



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



Yüksek Lisans Tezi

**AMS-02 TARAFINDAN KOZMİK İŞINLARDA KAYDEDİLEN e^- , e^+
ve HELYUM AKILARI ARASINDA SÜPERİSTATİSTİKSEL BİR
KARŞILAŞTIRMA**

Fatma Kamer KARAKUŞ

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Gülistan Çiğdem YALÇIN**

Haziran, 2021

İSTANBUL

Bu çalışma, 14.06.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. G.Çiğdem YALÇIN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Lidya SUSAM
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Hasan TATLIPINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen - Edebiyat Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 32990 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

Değerli Danışman Hocam Doç.Dr.G.Çiğdem YALÇIN’a lisans üstü öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca verdiği destekten dolayı teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan sevgili aileme ve dostlarıma canı gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2021

Fatma Kamer KARAKUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	6
2.1. KOZMİK IŞINLAR	6
2.1.1. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi	11
3. MALZEME VE YÖNTEM	15
3.1. KARMAŞIK SİSTEMLER VE KARMAŞIKLIK BİLİMİ	15
3.2. GENELLEŞTİRİLMİŞ İSTATİSTİK MEKANİK YAKLAŞIMI	16
3.3. TSALLIS İSTATİSTİĞİ (q -İSTATİSTİK)	16
3.4. SÜPERİSTATİSTİK	19
3.4.1. Süperistatistik Uygulama Örneği	21
3.4.2. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları	22
3.4.3. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi	25
4. BULGULAR	33
4.1. ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISI	35
4.2. ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISININ, e^- VE e^+ AKILARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI	36
4.3. ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISININ SÜPERİSTATİSTİKSEL ANALİZİ	37

4.4. ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISININ SÜPERİSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE e^- , e^+ AKILARININ SÜPERİSTATİSTİKSEL ANALİZİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	40
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
KAYNAKLAR.....	44
EKLER	48
ÖZGEÇMİŞ	49



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Kozmik ışınların kaynağından çıkıp dünyaya ulaşana kadar izlediği temsili yol örneği (Kredi: NASA's Goddard Space Flight Center) [18].....	9
Şekil 2.2: Uluslararası Uzay İstasyonu [20].....	12
Şekil 2.3: Uluslararası Uzay İstasyonuna yerleştirilmiş Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi [20].....	13
Şekil 3.1: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımı.....	22
Şekil 3.2: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımı.....	23
Şekil 3.3: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [25] Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki enerjiye bağlı dağılımlarının karşılaştırılması.....	24
Şekil 3.4: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının $q=1.1818$ ve $T=198\text{MeV}$ değerlerine fit edilmesi [8].....	26
Şekil 3.5: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının $q=1.1818$ ve $T=162\text{MeV}$ değerine fit edilmesi [8].....	27
Şekil 3.6: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [25] Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de çizilen fit eğrilerinin karşılaştırılması [8].....	28
Şekil 3.7: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının süperistatistiksel analizi, q -dualitenin önerdiği $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$ ve q -Hagedorn teorisinin önerdiği $T=198\text{MeV}$ değerleri ile fit edilmesi [8].....	30
Şekil 3.8: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının süperistatistiksel analizi, q -dualitenin önerdiği $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$ ve q -Hagedorn teorisinin önerdiği $T=162\text{MeV}$ değerleri ile fit edilmesi [8].....	31
Şekil 3.9: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [25] enerjiye bağlı dağılımlarının Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'deki süperistatistik analizlerinde çizilen fit eğrilerinin karşılaştırılması [8].....	32

Şekil 4.1: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımı.....	35
Şekil 4.2: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] Şekil 4.1'deki enerjiye bağlı dağılımı ile elektron ve pozitron akılarının [25] Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki enerjiye bağlı dağılımlarının karşılaştırılması.....	36
Şekil 4.3: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımının süperistatistik analizi, $q=1.2175$, $T=77.5\text{MeV}$ ve $A=16000$ değeri ile fit edilmesi.....	38
Şekil 4.4: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımının Şekil 4.3'deki süperistatistik analizi ile elektron ve pozitron akılarının [25] enerjiye bağlı dağılımlarının Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'deki süperistatistik analizlerinin [8] karşılaştırılması.	40



