

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOZMİK MÜONLARIN DENİZ SEVİYESİNDEKİ
AKISININ DÜŞEYLE OLAN AÇIYA BAĞIMLILIĞININ
KOZMİK İŞİN DEDEKTÖRÜYLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin YAHŞİ

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet BEKTAŞOĞLU

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOZMİK MÜONLARIN DENİZ SEVİYESİNDEKİ
AKISININ DÜŞEYLE OLAN AÇIYA BAĞIMLILIĞININ
KOZMİK İŞİN DEDEKTÖRÜYLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Ersin YAHŞI

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK


Bu tez 13 / 06 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç.Dr.Mehmet BEKTAŞOĞLU

Jüri Başkanı


Yrd.Doç.Dr.Hacı Ahmet
YILDIRIM

Üye


Doç.Dr. Abdil ÖZDEMİR

Üye

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının her aŐamasında benden yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrubesinden yararlandığım DanıŐman Hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet BEKTAŞOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarım süresince yardımına ihtiyaç duyduğum anda her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. BarıŐ Tamer TONGUÇ'a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans süresi boyunca çalıŐmalarımda bana yardımcı olan Doktora ÖĐrencisi Sayın Őule ÇİTÇİ'ye çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışma arkadaşım Murat AYHAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi olarak destekte bulunan, beni bugünlere getiren ve varlığımı borçlu olduğum aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KOZMİK IŞINLAR.....	3
2.1. Tarihçe.....	3
2.2. Kozmik Işın Kaynakları.....	5
2.3. Kozmik Işınları Oluşturan Parçacıklar.....	6
2.3.1. Birincil kozmik ışınlar.....	6
2.3.2. İkincil kozmik ışınlar.....	8
2.4. Atmosferdeki Kozmik Işınlar.....	10
2.5. Yer Yüzeyindeki Kozmik Işınlar.....	11
2.5.1. Müonlar.....	11
2.5.2. Müonların yük oranı.....	14
2.5.3. Müonlar ve rölativistik etkiler.....	14
2.5.4. Elektromanyetik bileşen.....	16
2.5.5. Protonlar.....	16

BÖLÜM 3.	
BERKELEY LABORATUVARI KOZMİK IŞIN DEDEKTÖRÜ.....	17
3.1. Kozmik Işın Dedektörü.....	18
3.1.1. Kasa.....	19
3.1.2. Sintilasyon panelleri.....	20
3.1.3. Fotoçoğaltıcı tüpler.....	23
3.1.4. Elektronik devre.....	24
3.2. Açığa Bağımlılık İçin Düzenek.....	25
BÖLÜM 4.	
ANALİZ.....	27
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	34
KAYNAKLAR.....	36
ÖZGEÇMİŞ.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MeV	: 10^6 ElektronVolt
GeV	: 10^9 ElektronVolt
TeV	: 10^{12} ElektronVolt
$I_N(E)$: Birincil nükleonların yoğunluğu
α	: İntegral spektral üssü
E	: Enerji
γ	: Lorentz faktörü
sr	: Steradyan
e^-	: Elektron
e^+	: Pozitron
μ^-	: Müon
μ^+	: Anti-müon
K^-	: Kaon
K^+	: Anti-kaon
π^0	: Nötral pion
π^-	: Pion
π^+	: Anti-pion
p^+	: Proton
p^-	: Anti-proton
n	: Nötron
\bar{n}	: Anti-nötron
θ	: Müonların düşeyle yaptıkları açı
E_μ	: Müon enerjisi
Ω	: Katı açı
N_μ	: Diferansiyel şiddet
K	: Kinetik enerji

m	: Müon kütlesi
c	: Işık hızı
u	: Göreli hız
Δt	: Müon referans sisteminde geçen zaman
$\Delta t'$: Dünyanın referans sisteminde geçen zaman
x	: Müonun menzil uzaklığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bir elektroskobu oluşturan bileşenler	3
Şekil 2.2.	Robert Milikan'ın Muir ve Arrowhead göllerinde yaptığı deneyler	5
Şekil 2.3.	Kozmik ışınların atmosfer atomlarıyla çarpışması sonucu oluşan duş “ <i>shower</i> ” örneği	6
Şekil 2.4.	Birincil kozmik radyasyonu oluşturan bileşenler	8
Şekil 2.5.	Eşitlik 2.1'den atmosferdeki kozmik ışınların düşey akılarının $E > 1$ GeV'deki tahmini değerlerinin gösterimi	11
Şekil 2.6.	İki farklı enerjide deniz seviyesindeki müon spektrumları	13
Şekil 2.7.	Müonun momentumunun bir fonksiyonu olarak müon yük oranı	14
Şekil 3.1.	Dedektörün bileşenleri	18
Şekil 3.2.	Kasayı oluşturan parçalar	19
Şekil 3.3.	Uygun ölçülerde kesilen sintilatör paletlerinin görünümü	21
Şekil 3.4.	Yüzey kenarları parlatılmış ve pürüzsüz hale getirilmiş olan sintilasyon	21
Şekil 3.5.	Sintilatör paletinin alüminyum folyo ile kaplanmış hali	22
Şekil 3.6.	Sintilatör paletinin fotoçoğaltıcıya optik çimentoyla yapıştırılmış hali	22
Şekil 3.7.	Bir fotoçoğaltıcının yapısı ve onu oluşturan parçalar	23
Şekil 3.8.	Sintilatöre optik çimentoyla bağlanmış fotoçoğaltıcı	24
Şekil 3.9.	Tamamlanmış elektronik devre	25
Şekil 3.10.	$\theta = 40^\circ$ de ölçüm yapabilmek için ayarlanmış düzeneğin şematik gösterimi	26
Şekil 3.11.	$\theta = 50^\circ$ de ölçüm yapabilmek için ayarlanmış düzeneğin şematik gösterimi	26
Şekil 4.1.	$\theta = 0^\circ$ deki müon sayısı	28

Şekil 4.2.	$\theta = 10^\circ$ deki müon sayısı	28
Şekil 4.3.	$\theta = 20^\circ$ deki müon sayısı	29
Şekil 4.4.	$\theta = 30^\circ$ deki müon sayısı	29
Şekil 4.5.	$\theta = 40^\circ$ deki müon sayısı	30
Şekil 4.6.	$\theta = 50^\circ$ deki müon sayısı	30
Şekil 4.7.	$\theta = 60^\circ$ deki müon sayısı	31
Şekil 4.8.	$\theta = 70^\circ$ deki müon sayısı	31
Şekil 4.9.	$\theta = 80^\circ$ deki müon sayısı	32
Şekil 4.10.	$\theta = 90^\circ$ deki müon sayısı	32
Şekil 5.1.	Düşeyle θ açısı yapacak şekilde gelen müon sayılarının açığa bağlı değişimi.....	34

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Bazı birincil ve ikincil parçacıkların özellikleri	10
Tablo 3.1.	Kasayı oluşturan kısımların ölçüleri	19
Tablo 4.1.	0° ve 90° arasında, 10° arayla her bir açı başına dakikada ölçülen ortalama müon sayısı	33

ÖZET

Anahtar kelimeler: Müon, Kozmik Işın Dedektörü, Açıya Bağımlılık

Kozmik ışınlar dış uzaydan gelip Dünya atmosferine giren yüksek enerjili parçacıklardır. Bu parçacıkların atmosfer atomlarıyla etkileşimi sonucunda bir çok yeni parçacık oluşur. Kozmik müonlar bu parçacıkların arasında yer alır ve madde ile az etkileşmelerinin yanısıra rölativistik hızlarla hareket etmelerinden dolayı deniz seviyesinde en yüksek yoğunluklu yüklü parçacıklardır.

Bu çalışmada Ulusal Lawrence Berkeley Laboratuvarı'nda tasarlanıp, Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde inşa edilen kozmik ışın dedektöründen yararlanılarak, kozmik müonların deniz seviyesindeki akısının düşeyle olan açığa bağımlılığı incelenmiştir.

INVESTIGATION OF COSMIC MUON FLUX' ANGULAR DEPENDENCE WITH RESPECT TO THE VERTICAL AT SEA LEVEL BY THE COSMIC MUON DETECTOR

SUMMARY

Key Words: Muon, Cosmic Ray Detector, Angular Dependence

Cosmic rays are high energy particles entering the Earth's atmosphere from the outer space. As a consequence of interaction of these particles with the atoms in the atmosphere many new particles are produced, among which are muons. Muons are the most numerous charged particles at sea level since they weakly interact with matter and they experience relativistic time dilation due to their high speeds.

In this study, the cosmic muon flux' angular dependence, with respect to the vertical, at sea level, is investigated using the cosmic ray detector, designed at the Lawrence Berkeley National Laboratory and built at Sakarya University, Department of Physics.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kozmik ışınlar dış uzaydan gelip dünya atmosferine giren yüksek enerjili parçacıklardır. Bu parçacıkların %90'ı hidrojen çekirdeği (proton), %9'u helyum atomu çekirdeği (alfa parçacığı), %1'i ise karbon, oksijen, demir, lityum, berilyum, boron gibi çekirdeklerdir. Birincil kozmik ışınlar olarak da adlandırılan bu parçacıklar Dünya atmosferine girdiklerinde, atmosfer atomlarıyla etkileşerek ikincil kozmik ışınları oluştururlar. Bu parçacıklar kararsız olduklarından çok kısa bir sürede bozunup yeni parçacıklar oluştururlar. Böylece oluşan bu parçacıklar bir sağanak “*shower*” şeklinde yeryüzeyine inerler. Yeryüzeyine, madde ile etkileşimleri az olduklarından ve özel rölativitenin bir sonucu olarak zaman genişlemesinden dolayı en çok müonlar gelir. Müonlar, θ müonların düşeyle yaptığı açı olmak üzere, yeryüzeyine $\cos^2\theta$ fonksiyonuyla orantılı olarak inerler. Deniz seviyesinde, 1 GeV/c'nin üstündeki momentuma sahip düşey müonların akısı $70 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ 'dir.

Müon ölçümleri yeryüzeyinde ya da atmosferin çeşitli derinliklerinden karmaşık dedektör sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bununla beraber daha basit dedektör sistemleri de müon ölçümlerinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, daha basit ve taşınabilir özelliğe sahip, Ulusal Lawrence Berkeley Laboratuvarı'nda tasarlanıp, Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde inşa edilen kozmik ışın dedektörü kullanılmıştır. Dedektör, fotoçoğaltıcı tüplere bağlı iki sintilatör, elektronik devre ve bu bileşenleri bir arada tutan kasadan oluşmaktadır.

Bu tezin bundan sonraki bölümünde kozmik ışınlar hakkında detaylı bir şekilde bilgi verilmiş, üçüncü bölümünde müon ölçümünde kullanılan kozmik ışın dedektörü genişçe anlatılmış, dördüncü bölümünde deniz seviyesindeki kozmik müonların

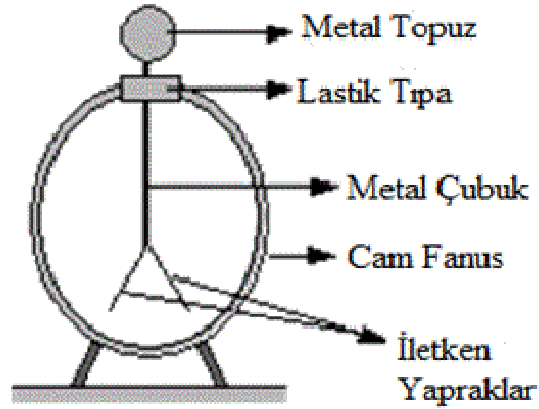
açıya bağlı ölçümleri analiz edilmiş ve son bölümde ise elde edilen sonuçların literatürle kıyaslanması ve yorumlanması verilmiştir.

BÖLÜM 2. KOZMİK IŞINLAR

2. 1. Tarihçe

1910 yılında Hollandalı bir öğretmen olan Theodor Wulf radyasyona duyarlı bir elektroskop yaptı [1]. Böyle bir aletin yüklendikten sonra yavaşça yükünü kaybettiği biliniyor ve bunun nedeninin Dünya kabuğundaki elementlerden kaynaklandığına inanılıyordu.

Bir elektroskop esas olarak iki iletken yapraktan oluşur. Yükleme yapıldığında yapraklar birbirini iter ve şekildeki gibi açılırlar.



Şekil 2.1. Bir elektroskobu oluşturan bileşenler

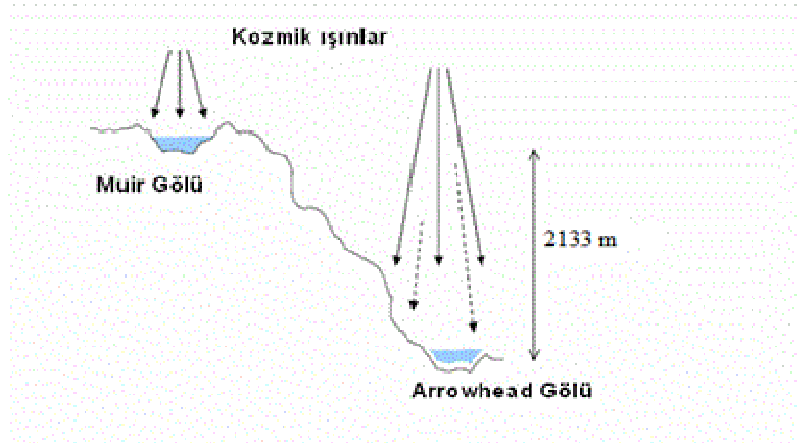
Yüklü bir parçacık elektroskop ortamından geçtiğinde ortam atomlarının elektronlarını koparır. Oluşan iyonlar veya elektronlar yapraklara doğru hareket ederek yaprakların deşarjına, böylelikle kapanmalarına neden olur.

