik duyarlılığı ölçmek için kullanılan eksenler	45
Şekil 3.18.	Hızlı-Cevap foto-çoğaltıcılarda anot akım atım tepkisi	46
Şekil 3.19.	(a) Delta fonksiyonunun atım genişliği (b) Yükselme zamanı (c) Delta fonksiyonunun yükselme zamanı	47
Şekil 3.20.	Geçiş zamanındaki dalgalanmalar sebebiyle cevap-atım istikrarsızlığı	49
Şekil 4.1.	Hamamatsu R7378A foto-çoğaltıcı tüp	50
Şekil 4.2.	(a) Anot taban görünümü, (b) Katot taban görünümü, (c) Anot tabanın arkadan görünüşü ve PMT'ye takılışı ve (d) Katot tabanın arkadan görünüşü ve PMT ye takılışı	57
Şekil 4.3.	Deneysel düzeneğin şematik gösterimi	58
Şekil 4.4.	Zaman yanıtı parametrelerini ölçmek için kullanılan test ölçüm düzeneği	59
Şekil 4.5.	Zaman yanıtı parametreleri test ölçüm düzeneğinin içten görünüşü	59
Şekil 4.6.	Alınan ölçümlerden bir osiloskop ekranı görüntüsü	60
Şekil 4.7.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için sinyalin yükseliş süresinin voltajın fonksiyonu olarak değişimi	61
Şekil 4.8.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının yükseliş zamanlarının 1000V'ta ölçülen değerlerinin dağılımı	62
Şekil 4.9.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için sinyal genişliğinin voltajın fonksiyonu olarak değişimi.....	62

Şekil 4.10.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının sinyal genişliğinin 1000V'ta ölçülen değerlerinin dağılımı	63
Şekil 4.11.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için elektron geçiş süresinin uygulanan voltajın fonksiyonu olarak değişimi	63
Şekil 4.12.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının 1000V'ta ölçülen elektron geçiş süresi dağılımı.....	64
Şekil 4.13.	Kazanç ölçümlerinde kullanılan test düzeneğinin şematik görünümü	65
Şekil 4.14.	Kazanç test düzeneği	66
Şekil 4.15.	Kazanç test düzeneğinin içten görünümü	67
Şekil 4.16.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için kazancın uygulanan voltajın fonksiyonu olarak değişimi.....	68
Şekil 4.17.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının 1000V'ta ölçülen kazanç dağılımı.....	68
Şekil 4.18.	Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının 1000V'ta ölçülen karanlık akım dağılımı	69

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

CMS	: Küçük Müon Solenoid
CASTOR	: Centauro ve Acayip Cisim Araştırmaları
SM	: Standart Model
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LEP	: Büyük Elektron Pozitron Hızlandırıcı
LHC	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
MeV	: Milyon Elektron Volt
GeV	: Milyar Elektron Volt
TeV	: Trilyon Elektron Volt
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
P	: Momentum
σ_{el}	: Elektronik Gürültüden Kaynaklanan Gürültü Terimi
a	: Olasılık Terimi
c	: Sabit Terim
g_2	: İkinci Dinottan Yayınlanan Elektronların Sayısı
n_k	: Dinotun Kazancı
g_1	: İkincil Elektronların Sayısı
N	: Dinotların Sayısı
\mathcal{E}_e	: Katot Yüzeyindeki Elektrik Alanın Büyüklüğü
M	: Elektron Kütlesi
e	: Elektronun Yüğü
r	: Elektron Saçılmasının Yarıçapı
v	: Hız
L	: Uzunluk
E	: Enerji
δ	: Yayınım Oranı
M	: Çoğaltıcının Kazancı
V	: Voltaj

$n_{k,i}$: Foto-Elektron sayısı
J	: Akım Yoğunluğu
T	: Mutlak Sıcaklık
k	: Boltzmann Sabiti
W_{th}	: İş Fonksiyonu
A	: Sabit

1. GİRİŞ

Yüksek Enerji Fiziği, maddeyi oluşturan temel parçacıkları ve bu parçacıklar arasındaki etkileşmeyi inceleyen bilim dalıdır. 2008 yılının sonlarına doğru Standart Modelin (SM) ötesindeki fizik konularını araştırmak için dünyanın en büyük ve en güçlü parçacık hızlandırıcısı olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) çalışmaya başlamıştır. Çevresi yaklaşık 27 km olup 14 TeV'lik kütle merkezi enerjisine sahip protonlar çarpıştırılacaktır. BHÇ'de bulunan dört büyük deney; CMS (Compact Muon Solenoid), ATLAS (A Torodial LHC Apparatus), ALICE (A Large Ion Collider Experiment), LHC-B (A Large Hadron Collider Beauty), bu araştırmalarda önemli rol oynayacaktır. CMS dedektörü genel amaçlı bir dedektör olup SM ötesindeki fiziği araştırmak için dizayn edilmiştir. CMS dedektörü eklenecek olan iki kalorimetre ile BHÇ için daha uygun hale getirilecektir. Bu kalorimetrelere birisi CMS deneyinin alt dedektörü olan CASTOR (Centauro And Strange Object Research) kalorimetresidir. CMS dedektörü yüksek manyetik alan oluşturmak için süper iletken bir solenoid, güçlü bir müon sistemi, yüksek çözünürlüğe sahip bir elektromanyetik kalorimetre, kayıp enerji ve jetleri belirlemek için bir hadronik kalorimetre ve izlerin momentumlarının ölçümleri için de izleyici sistemden oluşmaktadır. CMS'nin bir alt dedektörü olan CASTOR dedektöründe soğurucu madde olarak tungsten, aktif eleman olarak da kuvars plakalar kullanılmaktadır. Parçacıkların oluşturduğu duşta elektron ve pozitron bileşeni için kuvars plakalar kullanılmaktadır ve relativistik elektron ve pozitronlar kuvars plakadan geçerken Cherenkov ışınımı oluştururlar. Kuvars plakalar Cherenkov ışınımını verimli bir şekilde yakalamak için 45 derecelik bir açı ile eğdirilir ve kuvars plakadan gelen ışık, ışık klavuzları tarafından toplanır. Bu ışık klavuzları ise foto-çoğaltıcı tüplere bağlıdır. Dedektörün her parçası gibi CASTOR kalorimetresinde kullanılacak foto-çoğaltıcı tüplerin de CASTOR kalorimetresine monte edilmeden önce test edilmesi gereklidir. Bu nedenle, bu foto-çoğaltıcı tüplerden 124 tanesi gerekli kalite kontrol testlerinin yapılması için Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği Laboratuvarına gönderilmiştir. Kalite kontrol testleri yapılarak dedektörlere yerleştirilmesi için CERN'e tekrar yollanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Büyük hadron çarpıştırıcısı (BHÇ), İsviçre'nin Cenevre şehrinde bulunan CERN araştırma merkezinde inşa edilmiş dünyanın en büyük hadron çarpıştırıcısıdır. 2008 yılında test denemeleri yapılmış olup bu yıl operasyona başlamış ve Amerika'da Şikago yakınlarında bulunan Fermilab araştırma merkezinde bulunan Tevatron'un enerjisi aşılarak bir aşama daha kaydedilmiştir. BHÇ mevcut olan LEP tüneline yerleştirilmiş olup tam kapasitede çalıştığında Fermilab'ta bulunan proton-antiproton çarpıştırıcısından 7 kat daha büyük kütle merkezi enerjisinde ($\sqrt{S}=14$ TeV) proton-proton çarpışmalarını gerçekleştirecektir. Buna ek olarak, nükleon başına 2.76 TeV'lik kütle merkezi enerjisi ile ağır iyon çarpışmaları gerçekleştirecektir. Bu enerji seviyesi Brookhaven laboratuvarındaki relativistik ağır iyon çarpıştırıcısından 30 kat daha büyüktür.

CERN'de bulunan LEP'ten kalan donanım BHÇ için protonları önceden hızlandırmayı sağlamak için geliştirilmiştir. Protonları yüksek enerjilere hızlandırmak için mevcut hızlandırıcı serileri kullanılmaktadır: Doğrusal bir hızlandırıcı protonları 50 MeV'e, Booster 1.4 GeV'e, PS 25 GeV'e ve SPS 450 GeV'lik enerjiye ulaştıracaktır ve en son olarak da BHÇ'de 7 TeV'lik enerjiye ulaştıracaktır. Aynı tür parçacıları aynı hızlandırıcıda hızlandırmak için ters yönde iki ayrı hızlandırıcı kanalı gerekmektedir. Bu iki kanal ve bunların süperiletken mıknatısları ile ilgili bobinleri sabit bir düşük sıcaklık içeren aynı yapı içine konacaktır. Dipoller 1.9 °K sıcaklığında çalışacak ve yaklaşık olarak 8 teslalık bir magnetik alan sağlayacaktır.

BHÇ'nin ana parametreleri Tablo 2.1.'de gösterilmiştir (Schmidt, 2006). Her demet 7.5 cm uzunluğunda olup içerisinde 10^{11} proton bulunur ve demetin etkileşme noktasındaki enine genişliği $15 \mu\text{m}$ 'dir.

BHÇ'nin dört ayrı çarpışma noktasına yerleştirilmiş dört deney olacaktır: CMS ve ATLAS çok amaçlı dedektörler olup yüksek enerji fiziğinin bir çok

konusunda araştırmalar yapmak üzere tasarlanmıştır. ALICE , Pb-Pb çarpışmalarında ağır iyon fiziği çalışmak ve LHCb’de B-fiziği için dizayn edilmiştir.



şekil 2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısının geçtiği yerlerin Cenevre üzerinden çekilmiş fotoğraflardaki gösterimi.



Şekil 2.2. LEP tünelinin içeriden bir görünüşü.

Tablo 2.1. BHÇ parametreleri.

Çarpışma demet enerjisi	7 TeV
Enjeksiyon demet enerjisi	450 GeV
Dipol alanı şiddeti	8.33 T
Işıklık	$10^{34} cm^{-2} s^{-1}$
DC demet akımı	0.56 A
Öbek boşluğu	7.48 m
Öbek ayrımı	24.95 ns
Her öbekteki parçacık sayısı	10^{11}
Toplam geçiş açısı	300 μ rad
Işıklık ömrü	10 saat
Her bir dönmedeki enerji kaybı	7 keV
Her bir demet için toplam ışınlam gücü	8.3 kW
Her demette depolanan enerji	350 MJ
Halkayı doldurma süresi	4.3 dk

2.2. Compact Muon Solenoid Dedektörü

CMS, LHC’de yüksek enerji fiziğinin güncel sorularına yanıt aramak üzere dizayn edilen dört deneyden bir tanesidir. CMS deneyinin dizayn edilme amacı ve hedefleri aşağıda özetlenmiştir:

1. Güçlü bir süperiletken solenoidin yüksek manyetik alanı sayesinde sıkı bir yapı sağlamak.
2. Mükemmel ve güçlü bir müon sistemi oluşturmak.
3. Yüksek çözünürlüklü elektromanyetik kalorimetre dizayn etmek.
4. $E_T^{kayıp}$ ölçümlerini gerçekleştirmek ve yüksek çözünürlükte jet belirlemek için hadronik kalorimetre dizayn etmek.
5. Yüklü parçacık izlerini belirleyip momentumlarını yüksek çözünürlük ile ölçmek için bir iç izleyici sistemi kurmak.

CMS dedektörünün azimutal simetriye sahip silindirik bir şekli vardır. Uzunluğu 21.6 m, çapı 14.6 m ve toplam ağırlığı 14500 ton’dur. Dedektör hemen hemen 4π ’lik bir katı açığı kapsar ve Miknatıs, Müon Sistemi, İzleyici, Kalorimetre olmak üzere dört temel alt sisteme sahiptir. Dedektörün merkez kısmında demet yönüne paralel 4 teslalık bir manyetik alan bulunur.

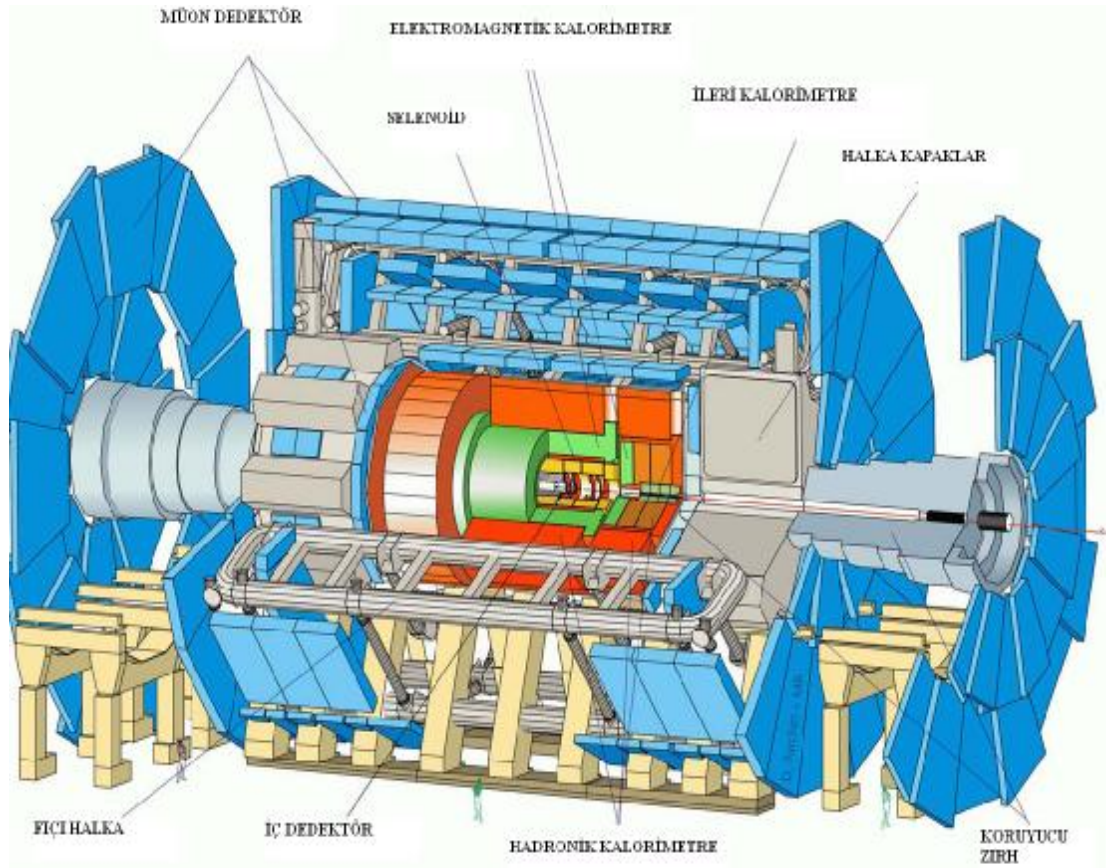
CMS referans çerçevesine göre; x - eksenini çarpıştırıcının merkezine doğru, y - eksenini yukarı doğru, z - eksenini demet boyunca yönelmiştir. Sıklıkla pseudo-küresel bir sistem kullanılır. Enine düzlem geometrisinde, r yarıçap, Φ ise y eksenini ile ilgili azimutal açı, θ ise z eksenini ile ilgili polar açı olarak tanımlanır. Fakat polar açı θ yerine pseudorapidite η kullanılır.

$$\eta = -\ln \tan \frac{\theta}{2} \quad (2.1)$$

pseudorapidite y rapiditesinin bir yaklaşımıdır ve rapidite de aşağıdaki denklem ile belirtilir.

$$y = \ln(E + P_z / E - P_z) \quad (2.2)$$

Burada, E parçacığın enerjisi ve P ise momentumudur. Şekil 2.3.'de CMS dedektörünün üç boyutlu görünüşü verilmektedir .



Şekil 2.3. CMS dedektörünün üç boyutlu görünüşü.

2.3. Mıknatıs

CMS dedektörünün mıknatısı 5.9 m iç yarıçapında ve 13 m uzunluğunda uzun bir süperiletken solenoittir ve 4 T'lık düzgün bir magnetik alan oluşturur. Magnetik akı müon sisteminin arasındaki doyuma ulaşmış 1.8 m kalınlığındaki demir boyunduruktan geçerek geri döner. Boyunduruk herbiri üç demir tabakadan yapılmış beş fiçı halkası ve iki kapaktan oluşur. Solenoidin güzel bir yönü müon dedeksiyonuna izin vermesi.

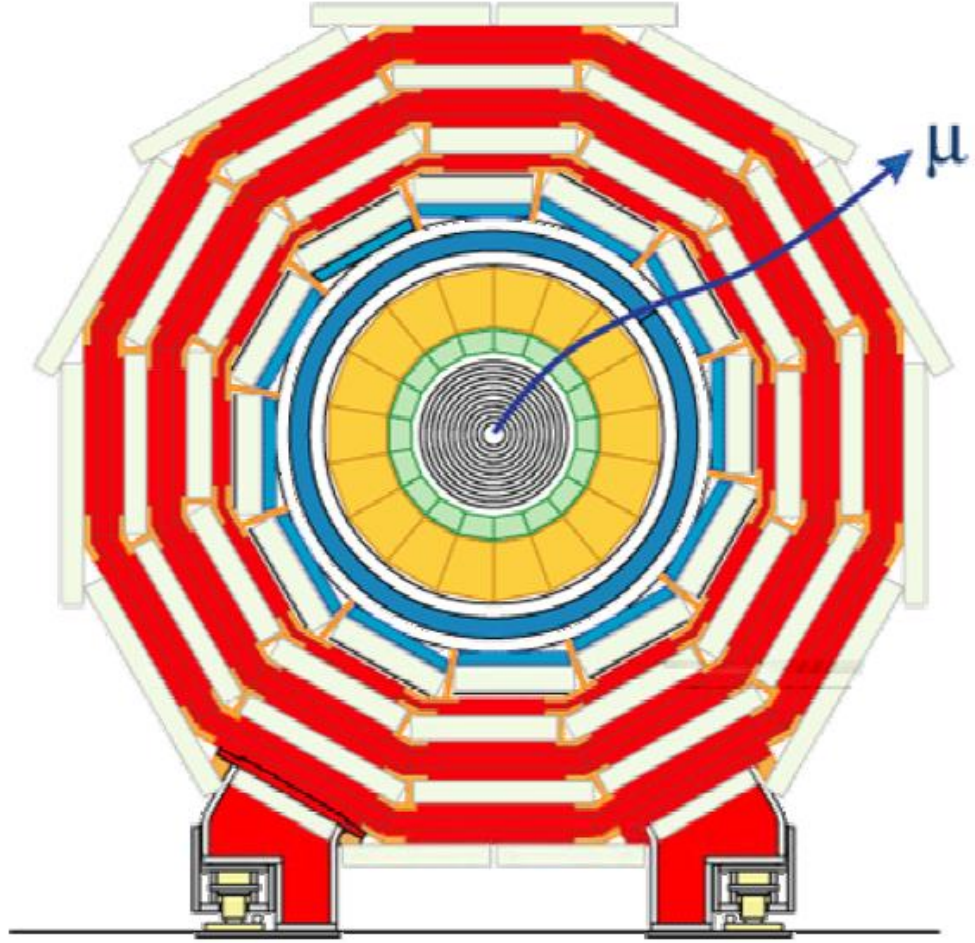
Müon spektrometresinde mıknatıs kullanılır ve dedektör dizaynı yalındır. Kalorimetre ve izleyiciyi yerleştirmek için iç bobin yarıçapı yeterince büyüktür. Mıknatıs; genişlik, büyüklük, bakımından CMS'nin ana elementi olmasından dolayı diğer fiçı dedektör bileşenlerini desteklemek için temel yapısal element olarak kullanılır (CMS TDR).

2.4. Müon Sistemi

Müonların varlanması ve momentumlarının ölçülmesi CMS deneyinin ana amacıdır. Müonlar, sadece Higgs ve SUSİ'yi keşfetmekte kullanılmakla kalmaz bir de onların özelliklerini belirlemek için önemli işaretler sunar. Müon belirlemede müonların yüksek nüfus edici gücüne güvenilir. Şekil 2.4.'de CMS dedektörünün enine görünüşü verilmektedir (CMS TDR). Burada kırmızı renkte gösterilen en dış tabakadaki dedektörler müon dedektörleridir.

Müon dedektörleri, diğer bütün yüklü parçacıkları durdurması beklenen kalorimetreden sonra, magnetik alanın dışına yerleştirilir.

Müon sistemi ilginç olayları algılamak üzere dedektörü tetiklemek için de önemli bir rol oynar. Bu nedenle çok hızlı dedektörlerden oluşmalıdır (CMS TDR).



Şekil 2.4. CMS dedektörünün enine görünüşü.

2.6 . Elektromagnetik Kalorimetre

Yüksek çözünürlüklü $PbWO_4$ (kurşun tungstat) kristallerden oluşan elektromagnetik kalorimetre (EKAL) elektronların ve fotonların enerjilerini yüksek hassasiyetle ölçmek için dizayn edilmiştir. Elektromagnetik kalorimetre $m_H < 150$ GeV Higgs kütlesi için $H \rightarrow \gamma\gamma$ bozunma modunda fotonları ve $140 < m_H < 700$ GeV kütle aralığı için $H \rightarrow WW$ ve $H \rightarrow Z^*Z$ bozunmalarında elektronları ve pozitronları ölçerek Higgs araştırmaları için çok önemli rol oynar. Bu fizik amaçlarını gerçekleştirebilmek için elektromagnetik kalorimetrenin enerji çözünürlüğünün çok iyi olması gerekir. Kristallerin tetikleyici seviyelerinde kullanılabilirlikleri içinde tepki sürelerinin çok hızlı olması gerekir.