TABLO LİSTESİ

Sayfa No



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

e^+	: Pozitron
e^-	: Elektron
B	: Bor
Be	: Berilyum
He	: Helyum
Li	: Lityum
Ne	: Neon
S_{BG}	: Boltzmann-Gibbs entropisi
S_q	: q-istatistik entropisi
q	: q-istatistik parametresi

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

AMS-01	: Alpha Magnetic Spectrometer - 01
AMS-02	: Alpha Magnetic Spectrometer - 02
eV	: Elektron volt
GeV	: Giga elektron volt
ISS	: International Space Station, (Uluslararası Uzay İstasyonu)
MeV	: Mega elektron volt
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AMS-02 TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN e^- , e^+ ve HELYUM AKILARI ARASINDA SÜPERİSTATİSTİKSEL BİR KARŞILAŞTIRMA

Fatma Kamer KARAKUŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Gülistan Çiğdem YALÇIN

Kozmik ışınlar bilim dünyası önünde hala gizemini koruyan bir fenomen olarak durmaktadır. Bu nedenle yüklü parçacıklardan oluştuğu ve Dünya üzerinde elde edilemeyecek kadar çok yüksek enerjilere sahip olduğu bilinen kozmik ışınların incelenmesi ile önemli bilgiler elde edilebileceği beklenmektedir.

Bu amaç için yapılan deneylerden biri de Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS - the International Space Station) üzerine yerleştirilmiş olan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02 the Alpha Magnetic Spectrometer) deneyidir. 19 Mayıs 2011 tarihinden 19 Mayıs 2021 tarihine kadar bu deneyde kozmik ışınların kökenini anlamak ve karanlık madde, anti-madde gibi fizik fenomenlerinin keşfi için 178.204.061.232 adet kozmik olay kayıt edilmiştir.

Süperistatistik, karmaşık sistemlerin sınıflandırılması ve anlaşılması için güçlü tekniklerden biridir. Çok yakın bir zamanda, süperistatistik teknikler ile AMS-02 tarafından kayıt edilen enerji dağılımında gerçekleşen çoklu kozmik olayların süperpozisyonu analiz edilmiş ve süperistatistiksel yaklaşımın kozmolojik kaynakların etkilerinin de ortaya çıkarılmasına yardımcı olacak bir yöntem olduğu da görülmüştür.

Bu yüksek lisans tezinin amacı karmaşık sistemler için geliştirilmiş olan süperistatistik tekniğini tanıtmak ve Uluslararası Uzay İstasyonuna konuşlanmış olan AMS-02 deneyinde kaydedilen helyum akısının süperistatistik analizi ile incelemenin yanı sıra bu analiz sonuçlarını

AMS-02 deneyinde kaydedilmiş olan elektron ve pozitron akılarının süperistatistik analizleri ile karşılaştırmaktır.

Haziran 2021, 63. sayfa.

Anahtar kelimeler: Karmaşık sistemler, kozmik ışınlar, süperistatistik, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi, AMS-02 deneyinde helyum akısı.



SUMMARY

M.Sc. THESIS

A SUPERSTATISTICAL COMPARISON BETWEEN e^- , e^+ AND HELIUM FLUXES RECORDED IN COSMIC RAYS BY AMS-02

Fatma Kamer KARAKUŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gülistan Çiğdem YALÇIN

Cosmic rays still remain a mysterious phenomenon in the scientific world. Therefore, it is expected that important information can be obtained by examining cosmic rays, which are known to be composed of charged particles and have very high energies that cannot be obtained on Earth.

One of the experiments conducted for this purpose is the Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02 Alpha Magnetic Spectrometer) experiment placed on the International Space Station (ISS). From 19 May 2011 to 19 May 2021, 178.204.061.232 cosmic events were recorded in this experiment to understand the origin of cosmic rays and to discover physical phenomena such as dark matter and anti-matter.

Superstatistics is one of the powerful techniques for classifying and understanding complex systems. More recently, the superposition of multiple cosmic events in the energy distribution recorded by AMS-02 has been analyzed using the superstatistical techniques, and it has been seen that the superstatistical approach is a method that will help reveal the effects of cosmological resources.

The purpose of this master's thesis is to introduce the superstatistical techniques developed for complex systems and to examine the results of the superstatistical analysis of the helium flux

recorded in the AMS-02 experiment deployed on the International Space Station and also to compare these analysis results with the results of the superstatistical analysis of the electron and positron fluxes recorded in the AMS-02 experiment too.