Fransız fizikçi Lon Gevin Eyfel Kulesi'nin tepesinde (yaklaşık 300 m yüksekliğinde) yaptığı deneyde elektroskobun yerdekine oranla daha hızlı deşarj olduğunu gözlemledi.

1912 yılında Avusturyalı fizikçi Victor Hess bu durumu daha sistematik olarak incelemek için Wulf'un yaptığı elektroskobu almış ve bu elektroskobun bir radyasyon kaynağının yakınında deşarj olduğunu gözlemlemiştir. Aynı yıl elektroskobu bir balona yerleştirmiş ve balon yükseklerle tırmandıkça, eğer radyasyon kaynağı yer ise, elektroskobun daha yavaş boşalacağını düşünmüştür. Ancak tam tersi bir durum ortaya çıkmış ve balon yükseldikçe elektroskobun daha hızlı boşaldığını ve dolayısıyla yukarılara çıkıldıkça radyasyon şiddetinin arttığını gözlemlemiştir. Bu gözlemlerinden, 5000 metre yükseltide radyasyon şiddetinin deniz seviyesine oranla çok daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Böylelikle radyasyon kaynağının, yalnız Dünya kabuğundaki elementler olmadığını anlamış ve bunu,

“Yukarıdan, çok yukarılardan atmosfere güçlü ve girici parçacıklar girmektedir. Bunlar, yaptığım inceleme ve gözlemlerimin neticesi olarak ortaya çıkmıştır” [2],

şeklinde ifade etmiştir. Ayrıca, Amerikalı fizikçi Robert Millikan da 1928'de Kaliforniya'da, 3657 m rakımlı Muir ve 1524 m rakımlı Arrowhead göllerinin farklı derinliklerinde bir elektroskoplara radyasyon değişimlerini araştırmıştır. Araştırmaları sonucunda Arrowhead Gölü'ndeki radyasyonun, Muir Gölü'nkünden daha düşük olduğunu gözlemlemiştir (Bkz. Şekil 2.2). Dolayısıyla yerin derinliklerine doğru radyasyonun azaldığı, yukarılarda ise daha fazla olduğu sonucuna varmış, kaynağının Dünya olmadığını düşündüğü bu ışınlara *kozmetik ışınlar* adını vermiştir [3].



Şekil 2.2. Robert Milikan'ın Muir ve Arrowhead göllerinde yaptığı deneyler [3]

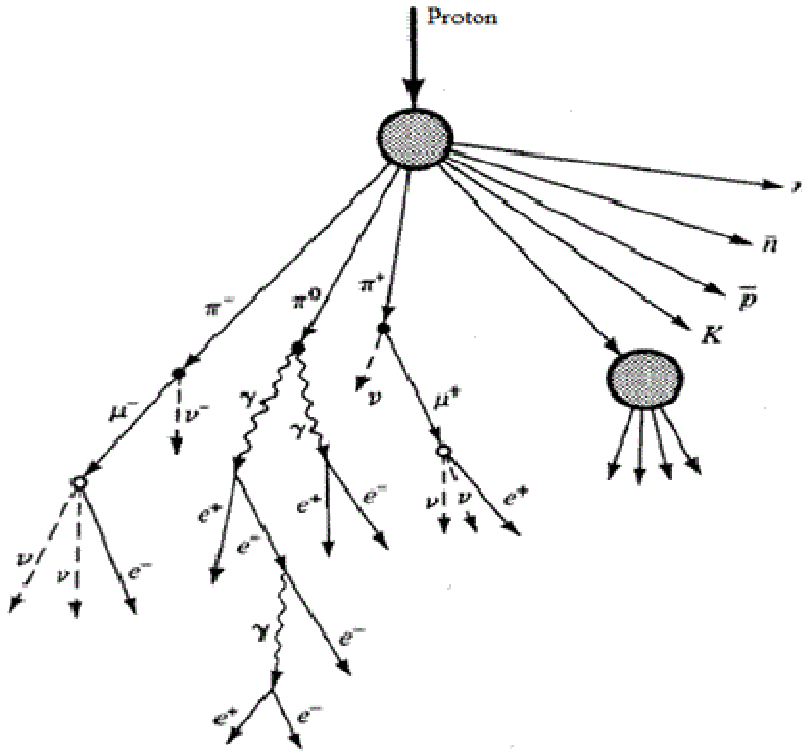
2.2. Kozmik Işın Kaynakları

Kozmik ışınların nereden gelebileceği ile alakalı iki görüş ağır basmaktadır. Birinci görüşe göre, kozmik ışınlar, günümüzden milyarlarca yıl önce, Big Bang patlaması sonucunda Evren oluştuğunda meydana gelmişlerdir. Bu kozmik ışınlar o zamandan bugüne kadar evrenin çekim alanlarına bağlı olarak uzay içindeki yörüngelerinde hareket etmektedirler.

İkinci görüş ise, kozmik ışınların Güneş'ten kaynaklandığı fikridir. Kozmik radyasyonların şiddetleri ile Güneş'in aktivitesi arasında bazı ilişkilerin var olduğu gözlenmiştir. Güneş yüzeyinde yer yer meydana gelen patlamalardan hemen sonra, Dünya'ya gelen kozmik ışınlarda bir artış görülür. Ancak, kozmik ışınların tek kaynağı Güneş olsaydı, günün farklı saatlerinde, özellikle gece-gündüz arasında, Dünya'ya ulaşan kozmik ışın sayısında oldukça belirgin bir farklılık gözlenmesi beklenirdi. Fakat, azalmalar olmakla beraber, beklenildiği kadar bir farklılık gözlenmemektedir. Böylece kozmik ışınların yalnızca Güneş kaynaklı olmadığı, Samanyolu galaksisinde bulunan diğer yıldızlardan ve galaksi dışından geldikleri sonucuna varılmıştır [2].

2.3. Kozmik Işınları Oluşturan Parçacıklar

Dünya atmosferinin üst kısmına gelen kozmik ışınlar, radyasyon ömürleri 10^6 yıl veya daha uzun ortalama ömre sahip olan kararlı yüklü parçacıkları ve çekirdekleri içermektedir. Bunların, yaklaşık %90'ı hidrojen çekirdeği (proton), %9'u helyum atomu çekirdeği (alfa parçacığı), %1'i ise karbon, oksijen, demir, lityum, berilyum, boron gibi çekirdeklerdir. Yüksek enerjiye sahip bu parçacıklar, Dünya atmosferine girdiklerinde atmosfer atomları ile etkileşmekte ve bu etkileşimler sonucu başka parçacıklar oluşmaktadır. Oluşan bu parçacıklar bir sağanak “*shower*” (Bkz. Şekil 2.3) şeklinde yeryüzüne inmektedirler. Kozmik ışınlar birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.3. Kozmik ışınların atmosfer atomlarıyla çarpışması sonucu oluşan düş “*shower*” örneği

2.3.1. Birincil kozmik ışınlar

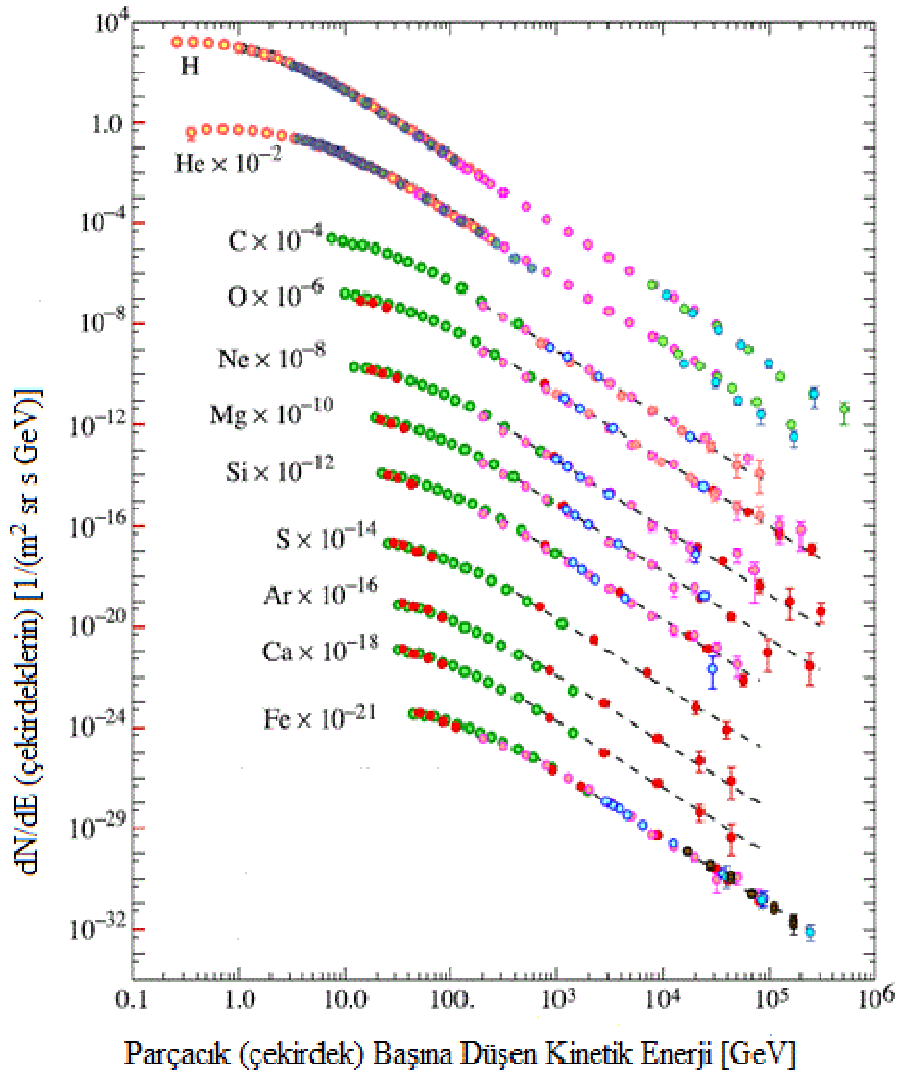
Birincil kozmik ışınlar, astrofiziksel kaynaklarda hızlandırılan parçacıklardır. Elektronlar, protonlar ve helyum, bunların yanı sıra karbon, oksijen, demir ve

yıldızlarda sentezlenen diğer çekirdekler birincildirler. Bu kozmik ışınlar, nükleon başına 10^{11} GeV enerjiye kadar tespit edilebilmektedirler. Bunların çoğu 1 GeV ile 10^3 GeV enerjilere sahiptir. Birkaç GeV ile 100 TeV enerji aralığındaki birincil nükleonların yoğunluğu yaklaşık olarak,

$$I_N(E) \approx 1.8 \times 10^4 \left(\frac{E}{\text{GeV}} \right)^{-\alpha} \frac{\text{nükleon}}{\text{m}^2 \text{ s sr GeV}} \quad (2.1)$$

ile verilmektedir. Burada, E nükleon başına düşen ve durgun kütle enerjisini içeren enerji, $\alpha (\equiv \gamma + 1)$, ise integral spektral indisidir [4].

Birincil nükleonların yaklaşık %79'u serbest protonlar ve geri kalanların yaklaşık %70'i helyum çekirdeğine bağlı nükleonlardır. Birincil çekirdeklerin oranları 1 GeV ile 10^3 GeV enerji aralığı mertebesinde hemen hemen sabittir. Şekil 2.4'te 2 GeV/nükleon'dan daha büyük enerjiler için birincil kozmik ışın akılarının enerjiye göre değişimleri verilmektedir.



Şekil 2.4. Birincil kozmik radyasyonu oluşturan bileşenler [4]

2.3.2. İkincil kozmik ışınlar

İkincil kozmik ışınlar, birincil kozmik ışınların geçtikleri ortamda bulunan bir birincil parçacıkla ya da birincil parçacıkların atmosfer atomlarıyla etkileşimi sonucu üretilirler. Lityum, berilyum, boron gibi çekirdekler ile antiprotonlar ve pozitronlar ikincil parçacıklardır. Dünya yüzeyinde gözlemlenen kozmik ışın enerjisinin hemen hemen hepsi ikincil parçacıklardan meydana gelmektedir.