Dedektör, yüksek radyasyon alanına yerleştirileceğinden dedektörde kullanılacak materyaller radyasyona dayanıklı olmalıdır. $PbWO_4$ yüksek yoğunluğa ve küçük Moliere yarıçapına sahiptir ve dar duşlara (sağnak) izin verir. Ayrıca bu kristallerin sintilasyon süreci hızlıdır (20 ns). Kurşun tungstat radyasyona da dayanıklıdır. EKAL fıçı ve kapak kısımlarından oluşur. Fıçı kısım $\eta < 1.48$ alanı, kapak kısmı ise $\eta < 3$ alanı kapsar.

CMS – EKAL 8×10^5 den daha fazla kristale sahiptir. Güçlü bir magnetik alana yerleştirilmesi nedeniyle EKAL’de foto-çoğaltıcı tüp kullanmak mümkün değildir. Fıçı bölgesi için silikon avalanj fotodiyot ve kapak bölgesi için de radyasyona dayanıklı vakum fototriyot kullanılır.

EKAL için enerji çözünürlüğü aşağıdaki şekilde parametrize edilir:

$$(\sigma/E)^2 = (a/\sqrt{E(\text{GeV})})^2 + (\sigma_n/E(\text{GeV}))^2 + c^2$$

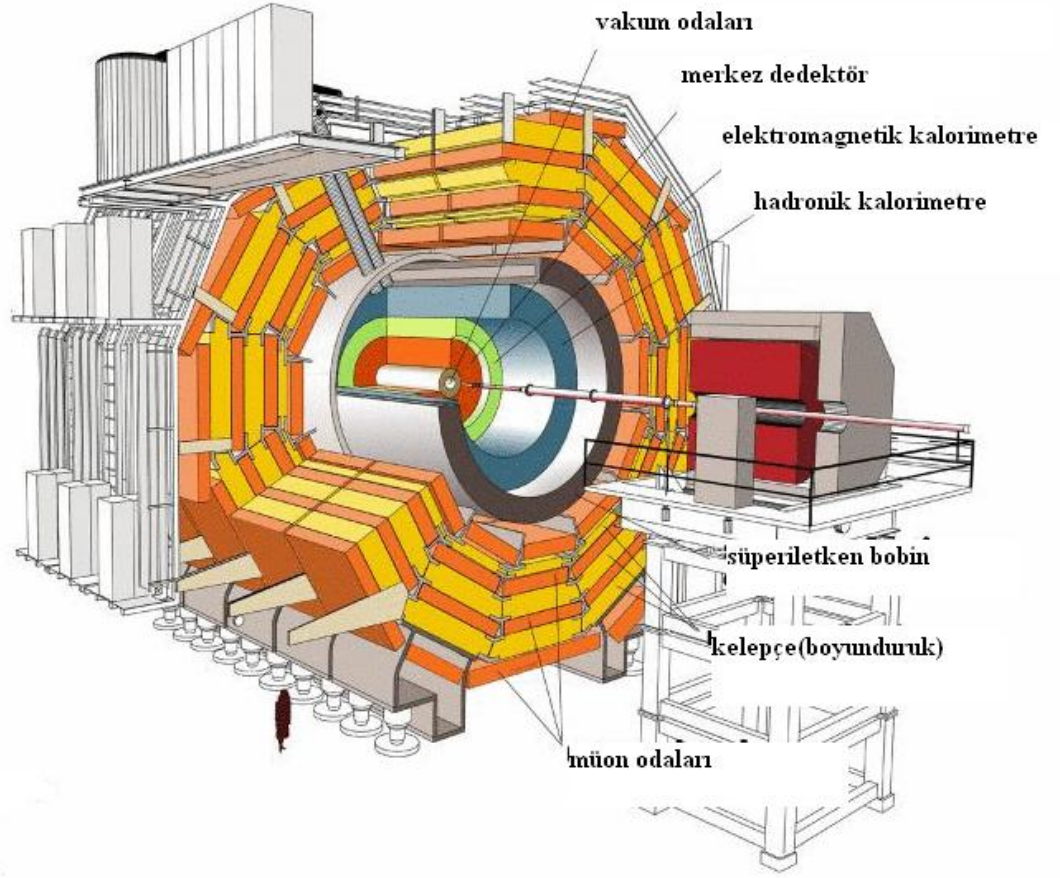
burada a , bir olasılık terimidir ve foto istatistikten gelen katkı ve duş içerisindeki dalgalanmaları içerir, σ_n elektronik gürültüden kaynaklanan gürültü terimi ve c de sabit terimdir.

2.7. Hadronik Kalorimetre

Hadronik kalorimetre (HKAL) mıknatıs içine elektromanyetik kalorimetreyi sarmalayacak şekilde yerleştirilmiştir. HKAL, EKAL ile birlikte jetlerin yönlerini ve enerjilerini ölçmek için kullanılır. Enine kayıp enerji ölçümü de sağlar. Bu ölçümler süper-simetrik parçacıkların ve yüksek kütle aralığındaki Higgs bozonlarının keşfinde önemli rol oynar. Diğer yandan iyi bir kayıp enerji çözünürlüğü başarmak için kalorimetrenin $\eta < 5$ alanını kapsaması gerekmektedir.

HKAL, fiçı(HB), kapak (HE) ve ileri (HF) kalorimetre kısımlarından oluşur. CMS solenoidinin 4 T'lık alanının içinde bulunan HKAL'in fiçı ve kapak kısımları $|\eta < 3|$ pseudorapidite alanı kapsar. HF merkez dedektörün dışına demet borusu etrafına yerleştirilir ve $|\eta < 5.3|$ pseudorapidite alanı kapsar. HB ve HE, 50mm kalınlığında bakır soğurucu ile 4 mm kalınlığındaki plastik sintilatör levhalardan oluşan örnekleyici kalorimetrelere. Işık, hibrit (karma) fotodiodlarla dedekte edilir. HB ise herbiri 4.3 m uzunluğunda iki yarım fiçiden yapılmıştır. Şekil 2.6.'da CMS dedektörünün diğer bir üç boyutlu görünüşü verilmektedir (CMS TDR).

HE, yüksek magnetik alan içinde ve fiçı dedektörlerin herbir ucunda olan iki kapaktan oluşur (CMS TDR).



Şekil 2.6. CMS dedektörünün diğer bir üç boyutlu görünüşü.

2.8. CASTOR Dedektörü

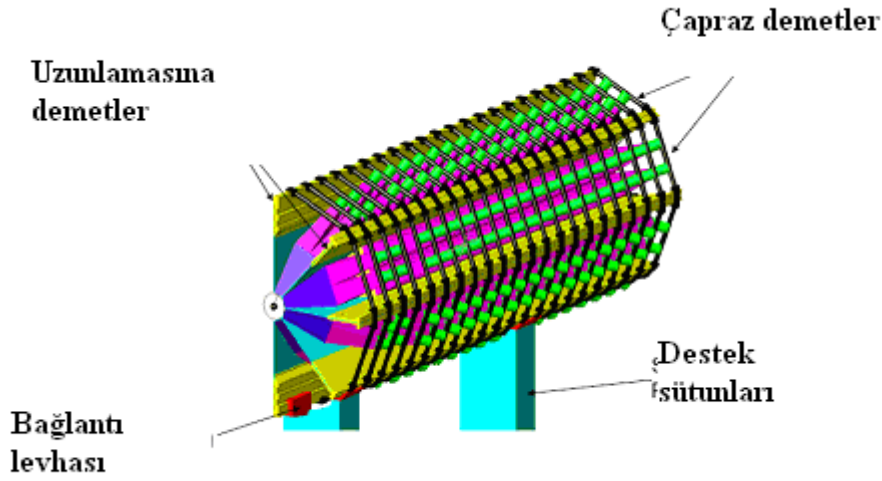
CASTOR'da soğurucu materyal oluşacak duşların boyutlarını küçültebilmek için tungstenden yapılmıştır. Duşların elektron-pozitron bileşeni tungsten levhalar arasına sıralanan ince kuvarz plakalar tarafından örneklenir. Hadronlar içinse sinyale katkıda bulunan π^0 bileşenidir. Relativistik elektronlar ve pozitronlar kuvars levhada Cherenkov ışınımı üretirler. Kuvars kullanılma sebebi radyasyonun verdiği zararlara dayanıklı olmasıdır.

CASTOR'un 10-100 MGy aralığında radyasyon alması beklenmektedir. Kuvars plakalar Cherenkov ışınımını verimli bir şekilde yakalamak için 45° açı ile eğdirilir. Yedi adet kuvars plakadan çıkan ışık 22.5° azimutal açıyı kapsayan hava ile doldurulmuş ışık klavuzları yoluyla toplanır. Işık klavuzları foto-çoğaltıcı tüplere bağlanır. Üretilen sinyal toplanan ışık miktarı ile orantılı olur. Elektromagnetik parçacıklar (fotonlar ve elektronlar) hadronik parçacıklara (pionlar ve protonlar gibi) göre dedektör içinde daha az mesafe katederler. Bu nedenle dedektörün ilk 11.5 cm'lik elektromanyetik kısmında 3 mm tungsten ve 1.5 mm'lik kuvars plakalar ve 1.25 m'lik hadronik kısımda ise sırasıyla 5mm'lik tungsten ve 2 mm'lik kuvars plakalar kullanılır. Bu dizayn ile hadronlar tarafından üretilen pozitron ve elektronların duş çapları 1cm mertebesinde olup diğer tip kalorimetrelerle karşılaştırıldığında bu duş boyutu oldukça küçük sayılır. Işık, oldukça kısa bir zamanda ($< 20\text{ns}$) üretilir ve bu methodla çalışan dedektörler sintilatör-temelli dedektörlerden çok daha hızlıdır.

Etkileşim bölgesindeki parçacıkların tam giriş noktalarını belirlemek için CASTOR'un önünde ince bir iz dedektörü olacaktır. Gelen demetin gaz molekülleri ve demetin geçtiği boru çeperi ile etkileşmesi konusunda endişeler vardır ve bu etkileşme sonucu oluşan istenmeyen reaksiyon ürünleri, CASTOR'un arka uç kısmından içeriye girebilecektir. Bununla birlikte, kuvars plakanın 45° 'lik bir açıya sahip olması nedeniyle CASTOR'un arkasından giren parçacıklar için ışık üretimi oldukça az olacaktır, böylece CASTOR'un çalışmasını çok olumsuz etkilemeyecektir. CASTOR içerisinden protonların geçtiği demet borusunu çevreleyecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu çevreleme tungsten ve kuvars levhaların

1mm kalınlığındaki paslanmaz çelikten yapılmış bir iskelet yapıya bağlanmasıyla yapılır. Bu kendi kendini destekleyen rijit sistem iki yarım silindire bölünmüştür. Şekil 2.7.'de bu yarım silindir gösterilmektedir (CASTOR TDR, 2008).

CASTOR gibi kompleks dedektörlerin elektroniği oldukça gelişmiş olmalıdır. Elektroniğin her 25 ns'de yeni bir olayı okuması ve yüksek radyasyon ortamında yıllarca korunmadan çalışacak olması özellikle de BHÇ'de zorlayıcıdır. Uygun elektroniğin geliştirilmesi dedektörün bütçesi için büyük bir sorun oluşturabilir. Neyseki CASTOR'un yeterince HF'ye benzemesi HF'in elektronik sistemlerini hemen hemen değiştirmeden kopyalamayı mümkün kılmıştır (Norbeck, 2006).

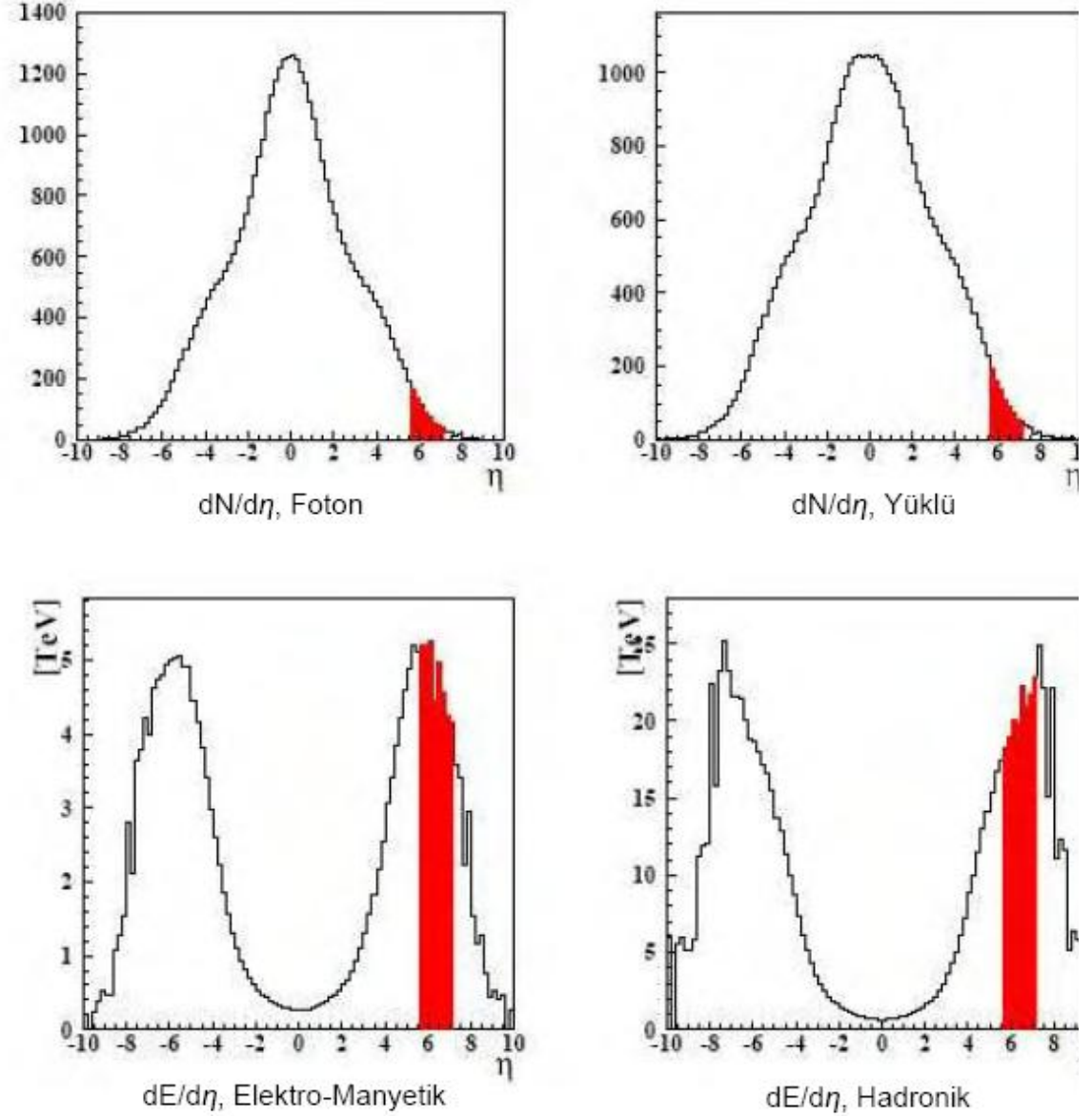


Şekil 2.7. Castor Kalorimetresinin yarım görünümü.

2.9. CASTOR Dedektörünün Fizik Programı

CMS'e CASTOR dedektörünü eklemek proton-proton ve ağır- iyon çarpışmaları için CMS dedektörünün kapasitesini genişletir. Diğer CMS dedektörlerinden alınan veriler ile CASTOR'dan alınan ölçümlerin ilişkilendirilmesi CASTOR'un araştıracağı fizik konularını genişletir. Merkezi kalorimetre, HF ve sıfır dereceli (ZDC) kalorimetresi ile birlikte parçacıkların akışını ve enerjinin hemen hemen

hermitik olarak ölçülmesini sağlayacaktır. Şekil 2.8.'de görüleceği gibi CASTOR tarafından kaplanan pseudorapidite bölgesi özellikle önemlidir (Norbeck, 2006).



Şekil 2.8. LHC'de Pb-Pb çarpışmalarında değişik parçacık sayılarının (üstte) ve enerjilerinin (altta) pseudorapiditenin fonksiyonu olarak dağılımları.

Üst taraftaki histogramlar Pb-Pb merkez çarpışmalarından çıkan parçacıkların pseudorapidite dağılımını göstermektedir. Histogramın alt tarafı ise enerji dağılımını göstermektedir. CASTOR'un olduğu yer (pozitif η) kırmızı bant ile gösterilmektedir.

Diğer kalorimetrelerle karşılaştırıldığında CASTOR'a çarpan parçacıkların nispeten az olmasına rağmen CASTOR, dedektörlerdeki toplam enerji akışının büyük bir kısmısını taşır. Proton-Proton çarpışmalarında enerji dağılımları çok yüksek $|\eta|$ değerlerine kayar, fakat yine de CASTOR'da önemli bir kısım kalır.

2.10. Proton-Proton Etkileşmesi

LHC'deki proton-proton çarpışmalarının ilk hedefi standart model ötesindeki fiziği (süpersimetri gibi) ve Higgs bozonlarını araştırmaktır. Nadir rastlanan süreçleri ortaya çıkarmak için çok yüksek ışıklık gerektiğinden CASTOR kalorimetreleri bu gibi özel çalışmalarda faydalı olmayacaktır. Bununla birlikte proton-proton programlarına temel katkılar sağlamak için kullanılır. CASTOR, hızlı yanıt zamanı ve büyük enerji depo etmesi sebebiyle LHC makinesini ilk geliştirme aşamalarında ışıklık monitörü olarak faydalı olabilir. Enerji kayıp mekanizmaları gibi temel özelliklerin araştırılması Higgs bozunun keşfi kadar heyecan verici olmasa da bu ölçümler QCD (kuantum renk dinamiği)'yi anlamamıza önemli katkı sağlar. Çok ileri açılardaki ölçümler, protonun yapısını ve düşük- x bileşenlerinin etkileşimlerini anlamamıza izin verir. Difraktif süreçlerin çalışılabilmesi için çıkan parçacıkların tümünün dışarı kaçmaması ve dedektörde görebilmesi önemlidir. Difraktif olaylar çarpışma ürünleri arasındaki büyük rapidite boşlukları ile karakterize edilir. Böylece bu olaylar proton-proton çalışmalarında ayırt edici olur. Son olarak CASTOR'da boyuna bölünmeler izole parçacıkların depo edilmiş enerji profillerini detaylı bir şekilde araştırmaya izin verdiğinden üretilen çeşitli ekzotik parçacık türlerinin algılanmasını sağlayabilir (Norbeck, 2006).

2.11. Proton-Çekirdek Etkileşmesi

Proton-çekirdek etkileşmeleri proton-proton ve çekirdek-çekirdek etkileşmeleri arasında ara sistem vazifesi görür. İlginç ve yeni fizik imkanları getirirken aynı zamanda bu çalışmalar küçük ve büyük sistemler arasındaki farklılıkları yorumlamak için de kullanılabilir. Örneğin; RHIC deneyinde gözlemlenen döteron-çekirdek çarpışmalarında görülmeyen, fakat çekirdek-çekirdek çarpışmalarında görülen Jet sönümlenmesi, büyük hacimde yüksek enerji yoğunluklu maddenin yaratılmasından kaynaklanan bir çıkış-kanalı etkisidir.

Yüksek pseudorapidity verisi enerji akışını çalışmak için önemlidir. Enerji ile birlikte nükleon-nükleon inelastik tesir kesitinin artması sebebiyle, gelen proton aynı anda bir çok nükleonla etkileşebilir.

BHÇ'de kütle merkezinin enerjisi, atmosfer veya diğer materyaller ile çarpışan kozmik ışınların çok yüksek enerjilerine yakındır. Proton-nükleon çarpışmalarının, özellikle kütle numarası $A=14-16$ olan çekirdekler kullanarak, temel parametlerinin ölçülmesi ultra yüksek enerjili kozmik ışın verilerini açıklamak ve bunları daha yüksek enerjilere ekstrapole etmek için oldukça önemlidir. Ayrıca, daha ağır iyon verileri, BHÇ verilerini, emülsiyon-odacık deneylerindeki kozmik ışın verileri ile karşılaştırmak için oldukça önemlidir (Norbeck, 2006).

2.12. Çekirdek-Çekirdek Etkileşmesi

RHIC verileri çekirdek-çekirdek çarpışmaları sonucu oluşan çok yüksek enerji yoğunluklu sistemlerin partonik olduğunu göstermiştir. Bugünkü çalışmalar, maddenin bu yeni formunun özelliklerini araştırmaya odaklanmıştır. CMS bu çalışmalara son derece önemli katkılar yapacaktır ve CASTOR bu konuda önemli veriler sağlayacaktır. Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi çekirdek-çekirdek çarpışmalarında enerjinin büyük bir kısmı CASTOR'un kapsadığı kinematik bölgede depo edilir (Norbeck, 2006).