June 2021, 63. pages.

Keywords: Complex systems, cosmic rays, superstatistics, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) experiment, helium flux in the AMS-02 experiment.



1. GİRİŞ

Karmaşıklık bilimi, sistemin elemanları arasındaki orantısız ilişki ve bağımlılıktan dolayı modellenmesi zor olan karmaşık sistemleri anlamaya çalışan bir bilim dalı olarak geçen yüzyılın sonlarına doğru ortaya çıkmıştır [1,2]. Bu bağlamda ilk defa 2003 yılında Prof.Dr.Christian Beck ve 2004 Boltzmann Madalya sahibi Prof.Dr.E.G.D. Cohen, karmaşık sistemlerin genel sınıflandırmasını yapmak için güçlü bir araç olarak genelleştirilmiş istatistik mekanikte süperistatistik yaklaşımını önermişlerdir [3]. Bu yeni istatistiksel analiz tekniği disiplinler arası birçok alanda, fiziksel sistemlerin yanı sıra, biyoloji, tıp, ekoloji, kozmoloji, finans, psikoloji, antropoloji ve mühendislik alanlarındaki karmaşık sistemlere de başarılı bir şekilde uygulanmıştır [4-10].

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinde aynı bir enerjide gerçekleşen çoklu kozmik olayların süperpozisyonunun süperistatistik analizi ise ilk defa Yalçın ve Beck'in 2018 yılında "Generalized statistical mechanics of cosmic rays: Application to positron-electron spectral indices" Nature-Scientific Reports, makalesinde ele alınmıştır [8]. Bu makalede süperistatistiksel analiz tekniklerinin evrende karanlık madde ve anti-madde gibi yeni kozmolojik kaynakların da ortaya çıkarılmasına katkı sağlayacak, kozmik ışınların uzayda hangi koşullarda oluştuğunun anlaşılmasında yeni kozmolojik modellere yol gösterebilecek yöntemlerden biri olduğu gösterilmiştir.

Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS-the International Space Station) üzerine yerleştirilmiş olan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02 Alpha Magnetic Spectrometer) deneyi aracılığıyla, 19 Mayıs 2011 tarihinden itibaren kozmik ışınların kökenini anlamak ve yeryüzü temelli deneyler ile çalışılması mümkün olmayan karanlık madde, anti-madde gibi fizik fenomenlerinin keşfi için kozmik ışınların akısı kayıt edilmektedir. Örneğin günümüz tarihi itibarıyla baktığımızda 19 Mayıs 2021 tarihine kadar 3653 gündür elektron, pozitron, proton, anti-proton gibi atom altı parçacıkların yanı sıra helyum, nitrojen, lityum, berilyum, bor, karbon, oksijen, neon, magnezyum ve silikon gibi atomik yapılar ile ilgili yaklaşık 178.204.061.232 adet kozmik olay kayıt edilmiştir. [11]. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinin ölçümlerinin öne çıkan özelliklerinde biri de ölçümlerdeki hassasiyettir. Bu hassasiyet, Alfa Manyetik Spektrometre

(AMS-02) deneyinin konuşlandığı Uluslararası Uzay İstasyonu'nun konumu dolayısıyla, deneyin çevresel faktörlerden etkilenme riskinin en aza indirilmesi ile sağlanmıştır.

Bu yüksek lisans tezinin amacı evrendeki olayların izlerini taşıyan ve bu nedenle de evren hakkında bize önemli bilgiler vermesi beklenen, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi aracılığıyla kaydedilen, kaynağı bilinmeyen kozmik ışınların karmaşık sinyallerinin anlaşılmasına, karmaşık sistemler için geliştirilen süperistatistik tekniklerle katkıda bulunmaya çalışmaktır.

Bu amaç doğrultusunda tezimizde, doğrudan yeryüzüne ulaşabilecek kadar yüksek enerjili olan kozmik ışınların yaklaşık %90'nını kapsayan hidrojenden sonra, yaklaşık %9 ile evrende hidrojenden sonra en çok bulunan element olan helyum göz önüne alınarak, Uluslararası Uzay İstasyonundaki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen kozmik ışınlardaki helyumun enerjiye bağlı olarak akı dağılımı çizilecek ve süperistatistik analizi yapılacaktır. Tez çalışmamızda ayrıca bu analiz, yakın zamanda [8]'de yapılan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen kozmik ışınlardaki elektron ve pozitronun akılarının enerjiye bağlı dağılımlarının süperistatistik analizleriyle karşılaştırılacaktır.