Bir birincil parçacık, bir hava molekülünün çekirdeği ile çarpışmadan önce, Dünya'nın atmosfer gazlarının yaklaşık olarak onda birini katetmektedir. Bir

çarpışma gerçekleştiğinde, hava molekülündeki çekirdekler, birçok daha küçük atom altı parçacıklara parçalanmaktadır. İlk parçacığın enerjisi yüksek ise, ikincil parçacıkların her biri de birincil parçacığın enerjisiyle ilişkili yüksek enerjiye sahip olabilmektedir. Bu ikincil parçacıklar bir hava molekülündeki başka bir çekirdek ile çarpışabilir ve yeni ikincil parçacıklar meydana getirebilir. Böylece yüksek enerjili bir birincil parçacık, enerjisini bir çok ikincil parçacığa dağıtmakta ve bu parçacıklar atmosferin orta ve alt tabakalarında tespit edilebilmektedir. Bunların çoğu, kütleleri proton ve elektronun kütlesi arasında bulunan elektrik yüklü parçacıklar olarak ortaya çıkar. Bu parçacıklara *mezon* adı verilmektedir. Deniz düzeyinde en çok rastlanılan ikincil parçacıklar *müon*'lardır. Müonlar temel taneciklerin lepton ailesine ait olup yükleri büyüklük olarak elektronun yüküne (negatif veya pozitif) ve kütleleri elektronun kütlelerinin yaklaşık 207 katına eşittir. Müonlar yaklaşık $2.2\mu s$ 'de bozunuma uğramakta, ürün parçacık olarak bir elektron (pozitron), nötrino ile anti nötrino oluşmaktadır. Bir pozitron, elektrona eşdeğer bir parçacıktır, fakat eşit miktarda pozitif yük taşımaktadır. Nötrinolar enerjili olup, kütlelerinin bulunmadığı düşünülmekle beraber güümüzde bu parçacıkların kütlelerinin araştırılması konusunda pekçok çalışma yapılmaktadır. 1994'te Hywel White yönetimindeki Los Alamos fizikçileri, nötrinonun kütleli olduğunu gösteren kanıtlar elde etti [5]. 1998'de Süper-Kamiokande nötrino detektörü gerçekten de nötrinonun tür salınımı "*neutrino oscillation*" (örneğin; $e \rightarrow \mu$, $e \rightarrow \tau$) [6] yaptığını ve bu sebepten kütlesi olması gerektiğini göstermiştir [7].

Birincil parçacıkların atmosferle etkileşimi sonucunda oluşan birkaç ikincil parçacığın bozunum şekilleri aşağıda yer almış olup bu parçacıkların bazı özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

$$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0, K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0 + \pi^0, K^+ \rightarrow \pi^0 + e^- + \nu_e$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e, \pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma, \pi^0 \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$$

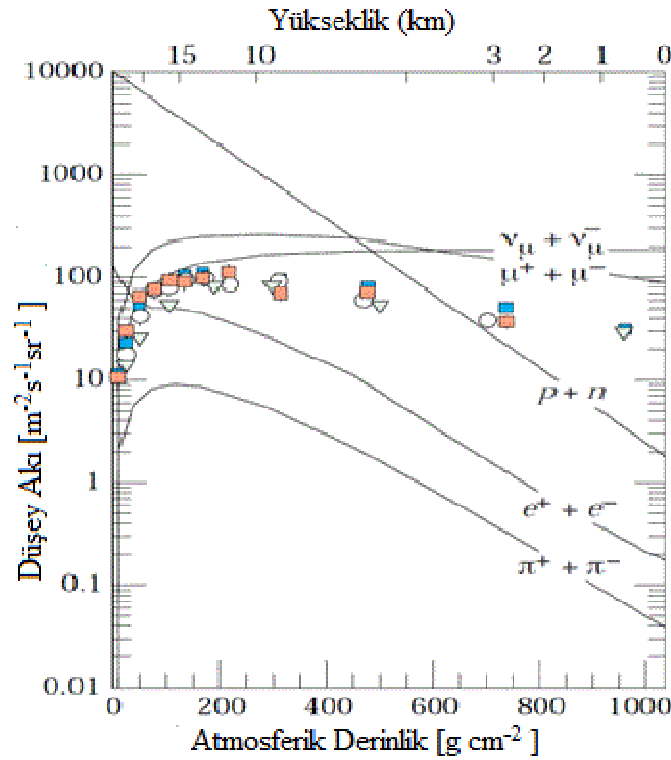
$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu, \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

Tablo 2.1. Bazı birincil ve ikincil parçacıkların özellikleri

İsim	Sembol	Kütle (MeV/c ²)	Yarı ömür
Elektron/ Pozitron	e^{-}, e^{+}	0.511	$>4.6 \times 10^{20}$ yıl
Müon/Antimüon	μ^{+}, μ^{-}	105.6	$2.2 > 10^{-6}$ saniye
Kaon/Antikaon	K^{+}, K^{-}	493.7	1.24×10^{-8}
Nötral Pion	π^0	135	8.4×10^{-17}
Yüklü Pion	π^{+}, π^{-}	139.6	2.6×10^{-8} saniye
Proton/ Antiproton	p^{+}, p^{-}	938.2	$>10^{29}$ yıl ¹
Nötron/ Antinötron	n, \bar{n}	939.6	885.7 saniye

2.4 . Atmosferdeki Kozmik Işımlar

Şekil 2.5 atmosferde parçacıkların en çok bulunduğu enerji bölgesinde atmosferde başlıca kozmik ışın bileşenlerinin düşey akılarını göstermektedir.



Şekil 2.5. Eşitlik 2.1'den atmosferdeki kozmik ışınların düşey akılarının $E > 1$ GeV'deki tahmini değerlerini göstermektedir. Nokta ile belirtilen yerler ise müon ölçümlerini vermektedir [4]

Atmosferin üst kısmına yakın protonlar ve elektronlar hariç bütün parçacıklar, birincil ışınların havayla etkileşiminde üretilmektedirler. Müonlar ve nötrinolar yüklü mezonların bozunum ürünleri iken, elektronlar ve fotonlar nötral mezonların bozunumundan oluşmaktadırlar.

Çoğu ölçümler, yeryüzü seviyesinde veya atmosferin üst kısımlarına yakın yapılmaktadır. Bununla birlikte, uçaklar ve balonlarda yapılan müon ve elektron ölçümleri de mevcuttur.

2.5. Yer Yüzeyindeki Kozmik Işımlar

2.5.1. Müonlar

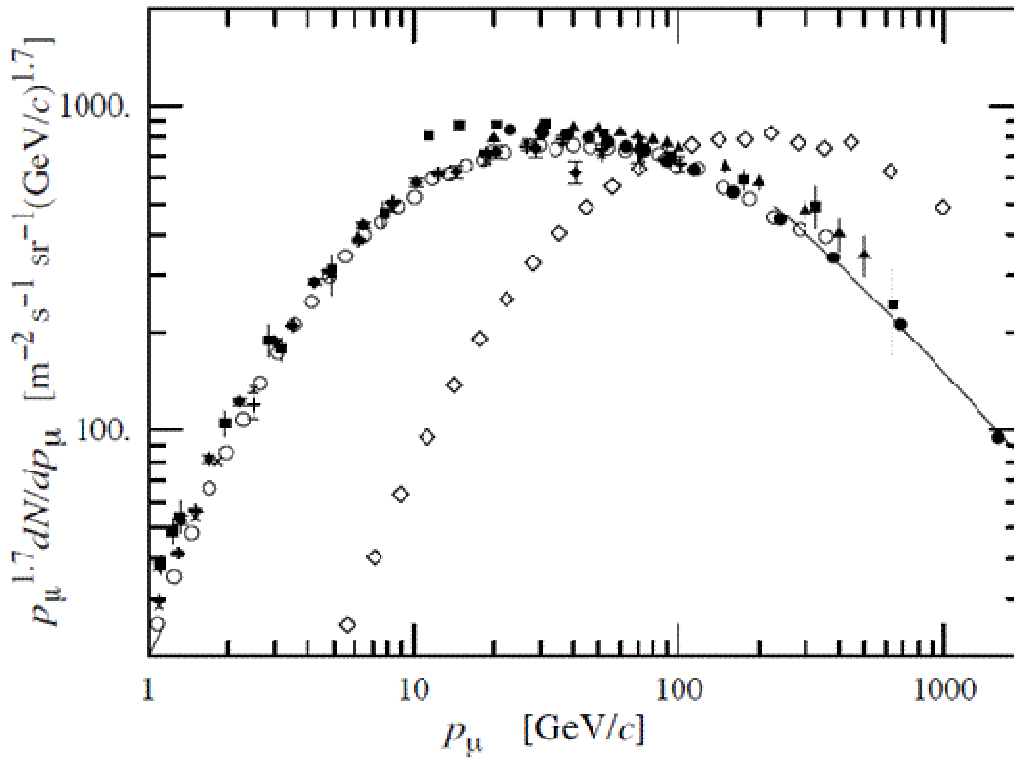
Şekil 2.5'de görüldüğü gibi deniz seviyesindeki yüklü parçacıkların büyük bir kısmı müonlardır. Çoğu müonlar atmosferde (yerden 15 km kadar yukarda) üretilirler. Yüklü parçacıklar iyonizasyon ile enerji kaybetmektedir. Bunlar, madde içinden

geçerken ortam atomları ile etkileşmekte ve ortam atomlarının zayıf bağlı dış yörünge eletronlarını sökebilmektedir. Müonlar, yere ulaşana kadar bu şekilde yaklaşık 2 GeV'lik enerji kaybederler. Müonların enerji ve açısal dağılımı, atmosferdeki enerji kaybı ve bozunmaya ışık tutar. Örneğin 2.4 GeV'lik müonların 15 km'lik bozunma uzunluğu (decay length) enerji kaybı ile 8.7 km'ye düşer. Deniz seviyesindeki müonların ortalama enerjisi 4 GeV'dir. 1 GeV'in altında enerji spektrumu hemen hemen düz iken 10-100 GeV arasında spektrum yavaşça dikleşir ve daha yüksek enerjilerde bu dikleşme daha fazla olur. Deniz seviyesinde 1 GeV/c'nin üstündeki düşey müonların şiddeti yaklaşık $70 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ 'dir [8].

Müonlar ve diğer ikincil parçacıklar, birincil parçacıkların geliş doğrultusundan 1 derecelik bir açı farkıyla üretilmektedir.

Açıya Bağımlılık

Düşeyden θ açısıyla gelen müonlar yeryüzeyine ulaşana kadar aldıkları yol, düşeyle gelen müonlara göre $1/\cos\theta$ oranında artar. Burada, $\theta < 70^\circ$ için dünyanın düz olduğu ve müonların yolculukları boyunca bozunmadığı kabul edilmektedir. İki kat yol boyunca yarıdan daha fazla müonun azalacağı kabul edilirse, o zaman $\cos\theta$ ile değişen müon akısı beklenecektir. Halbuki gözlenen dağılım $\cos^2\theta$ ile orantılıdır [4].



Şekil 2.6. İki farklı enerjide deniz seviyesindeki müon spektrumları

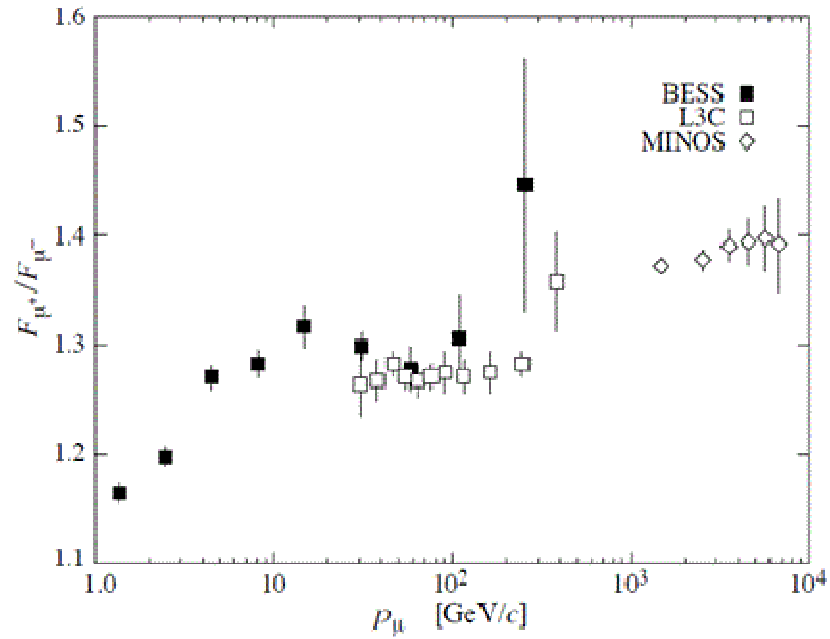
Şekil 2.6 iki farklı enerjide deniz seviyesindeki müon spektrumlarını göstermektedir. Büyük açılarda düşük enerjili müonlar Dünya yüzeyine ulaşmadan bozunurlarken, yüksek enerjili pionlar etkileşmeden bozunurlar ve böylece ortalama müon enerjisi artar. Müon bozunmasının ihmal edildiği $E_\mu > 100/\cos\theta$ GeV ve Dünya yuvarlaklığının yok sayılabileceği ($\theta < 70^\circ$) durumlarda,

$$dN_\mu/dE_\mu d\Omega \approx \frac{0.14 dE_\mu^{-2.7}}{\text{cm}^2 \text{s sr GeV}} \times \left\{ \frac{1}{1 + \frac{1.1 E_\mu \cos\theta}{115 \text{ GeV}}} + \frac{0.054}{1 + \frac{1.1 E_\mu \cos\theta}{850 \text{ GeV}}} \right\} \quad (2.2)$$

yaklaşık ekstrapolasyon formülü geçerlidir. $dN_\mu/dE_\mu d\Omega$ ifadesi katı açı ve enerji başına düşen diferansiyel şiddeti göstermektedir. Burada parantez içindeki iki terim pion ve yüklü kaonların katkısını vermektedir [17].