2.13. Daha Önce Kullanılan Foto-çoğaltıcı Tüplerin Veri Analizleri

CASTOR kalorimetresinde foto-çoğaltıcı tüpler kullanılacaktır. Yüksek enerji fiziği deneylerinde kullanılacak malzemeler için üretici firmadan deney kriterlerini sağlayacak malzemeler üretmesi beklenilmektedir. Bu nedenle CASTOR kalorimetresinde kullanılması düşünülen foto-çoğaltıcı tüpler Çukurova Üniversitesi yüksek enerji fiziği laboratuvarına gönderilmiştir ve burada PMT lerin kalite kontrol testleri yapılmıştır (ÖZTÜRK,S. 2007). Ölçülen kazanç değerleri Hamamatsu şirketinin verdiği değerlerden biraz farklı çıkmıştır. Yapılan testler sonucu 1100 V’ daki kazanç 6000 olarak ölçülmüştür fakat Hamamatsu şirketi tarafından 1000V’ daki kazanç 6000 olarak gösterilmiştir ve sadece bir kaç foto-çoğaltıcıda bu değer ve üstü ölçülmüştür. Daha sonra bu foto-çoğaltıcı tüplerin kazancının dedektörün kalibrasyonu için yeterli olmadığı görülerek değiştirilmesine karar verilmiştir. Benzeri bir çalışmada CMS’in HF detektörlerinde kullanılacak tüpleri test etmek üzere Iowa üniversitesinde yapılmıştır (AKGUN,U. 2003). Burada ölçülen Hamamatsu R7525 foto-çoğaltıcıları için kazanç değeri 1000V da 5000 olarak Hamamatsu şirketi tarafından verilirken yapılan testler sonucu bu kazanç değerine 1100 V da ulaşılmıştır. Bundan dolayı elde edilen kazanç değerleri önceki bazı çalışmalarla uyumludur. Ayrıca bir sinyal için varlanma süresi elektron geçiş süresi ile atım genişliğinin toplamıdır. BHC’de her 25 sn de yeni bir çarpışma gerçekleşecektir ve elektron geçiş süresi ile atım genişliğinin toplamı bu süreden kısa olmalıdır. Iowa Üniversitesinde yapılan test sonuçlarına göre geçiş zamanı yaklaşık 15ns civarındadır ve bu ölçümler de 0.1 ns ‘lik istatistiksel belirsizlik bütün foto-tüplerde hemen hemen aynıdır. Bu ise kalorimetrenin düzgün ve kararlı çalışması için çok iyidir. Yükselme zamanı yaklaşık 2 ns ve atım genişliği de yaklaşık 3 ns civarındadır. Yapılan test sonuçlarında 1000 V’da yaklaşık 13 ns’ lik geçiş süresi ve atım genişliği 3 ns civarında ölçülmüştür. Dolayısıyla sinyalin toplam varlanma süresi 25 ns altındadır. Bu da istenilen bir sonuçtur. Aşağıdaki tablo 2.1.’de CASTOR dedektörü için istenilen şartlar verilmiştir (CASTOR TDR, 2008).

Tablo 2.2. Test algoritması.

Yükselme zamanı	< 5ns
Atım genişliği	< 15ns
Geçiş zamanı	< 25ns
Kazanç	> 25 % ($10^4 - 10^5$)

3. MATERYAL METOD

3.1. Foto-Çoğaltıcılar

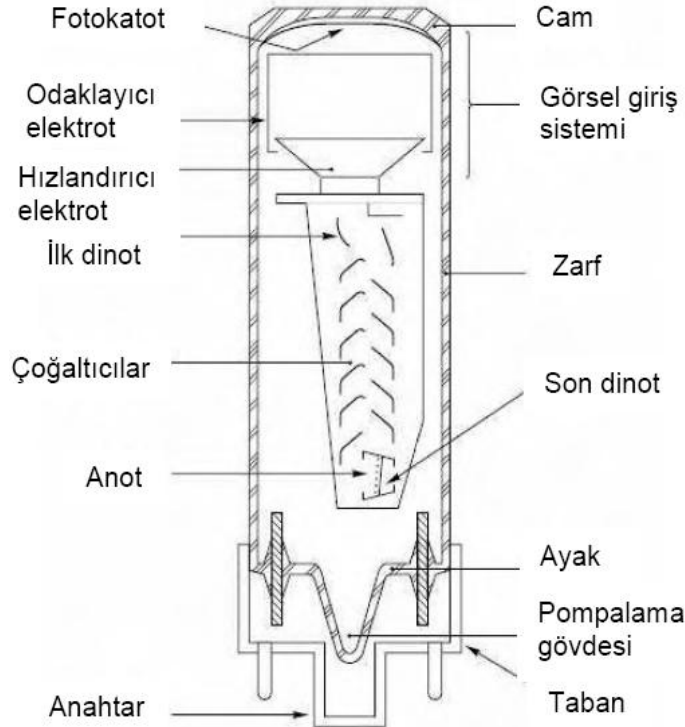
Foto-çoğaltıcı, foto-katodu üzerine düşen ışığı bir elektrik sinyaline çevirir ve bir elektron çoğaltıcı aracılığıyla bu sinyal güçlendirilir ve bu sinyal daha sonra kullanılmak üzere anottan toplanabilir. Şekil 3.1.'de bir foto-çoğaltıcının temel bileşenleri gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı, 1956).

1- Foto-katod; ışık akımını elektron akımına çevirir.

2- Elektron-optik giriş sistemi; katottan gelen elektron akımı hızlandırılır ve ilk dinota odaklanır.

3-Elektron çoğaltıcı sistemi; ikincil yayınım elektrotlarının (dinotlar) bir serisinden meydana gelir ve katot akımının yükseltilmesi için kullanılır.

4-Anot; foto-çoğaltıcıdan elektron akımını toplar ve çıkış sinyali olarak sağlar.



Şekil 3.1. Bir foto-çoğaltıcı tüpün şematik gösterimi.

Bir foto-çoğaltıcıda foto-yayınım ve ikincil yayınım olmak üzere iki temel işlev vardır.

Foto yayınım, bir fotonun bütün enerjisini foto-katot malzemesinin bağlı elektronlarına vermesiyle oluşur. Eğer ilk dinota çarpan foto-elektron sayısı n_k ve dinotun kazancı g_1 ise ikincil elektronların sayısı $n_k \cdot g_1$ olur . Eğer ikinci dinotun kazancı g_2 ise ikinci dinottan yayınlanan elektronların sayısı $n_k \cdot g_1 \cdot g_2$ olur. Bu işlem dinottan dinota ve son olarak anota kadar tekrarlanır ve en sonunda elektronlar anotta toplanır.

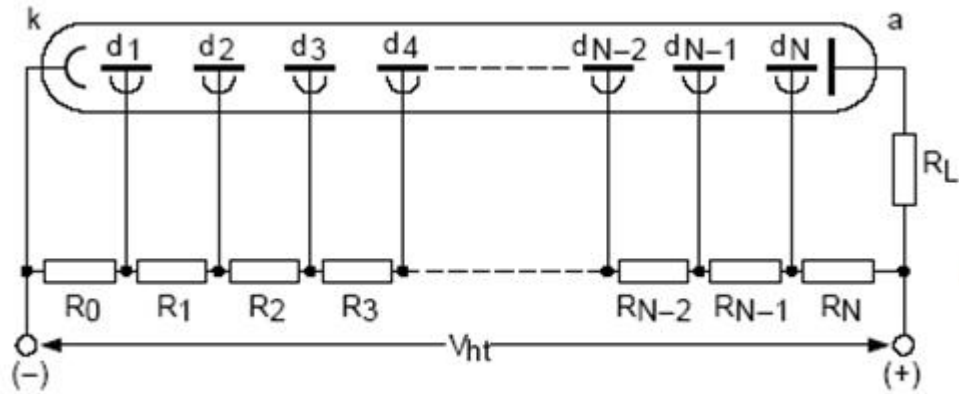
Eğer N toplam dinot sayısı ise, toplanan elektronların sayısı ;

$$n_a = n_k \prod_{i=1}^N g_i \quad \text{olur.} \quad (3.1)$$

Örneğin; eğer her dinodun kazancı 4 ise, 10-dinotlu foto-çoğaltıcının akım yükseltme faktörü M şu şekilde olur;

$$M = \frac{n_a}{n_k} = \prod_{i=1}^{10} g_i = 4^{10} \approx 10^6 \quad (3.2)$$

Elektronlar, dinotlar arasındaki elektrik alan sayesinde hızlandırılır ve bu iş için gerekli potansiyel bir voltaj bölüştürücü ile bir yüksek voltaj kaynağıyla sağlanır. Şekil 3.2.'de basit bir voltaj bölücü devresi gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı).



Şekil 3.2. Voltaj bölücü devre.

3.2.Foto-Katod

Foto-çoğaltıcılarda kullanılan bir katod, foto yayılım özelliğine sahip bir yarı iletken tabakadan yapılır. Foto-çoğaltıcılarda kullanılan iki tür foto-katod vardır:

1-Yarı-saydam katod; Geniş ölçüde kullanılan yarı saydam katotlar giriş penceresinin içerisine yerleştirilir. Gelen ışığın karşısında bulunan yarı-saydam foto-katottan elektronlar yayımlanır. Katod 10 ile birkaç 100 mm çaplı bir alanı kaplayacak büyüklükte, düz veya bombeli yapıdaki cam üzerine yerleştirilir.

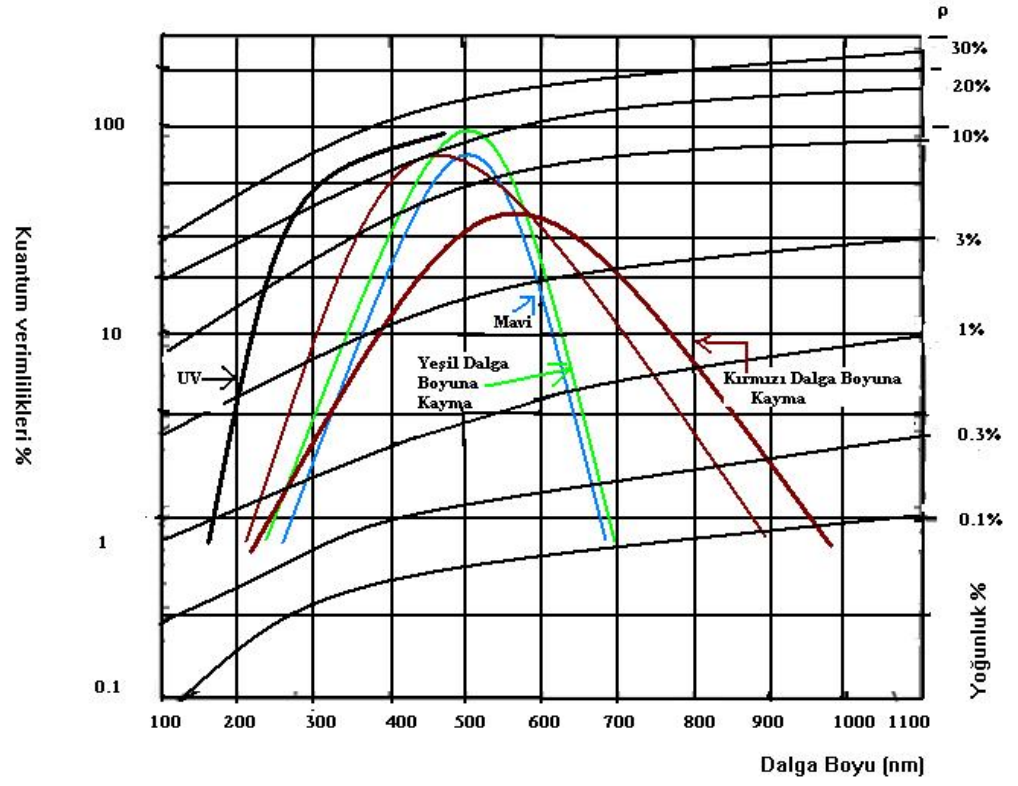
2-Saydam olmayan katod; foto-çoğaltıcı tüp içerisine bir metal elektrot olarak yerleştirilir ve elektronlar aydınlatılmış yerlerden yayımlanır. Bu alan, toplama elektrotların büyüklüğünden dolayı birkaç cm^2 ile sınırlıdır.

3.3. Foto-Katotların Standart Tipleri

En çok kullanılan foto-katod materyaller, gümüş-oksit-sezyum (Ag-O-Cs), antimonide-sezyum (SbCs) ve bi-tri-alkali bileşenler Sb-K-Cs, Sb-Rb-Cs ve Sb- $\text{Na}_2\text{K-Cs}$ 'dir.

Farklı foto-katotların spektral duyarlılıkları, dalga boyunun fonksiyonu olarak Şekil 3.3.'de gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı). Bunlar spektral duyarlılık karakteristikleri olarak adlandırılır. Uzun dalga boyları materyalin foto yayılım eşik değeri tarafından, kısa dalga boylarıysa kullanılan pencere malzemesinin spektral geçirgenliği ile sınırlıdır. Tablo 3.1.'de bazı standart foto-katotların karakteristikleri verilmektedir (Philips-PMT El-kitabı).

Bi ve tri-alkali katotun duyarlılık eğrileri, kalınlıklarının artmasıyla uzun dalga boylarına doğru yer değiştirir. Tri-alkali S20R, foto-katoda (bazen S25 de denilebilir) bir örnektir.



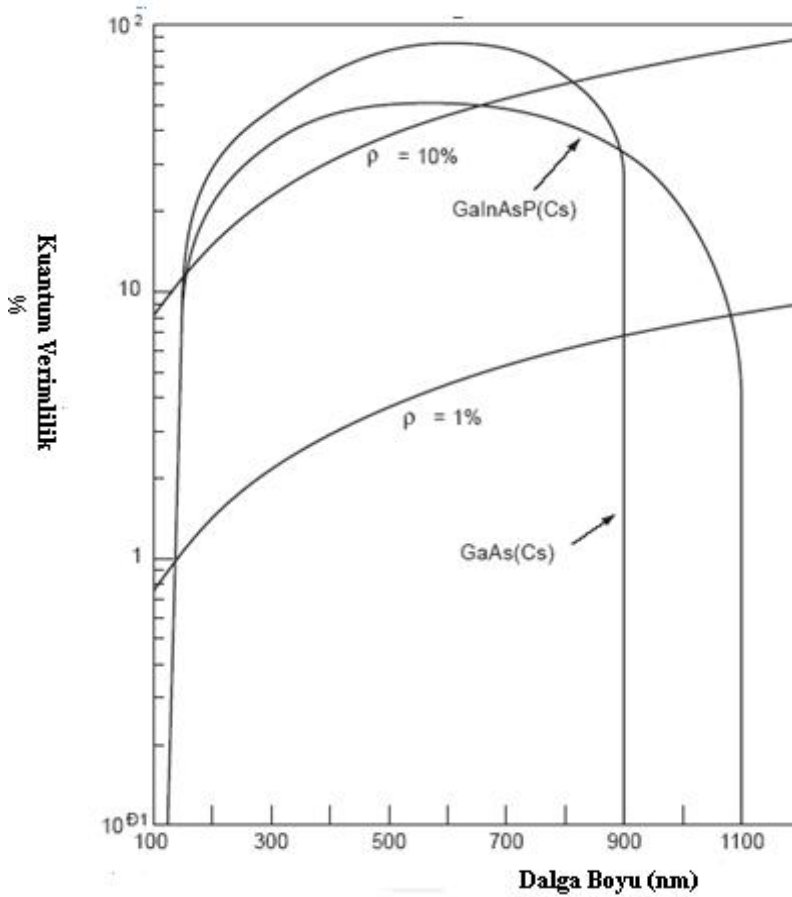
Şekil 3.3. Çeşitli foto-katotların spektral duyarlılıkları ve kuantum verimlilikleri.

Tablo 3.1. Bazı standart foto-katotların karakteristikleri (Philips-PMT El-kitabı).

Spektral Tepki Tipi	Bileşenler	Pencere Tipi	Fotoyayınım Eşik Değeri (nm)	Maksimum Duyarlılıkta Dalga Boyu (nm)	Maksimum Dalga Boyunda Kuantum Verimliliği (%)
S1	AgOCs	1	1100	800	0.4
S4	SbCs ₃	1.2.3	680	400	16
S11	SbCs ₃	1	700	440	22
S13	SbCs ₃	2	700	440	22
S20	SbNa ₂ KCs	1	850	420	20
S20R	SbNa ₂ KCs	1	900	550	8
Bialkali	SbKCs	1	630	400	28
Bialkali	SbKCs	2	630	400	28
Bialkali	SbKCs	1	700	440	28
Bialkali	SbNaK	1	700	400	16
SB(Erimiş silis)	CsTe	2	340	235	10

3.4. Foto-Katodların Diğer Tipleri

Negatif elektron eğilimi olan Ga-As, Ga-In-As ve Ga-In-AsP gibi yarı iletkenler kızılötesine yakın bölgelere uzanan duyarlılıklara sahiptirler. Bu materyaller saydam olmayan (ışığı geçirmeyen) katotlarla sınırlıydılar fakat teknolojik gelişmeler sayesinde artık yarı saydam olarak da kullanılabilirler. Şekil 3.4.'de benzer iki negatif elektron eğilimli foto-katodun spektral duyarlılık eğrileri verilmiştir (Philips-PMT El-kitabı).



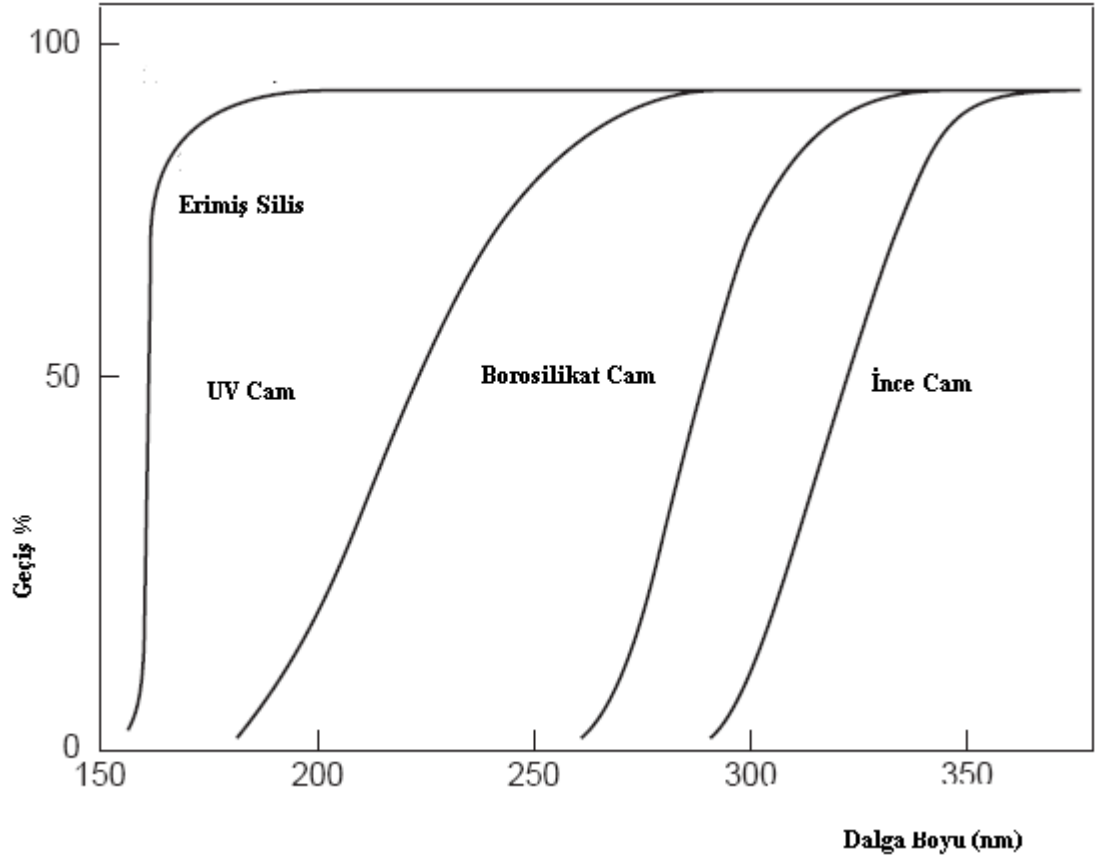
Şekil 3.4. Negatif elektron eğilimli foto-katodun spektral duyarlılık karakteristikleri.

3.5. Optik Özellikler

3.5.1. Giriş Penceresi

Giriş penceresinin materyali, kısa dalga boylu bölgelerde spektral duyarlılığı sınırlar. Şekil 3.5. ve Tablo 2.2’de kullanılan bazı camların karakteristik özellikleri verilmektedir (Phlips-PMT El-kitabı). Bunların başlıcaları; borosilikat ve kireç(kalsiyum) camlardır ve bu camların kesme dalga boyları 250-300 nm arasında yer alır. UV geçirgen camlar ve erimiş silislerin kesme dalga boyları da 250 nm’nin aşağısına kadar uzanır.