Tezi oluşturan kısımlar sırasıyla şu şekilde düzenlenmiştir.

“Genel Kısımlar 2.1 Kozmik Işınlar” bölümünde, kozmik ışınlar hakkında kısaca genel bilgiler verildikten sonra, kozmik ışınların kaynaklarının gizemine ve temel fizik araştırmalarında kozmik ışınların önemine değinilecektir.

“Genel Kısımlar 2.1.1 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi” bölümünde, en büyük ve en karmaşık mühendislik projesi olma özelliğini taşıyan Uluslararası Uzay İstasyonuna (ISS) yerleştirilmiş olan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS) deneyi hakkında kısa bilgi verilecek, Alfa Manyetik Spektrometre-01 (AMS-01) deneyi sonrasında Alfa Manyetik Spektrometre-02 (AMS-02) deneyinin çeşitli enerji ve zaman aralıklarındaki ölçümleri referanslar ile işaret edilecektir.

“Malzeme ve Yöntemler 3.1 Karmaşık Sistemler ve Karmaşıklık Bilimi” bölümünde, karmaşık sistemlerin tanımı yanı sıra dinamik bileşenler, etkileşimler, ortaya çıkışlar, kendi kendini organize edebilme ve evrensellik özellikleri kısaca anlatılacaktır. Fiziksel karmaşık bir sistem

örneği olarak kozmik ışınlarda kaydedilen karmaşık sinyaller olarak, enerjiye bağlı atom ve atom altı parçacıkların akı dağılımları verilecektir.

“Malzeme ve Yöntemler 3.2 Genelleştirilmiş İstatistik Mekanik Yaklaşımı” bölümünde, karmaşık sistemlerin istatistik fiziği için Boltzmann-Gibbs istatistik mekaniğinin yetersiz kalması ve karmaşık sistemler için genelleştirilmiş istatistik mekanik yaklaşımının nasıl ortaya çıktığına kısaca değinilecektir.

“Malzeme ve Yöntemler 3.3 Tsallis İstatistiği (q-istatistik)” bölümünde, karmaşık sistemlerin istatistik fiziği için önerilen q-istatistik (Tsallis istatistiği) tanımı, Boltzmann-Gibbs entropisi S_{BG} ve q-istatistiğin sunduğu q-entropi S_q 'nın karşılaştırılması, q'nun aldığı değerlere göre S_q ve S_{BG} 'nin arasındaki ilişki ve q-istatistiğin yüksek enerji fiziğindeki uygulamaları yanı sıra disiplinler arası uygulamaları hakkında da bilgi verilecektir.

“Malzeme ve Yöntemler 3.4 Süperistatistik” bölümünde, gerçek hayattaki karmaşık sistem problemlerine uygulanabilen, çeşitli disiplin alanlarındaki karmaşık sistemlerin davranışlarının anlaşılmasında ve sınıflandırılmasında güçlü bir teknik olan süperistatistik kavramı anlatılacaktır. En çok karşılaşılan üç ana evrensel süperistatistik sınıfı olan χ^2 süperistatistik, (=Tsallis istatistiği), Inverse χ^2 süperistatistik, lognormal süperistatistik denklemleri verilerek tanıtılacaktır.

“Malzeme ve Yöntemler 3.4.1 Süperistatistik Uygulama Örneği” bölümünde, süperistatistik analiz ile verilen örnek üzerinden süperistatistiğin, χ^2 süperistatistik evrensel sınıfı ile q-istatistik (=Tsallis istatistiği) arasındaki ilişki vurgulanacaktır.

“Malzeme ve Yöntemler 3.4.2 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları” bölümünde, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen elektron ve pozitron akılarının enerjiye bağlı olarak dağılımları, Şekil 3.3’de ise bu dağılımlarının karşılaştırılması verilecektir.

“Malzeme ve Yöntemler 3.4.3 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi” bölümünde, yakın zamanda [8]’de yapılan bir çalışmada Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının enerjiye bağlı olarak

dağılımlarının, [8]'deki çalışma kapsamında önerilen q-dualite ve q-Hagedorn teorileri ile süperistatistiksel analizleri anlatılacaktır.