2.5.2. Müonların yük oranı

Müon yük oranı birincil spektrumdaki π^+ 'nin π^- 'den, K^+ 'nin K^- 'den fazla olmasını yansıtır. μ^+/μ^- 'nin artan enerjiyle artıyor olması TeV enerjili kaonların artan önemini gösterir [19].



Şekil 2.7. Müonun momentumunun bir fonksiyonu olarak müon yük oranı. Veri noktaları [14,15,19]'den alınmıştır.

2.5.3. Müonlar ve rölativistik etkiler

Müonlar 2.2 mikrosaniyelik ortalama ömre sahiptir. Yaklaşık ışık hızında hareket eden bir parçacık bu ömürle 660 m'lik yol alır. Müonların deniz seviyesinden yaklaşık 15 km'lik bir yükseltide oluştuğu düşünülürse yeryüzüne ulaşamamaları beklenir. Ancak özel rölativite teorisinin bir sonucu olarak müonların ortalama ömrü uzar ve yeryüzeyine kadar ulaşabilir. Rölativistik hızlarda gelen müonların sahip olduğu kinetik enerji,

$$K = \gamma mc^2 - mc^2 \quad (2.3)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada m parçacığın kütesini c ise ışık hızını ifade etmektedir. Ayrıca γ Lorentz faktörü olmak üzere,

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - u^2/c^2} \quad (2.4)$$

ve u ise görelî hızdır. γ ifadesini (2.3) denkleminde yerine koyarsak,

$$\gamma = \frac{K + mc^2}{mc^2} = \frac{(2 + 0.1)\text{Gev}}{0.1\text{Gev}} = 21 \quad (2.5)$$

değeri elde edilir. Aynı şekilde rölativistik hızlarda zaman ifadesi de,

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (2.6)$$

ile verilmektedir. Δt müonun referans sisteminde geçen zamanı, $\Delta t'$ ise dünyanın referans sisteminde geçen zamanı belirtmektedir. Burada,

$$\Delta t = 21 \times 2.2 \times 10^{-6}\text{s} = 46.2 \times 10^{-6}\text{s} \quad (2.7)$$

elde edilir. Parçacığın menzil uzaklığı,

$$x \cong c \times \Delta t \quad (2.8)$$

ile verilir. Buradan,

$$x \cong (3 \times 10^8\text{m/s}) \times (46.2 \times 10^{-6}\text{s}) = 13860 \text{ m} \quad (2.9)$$

elde edilir. Böylece Dünya yüzeyine ulaşamayacak kadar kısa ömre sahip olmalarına rağmen bu kadar yol almaları görecelik ifadesiyle açıklanabilir.

2.5.4. Elektromanyetik bileşen

Yer yüzeyinde, bu bileşen en çok nötral ve yüklü mezonların bozunumu ile başlayan elektromanyetik diziden gelen elektronları, pozitronları ve fotonları içermektedir. Müon bozunumu, deniz seviyesinde düşük enerjili elektronların baskın kaynağıdır. Elektronlar ve pozitronların dikey yoğunluk integrali 10, 100 ve 1000 MeV'de yaklaşık olarak sırasıyla 30, 6 ve $0.2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ dir, fakat bütün sayılar hassas olarak yükseltiye bağlıdır ve açısallık, farklı elektron kaynaklarının yükseltiye farklı şekilde bağlılık göstermesi sebebiyle karmaşıktır [18].

2.5.5 Protonlar

Yeryüzü seviyesinde $1 \text{ GeV}/c$ üzerinde enerjiye sahip nükleonlar, birincil kozmik ışınımının azalmış kalıntılarıdır. Deniz seviyesinde düşey doğrultudaki nükleonların yaklaşık $1/3$ 'ü nötronlardır. n/p oranı atmosferin üst kısımlarında dengededir. Deniz seviyesinde $1 \text{ GeV}/c$ üzerindeki düşey protonların toplam yoğunluğu yaklaşık olarak $0.9 \text{ m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ 'dir [19].

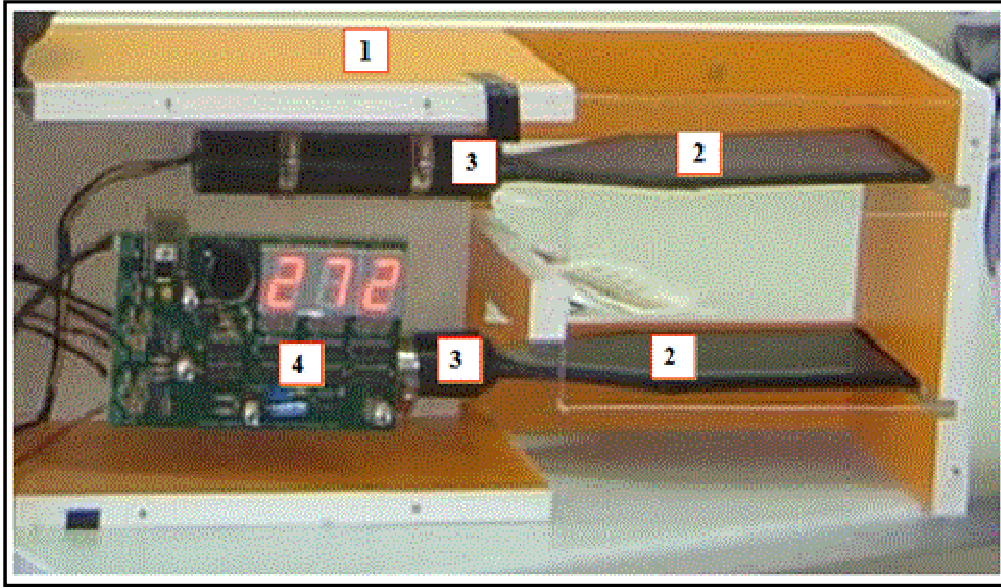
BÖLÜM 3. BERKELEY LABORATUVARI KOZMİK IŞIN DEDEKTÖRÜ

Maddenin temel yapısını ve doğadaki temel kuvvetlerin etkileşimini incelemek için parçacıkları belirli bir enerjiye ulaştırmak gerekir. Bunun için parçacık hızlandırıcıları kullanılır. Hızlandırılmış parçacıklar ya sabit bir hedefle ya da birbiriyle çarpıştırılarak ortaya çıkan ürünler dedektör sistemleri kullanılarak incelenir. Parçacığın kütesinin tespiti, saçılma açısı, momentumu gibi niceliklerinin ölçümleri dedektörler ile mümkündür. Dedektörlerin çalışma prensiplerinin temelinde iki olay mevcuttur. Bunlardan birisi iyonlaşma diğeri ise atomun uyarılmasıdır. İz bırakması, manyetik alanda bükülmesi ve enerji açığa çıkarması gibi parçacığın gerisinde bırakacağı ipuçlar değerlendirilğinde parçacığın kimliğiyle alakalı bilgiler ortaya çıkar. Pek çok nükleer ve parçacık fiziği hızlandırıcı merkezinde olduğu gibi bir dedektör sistemi (spektrometre) farklı görevleri olan birden fazla dedektör çeşidi içerebilir. Örneğin bazı dedektörler parçacığın yörüngesi ile momentumunu belirlemeye yararken, bazı dedektörler parçacığın enerjisi hakkında bilgi verir. Günümüzde, elektromanyetik kalorimetreler, sintilasyon sayaçları, Čerenkov sayaçları gibi pek çok dedektör çeşidi mevcuttur. Bir çok nükleer ve parçacık fiziği hızlandırıcı merkezinde farklı görevleri bulunan birkaç dedektörün bir araya gelmesiyle oluşan spektrometreler kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde kozmik müon akısı ve polar açı bağımlılığının incelenmesinde kullanılan taşınabilir kozmik ışın dedektörünün yapısı üzerinde durulacaktır.

3.1. Kozmik Işın Dedektörü

Lawrence Berkeley Laboratuvarı'nda tasarlanan kozmik ışın dedektörü 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde inşa edilmiştir. Tamamlanmış bir Berkeley Laboratuvarı Kozmik Işın Dedektörü'nü oluşturan bileşenler Şekil 3.1.'de verilmiştir.

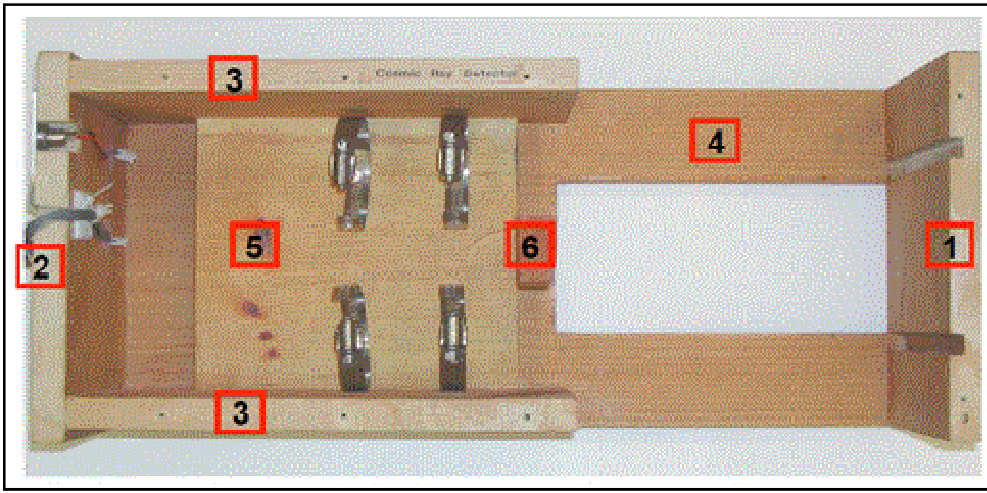


Şekil 3.1. Dedektörün bileşenleri [20]

Şekilde 1, 2, 3 ve 4 olarak numaralandırılmış kısımlar sırasıyla kasa, sintilatör paletleri, foto-çoğaltıcılar ve elektronik devreyi göstermektedir. Temel olarak dedektörün çalışma prensibi şu şekildedir: Sintilatör paletlerine bir parçacık geldiğinde sintilatör paletlerinde bir ışıldama meydana gelir. Bu ışıldama fotoçoğaltıcının fotokatoduna ulaştığında bir foto-elektron çıkar. Fotoçoğaltıcıda bulunan birinci dinota “*dynod*” çarpan foto-elektron, dinotun verimine göre değişen sayıda ikincil elektron oluşturur. Bu ikincil elektronlar da daha sonraki dinotlarda çoğaltılır. Böylelikle anota ulaşan elektron sayısı ortalama 10^5 'e ulaşabilir ve elektronik devrede işlenebilir seviyeye gelir. Daha sonra bu sinyal elektronik devrede bir sayım olarak dijital ekranda gösterilir. Aşağıda dedektörü oluşturan bileşenlerin işlevi daha ayrıntılı şekilde anlatılmaktadır.

3.1.1. Kasa

Dedektörün tüm bileşenlerini bir arada tutan kasa bir iskelet görevi görür. Kasanın bu şekilde tasarlanması sintilatörler arasına soğurucu malzeme koymaya olanak sağlar. Kasanın ön kısmına yerleştirilen ve elektronik devrenin üzerine monte edildiği fleksi saydam malzeme ile dijital ekran dışarıdan görüntüleme, aynı zamanda dedektörün kontrol düğmelerine ulaşmak mümkündür. İçi boş kasa Şekil 3.2’de, kasanın ölçüleri de Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kasayı oluşturan parçalar

Tablo 3.1. Kasayı oluşturan kısımların ölçüleri

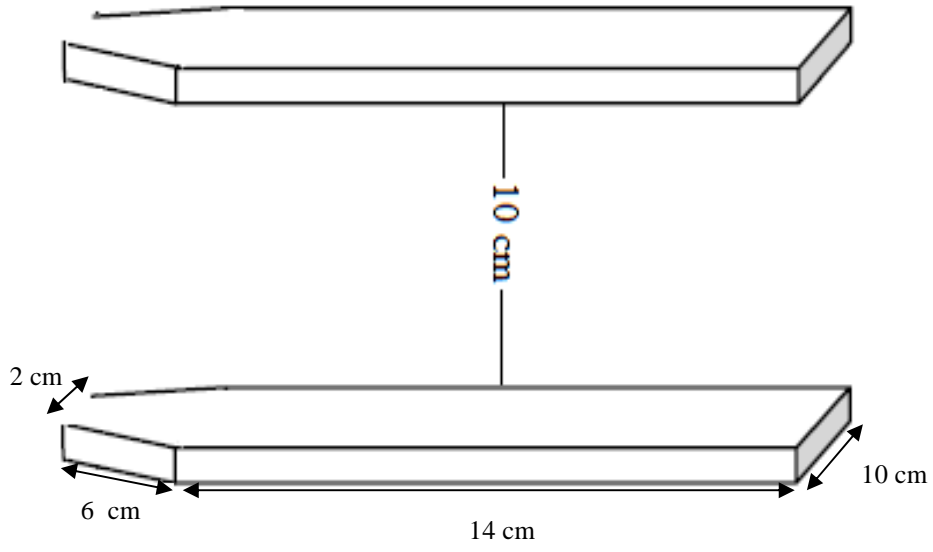
Parça	Adet	Genişlik(cm)	Uzunluk(cm)	Kalınlık(cm)
1	1	16	23	2
2	1	16	23	2
3	2	16	28	2
4	1	23	53	2
5	1	17	20	4
6	1	4	16	2