Bazı uygulamalarda yansımayı azaltmak için yarı saydam foto-katotlar buzlu cam ile birlikte kullanılır. 105 nm’den daha küçük dalga boyları için saydam materyal yoktur ve havası boşaltılmış bir sistemde camsız foto-çoğaltıcı kullanılmaktadır (alternatif olarak, tek-kanallı elektron çoğaltıcılar ya da mikro-kanallı levha kullanılabilir).



Şekil 3.5. Foto-çoğaltıcıların giriş pencerelerinde kullanılan çeşitli camların dalga boylarının fonksiyonu olarak yüzde geçirgenlikleri.

Tablo 2.2. Foto-çoğaltıcılarda kullanılan bazı camlar ve karakteristikleri.

Pencere Tipi	Kesme Dalga Boyu (%10 azaltma) (nm)	Dalga Boyu (nm)	Kırılma İndisi (n)
İnce Cam	300	400	1.54
Borosilikat	270	400	1.50
UV-Cam	190	400	1.49
Erimiş Silis	160	400 250	1.47 1.50

3.5.2. Elektron-Optiksel Giriş Sistemi

Elektron-optiksel giriş sisteminin amacı ilk dinotun uygun bölgesine bütün foto-elektronları odaklamaktır. Saydam olmayan foto-katotlar iç elektrot olarak yapılır ve bu tip foto-katot yapısına sahip olan giriş sistemleri basittir. Yarı saydam foto-katotlar ise giriş penceresinin üzerine depolanır ve eğer giriş penceresi çok geniş ise sistem çok karmaşıktır ve bir veya daha fazla odaklayıcı elektrotlara ihtiyaç duyulur. Giriş sistemi iki temel gereksinimi karşılamak zorundadır.

1- Foto-katotdan çıkan elektronların hızları ne ve yayımlandıkları yer neresi olursa olsun maksimum sayıda fotoelektronu ilk dinot üzerinde toplamalıdır. Katotdan yayımlanan toplam elektron sayıları ile ilk dinota ulaşan elektron sayıları arasındaki orana toplama verimliliği denir ve genellikle dalga boyu ile değişir fakat çoğunlukla %80'den daha büyüktür.

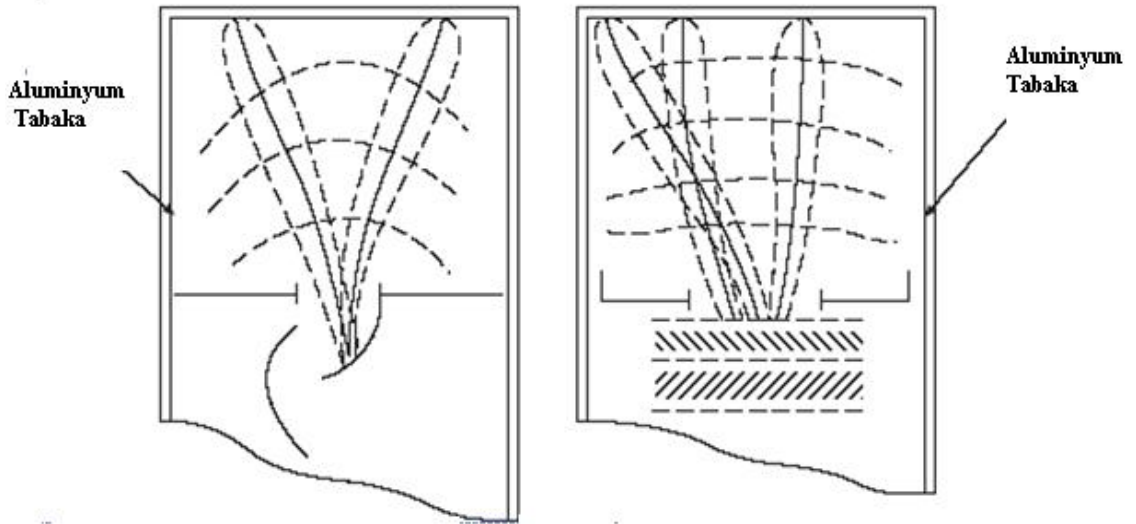
2- İlk dinot ve katot arasındaki elektronların geçiş zamanı elektronların yayımlandıkları noktalara ve ilk hızlarına bağlı olmamalıdır. Bu özellik hızlı cevaplı foto-çoğaltıcı tüplerde önemlidir ve bu hızlı cevap tüpleri karmaşık giriş sistemine sahiptir.

3.5.3. Genel Amaçlı Tüpler

Şekil 3.6.'da genel amaçlı iki foto-çoğaltıcının elektron giriş sistemlerinin geometrisi gösterilmektedir (Phlips-PMT El-kitabı). Örnek olarak odaklamalı ve panjur tipli dinotlara sahip foto-çoğaltıcılar gösterilmiştir. Her ikisinde de sistem şu bileşenlerden oluşur: katot, buharlaştırmayla oluşturulan ve tüpün içerisine yerleştirilip katota bağlanan alimünyum tabaka, ilk dinotun potansiyelindeki hızlandırıcı elektrot.

Bu üç elektrot, ilk dinot ve katot arasındaki elektronların yörüngelerini şekillendiren elektrik alanı belirler. Kesikli eş potansiyel çizgileri elektrik alanın şeklini gösterir. Düz çizgiler ise, katotun farklı kısımlarından sıfır ilk hız ile yayımlanan elektronların yörüngelerini gösterir.

İlk hızların geniş bir dağılıma sahip olmalarının bir sonucu olarak katot üzerinde aynı noktadan çıkan elektronların ilk dinot üzerine ulaştıkları noktalar aynı olmayıp bir dağılım gösterir. Toplama verimliliğini arttıran iki faktör, iyi odaklama ve ilk dinotun geniş alana sahip olmasıdır.



Şekil 3.6. Genel amaçlı iki foto-çoğaltıcının elektron giriş sisteminin geometrisi.

3.5.4. Hızlı Cevap Tüpleri

Hızlı cevap tüpleri için ek gereksinim, katot ve ilk dinot alanında geçiş zamanı dalgalanmalarının en aza indirgenmesidir. Bu değişiklikler iki bileşenden kaynaklanır:

1-Bir kromatik bileşen; Aynı noktadan çıkan elektronların ilk hızlarının aynı olmamasından kaynaklanır. İlk hız vektörü, E_n enerjisine sahip katoda dik V_n ve E_t enerjisine sahip katoda teğet V_t olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Sıfır ilk hız ile

yayımlanan elektronların geçiş zamanı ile elektron bir ilk hızı sahip olduğunda bu ilk hızın dik bileşeni nedeni ile azalan geçiş zamanı karşılaştırıldığında bu değişiklik şu şekilde parametrize edilir:

$$\Delta t_n = \sqrt{2m_e \Delta E_n} / \epsilon e \quad (3.3)$$

Burada ϵ katot yüzeyindeki elektrik alanının büyüklüğü, m_e elektron kütlesi ve e de elektronun yüküdür. Hızın teğetsel bileşeni de geçiş zamanındaki dalgalanmalara katkıda bulunur. Geçiş zamanının ilk hızın teğetsel bileşeni nedeniyle artışı

$\Delta t_t \approx r/v$ ile verilir. Burada r elektron saçılmasının yarıçapı, v ise elektronların ilk dinota çarpma hızıdır.

2-Geometrik bileşen; Katodun farklı noktalarından yayımlanan elektronların farklı yörüngelerine karşılık gelen geçiş zamanlarının farklı olmasından kaynaklanır. Geometrik bileşene katkı elektronların geçtiği uzayda düzensizlikler gösteren elektrik alandan gelir. Sıfır hız ile yayımlanan ve L ile $L + \Delta L$ uzunluğuna sahip yol boyunca düzgün elektrik alan içinden geçen iki elektronun geçiş zamanlarındaki farklılık şu şekilde verilir :

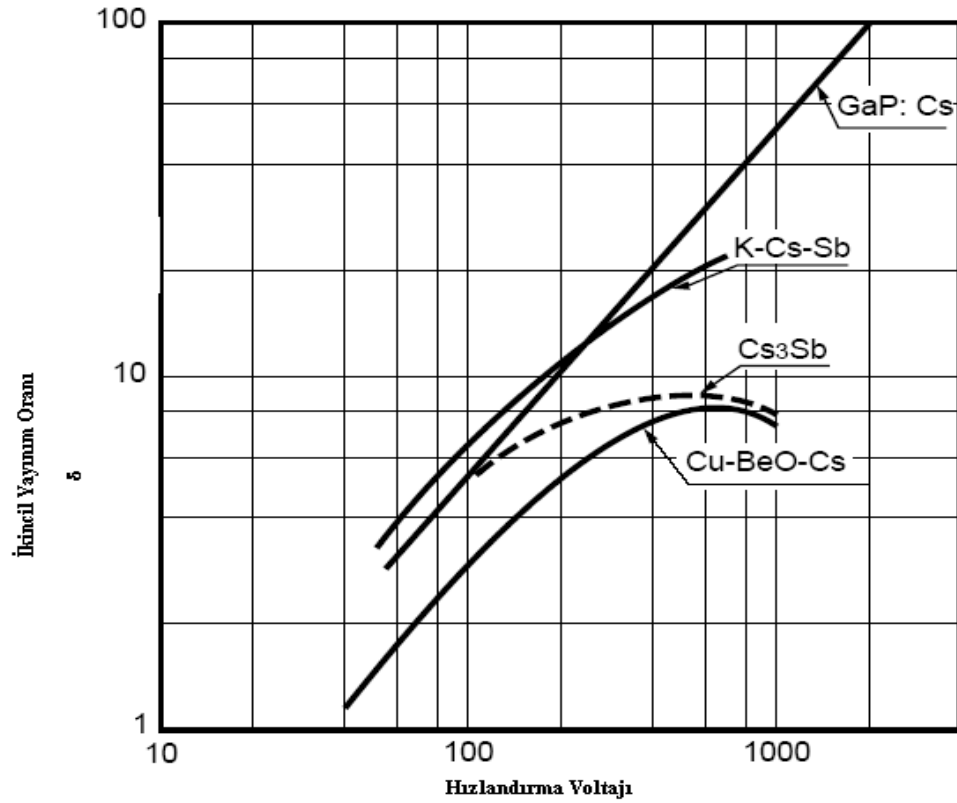
$$\Delta t = \Delta L \sqrt{m_e} / 2e\epsilon L \quad (3.4)$$

Eşitliklerden görülebileceği gibi geçiş zamanındaki değişiklik katot yüzeyindeki elektrik alanının büyüklüğünün artmasıyla ve katot ile ilk dinot uzayındaki elektron yörüngeleri arasındaki farklılıkların en aza indirgenmesiyle azalır. Bu nedenle hızlı-cevap foto-çoğaltıcılarında katot iç bükey yapılı ve ek birkaç odaklayıcı elektrot kullanılır (Philips-PMT El-kitabı).

3.5.5. Dinot Materyalleri

Bir foto-çoğaltıcı tüpün elektrot yapısı ve potansiyel dağılımı optimum performansı sağlayacak şekilde üretilir. Dinotlar için ikincil yayınım materyalleri olarak Antimonide, berilyum oksit (Be-O), magnezyum-oksit(Mg-O), galyum-fosfat (Ga-P), galyum-arsenik fosfat kullanılır. Bu materyaller bakır, berilyum ya da paslanmaz çelik, nikel'den yapılan bir alt katmanın üstünü kaplamak için kullanılır.

Birincil elektron bir ilk E_p enerjisi ile dinotun yüzeyine çarpar ve ikincil elektronlar yayımlanır.. Birincil elektron başına ikincil elektronların sayısına ikincil yayınım oranı denir ve δ ile gösterilir. Sıklıkla kullanılan dinot materyallerinin ikincil yayınım katsayıları gelen elektronun enerjisinin fonksiyonu olarak Şekil 3.7.'de gösterilmektedir (Hamamatsu-photonics, 1982).



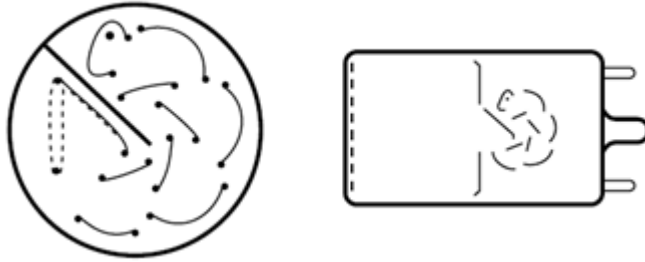
Şekil 3.7. Çeşitli dinot materyalleri için ikincil yayınım oranı.

3.5.6. Dinot Şekilleri

Kullanım amaçlarına göre dinotların şekilleri farklılıklar gösterebilir. Değişik birçok dinot tipi vardır. Kullanılan dinotların sayısına ve yapısına bağlı olarak ikincil elektron toplama verimliliği, zaman tepkisi ve kazanç farklılıklar gösterir. Sıklıkla kullanılan dinot tipleri aşağıdaki bölümlerde verilmektedir. Aşağıda gösterilen şekiller Hamatsu-photonics, 1982 kaynağından alınmıştır.

3.5.6.1 Dairesel-Kafes Tipi

Bu tip dinotların avantajı sıkı (kompakt) olmasıdır. Başka bir özelliği de hızlı zaman tepkisine sahip olmasıdır. Şekil 3.8.'de daire-kafes tipli dinot yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Daire-Kafes tipli dinot.

3.5.6.2 Kutu-Izgara Tipi

Foto-elektron toplama ve algılama verimliliği oldukça yüksektir. Şekil 3.9.'da kutu-ızgara tipli dinot yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Kutu-Izgara tipli dinot.

3.5.6.3 Doğrusal-Odaklayıcı Tip

Kutu ve ızgara tip gibi doğrusal odaklayıcı tip de, en çok kullanılan dinotlar arasında yer alır. En önemli özelliği hızlı zaman tepkisi, iyi zaman çözünürlüğü ve harika atım doğrusallığıdır (Hamamatsu-photonics, 1982). Şekil 3.10.'da doğrusal-odaklayıcı dinot yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Doğrusal-Odaklayıcı dinot.

3.6. Elektron Çoğaltıcılar

Elektron çoğaltıcıları oluşturan dinotlar, dinotlarda oluşan elektronların bir sonraki dinota birkaç $100 eV$ enerji ile çarpmasını sağlayacak şekilde düzenlenir. İkincil yayının sonucu olarak bir dinottan diğer dinota giden elektronların sayısı, istenilen yükseltme faktörünü verecek şekilde artar. Çoğaltıcının her ara-dinot alanı n gibi bir toplama verimliliği ile karakterize edilir. i . dinotun ikincil yayılım katsayısı δ_i ve bu dinottan bir önceki dinotun toplama verimliliği n_{i-1} , d_{i-1} ve d_i dinotları arasındaki V_i voltajının artan fonksiyonudur. δ_i ve n_{i-1} değişkenlerinin çarpımı uygulanan voltajın, V_i , aşağıdaki gibi üstel fonksiyonudur.

$$n_{i-1}\delta_i = k_i V_i^\alpha \quad (3.5)$$

Burada k bir sabittir ve α genellikle 0.65 ve 0.75 arasında bir değer alır.

Kazancı ifade etmek için i . dinotun ikincil yayılım faktörü δ_i ile bu dinotu takip eden ara-dinot bölgesinin toplama verimliliği n_i 'yi ilişkilendirmek genellikle daha uygundur. Böylece i . dinodun kazancı

$$g_i = \delta_i n_i \quad (3.6)$$

olur. Çoğaltıcının toplam kazancı M ise;

$$M = \prod_{i=1}^N g_i \quad (3.7)$$

olarak hesaplanır. Burada N toplam dinot sayısıdır.

Çoğaltıcı, çoğunlukla birini izleyen özdeş dinotlardan oluşur (ilk bir veya iki ve son dinot dışında). İlk dinot bölgesine giren elektronların yörüngelerinin aşırı eğrilmesinden dolayı ilk ara-dinot, çoğaltıcının elektron-optiksel giriş sistemi ve çoğaltıcının tekrarlayan kısmı arasında kritik bir bağlantı formundadır. Elektron yörüngelerinin aşırı eğrilmesinden dolayı diğer dinotlara nazaran genellikle ilk iki ya da üç dinot arasına daha yüksek voltaj uygulanır. Her adımın kazancı ortalama bir değer civarında dalgalanma gösterir. Kazançtaki dalgalanmalar aşağıdaki şekilde azaltılabilir:

- 1- ikincil yayının katsayısının artırılması,
- 2-ikincil yayının katsayısının düzensizliğinin giderilmesi,
- 3- her adımın toplama verimliliğinin eşitlenmesi.

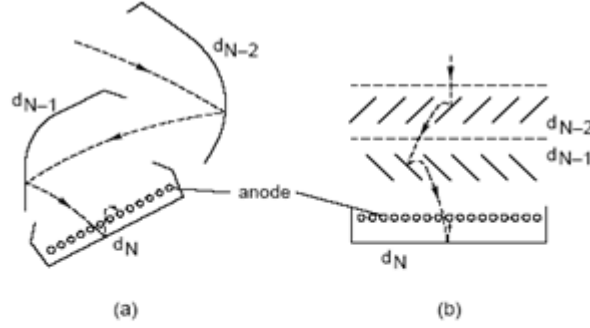
3.7. Anot Toplama Bölgesi

Çoğaltıcının çıkışında bulunan elektrotların şekil ve düzenlenişi foto-çoğaltıcının tekrarlanan kısımlarından farklı olur. Geometri şu durumlar dikkate alınarak düzenlenir:

- 1-Son dinottan yayınlanan bütün elektronların toplanması,
- 2-Anot empedansının çıkış bağlantısının karakteristik empedansı ile uyumlu olması.

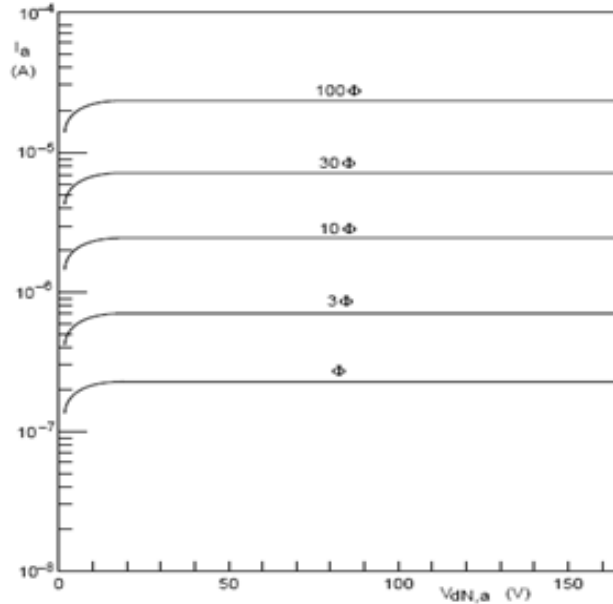
Şekil 3.11.'de genel amaçlı iki foto-çoğaltıcı için toplama bölgeleri gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı). Anot ya da toplayıcı, son dinota çok yakın olarak ızgara şeklinde yerleştirilir. Böylece son dinota yakın olan dinotlardan yayınlanan elektronlar anotun içerisinden geçip giderler ve sadece son dinottan yayınlanan ikincil elektronlar toplanır. Bu düzenleme son dinot ve anot arasında yüksek bir elektrik alan oluşmasına olanak sağlar ve boşluk yüklerinin etkisini

azaltılır. Ayrıca son dinot, toplayıcı çevresinde kısmen bir elektrostatik ekran formundadır.



Şekil 3.11. Toplama bölgesi (a) Odaklanmış dinot tipi (b) Izgara tipli dinot.

Şekil 3.12.'de anot-toplama bölgesinin akım voltaj karakteristiği gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı). Son dinotla anot arasına 10 volt'dan daha yüksek voltaj uygulandığında akım sabit olur ve foto-çoğaltıcı mükemmel bir akım jeneratörü gibi davranır (Philips-PMT El-kitabı).



Şekil 3.12. Son dinot ve anot için Voltaj-Akım grafiği.

3.8. oğaltıcıların Özel Tipleri

3.8.1. Ga-P(Cs) Dinotlu Tüpler

Ga-Ps(Cs)'un yüksek ikincil yayınım faktörüne sahip olması kazançtaki rastgele dalgalanmaların azaltılmasını sağlar ve enerji çözünürlüğünü büyük oranda iyileştirir, özellikle de katotdan sadece birkaç elektronun yayınlanmasına neden olan düşük ışık atımları için. Bu özellik aynı kazanç için kullanılması gereken dinotların toplam sayılarının azaltılmasını sağlar ve böylece zaman karakteristiklerinin geliştirilmesine olanak verir.

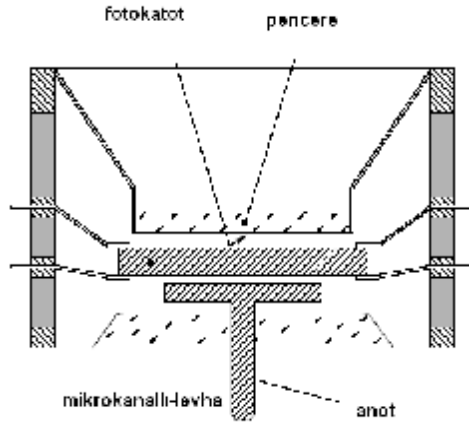
3.8.2. Çapraz -Alan Foto-oğaltıcılar

Bir çapraz alan tüpte, elektronlar çapraz elektrik ya da manyetik alan yolu ile katotdan anota odaklanır. Düzgün bir elektrik alan uygulanarak, tüpün her kısmında küçük elektron yollarının sıklaşması sağlanabilir ve düşük elektron geçiş zamanları elde edilebilir.