3.1.2. Sintilasyon panelleri

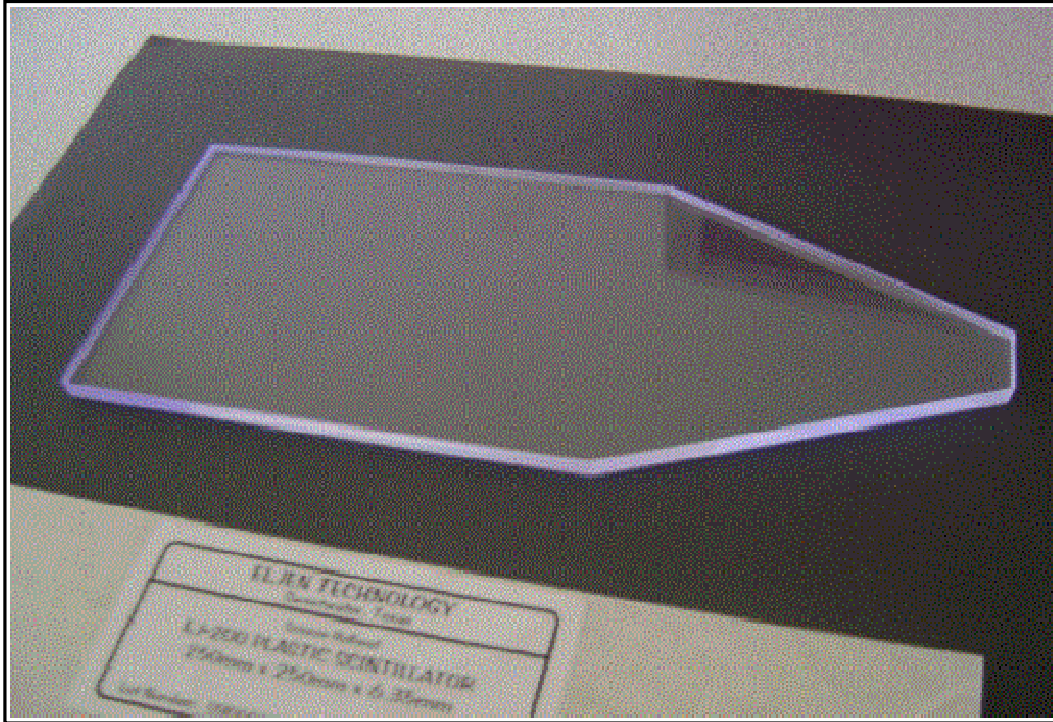
Dedektörde, kalınlığı 0.635 cm olan polimetil metakrilat “*polymethyl methacrylate*” malzemesinden boyu 14 cm, eni 10 cm olacak şekilde kesilerek iki sintilatör (palet) kullanılmıştır. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sintilatörler istenilen şekil ve büyüklükte kesildikten sonra alt ve üst yüzeyler hariç yan yüzeyler sırasıyla 600 grid, 1000 grid ve 1200 grid’lik zımparalarla zımparalanmış sonra Şekil 3.4’teki gibi alümino (Al_2O_3) tozu ile iyice pürüzsüz hale getirilmiştir. Fotonların kayıpsız foto-çoğaltıcı tüp fotokatoduna ulaşmasını sağlamak için alüminyum folyonun parlak yüzeyi yüzeylere degecek şekilde bütün yüzeyler Şekil 3.5.’teki gibi alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Paletlerin alt ve üst kısımları siyah kartonla kaplanmış ve palet kenarlarında kalan açıklıklar siyah elektrikçi bantıyla sarılmış, böylelikle içeriye ışık sızması engellenmeye çalışılmıştır.

Sintilatörlerin bir ucu foto-çoğaltıcıya bağlanabilecek şekilde dar kesilmiştir. Foto-çoğaltıcı penceresinin sintilatörün dar ucuna boşluk kalmayacak şekilde yerleşebilmesi için, sintilatör malzemesinden yarıçapı 0.9 cm’lik dairesel bir parça kesilmiştir. Kesilen bu parça yarım daire şeklinde ortadan ikiye ayrılmış, ayrılan bu parçalar da zımparalanıp, alümino tozu ile pürüzsüz hale getirilmiştir. Bu parçalar önce sintilatörün dar ucuna, kırılma indisi sintilatör malzemesinin kırılma indisine benzer optik çimento yapıştırıcısıyla yapıştırılmıştır. (Optik çimento “826” ve “U” yapıştırıcısının bir karışımı olup, karışım için sırasıyla üçe bir oranında alınmıştır). Daha sonra oluşan yeni şekil foto-çoğaltıcının penceresine optik çimentoyla yapıştırılmış ve ışık sızdırmayacak şekilde elektrikçi bantıyla sarılmıştır.

Ayrıca dedektöre gelen parçacık, sintilatörün bir paletinden diğerine 800 nanosaniye (8×10^{-7} saniye) içerisinde geçtiği için, paletler arası mesafe 10 cm olarak ayarlanmıştır.



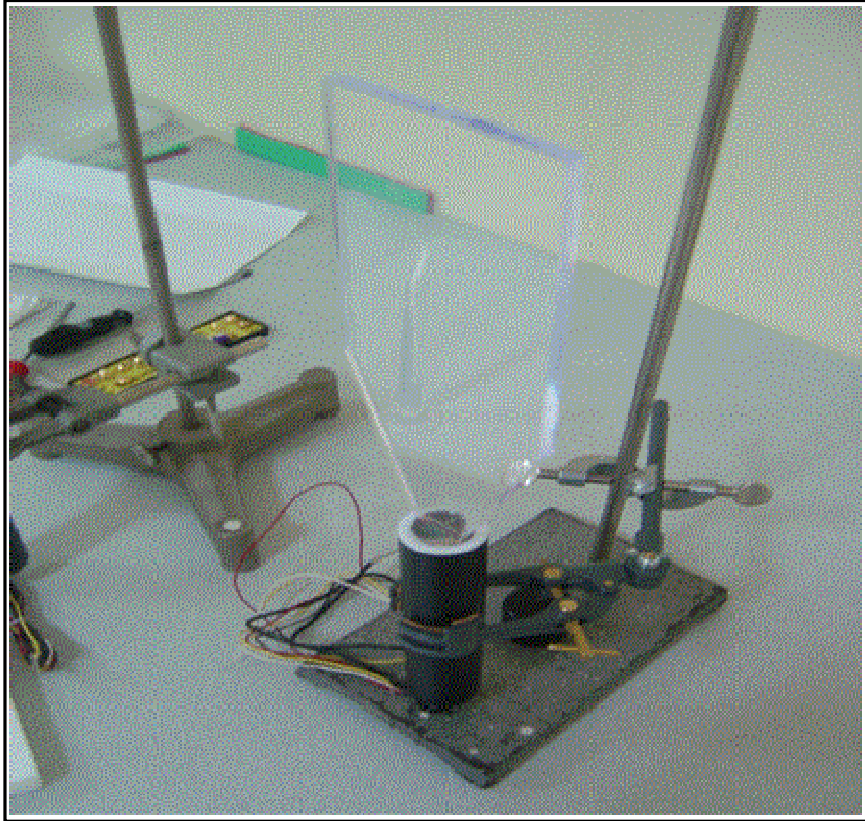
Şekil 3.3. Uygun ölçülerde kesilen sintilatör paletlerinin görünümü



Şekil 3.4. Yüzey kenarları parlatılmış ve pürüzsüz hale getirilmiş olan sintilasyon paneli



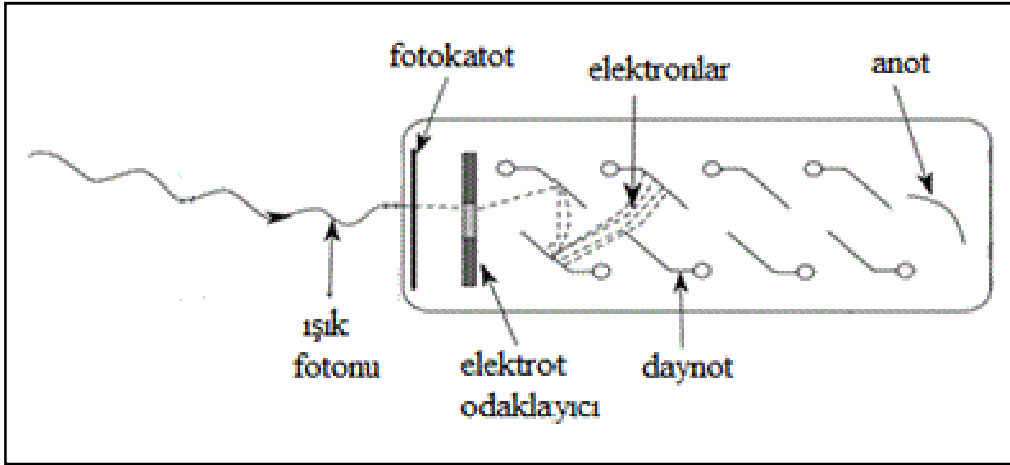
Şekil 3.5.Sintilatör paletinin alüminyum folyo ile kaplanmış hali



Şekil 3.6. Sintilatör paletinin fotoğaltıcıya optik çimentoyla yapıştırılmış hali

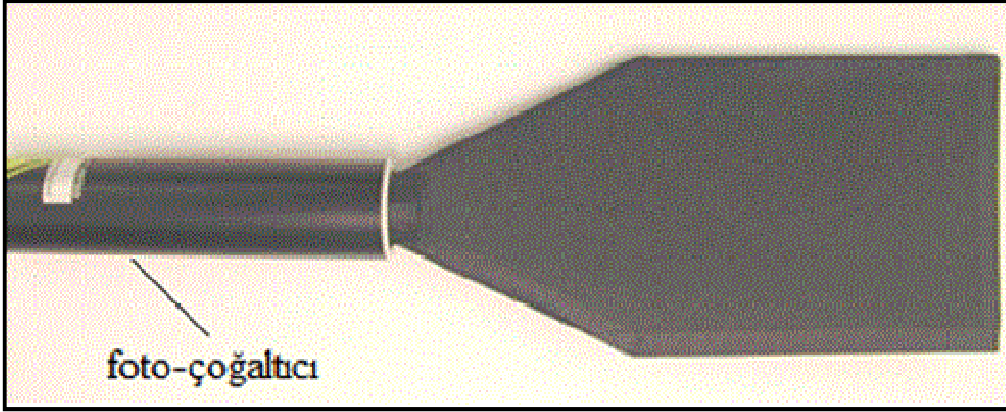
3.1.3. Fotoçoğaltıcı tüpler

Tipik bir fotoçoğaltıcı 3.7'deki gibi fotokatot, elektrot odaklayıcı (elektrot voltajı), dinot "dynod" ve anotta oluşur. Fotokatota ışık geldiğinde, fotokatot vakum ortama foto- elektron yollar. Bu foto- elektronlar elektrot voltajı tarafından birinci dinota gönderilir. Birinci dinota çarpan elektronlar ikincil elektron oluşturur. Oluşan bu elektronlar diğer bir dinota hızlandırılır. Böylece giderek tek foto- elektrondan oluşan elektron sayısı büyük bir hızla artarak çıkış sinyali olarak anotta toplanır. Fotokatottan yayılan bir elektron çoğaltıldıktan sonra yaklaşık olarak 10^5 elektron olarak anota gelir ve çıkış sinyali olarak elektronik devrede bu bir sayım olarak ölçülür [21].



Şekil 3.7. Bir fotoçoğaltıcının yapısı ve onu oluşturan parçalar

Kozmik ışın dedektöründe her bir sintilatör paneli için bir fotoçoğaltıcı tüp (P30CW5) kullanılmıştır. Fotoçoğaltıcı tüpler, bölüm (3.1.3)'te anlatıldığı gibi pencereleri sintilatörlerin dar ucuna gelecek şekilde sintilatörlere yapıştırılmış ve ışık sızdırmayacak şekilde Şekil 3.8'deki gibi elektrikçi bantıyla sarılmıştır.