Böyle tüplerde sinyalin yükselme zamanı 0,5 ns den küçüktür (Philips-PMT El-kitabı).

3.9. Mikro Kanallı-Levha Foto-oğaltıcılar

Belli camların ikincil yayınım özelliklerinin çalışılması, kanallı elektron çoğaltıcının buradan da mikro-kanal levhaların ve mikro-kanal levhalı foto-çoğaltıcıların gelişimine yol açmıştır. Mikro-kanal levhalı çoğaltıcı, bir mikro-kanal levhalı elektron çoğaltıcının bir tarafına anot, diğer tarafına, yakın odaklamalı katodun yerleştirilmesinden oluşur. Mikro-kanal levha 6-25 μm 'lik paralel cam tüplerin bir araya gelmesinden oluşur. Mikro-kanallı levhalı çoğaltıcılarda kazanç genellikle 10^4 ile sınırlıdır. Şekil 3.13.'de mikro-kanal levhalı foto-çoğaltıcının içinden bir kesit gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı).



Şekil 3.13. Mikro-Kanal Levhalı foto-çoğaltıcıların içinden bir kesit.

3.10. Mikro-Kanal Levhalı Foto-Çoğaltıcıların Avantajları

1-Hızlı tepki (cevap): Elektronların 1-2 mm gibi oldukça kısa yol almaları ve yüksek elektrik alan uygulanabilmesinden nedeniyle elektronların geçiş zamanları oldukça kısadır. Yine geçiş zamanındaki dalgalanmalar oldukça küçük ve elektronların foto-katodun farklı bölgelerinden yayınlanmalarından kaynaklanan geçiş zamanındaki değişiklikler ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle atım süresi oldukça kısa, ~ 0.2 ns ve zaman çözümü, δt , 100 ps'den daha iyidir.

2-Magnetik alana duyarsızlık: Mikro kanallar yoluyla elektronlar kısa mesafelerde ve yüksek elektrik alanda tutulur. Bu nedenle elektron yörüngeleri 0.1 T'lık magnetik alan şiddetlerine kadar manyetik alandan çok az etkilenir (Philips-PMT El-kitabı).

3.11. Gürültü

Arındırılmayan ya da denkleştirilemeyen ve ölçülen sinyallere eşlik eden gürültünün indirgenemeyen (azaltılmayan) istatistiksel doğasını dikkate almak önemlidir. Foto-çoğaltıcı tüplerde karşılaşılan gürültünün bütün nedenleri ortak bir fiziksel kökene sahiptir. Yani akım ve voltajdaki olağan dalgalanmalara başlıca

sebepler, madde ve radyasyonun kesikli doğasından dolayıdır. Gürültü bu yüzden foto-yayınım ve ikincil yayınımın istatistiksel doğasıyla yakından ilgilidir ve sinyalin doğasında vardır.

3.11.1. Foton Gürültü:

Foto-emisyon, rastgele bir süreçtir. Yayınlanan fotonların sayısı eşit aralıklarla bir istatistiksel dağılım gösterir. Biz ilk olarak katoda çarpan fotonların sayılarındaki ve yayınlanan elektronların sayılarındaki dalgalanmaları Poisson dağılımı varsayabiliriz. Bir foto-çoğaltıcıdaki gürültü birçok faktörden etkilenir. Bunların bazıları aşağıda açıkladığımız şekildedir.

3.11.2. Elektron- Çoğaltıcının Gürültü Katkısı:

Dinotların ikincil yayınlarındaki dalgalanmaları hesaba katmak için daha yoğun bir çalışma gereklidir. Elektron çoğaltmadaki dalgalanmalar, Martin ve Lombard tarafından üretme fonksiyonları yöntemi ile istatistiksel olarak çalışılmıştır (Philips-PMT El-kitabı). Bu yapılırken İlk olarak, elektron-çoğaltıcının her yerinde rastgele süreçleri (işlemleri) Poisson Dağılımı ile uyumlu olduğu ve birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bu hesaplamaların detayları referanslarda verilen Philips-PMT El-kitabında verilmiştir.

3.11.3. Karanlık Akım

Karanlıkta bir foto-çoğaltıcıya voltaj uygulandığında anot devresinden bir akım geçişi olur ve bu akıma karanlık akım denir. Bu akım iki bileşene bağlıdır:

- 1- Sürekli olanı, cam ve yalıtkan yüzeyler üzerindeki sızıntıya bağlıdır.
- 2- Aralıklı olanı ise birkaç nano-saniye süreli atımlardan oluşur.

Çevresel şartlar(kazanç, sıcaklık, uygulanan voltaj gibi) ve işlevsel değişiklikler ve de foto-çoğaltıcının geçmişi karanlık akımda değişikliklere neden olur.

Karanlık akımın kalıcı ve foto-çoğaltıcının geçmişinden bağımsız nedenleri ise şöyledir;

- 1-Sızıntı akımı
- 2-Termioyonik yayınım
- 3-Alan yayınımı
- 4-Arka-fon radyasyonu

1- Sızıntı akımı: Bunlar karanlık akımın temel bileşenidir ve elektrot yüzeylerinin, kılıfın, tabanın ve socketin iletkenliğinden kaynaklanır. Tüpün içerisinde yüzeylerin iletkenliğinden, alkali metallerin kullanılmasından, dışındakiler ise nemden, kirlilikten ve yağlardan kaynaklanır. Sızıntı akımından kaynaklanan karanlık akım bileşeni uygulanan yüksek voltajla doğrusal olarak değişir.

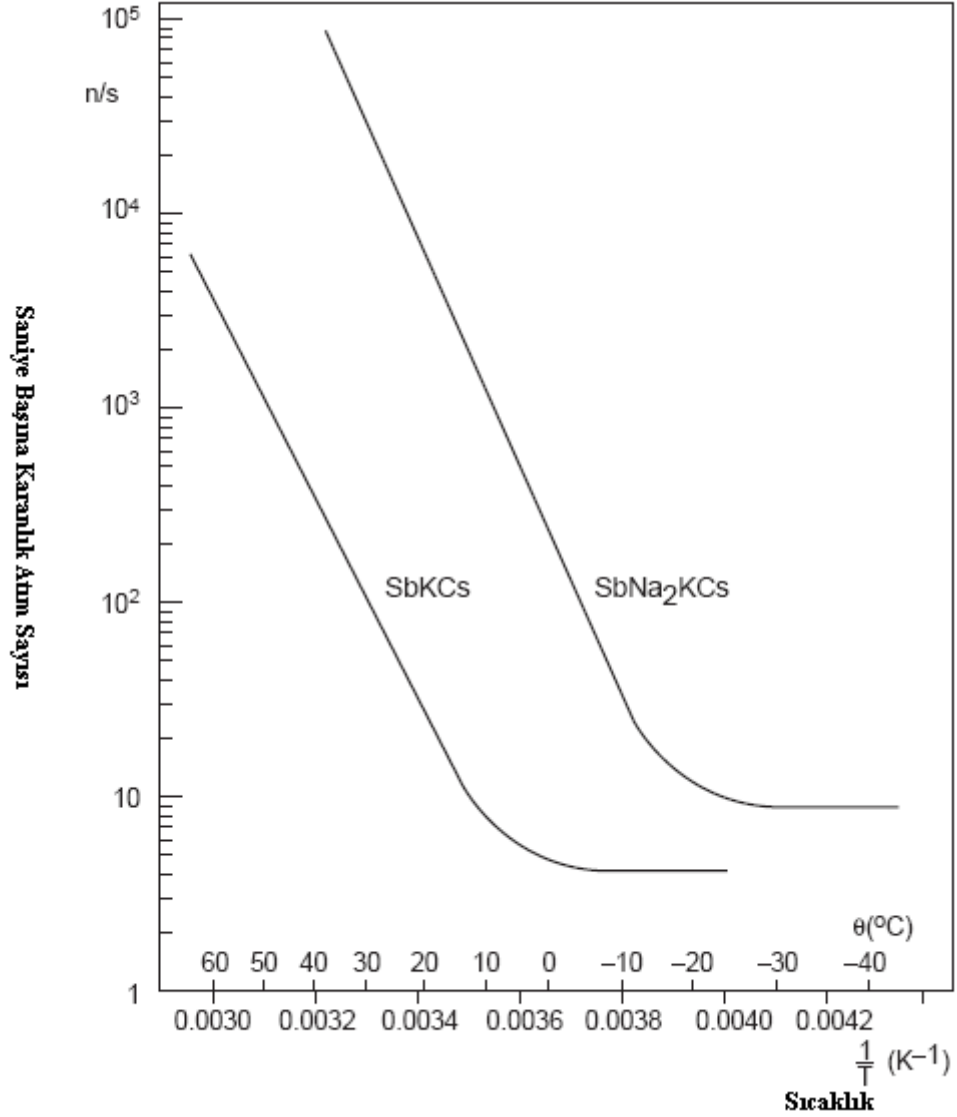
2-Termioyonik yayınım: Karanlık akımın atım bileşeninin başlıca nedeni foto-katotta oluşan ısıl yayınımdır. Bu dağılım Richardson yasasına uyar (Philips-PMT El-kitabı). Bu yasa

$$J = AT^2 \exp(-w_{th}/kT) \quad (3.8)$$

ile verilir. Burada J akım yoğunluğu, A bir sabit, T mutlak sıcaklık, k Boltzmann sabiti ve w_{th} foto-katot materyalinin termioyonik yayınım iş fonksiyonudur. Yarı iletkenler için termioyonik yayınım iş fonksiyonu, foto-yayınım eşik değerinden düşüktür. Termioyonik yayınım iş fonksiyonu ile foto-yayınım eşik değeri farklı nicelikler olmalarına rağmen belli bir foto-çoğaltıcı tüp ailesi için, kırmızı ve kızıl ötesi duyarlılık ile karanlık akımı uyumsuz yapan istatistiksel bir korelasyon var gibi görünür: Karanlık akım düşük olduğunda kırmızı ve kızıl ötesi duyarlılık yüksek olur.

Eşitlik 3.8'den görüleceği gibi sıcaklık azaldıkça termioyonik yayınım da hızla azalır. Şekil 3.14.'de Bi-alkali-katot (Sb-K-Cs) ve tri-alkali katot (Sb- Na_2 K-Cs) için saniye başına karanlık akım atımlarının sayılarındaki değişiklik sıcaklığın

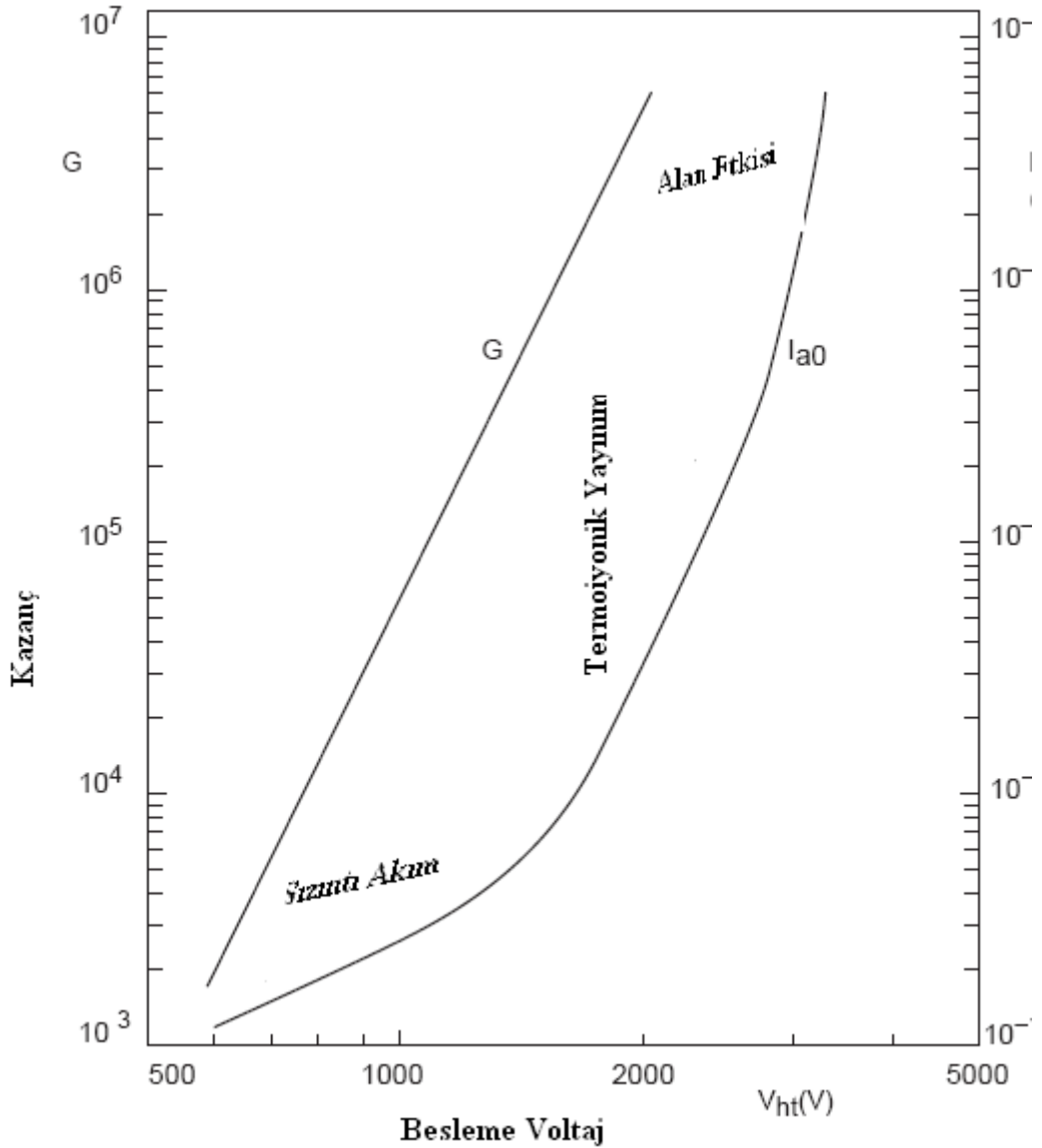
fonksiyonu olarak gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı). Normal sıcaklıklarda özellikle de normal besleme voltajlarında karanlık akımın baskın nedeni termoiyonik yayınımdır.



Şekil 3.14. Sıcaklığın fonksiyonu olarak saniye başına karanlık akım atımlarının sayılarındaki değişiklik.

3-Alan yayınımları : Foto-çoğaltıcılarda elektrik alanın düşük olmasına rağmen, elektrotların kaçınılmaz pürüzlükleri nedeniyle elektrik alan etkisiyle bir miktar elektron yayınımları (soğuk yayınımları) oluşur. Bu olay alkali metallerin (özellikle sezyum) elektrot yüzeylerine tutunup elektrotun elektron verme eğilimini arttırmaları nedeniyle oluşur. Yayınlanan bu elektronlar foto-çoğaltıcı tüpün dış cam kaplamasını

ve diğer yüzeyleri bombardıman ederek foto-katoda ulaşabilen fotonların yayınlanmasına neden olur. Alan yayını ile oluşan karanlık atım oranı sıcaklığa çok fazla bağlı değildir, uygulanan voltaja bağlıdır, fakat uygulanan voltajla kazancın voltaj ile değişmesinden daha hızlı değişir. Bu nedenle kazanca sınırlama getiren temel faktörlerden birisidir. Şekil 3.15.'de karanlık akımın baskın olan üç nedeni besleme voltajının fonksiyonu olarak gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı).



Şekil 3.15. Karanlık akımın baskın üç nedeninin besleme voltajının fonksiyonu olarak değişimi.

4- Arka –Plan radyasyonu

Karanlık atımların diğer sebeplerinden biri de tüp materyalinin de içerdiği radyoaktif maddelerden kaynaklanan arka-plan radyasyonudur. Fakat yüksek enerjili ve yüklü parçacıklar (kozmetik ışınlar gibi) da tütün penceresinde Cherenkov radyasyonu meydana getirir ve bunlar da foto-yayınımına neden olabilir. Cherenkov radyasyonu bir anda birkaç foton üretebileceği için bunların oluşturduğu karanlık atımlar sık sık yüksek genlikte olur (çoklu-elektron gürültüsü) (Philips-PMT El-kitabı).

3.12. Çevresel Faktörler

Foto-çoğaltıcının işlevini sıcaklık, manyetik alan, arka plan radyasyonu ve atmosfer gibi çevresel faktörler de etkiler. Bu çevresel faktörler aşağıda incelenecektir (Philips-PMT El-kitabı).

3.12.1. Sıcaklık

Foto yayınım ve ikincil yayınım materyalinin doğasından dolayı foto-çoğaltıcının işlevi sıcaklık değişimine duyarlıdır. Sıcaklık üç temel karakteristiği etkiler.

- 1-spektral tepki (cevap)-eğrisinin şeklini,
- 2-karanlık akımın termoiyonik bileşenini,
- 3-anot duyarlılığını ve kazancı (ikincil yayınım katsayısını değiştirdiği için).

1-Bu karakteristikler yüzey bileşenlerine bağlı olduğu kadar aynı tipli foto-çoğaltıcılar arasındaki farklılıklara da bağlıdır. Foto-çoğaltıcılar çalışma ve depolama için -30 ile 80 derece arasındaki (S_1 tipli katotlar için 50 derece) sıcaklıklarda bulundurulmalıdır.

Spektral duyarlılık sıcaklıkla çok fazla değişmemektedir. En büyük göreceli değişiklikler foto-yayınım eşik değerine yakın yerlerde gözlenmektedir. Bu nedenle

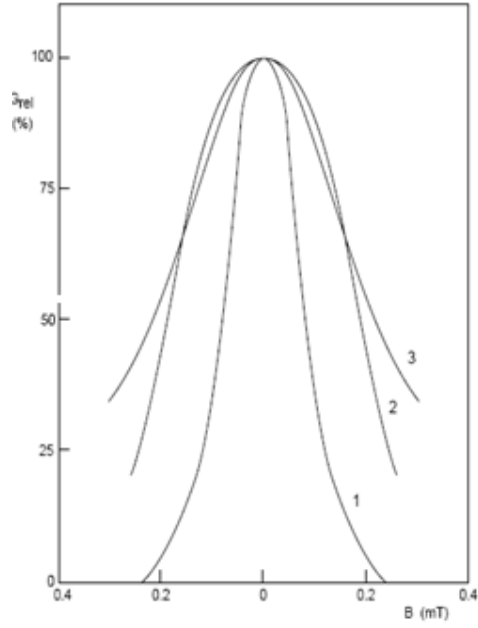
belli bir uygulama için, katodu verilen bu eşik değerinden uzak değerlerde çalışmaya izin veren bir foto-çoğaltıcı seçilmesi tavsiye edilir. Ayrıca foto-katotların direnci de sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

2-Karanlık akımın termoiyonik bileşeni Eşitlik 3.8 ile verilen Richardson yasasına uyar. Bu nedenle karanlık akım ve atım oranları sıcaklıkla kuvvetli bir şekilde artar.

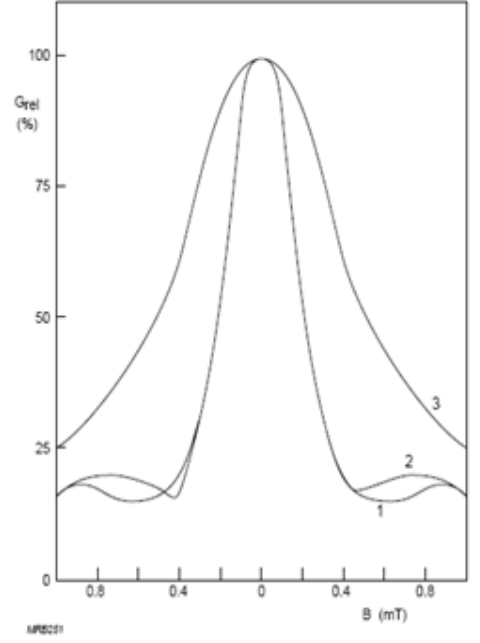
3- İkincil yayımın faktörü doğrudan sıcaklığa bağlı değildir, fakat dinotun yüzey özelliklerine göre sıcaklıktan dolaylı şekilde etkilenebilir. Kazanç ise sıcaklıktan olumsuz etkilenmektedir (Philips-PMT El-kitabı).

3.12.2. Magnetik Alan

Dünyanın manyetik alanı gibi zayıf bile olsa magnetik alan foto-çoğaltıcının performansını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Anot duyarlılığı, elektron çoğaltıcı kısım ve toplama verimliliği magnetik alandan dolayı değişikliğe uğrarlar. Birkaç on mili teslalık magnetik akı yoğunluğu, kazancı % 50 oranında azaltır. Doğrusal odaklı dinot tipine sahip foto-tüpler, dinotlar magnetik alana paralel olduğunda (Şekil 3.17.'de y ekseni) magnetik etkiye çok duyarlı olurlar (Philips-PMT El-kitabı).

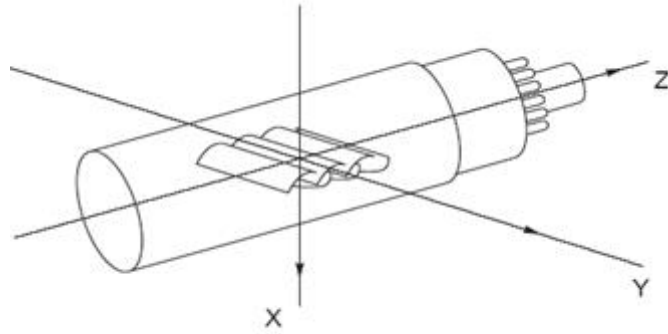


(a)



(b)

Şekil 3.16. Magnetik alanın fonkiyonu olarak kazanç değişimleri (a) Lineer Odaklayıcı dinota sahip foto-çoğaltıcı tüp için (b) Panjur tipli dinota sahip foto-çoğaltıcı tüp için.



Şekil 3.17. Magnetik duyarlılığı ölçmek için kullanılan eksenler.

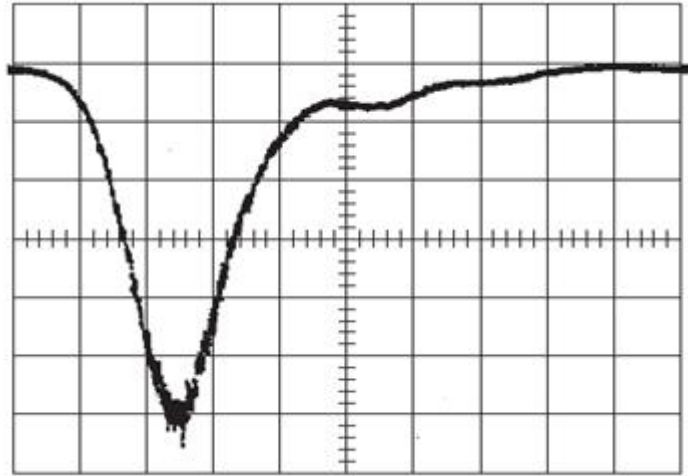
3.12.3. Radyasyon

İyonize radyasyon karanlık akımın artması gibi ikincil etkenlere neden olur. Eğer radyasyon yeterince şiddetliyse, sürekli duyarlılık ve kazanç kaybına neden olur.

3.13. Zaman Karakteristikleri

3.13.1 Atım Genişliği

Atım genişliği, t_w , anot akım atımının yarı maksimumundaki tam genişliğidir. Şekil 3.18.'de gösterilen sinyal için t_w , sinyalin x eksenini kestiği yerin saniye olarak genişliğidir (Philips-PMT El-kitabı).



Şekil 3.18. Hızlı-Cevap foto-çoğaltıcılarda anot akım atım tepkisi.

3.13.2. Yükselme Zamanı

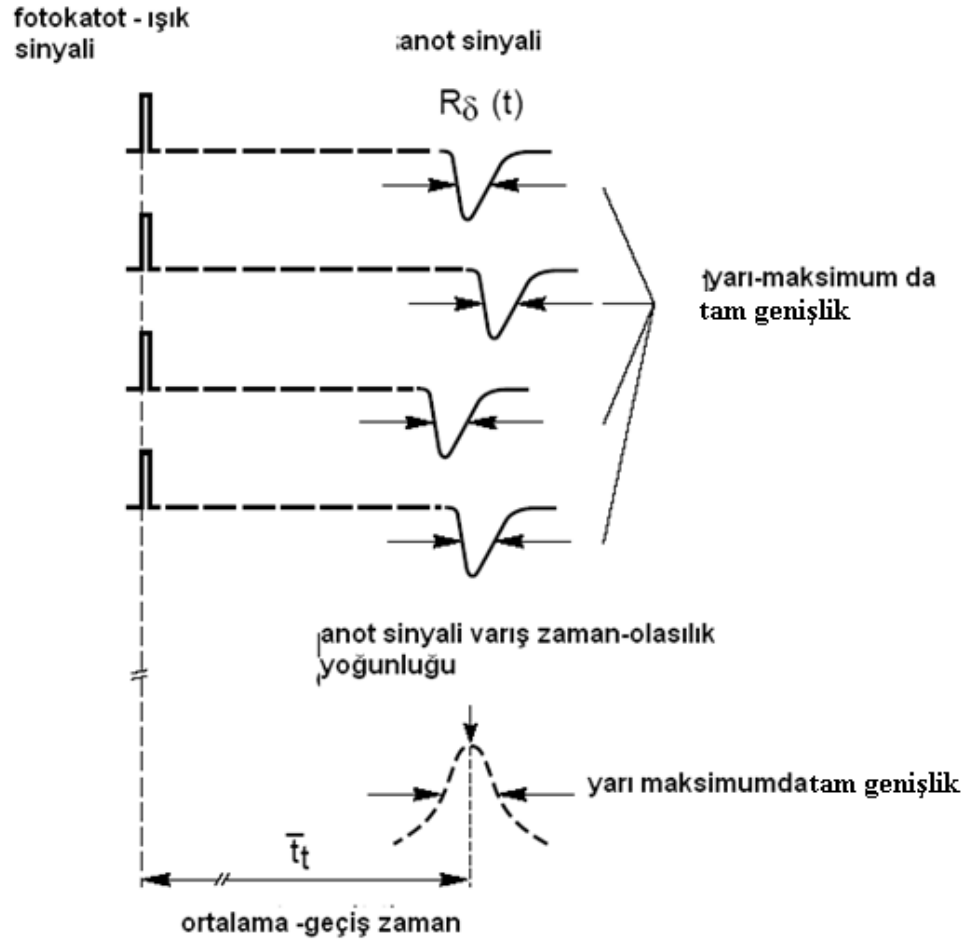
Yükselme zamanı, t_r , anot akım sinyalinin %10'dan %90' a kadar yükselmesi için geçen süredir. Bu şartlar altında ölçüldüğünde yükselme zamanı yaklaşık olarak atım genişliğine eşit olur. Yükselme zamanı doğrusal odaklayıcı

aydınlatılmış bir nokta ve bir de katodun kenarında bir nokta alındığında bunlar arasındaki geçiş zaman farklılıkları merkez-kenar farklılığı olarak adlandırılır (genel olarak Δt_{CE} gösterilir).

3.13.4. Geçiş Zamanın Yayılması ve Zaman Çözünürlüğü

Geçiş zamanın yayılması, katodun aynı kısmına aynı ışık atımları çarptığı zaman geçiş-zamanında meydana gelen farklılıklardır. Tüpün zaman çözünürlüğü, bu tip dalgalanmaların olasılık dağılımının yarı maksimumdaki genişliği olarak tanımlanır. Pratik olarak $1/\sqrt{n_{k,i}}$ ile orantılıdır, burada $n_{k,i}$ atım başına foto elektron sayısıdır.

Geçiş zamanındaki farklıklar gibi, zaman çözünürlüğü de katodun aydınlanan bölgesinin genişliğine ve konumuna bağlıdır. Ayrıca zaman çözünürlüğü elektron giriş sistemine uygulanan voltaja ve katodun aydınlanmasının spektral karakterine bağlıdır. Şekil 3.20.'de Geçiş Zamanındaki Dalgalanmalar Sebebiyle Cevap-Atım istikrarsızlığı gösterilmektedir (Philips-PMT El-kitabı).



Şekil 3.20. Geçiş zamanındaki dalgalanmalar sebebiyle cevap-atım istikrarsızlığı.

4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

4.1. ukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği Laboratuarı

ukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği laboratuarı 2005 yılında kuruldu. Bu laboratuarda foto-çoğaltıcı tüplerin kalite kontrol testleri yapılmaktadır. Foto-oğaltıcı tüplerin (FTP) testleri için laboratuarda iki deney düzeneği bulunmaktadır. Bu düzenekler iki karanlık kutuya yerleştirilmiştir. Birinci karanlık kutu, karanlık akım, katot ve anot akımlarının llerek kazancın hesaplanması, toplama verimliliğinin llmesi, diğeri ise zaman parametrelerinin llmesi için kullanılmaktadır. Şekil 4.1.'de test edilen foto-çoğaltıcı tüplerden birisinin resmi gösterilmektedir. Tablo 4.1.'de ise aynı foto-çoğaltıcı tüpün firma tarafından sağlanan özellikleri verilmektedir.



Şekil 4.1. Hamamatsu R7378A foto-çoğaltıcı tüp.

Tablo 4.1. Hamamatsu R7378A foto-çoğaltıcı tüplerin özellikleri.


Üretim Numarası	7378A
Cam Yapısı	Sentetik Silika
Genişlik	25.4±05 mm
Aktif Bölge	22 mm
Fotokatot Materyal	Bialkali
Fotokatot verimli bölge	22 mm
Dinot Yapısı	Doğrusal-Odaklayıcı
Dinot Sayısı	10
Spektral Cevap	160-650 nm
Pik duyarlılığı	420 nm
Uygulana Voltaj	1250 V
Elektron Geçiş Süresi	17 ns
Katod Parlaklık Duyarlılığı	90 µA/lm
Anot Parlaklık Duyarlılığı	180 A/lm
Kazanç	2.0x10 ⁶

Hamamatsu şirketi tarafından gönderilen R7378A serili foto-çoğaltıcı tüplerin özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir (Hamamatsu photonics, 1982).

Laboratuarda kullanılan cihazlar şöyledir;


1.OSİLOSKOP: Sinyali görmek ve zaman parametre ölçümleri için kullanıldı. Tablo 4.2.'de kullanılan osiloskobun bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 4.2. Kullanılan Osiloskop'un özellikleri.

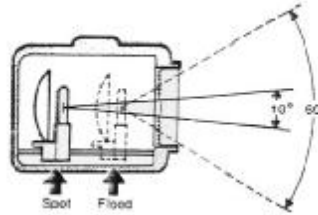
<p>LECROY WAVERUNNER OSİLOSKOP (MODEL-6051)</p> 	Analog bant genişliği = 500 MHz
	Yükselme zamanı =750 ps
	Giriş kanalı = 2
	Zaman/Bölme = 20 ps/div-10 s/div
	Boyutları = 211mm x 355mm x 363mm
	İstikrarsız gürültü katı = 2 ps rms

2. LAZER VE TUNGSTEN LAMBA: Işık kaynağı olarak kullanıldılar. Tablo 4.3.'de kullanılan lazerin , Tablo 4.4.'de ise tungsten lambanın bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 4.3. Kullanılan lazerin özellikleri.


<p>NİTROJEN LAZER (MODEL-VSL-337ND-S)</p> 	Dalga boyu = 337.1 nm
	Spektral bant genişliği = 0.1 nm
	Atım enerjisi = 10 Hz'de 260 µJ
	Huzme alanı = 35 mm ²
	Optik atım çıkışı için tetikleme = 700 ns
	Optosiyonik gecikme için optik atım = 50 ns
Puls genişliği (FHWM) < 4 ns	

Tablo 4.4. Kullanılan tungsten lambanın özellikleri.

<p>TUNGSTEN LAMBA</p> 	İçinde gaz yoktur ve havası vakumla alınmıştır.
	Işık rengi = 3200° K
	Lamba kendi içinde erime noktasına, 450 °C yakın ısınır. Bu sayede ışık yayar.


3.GÜÇ KAYNAĞI: Dinotlar arasına voltaj sağlamak amacıyla kullanılan güç kaynağı ve pin-diyot ve ışık kaynağına destek sağlayan DC güç kaynağıdır. Kullanılan DC güç kaynağının bazı özellikleri Tablo 4.5.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Kullanılan DC güç kaynağının özellikleri.

<p>DC GÜÇ KAYNAĞI (MODEL-MCH-305D-II)</p> 	Gerilim aralığı = 0-30 V
	Gerilim kararlılığı (yük) < 0.0% + 2mV
	Gerilim-gürültü < 1mV
	Akım aralığı = 0-5 A
	Çıkış sayısı = 2
	Besleme = 220V + - 10%50/60 Hz

4. PİKOAMPERMETRE: Foto-çoğaltıcıların her besleme voltajındaki anot akımları piko-ampermetre ile okunur. Tablo 4.6.'da kullanılan piko-ampermetrenin bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 4.6. Kullanılan piko-ampermetrenin özellikleri.

<p>PİKO-AMPERMETRE (MODEL-KEITHLEY 6485)</p> 	Karanlık akım = 10fA
	Akım aralığı = 2nA- 20mA
	Voltaj yükü = 200µV
	Analog çıkış = Var
	Ekran = 12 karakter vakum floresan
	Boyutlar = 90mm x 214mm x 369mm
	Okuma hızı = 1000 okuma/s
Labview, LabWindows, C/C++ için sürücü yazılımı	

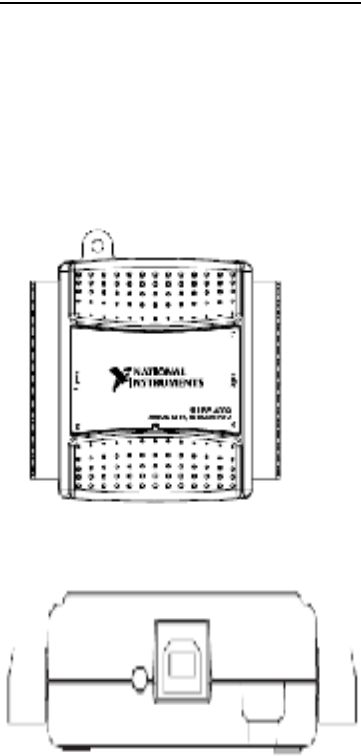
5. FİLTRELER: Çeşitli yoğunluk derecelerine sahip filtreler ışığın şiddetini azaltmak için kullanıldı. Kullanılan filtrelerin özellikleri tablo 4.7.'de verilmektedir.

Tablo 4.7. Kullanılan nötral yoğunluklu filtrelerin özellikleri.

<p>DOĞAL YOĞUNLUKLU FİLTRELER (MODEL-NDQ ERİMİŞ SİLİS)</p> 	Kalınlık = 2 0.2 nm
	Yüzey düzlüğü < 2mm alan başına 3 λ
	Işık iletimi = 10 %
	Yoğunluk toleransı = 546 nm'de optiksel yoğunluğun %5
	Tipik lazer darbe eşik değeri 25 Watt/
	İşlevsel sıcaklık aralığı = -73 +150

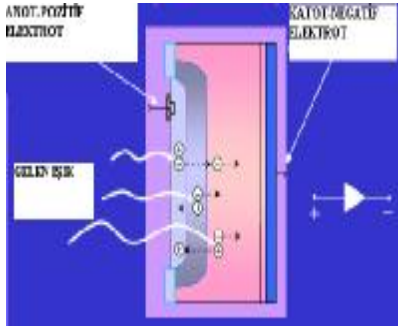

6. ADC Dönüştürücü: Sinyali dijitalden-anolaga çevirmek için analog-dijital dönüştürücü kullanıldı.

Tablo 4.8. Analog-dijital dönüştürücünün özellikleri.

	Bağlantı olmadan boyutları = 6.35 cm × 8.51 cm × 2.31 cm
	Bağlantı olduğunda boyutlar = 8.18 cm × 8.51 cm × 2.31 cm
	Analog giriş kanalı = 8 Analog çıkış kanalı = 2
	Analog giriş zaman kararlılığı = 41.67 ns
	Analog öz direnci = 144 kΩ
	Dijital çıkış ve giriş kanalı = 12
	Dijital giriş ve çıkış direnci = 5V için 4.7 kΩ
	Minimum atım genişliği = 100 ns
	Sayaç = 32 bit
	Sayaçın maksimum frekansı = 500 MHz

7. PİN-DİYOD: Işığı elektriksel sinyale çevirir. Ölçümlerin alınması sırasında tetikleyici olarak kullanıldı. DC güç kaynağı ile beslenir. Pin diyotların genel özellikleri ve kullanılan pin diyodun deneysel düzenek içerisindeki bir resmi Tablo 4.9.'da gösterilmektedir.

Tablo 4.9. Pin-Diyod'un özellikleri.

PİN-DİYOD	
 	<p>P+-I-N+ yapıya sahip diyotlardır.</p>
	<p>PIN foto diyodundaki I harfi P ve N yarıiletkenlerinin ortasına yerleştirilen insilatör plakayı temsil eder.</p>
	<p>P+ ve N+ bölgelerinin katkı maddesi oranları yüksek ve I bölgesi büyük dirençlidir.</p>
	<p>Düşük frekanslar da diyot bir PN doğrultucu gibi çalışır. Frekans yükseldikçe I bölgesi de etkisini gösterir.</p>
	<p>Yüksek frekanslarda I bölgesinin doğru yöndeki direnci küçük, ters yöndeki direnci ise büyüktür.</p>
	<p>Diyotun direnci, uygulama yerine göre iki limit arasında sürekli olarak veya kademeli olarak değişir.</p>
	<p>PIN foto detektörleri ışık enerjini elektrik enerjisine dönüştüren küçük bir güneş piline çok benzer.</p>

8. ANOT VE KATOT-TABAN: Anot-taban, anot akımını ölçmek için ve katot-taban, katot akımını ölçmek için kullanıldı. Şekil 4.2.'de kullanılan tabanların resimleri gösterilmektedir.



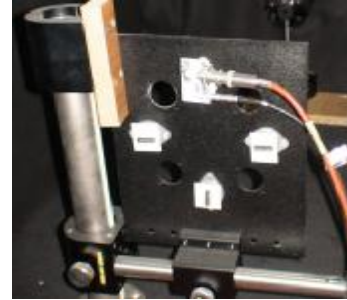
(a)



(b)



(c)

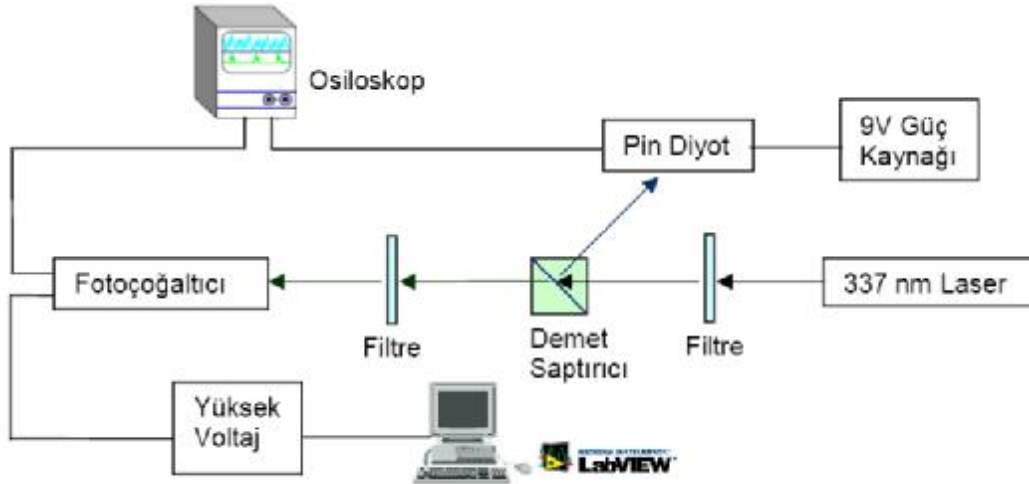


(d)

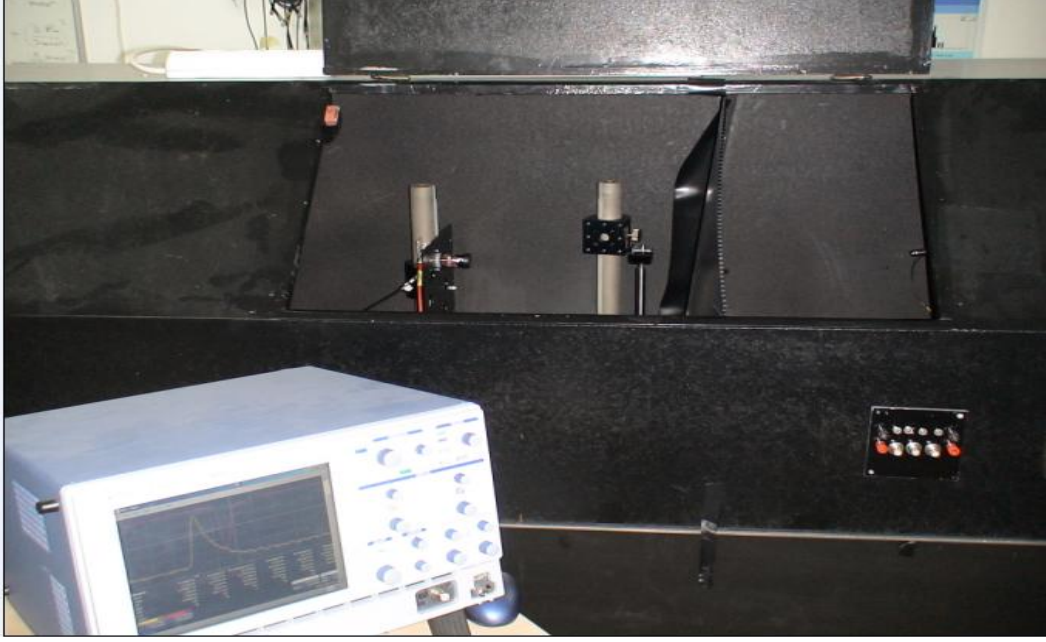
Şekil 4.2. (a) Anot taban görünümü, (b) Katot taban görünümü, (c) Anot tabanın arkadan görünüşü ve PMT'ye takılışı ve (d) Katot tabanın arkadan görünüşü ve PMT'ye takılışı.