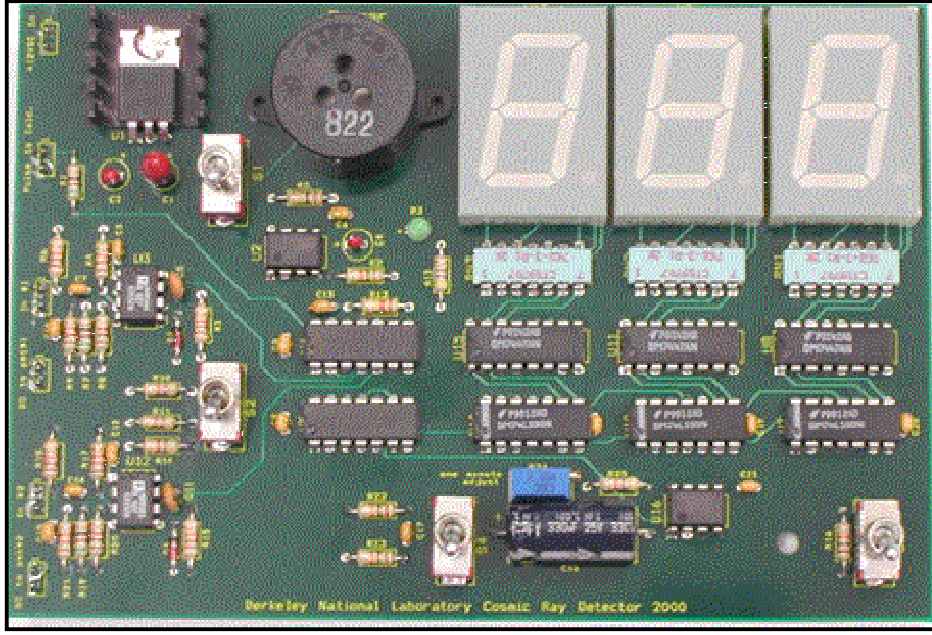


Şekil 3.8. Sintilatöre optik çimentoyla bağlanmış fotoçoğaltıcı. Bağlantı kısmı elektrikçi bantıyla sarılmıştır.

3.1.4. Elektronik devre

Direnç, kondansatör ve yarı iletken çiplerden oluşan elektronik devre fotoçoğaltıcılardan gelen sinyalleri işleyip sayıya dönüştürerek dijital ekranda gösterir. Devre aynı zamanda her parçacık sayımını bir bip “beeps” sesi ile duyurur (bu özellik kontrol düğmesi aracılığıyla aktive edilebilir ya da kapatılabilir).

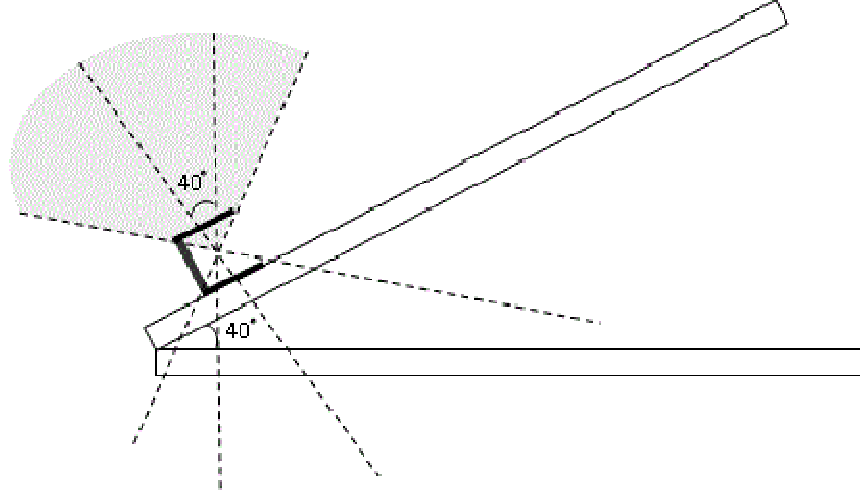
Devre, kontrol düğmeleri kullanılarak tekil “single” modda ya da çakışma “coincidence” modunda çalıştırılabilir. Tekil modda yalnız üst veya alt paletten geçen sayılar elde edilirken, çakışma modunda her iki paletten 800 nanosaniye (8×10^{-7} s) aralığında geçen parçacıklar sayılır [22]. Tekil mod, rastgele radyasyonun geçişinde sayım yapacağından, çevreden gelen ve kozmik ışın kaynaklı olan veya olmayan her türlü sinyal bu modda sayıma neden olur. Bu nedenle, kozmik ışınların sağlıklı tespit edilebilmesi için dedektör çakışma modunda çalıştırılır. Devredeki bir potansiyometre aracılığıyla, sayım süresi 1 dakikaya ayarlanabilir, ya da bir kontrol düğmesi yoluyla sayımın istenilen süre boyunca yapılması sağlanabilir. Bu durumda dikkat edilecek husus, sayım 1000 olduğunda (dijital ekran sıfırlanacağından) sayımın kaydedilmesidir.



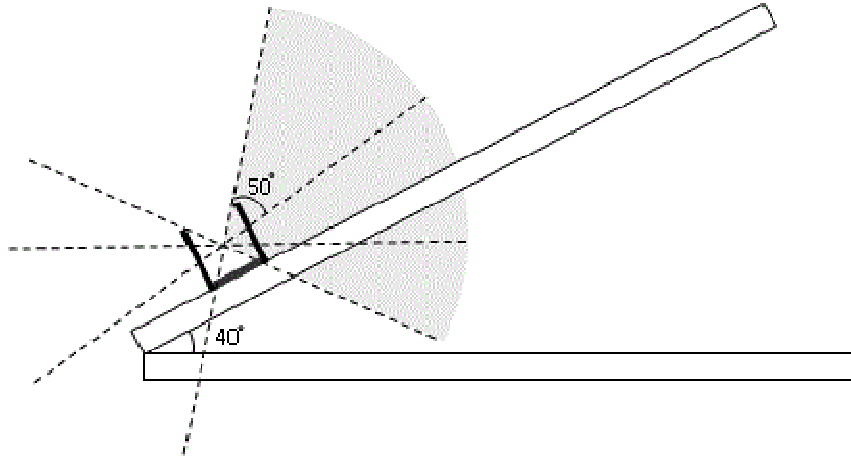
Şekil 3.9. Tamamlanmış elektronik devre

3.2. Açığa Bağımlılık İçin Düzenek

Deniz seviyesindeki müonların akısının polar açığa bağlı olarak incelenebilmesi için Şekil 3.10 ve 3.11’de çizimi verilen düzenek kuruldu. $\theta = 0^\circ$ ile $\theta = 90^\circ$ arasında 10° arayla her açıda 400-600 arasında her biri bir dakika süreli ölçüm yapıldı. 40° ’den daha büyük açılarda düzeneğin dikliği arttığından dolayı 40° ’den daha büyük açılardaki ölçümlerde iki açının tümleyeninden yararlanılarak, dedektör 90° çevirilerek ölçümler yapıldı. Örneğin $\theta = 50^\circ$ ’de ölçüm yapabilmek için düzenek 40° ’ye ayarlandı, ancak dedektör eksenini etrafında 90° çevrildi.



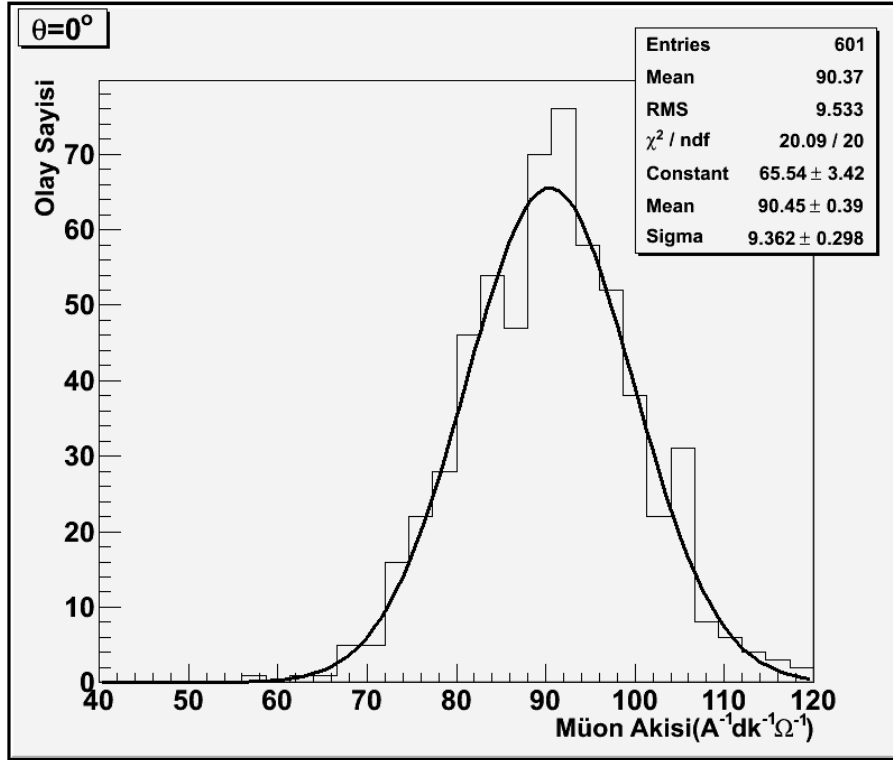
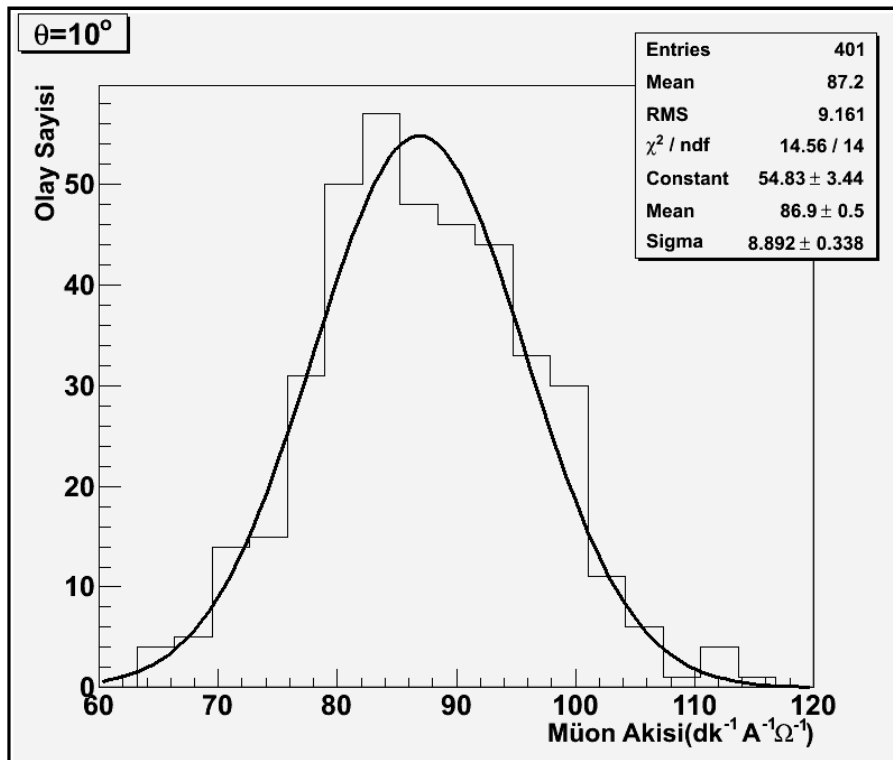
Şekil 3.10. $\theta = 40^\circ$ 'de ölçüm yapabilmek için ayarlanmış düzeneğin şematik gösterimi. Taralı alan dedektörün kabul bölgesinin sınırlarını belirlemektedir.

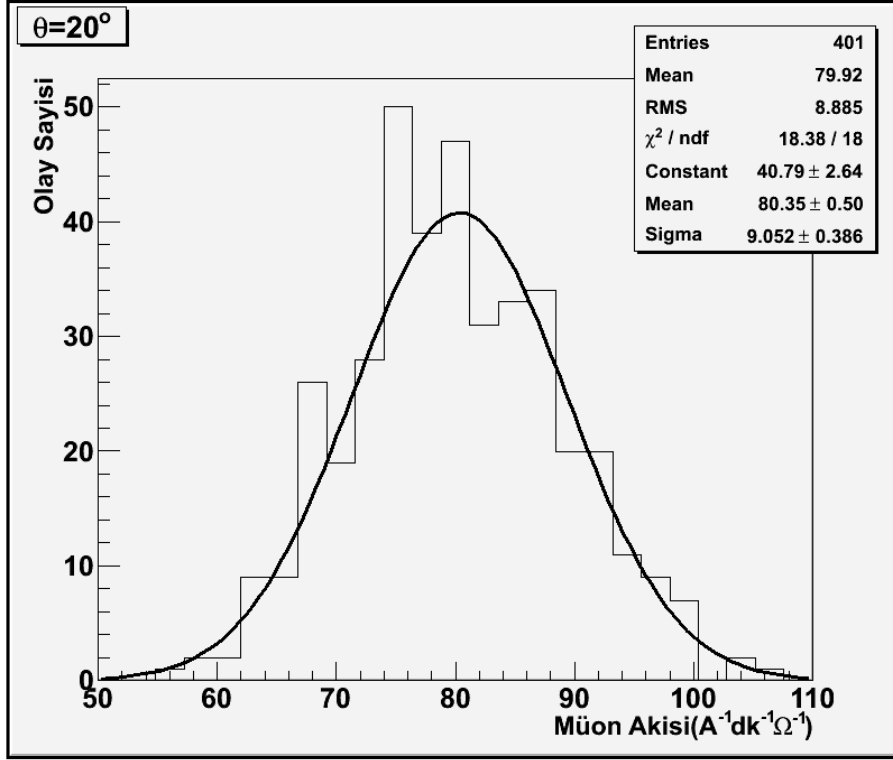
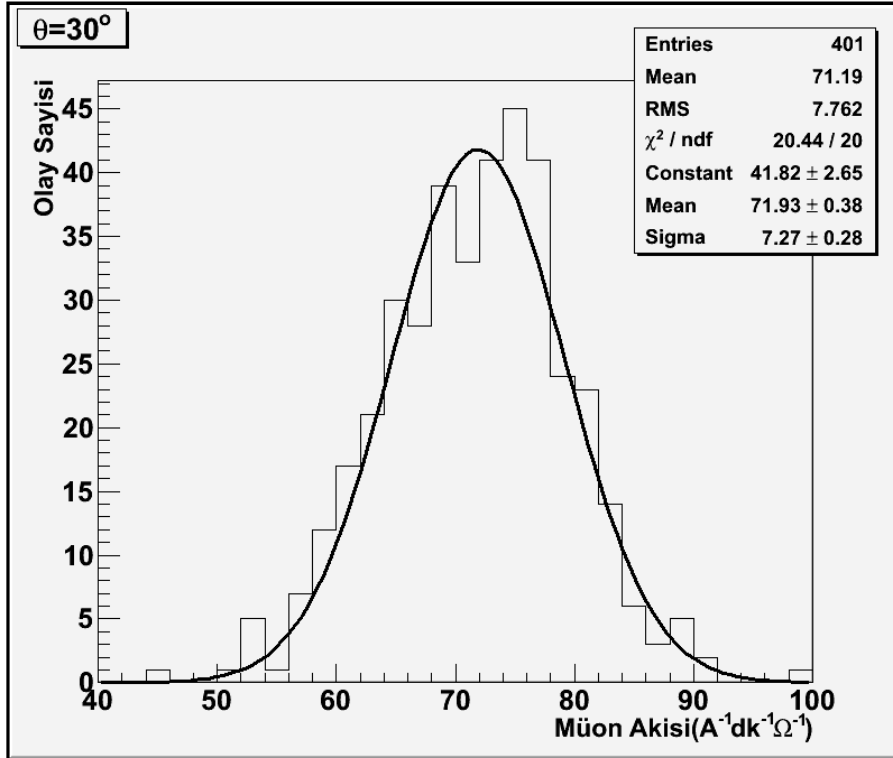