4.2. Zaman Yanıtlama Parametreleri

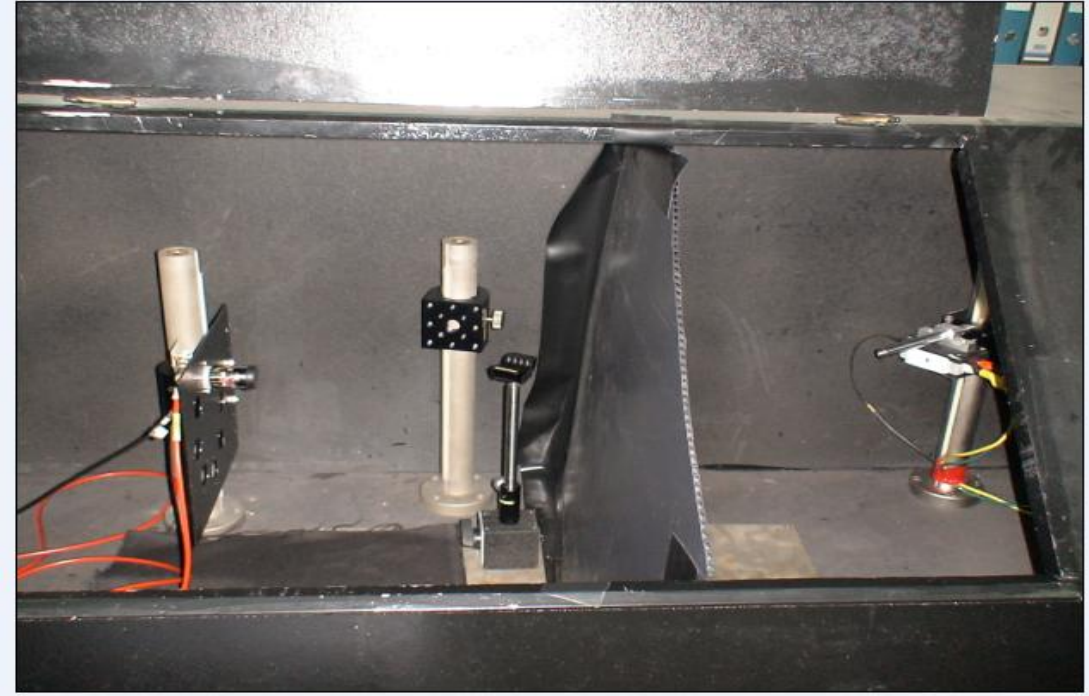
Birinci kutu zaman parametrelerini ölçmek ve osiloskopta foto-tüpün ölçülen sinyalini görmek için kullanılır. Bu ölçümlerde yukarıda tanıtılan aletlerden lazer, osiloskop, bilgisayar, filtre, ve yüksek voltaj güç kaynağı kullanılmıştır. Bu düzenekte çok kuvvetli olan lazer ışınlarının şiddetini azaltmak için kaynağının önüne filtre konulur. Filtreden geçen ışın bir demet saptırıcıya yollanır. Demet saptırıcıdan geçen ışın iki kola ayrılır ve bunlardan biri foto-çoğaltıcıya, diğeri ise tetikleyici olarak kullanılan pin diyota gönderilir. Pin diyot sinyali aynı zamanda foto-çoğaltıcı tüpteki elektronların geçiş süresini ölçmek için referans olarak kullanılır. Bu ölçüm için karanlık kutu-1 kullanılır (şekil 4.3). Yüksek voltaj güç kaynağı bir digital-analog çevirici aracılığıyla otomatik olarak kontrol edilmektedir. Bu dijital-analog çevirici de bir Labview programıyla kontrol edilir. Foto-çoğaltıcı tüp 500V'tan başlayarak 1000V'a kadar 50V adımlarla beslenerek, her voltaj için zaman parametreleri ölçülür. Alınan ölçümler daha sonra analizleri yapılmak üzere bilgisayarlı olan Le-Croy marka osiloskopa kaydedilir.



Şekil 4.3. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.



Şekil 4.4. Zaman yanıtı parametrelerini ölçmek için kullanılan test ölçüm düzeneği.



Şekil 4.5. Zaman yanıtı parametreleri test ölçüm düzeneğinin içten görünüşü.

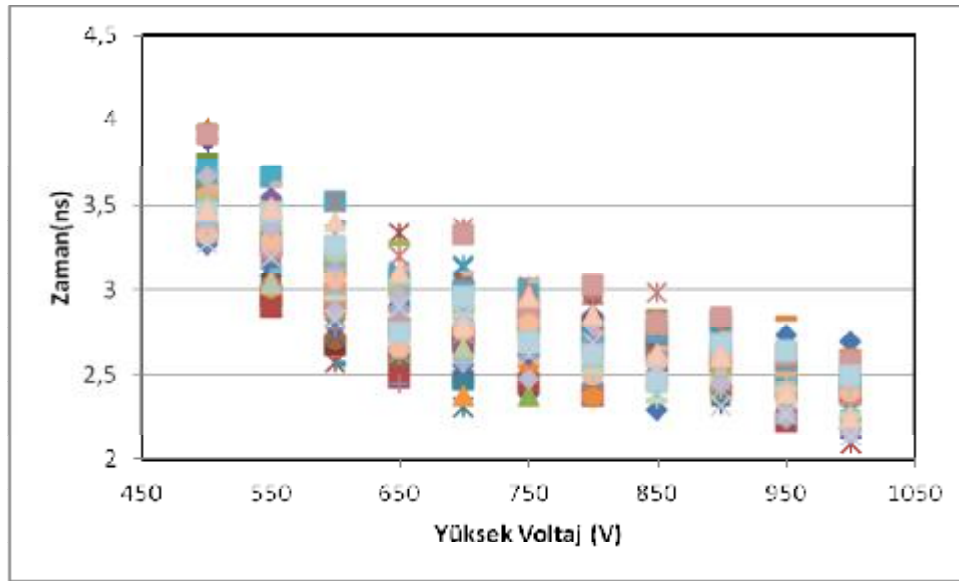
Şekil 4.3’de ölçümlerde kullanılan düzeneğin şematik bir gösterimi, Şekil 4.4 ve 4.5’te ise düzeneğin bir resmi gösterilmektedir. Şekil 4.6’da ise 800V’ta alınan bir ölçümün osiloskop ekran görüntüsü verilmektedir. Bu düzenekte foto-çoğaltıcı tüpün sinyal yükselme zamanı, elektronların geçiş süresi ve sinyal geçiş süreleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin tanımları materyal-metod kısmında, bölüm 3.13’de verilmiştir. Sinyalin yükselme zamanı, genişliği ve elektronların geçiş zamanı osiloskop ekran görüntüsünde sırasıyla, mavi, beyaz ve sarı oklarla gösterilmiştir.



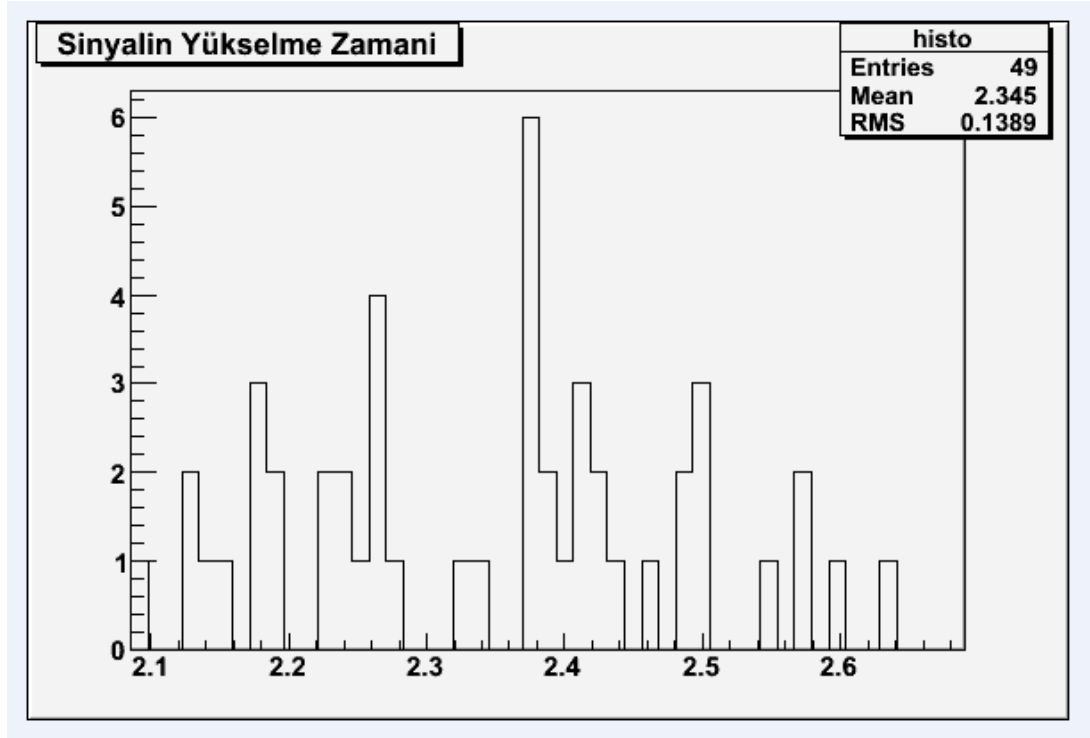
Şekil 4.6 . Alınan ölçümlerden bir osiloskop ekranı görüntüsü.

CASTOR’da kullanılacak 49 değişik foto-çoğaltıcı ölçülmüştür. Sinyalin yükselme zamanı Şekil 4.7’de anot ve katot arasında uygulanan voltajın fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Beklenildiği gibi sinyalin yükselme zamanı, artan voltaj ile azalmaktadır. Yükselme zamanının 1000 volta ölçülen değerleri Şekil 4.8’de histogram olarak gösterilmiştir. Ölçülen sinyal genişlikleri Şekil 4.9’da yine anot-

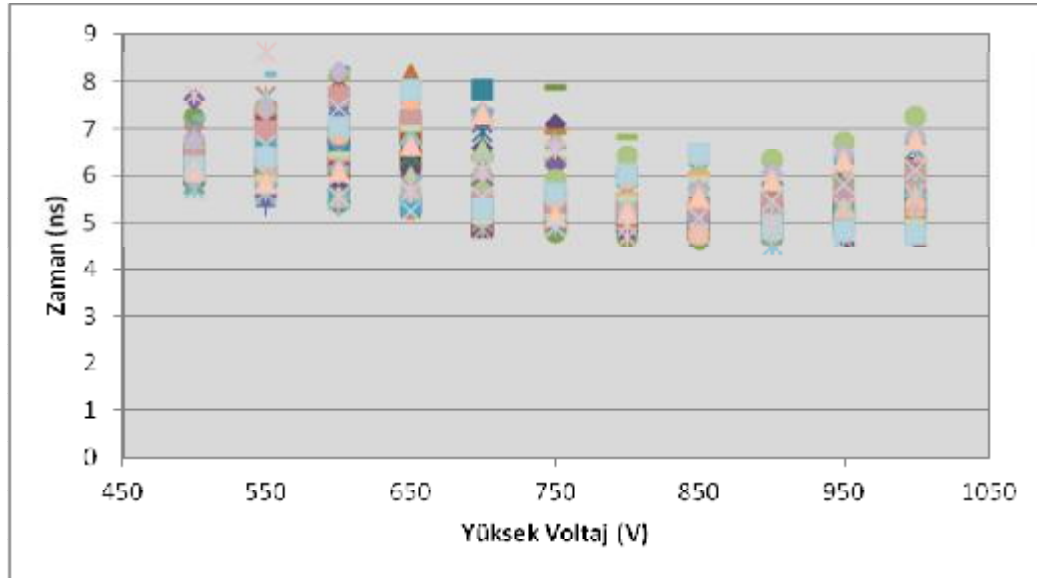
katot voltajının fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Uygulanan voltaj arttıkça sinyal genişliklerinde küçük de olsa bir azalma gözlenmektedir. Şekil 4.10'da ise sinyal genişliklerinin 1000V'ta ölçülen değerleri yine histogram olarak gösterilmektedir. Ölçülen diğer bir parametre ise elektronların geçiş zamanıdır. Bu zaman elektronların katottan anoda ulaşması sırasında geçen süredir. Yine anot-katot voltajının fonksiyonu olarak ölçülmüş ve bulunan sonuçlar Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi voltaj arttıkça geçiş süreleri hızla azalmaktadır. Elektronların geçiş süresi de 1000V için histogram olarak Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Elde edilen değerlerin CASTOR'un çalışma gereklerine ne derece uyduğu tartışma ve sonuç kısmında ayrıca tartışılacaktır.



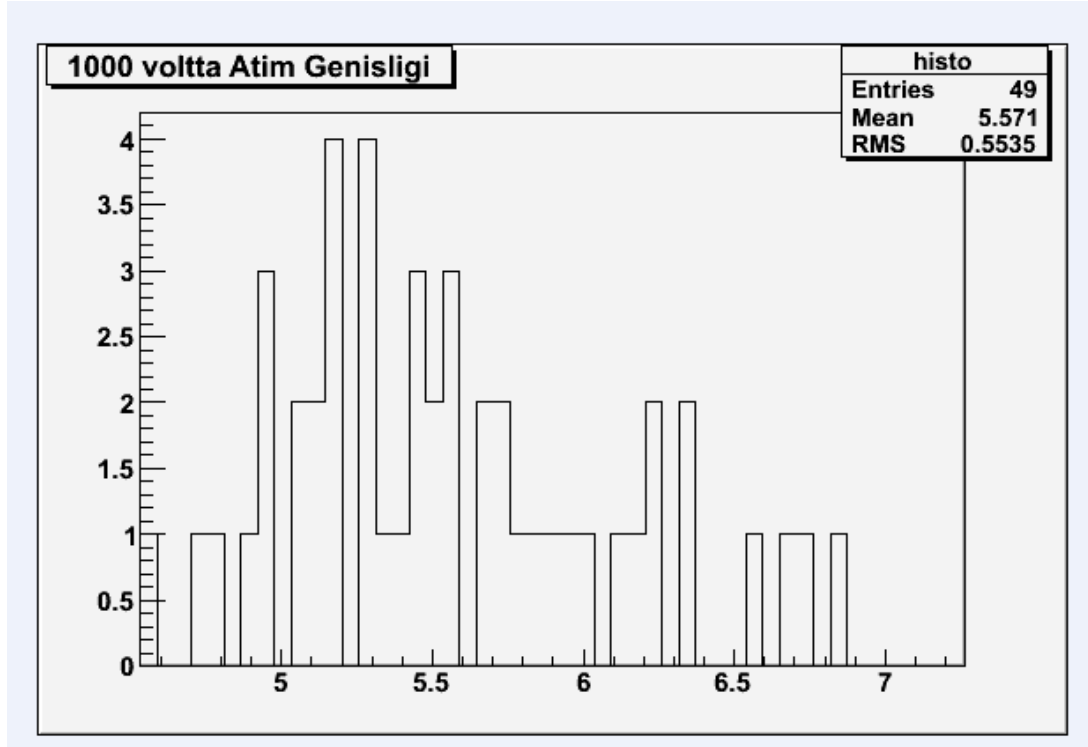
Şekil 4.7. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için sinyalin yükseliş süresinin voltajın fonksiyonu olarak değişimi.



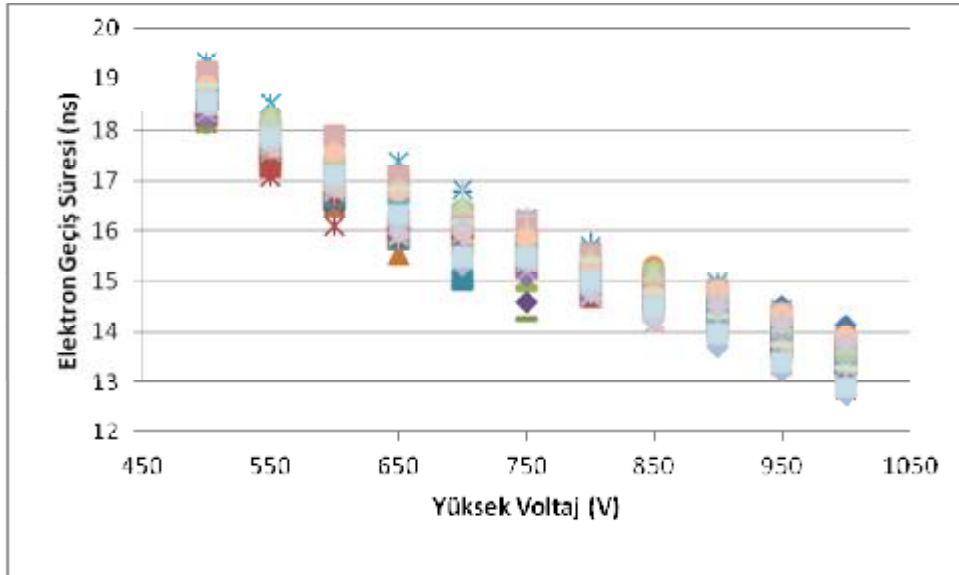
Şekil 4.8. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının yükseliş zamanlarının 1000V'ta ölçülen değerlerinin dağılımı.



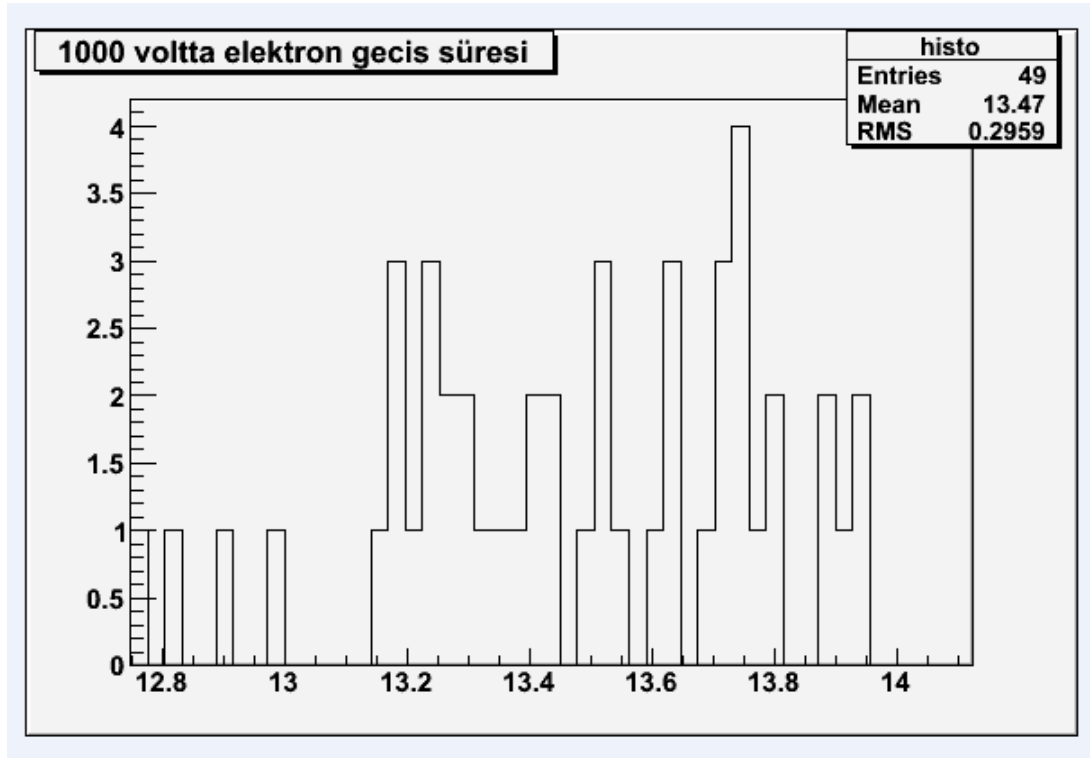
Şekil 4.9. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için sinyal genişliğinin voltajın fonksiyonu olarak değişimi.



Şekil 4.10. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının sinyal genişliğinin 1000V'ta ölçülen değerlerinin dağılımı.



Şekil 4.11. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için elektron geçiş süresinin uygulanan voltajın fonksiyonu olarak değişimi.



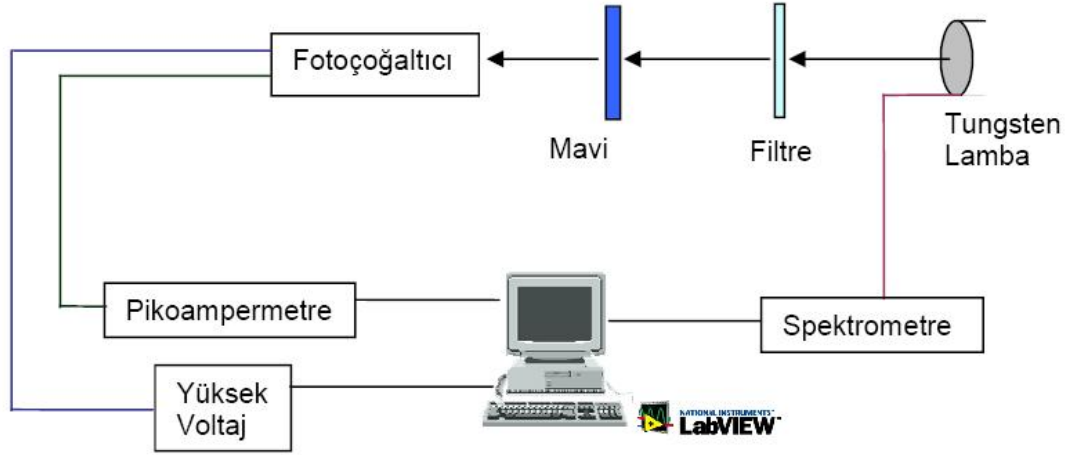
Şekil 4.12. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının 1000V'ta ölçülen elektron geçiş süresi dağılımı.

4.3.Kazanç

Foto-çoğaltıcı tüplerin anot, katot ve karanlık akımlarını ölçmek için ikinci bir karanlık kutu kullanılmıştır. Bu ölçümleri yapmak için Şekil 4.13'te gösterilen test düzeneği kullanılmıştır. Şekil 4.14 karanlık kutunun dıştan bir resmini, Şekil 4.15 ise içerisinden alınmış bir resmini göstermektedir. Bu ölçümleri yapmak için bilgisayar, piko-ampermetre, güç kaynağı, voltaj bölücü devre ve ışık kaynağı olarak da tungsten lamba kullanılmıştır.

Kazanç foto-çoğaltıcının anot akımının katot akımına oranıdır ($G = I_a/I_k$). Katot ve anot akımlarını ölçmek için Şekil 4.2'de gösterilen tabanlar ve gönderilen ışık miktarını düşürmek için nötral yoğunluklu filtreler kullanılmıştır. Katot akımını ölçebilmek için ışık miktarının ölçülebilecek şiddette katot akımı üretmesi gerekir. Aynı ışık miktarı anot akımını çok yüksek ($>1\text{mA}$) yapar ki bu da foto-çoğaltıcı tüpe zarar verebilir. Bu nedenle ışık şiddeti filtreler aracılığıyla azaltılır ve azaltılan miktar

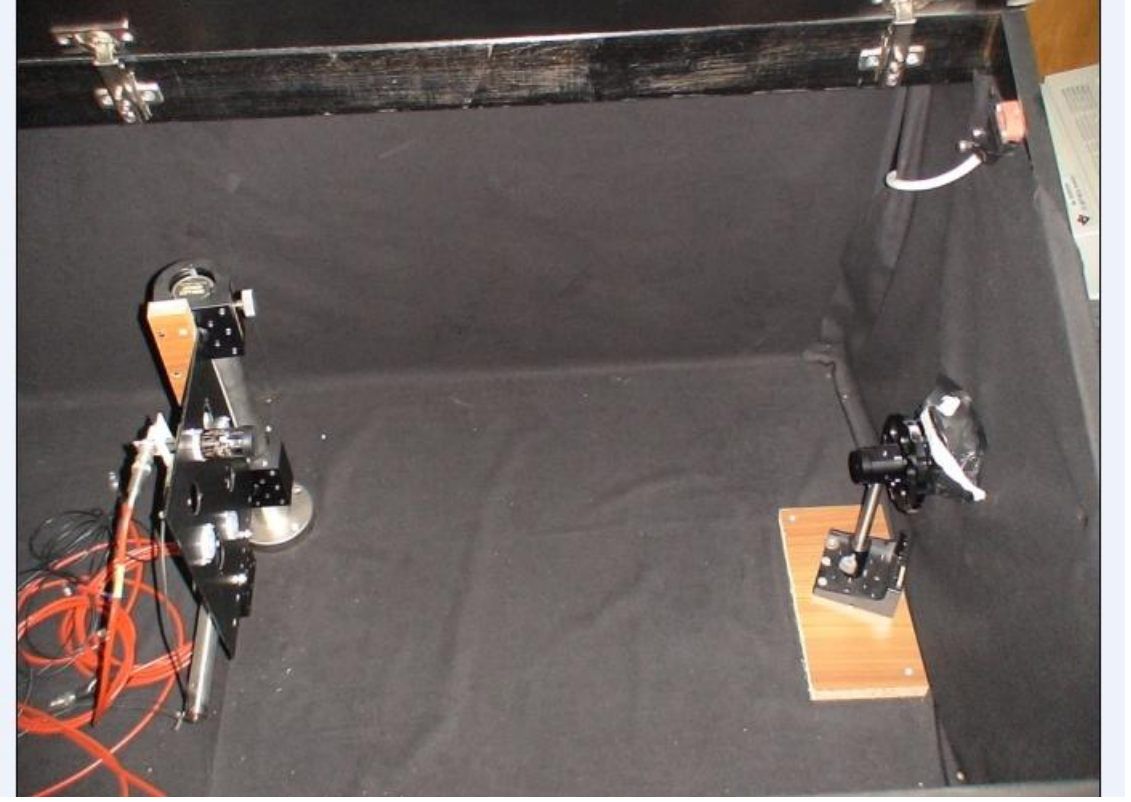
kazanç hesaplanırken dikkate alınır. Anot ve katot akımları anot-katot voltajının fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Veriler bilgisayara bir Labview programı aracılığıyla kaydedilir. Hesaplanan kazanç değerleri Şekil 4.16'da anot-katod voltajının fonksiyonu olarak gösterilmektedir.



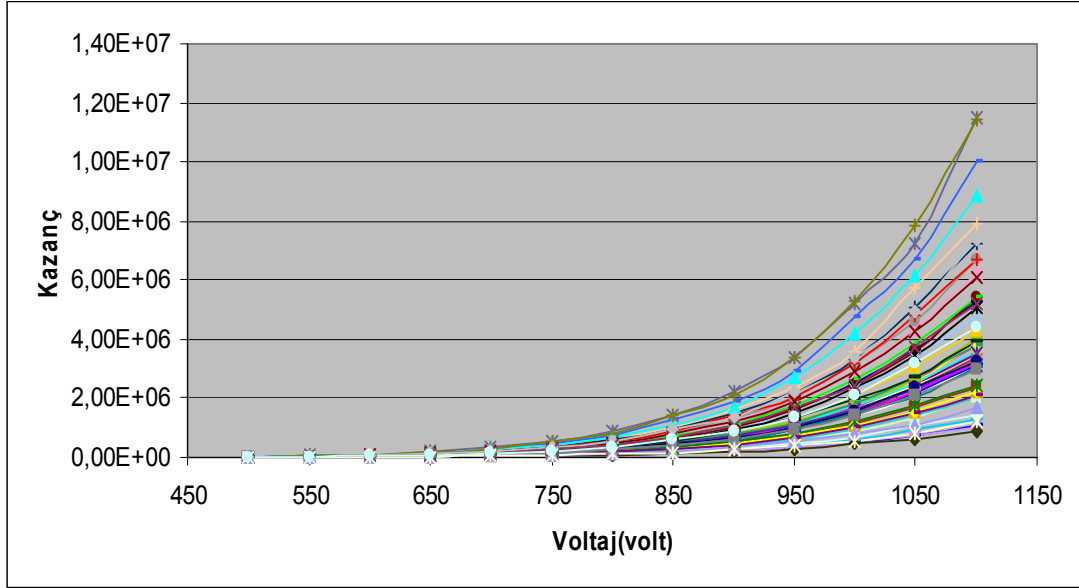
Şekil 4.13. Kazanç ölçümlerinde kullanılan test düzeneğinin şematik görünümü.



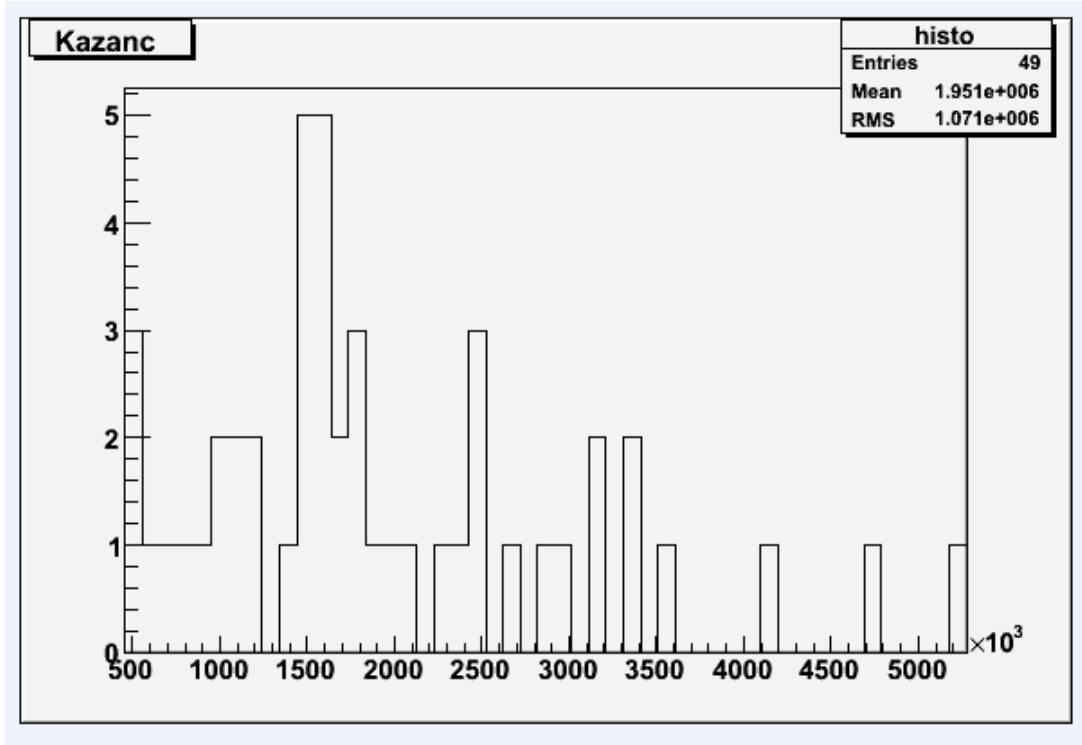
şekil 4.14. Kazanç test düzeneği.



şekil 4.15. Kazanç test düzeneğinin içten görünümü.



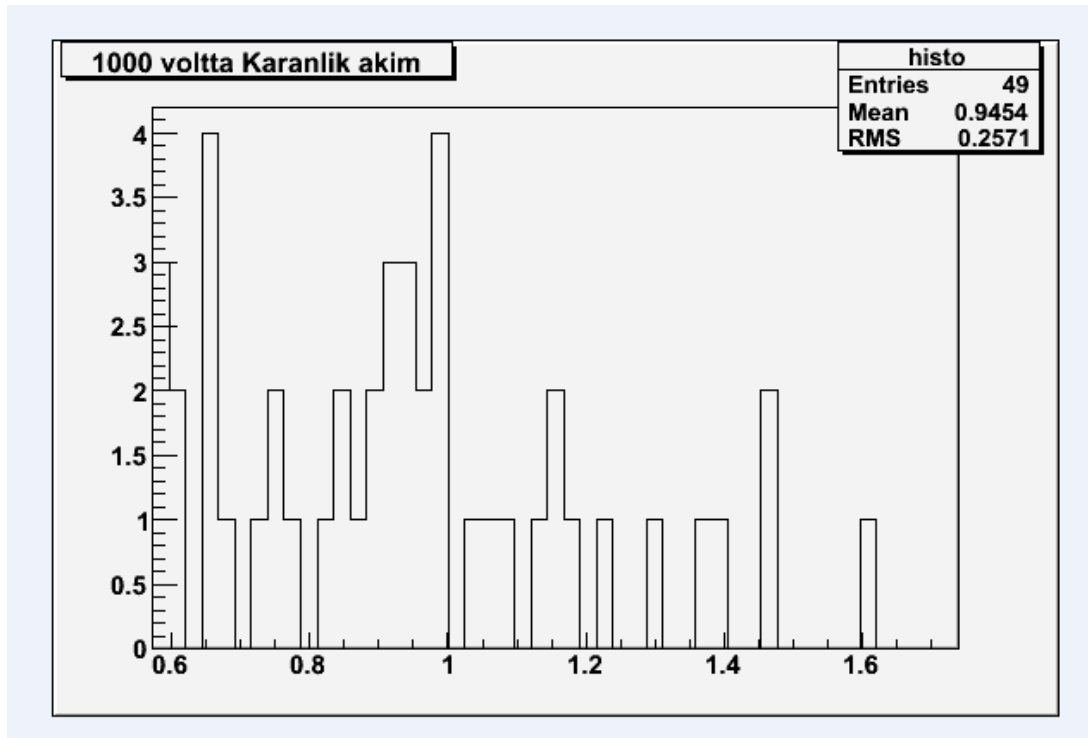
Şekil 4.16. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcı için kazancın uygulanan voltajın fonksiyonu olarak değişimi.



Şekil 4.17. Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının 1000V'ta ölçülen kazanç dağılımı.

4.4. Karanlık Akım

Bir ışık olmadığında da foto-çoğaltıcıya yüksek gerilim uygulandığında bir akım okunabilir. Buna karanlık akım denir, gürültü olarak da adlandırılır. Karanlık akım katot için oldukça önemsiz olduğundan uygulanan anot-katot voltajının fonksiyonu olarak sadece anot karanlık ölçümleri yapıldı. Anot karanlık ölçümleri yapılmadan önce PMT'ler 1 saat boyunca karanlık kutuda 1000 V verilerek bekletildi. Daha sonra bilgisayarda Labview programı kullanılarak piko ampermetre tarafından ölçülen anot akımları bilgisayara kaydedildi. Şekil 4.18'de 1000V'ta ölçülen karanlık akımların dağılımı görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi en büyük karanlık akım bile 2nA'den az olup tüm değerler istenilen limitlerin oldukça altındadır.



Şekil 4.18 Test edilen 49 tane foto-çoğaltıcının 1000V'ta ölçülen karanlık akım dağılımı.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CASTOR kalorimetresinde foto-çoğaltıcı tüpler kullanılacaktır. Yüksek enerji fiziği deneylerinde kullanılacak malzemeler için üretici firmadan deney kriterlerini sağlayacak malzemeler üretmesi beklenilmektedir. Bu nedenle CASTOR kalorimetresinde kullanılacak olan foto-çoğaltıcı tüpler bazı testler yapılmak üzere Çukurova Üniversitesi yüksek enerji fiziği laboratuvarına gönderilmiştir. Daha önce de kullanılması planlanan farklı bir model laboratuvarımıza gönderilmiş ve yapılan testler sonucunda bu FTP'lerin kazanç değerlerinin CASTOR'un kalibrasyonu için yeterli olmadığı anlaşılmış ve değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu nedenle bunlar kazanç değeri daha yüksek olan başka bir model ile değiştirilmiştir. Bu çalışmada bu yeni model tüplerin testleri yapılmıştır.

Bu çalışmada PMT'lerin zaman karakteristikleri ve kazanç ölçüm parametreleri incelenmiştir. Hamamatsu R7378A seri numaralı PMT'ler test edilmiştir. Ölçülen kazanç değerleri Hamamatsu tarafından yollanan sonuçlarla uyumlu çıkmıştır. Hamamatsu şirketi 1000 volt'da kazanç değerini 2×10^4 olarak ölçmüştür ve bizim yaptığımız ölçümlerde 1000 volt'da kazanç değeri yaklaşık olarak 1.951×10^4 olarak bulunmuştur. 1000 volt'daki en yüksek kazanç değeri BA0918 numaralı PMT için bulunmuştur.

Bu çalışmanın benzerleri Çukurova Üniversitesi yüksek enerji fiziği laboratuvarında (ÖZTÜRK,S. 2007) ve Iowa üniversitesinde (AKGUN,U. 2006) yapılmıştır. Çukurova Üniversitesi yüksek enerji fiziği laboratuvarında yapılan testler sonucu 1100 V' daki kazanç 6000 olarak ölçülmüştür fakat Hamamatsu'nun 1000 V' daki kazanç, 6000 olarak gösterilmesine rağmen sadece bir kaç foto-çoğaltıcıda bu değer ve üstü ölçülmüştür. Ölçülen kazanç değerleri Hamamatsu şirketinin verdiği değerlerden biraz farklı çıkmıştır.

CMS'in HF kalorimeterinde kullanılacak olan PMT'ler için Iowa üniversitesinde yapılan testler sonucu kazanç 1100 V'da 5000 olarak ölçülürken, burada ölçülen Hamamatsu R7525 foto-çoğaltıcıları için kazanç değeri Hamamatsu şirketi tarafından 1000V da 5000 olarak verilmiştir. Bu değere ancak 1100V'da

ulaşmıştır. Bundan dolayı, elde edilen kazanç değerleri önceki çalışmalarla uyumludur.

Bir sinyal için varlanma süresi elektron geçiş süresi ile atım genişliğinin toplamıdır. BHÇ'de her 25 s'de yeni bir çarpışma gerçekleşecektir ve elektron geçiş süresi ile atım genişliğinin toplamı bu süreden kısa olmalıdır. Zaman yanıtlama parametreleri test sonuçlarına baktığımızda 49 PMT için 1000V'da elektron geçiş süresi yaklaşık 13 ns'dir, atım genişliği ise 5 ns civarında bir dağılım göstermektedir. Böylece sinyalin toplam varlanma süresi 25 ns altında olup CASTOR dedektörü için istenen şartları sağlamaktadır. Sinyalin yükseliş süresi dağılımı yaklaşık 2 ns dir ve karanlık akım dağılımı yaklaşık 1 ns civarında ölçülmüştür.

Bu sonuçlar Hamamatsu şirketi tarafından yollanan sonuçlarla uyumlu olduğunu gösterir.

Iowa Üniversitesinde yapılan test sonuçlarına göre geçiş zamanı yaklaşık 15 ns civarındadır ve bu ölçümlerde 0.1 ns 'lik istatistiksel belirsizlik bütün foto-tüplerde hemen hemen aynıdır (AKGUN, 2006). Bu ise kalorimetrenin düzgün ve kararlı çalışması için çok iyidir. Yükselme zamanı yaklaşık 2 ns ve atım genişliği de yaklaşık 3 ns civarındadır.

Çukurova Üniversitesi Yüksek enerji fiziği laboratuvarında daha önce yapılan test sonuçlarında 1000 V'da geçiş süresi yaklaşık 13 ns ve atım genişliği 3 ns civarında ölçülmüştür (ÖZTÜRK, 2007). Dolayısıyla sinyalin toplam varlanma süresi 25 ns altındadır. Bu da istenilen bir sonuçtur.

Bu çalışmada bahsedilen ölçümler bir grup çalışması içerisinde yapılarak sonuçların bir kısmı başka bir tez olarak (TALİ 2009) yayınlanmıştır.

Tablo 5.1 Test Algoritması.

Yükselme zamanı	< 5ns
Atım genişliği	< 15ns
Geçiş zamanı	< 25ns
Kazanç	> 25 % (□□ □□)

Tablo 5.2. Hamamatsu şirketi tarafından yollanan sonuçlar ile Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği laboratuvarında yapılan testlerin sonuçlarının Karşılaştırılması.

	Hamamatsu	Ç.Ü
Kazanç	2.0x□□	1.951□□
Elektron Geçiş Süresi	17 ns	13 ns
Sinyalin Yükselme Zamanı	1.5 ns	2 ns
Karanlık Akım	< 20 nA	1 nA

KAYNAKLAR

- AKGUN, U., 2003. CMS HF Calorimeter PMTs And Ξ_C^+ Life Time Measurement
Iowa Universty, USA
- NORBECK, E., 2006. Physics at Very Small Angles with CASTOR at CMS, 22nd
Winter Workshop on Nuclear Dynamics, USA
- HAMATSU PHOTONICS KATALOG, Photomultiplier Tubes, 1982.
- OZTURK, S., 2007. CMS-CASTOR ALT Detektörünün Fototüplerinin
Kalite Kontrol Testleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Doktora Tezi, Fizik Bölümü, Adana, 71s.
- TALI, B., 2009. Test Results Of The Hamamatsu R7378A Phototubes , Analysis Of
The Test Beam 08 And Preliminary After-Installation Data Of The CMS-
CASTOR Calorimeter. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü,
Doktora Tezi Fizik Bölümü, Adana, 126s.
- SCHMIDT, R., 2006 “The LHC Collider: Status and Outlook to Operation”, CERN,
Switzerland, Geneva
- CMS TDR, 2008.
- The LHCb Collaboration, LHCb Technical Proposal, CERN/LHCC 98-4, (1998).
- The CMS Collaboration, CMS Technical Proposal, CERN/LHCC 94-038, (1994).
- PHILIPS-PMT, El Kitabı
- CASTOR TDR, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ankara'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Ankara'da tamamladıktan sonra Cumhuriyet Üniversitesi Hemşirelik Yüksek okulunu kazandı. Bir yıl sonra eğitimine devam etmeyerek Erciyes Üniversitesi Fizik Bölümüne girdi ve dereceyle bitirdi. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimine başladı.