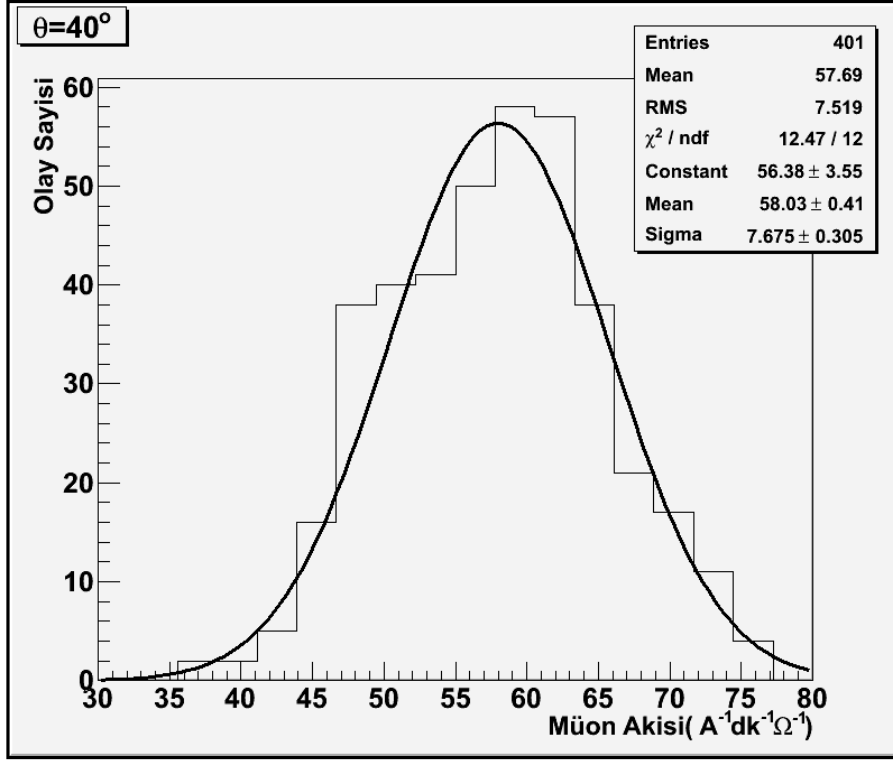
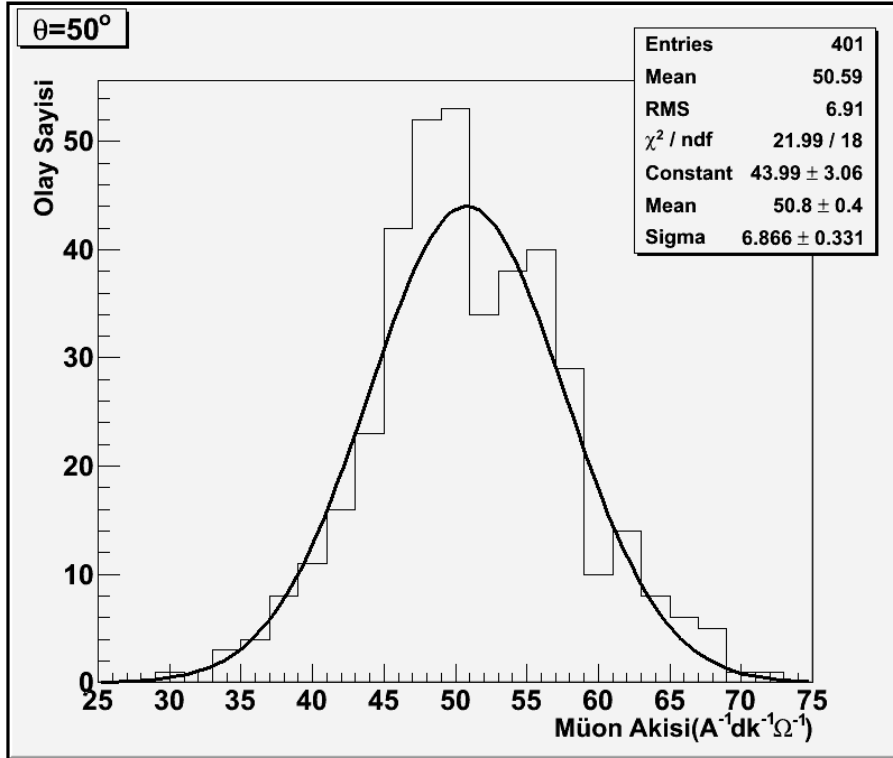
Şekil 3.11. $\theta = 50^\circ$ 'de ölçüm yapabilmek için ayarlanmış düzeneğin şematik gösterimi. Taralı alan dedektörün kabul bölgesinin sınırlarını belirlemektedir.

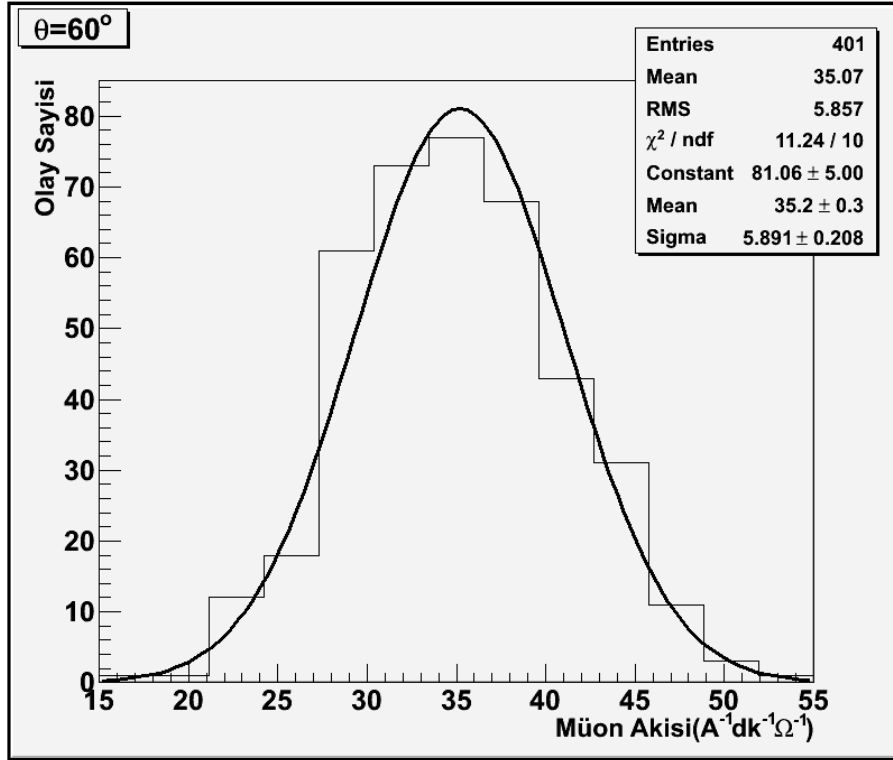
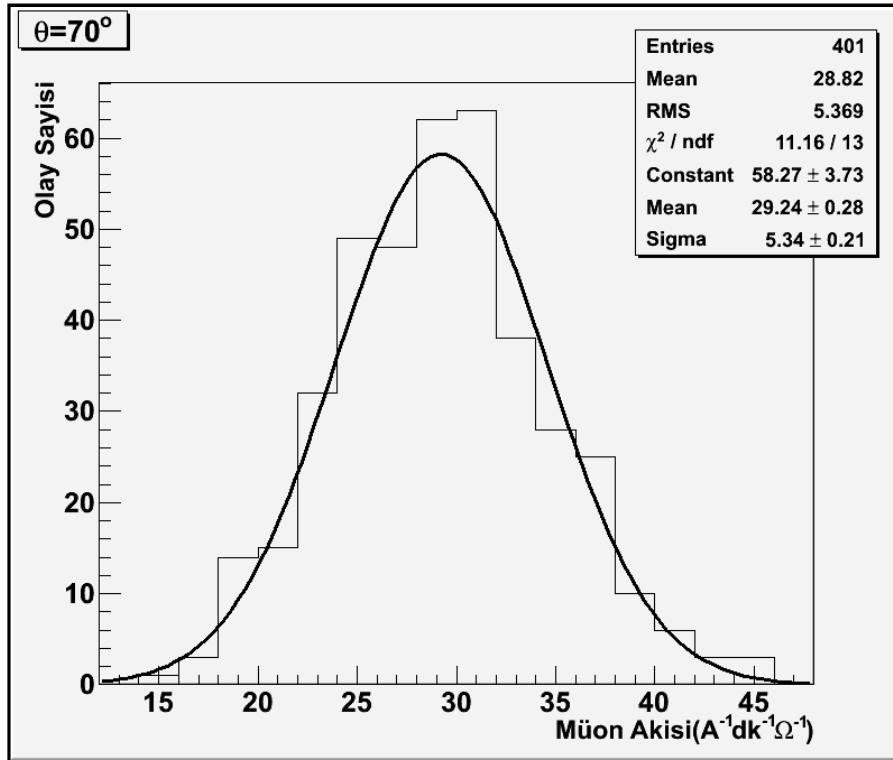
BÖLÜM 4. ANALİZ

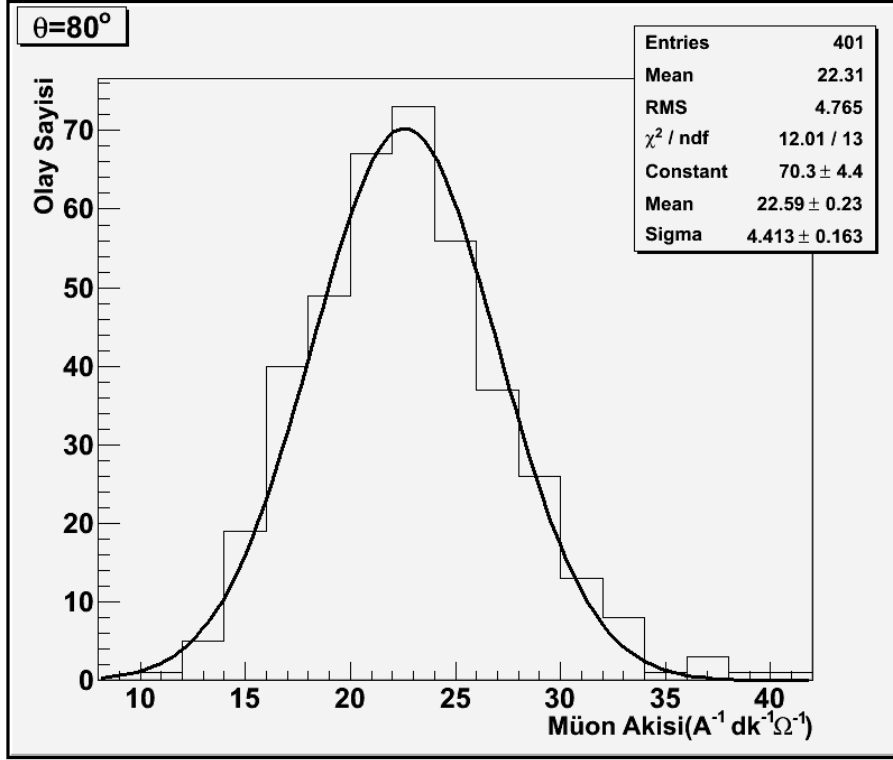
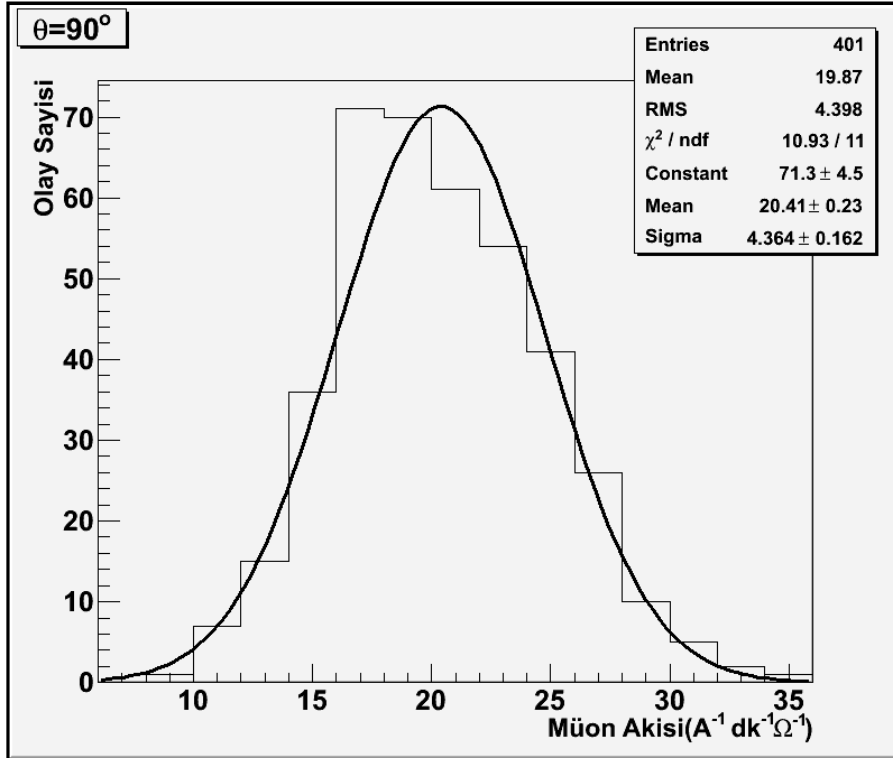
Bu çalışmada kozmik müonların deniz seviyesindeki akısının düşeyle olan açığa bağımlılığı taşınabilir kozmik ışın dedektörüyle incelenmiştir. Bunun için θ düşeyle yapılan açı olmak üzere dedektöre $\theta = 0^\circ$ ile $\theta = 90^\circ$ arasında 10° arayla, birim alana (A) birim zamanda (dk) ve birim katı açıyla (Ω) gelen müonların sayısı ölçüldü. Dedektörün yüzey alanı (A) 0.0194 m^2 , katı açı (Ω) ise $0.58\pi \text{ sr}$ 'dir. Her bir açı için, her biri bir dakika süreli olmak üzere 400-600 ölçüm alınmıştır. ROOT analiz programıyla [23], her bir açı için elde edilen değerlerden histogramlar elde edilmiş, gaussiyen fit işlemi uygulanarak, gaussiyen fiti uygulanmış histogramlar Şekil 4.1 - 4.11'de verilmiştir. Grafiklerde x eksenini birim alana birim dakikada birim katı açıyla gelen müon sayısını, y eksenini ise olay sayısını göstermektedir. Her bir açı için elde edilen bu grafiklerin tepe (ortalama) değerleri istatistiksel hata paylarıyla Tablo 4.1'de verilmiştir.

Şekil 4.1. $\theta = 0^\circ$ 'deki müon sayısıŞekil 4.2. $\theta = 10^\circ$ 'deki müon sayısı

Şekil 4.3. $\theta = 20^\circ$ 'deki müon sayısıŞekil 4.4. $\theta = 30^\circ$ 'deki müon sayısı

Şekil 4.5. $\theta = 40^\circ$ 'deki müon sayısıŞekil 4.6. $\theta = 50^\circ$ 'deki müon sayısı

Şekil 4.7. $\theta = 60^\circ$ 'deki müon sayısıŞekil 4.8. $\theta = 70^\circ$ 'deki müon sayısı

Şekil 4.9. $\theta = 80^\circ$ 'deki müon sayısıŞekil 4.10. $\theta = 90^\circ$ 'deki müon sayısı

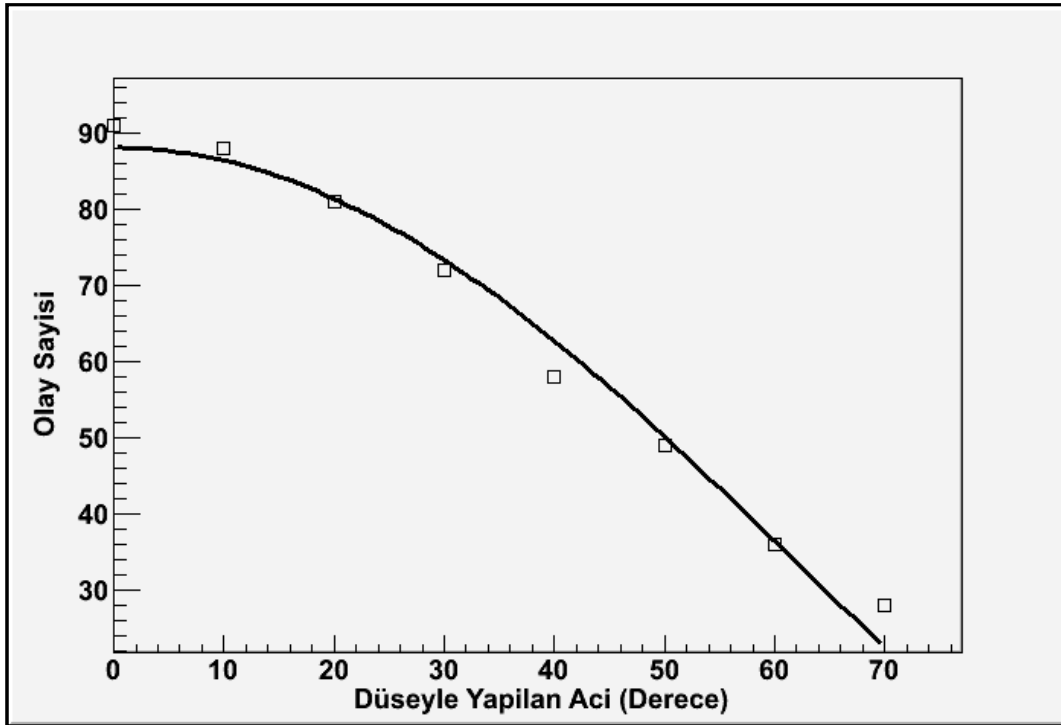
Tablo 4.1. 0° ve 90° arasında, 10° arayla her bir açı başına dakikada ölçülen ortalama müon sayısı

Açı (derece)	Ortalama değer
0	90.45 ± 0.39
10	86.9 ± 0.50
20	80.35 ± 0.50
30	71.93 ± 0.38
40	58.03 ± 0.41
50	50.8 ± 0.40
60	35.2 ± 0.30
70	29.24 ± 0.28
80	22.59 ± 0.23
90	20.41 ± 0.23

Düşeyden θ açısıyla gelen müonların akısı $m \cos^n \theta$ fonksiyonu ile değişmektedir [4]. Tablo 4.1’de her bir açı için verilen ortalama değerler $m \cos^n \theta$ fonksiyonuna fit edilmiştir. Fit işlemi sonrasında m ve n değerleri sırasıyla 88.13 ve 1.27 olarak verilmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

$\theta < 70^\circ$ 'de Dünya yuvarlaklığı ihmal edilebileceğinden, $\theta = 70^\circ$ 'ye kadar olan açılarda gelen müon sayımları hesaba katılarak Şekil 5.1'de verilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda düşeyle θ açısı yapacak şekilde gelen müonların akısı yaklaşık olarak $\cos^2\theta$ ile orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Düşeyle θ açısı yapacak şekilde gelen müon sayılarının açığa bağlı değişimi

Farklı enerji eşiği değerlerinde ve farklı konumlarda yapılan ölçümlerde n 'nin değerleri 1.6 ile 3.3 arasında değiştiği gözlenmiştir [18]. Bu çalışmada ise düşeyden θ açısıyla gelen müonların akısı $\cos^{1.27}\theta$ ifadesiyle değişmektedir. Elde edilen bu sonucun daha önce yapılan çalışmalardan farklı olmasının nedenleri arasında aşağıdaki maddeler sıralanabilir:

1. Dedektöre müon dışında diğer parçacıkların (elektron ve pozitron gibi) geliyor olması.
2. Yapılan herhangi bir açıdaki ölçümlerde komşu açılardan da katkı geliyor olması. Örneğin, 0° 'de ölçüm yapılırken $\theta = \mp 45^\circ$ 'ye kadar açıyla gelen müonların dedektörde sinyal oluşturabilmesi.
3. Literatürde elde edilen sonuçların farklı konum ve enerjiler için elde edilmiş olması.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda düşeyden θ açısıyla gelen müonların akısının $\cos^2\theta$ ile değiştiğini gözlemleyebilmek için,

1. Dedektörde kullanılan sintilatör paletlerinin arasına kurşun ve benzeri soğurucu bir madde konularak müon dışında gelen diğer parçacıklar engellenebilir.
2. Sintilatör paletlerinin arasındaki mesafe artırılarak diğer açılardan gelen katkılar minimize edilip, istenilen açıda müonların gelmesi sağlanabilir.
3. Sintilatör paletlerinin genişlikleri dedektörün katı açısını azaltacak şekilde inceltilir. Ancak bu durumda dedektörün yüzey alanı azalacağından, gerekli istatistiğin elde edilebilmesi için daha uzun süre veri alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] VELTMAN, M., Facts and mysteries in elementary particle physics, world scientific publishing Co. Pte. Ltd. 160, 2003
- [2] TUNA, T., bilim teknik dergisi/ Cientific American,sayı 60, Kasım 1972
- [3] MİLİKAN, R. A., CAMERON, G.H., The Physical Review, High Frequency rays of Cosmic Origin III. Measurements in snow-fed lakes at high Altitudes, Second Series, Vol.28, No.5, November 1926
- [4] GAİSER, T.K., STANEV, T., Cosmic rays, Bartol Research Inst. Univ. Of Delaware, August 2007
- [5] <http://www.zamandayolculuk.com/cetinbal/atomaltiparcaciklar.html>, Mart 2011
- [6] <http://tr.wikipedia.org/wiki/N%C3%B6trino#K%C3%BCtle>, Mart 2011
- [7] <http://www.ps.uci.edu/~superk/neutrino.html>, Mart 2011
[http://hitoshi.berkeley.edu/neutrino/Physics Word.pdf](http://hitoshi.berkeley.edu/neutrino/Physics%20Word.pdf), Mart 2011
- [8] GRİEDER, P.K.F., Cosmic Rays at Earth, Elsevier Science 2001
- [9] <http://nu.phys.laurentian.ca/~fleurot/oscillations>, Mart 2011
M.P De Pascale et al. , J.Phys.Res 98, 3501, 1993
- [10] ALLKOFER, O.C., CARSTENSEN, K., DAUW, D., Phys. Lett. B36, 425, 1971

- [11] RASTIN, B.C., J.Phys. G10, 1609, 1984
- [12] AYRE, C.A. et al., J.Phys. G1, 584, 1975
- [13] KREMER, J. et al., Phys. Rev. Lett. 83, 4241, 1999
- [14] HAİNO, S. et al., BESS Collaboration, Phys.Lett. B527, 35, 2004
- [15] ARCHARD, P. et al., L3+C Collaboration, Phys. Lett. B598, 15, 2004
- [16] JOKISCH, H. et al., Phys. Rev. D19, 1368, 1979
- [17] COSTA, C.G.S., Astropart.phys. 16, 193, 2001
- [18] GRİEDER, P.K.F., Cosmic Rays at Earth, Elsevier Science, 2001
DANIEL, R.R., STEPHENS, S.A., Revs. Geophysics & Space Sci. 12, 233, 1974
- [19] ADAMSON, P. et.al., The MINOS Collaboration, arXiv:0705.3815 [hep-ex], 2007
- [20] COLLIER, M., WOLFLEY, L., Assembly Manual for the Berkeley Lab. Cosmic Ray Dedector, Version 2.0.3, October 2006
- [21] ÇİTÇİ, Ş., MIT Bates Laboratuvarındaki Cerenkov Dedektörünün E-nek e-p Saçılması Deneyinden Elde Edilen ADC Spektrumunun Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [22] TWİTTY, C., MATIS, H., Guide to Using the Berkeley Lab. Cosmic Ray Detector, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-46909, Version 1.02, August 2002
- [23] <http://root.cern.ch/drupal>, Kasım 2010

ÖZGEÇMİŞ

Ersin YAŞI, 15.05.1985'te Van'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. 2003 yılında liseden mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümüne girdi. 2007 yılında Fizik bölümünü bitirdi. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı üniversitede eğitimine devam etmektedir.