“Bulgular 4.1 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen Helyum Akısı” bölümünde, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da helyum akısının enerjiye bağı olarak dağılımı Şekil 4.1’de çizilecektir.

“Bulgular 4.2 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen Helyum Akısının, e^- ve e^+ Akıları ile Karşılaştırılması” bölümünde, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen helyum akısının Şekil 4.1’de çizilen enerjiye bağı dağılımı ile “Malzeme ve Yöntemler 3.4.2 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları” bölümünde Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen elektron ve pozitron akısının Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de çizilen dağılımları Şekil 4.2’de karşılaştırılacaktır.

“Bulgular 4.3 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen Helyum Akısının Süperistatistiksel Analizi” bölümünde, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen helyum akısının χ^2 süperistatistik evrensel sınıfı ile fit eğrisi parametre değerleri tespit edilerek Şekil 4.3’de süperistatistik analizi yapılacaktır.

“Bulgular 4.4 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen Helyum Akısının Süperistatistiksel Analizinin, e^- , e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizleri ile Karşılaştırılması” bölümünde, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen helyum akısının Şekil 4.3’de yapılan süperistatistik analizi ile “Malzeme ve Yöntemler 3.4.3 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi” bölümünde Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [8]’de verilen Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’deki süperistatistiksel analizleri Şekil 4.4’de karşılaştırılacaktır.

“Tartışma ve Sonuç” bölümünde ise Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen helyum akısı ile elektron ve pozitron akılarının enerjiye

bağlı dağılımlarının karşılaştırılmasının sonuçları tartışılacaktır. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının χ^2 süperistatistik analizi ile [8]'de yapılan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının süperistatistiksel analizleri karşılaştırılacak, düşük ve yüksek enerjilerdeki davranışları yorumlanacaktır. Bu tartışma ve yorumlara bağlı olarak, Uluslararası Uzay İstasyonu Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlardaki atom ve atom altı parçacıkların ölçümlerinin hassasiyetle kaydedilmesinin kozmik ışınların yapılarının anlaşılmasındaki, dolayısıyla da evrenin oluşumu ve evrenin yapısı ile ilgili aranan cevapları bulmaktaki önemi ve evrenin geleceği ile ilgili yapılacak yeni kozmolojik modellere katkısı vurgulanacaktır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1 KOZMİK IŞINLAR

Kozmik ışınlar, fotonlardan, elektronlardan, pozitronlardan ve tamamen iyonize edilmiş yüksek enerjili çekirdeklerden oluşan parçacık yağmurlarıdır. Bu atom ve atom altı parçacık yağmurlarının galaksimizde Dünya'ya doğru gittiği tespit edildiği gibi, yeryüzünde de ölçümleri yapılmaktadır. 1912'de Victor F. Hess, bir balonun içinde yükselirken bir elektroskobun yükünün daha hızlı boşaldığını gözlediğinde kozmik ışınları keşfetmiştir. Bu durumu atmosfere yukarıdan giren bir radyasyon kaynağına bağlamış ve böylece 1936 yılında bu keşfinden dolayı Nobel Fizik ödülüne layık görülmüştür. Ancak kozmik ışınların keşfinden bu yana, atmosferin bu ölçümleri bozduğu bilindiğinden dolayı, fizikçiler kozmik ışınları incelemek için en iyi yerin Dünya olmadığını bilirler [12].

Evrenimizin anlaşılmasında bir dönüm noktası olan kozmik ışınların keşfi, günümüzde dahi tam olarak anlaşılamayan, galaksimizde ve ötesinde meydana gelen yüksek enerji süreçleri hakkında adeta gizemli bir kapıyı aralamıştır. Kozmik ışınların nasıl üretildikleri, hızlandıkları ve yayıldıkları hakkında kozmik ışınların enerji spektrumları ve bileşimleri önemli bilgiler sağlar. Uzaydan gelen yüksek enerjili atom ve atom altı parçacıklar olan kozmik ışınların bazıları, insan yapımı parçacık hızlandırıcılarının çıkabileceği enerjilerin çok daha ötesinde enerjilere sahiptir. Daha düşük enerjili kozmik ışınların güneş rüzgârından geldiği bilinse de, daha yüksek enerjili kozmik ışınların kaynaklarının ne olduğu tartışmaları devam etmektedir. Kozmik ışınlar, doğada gözlemlenen en yüksek enerjilere ulaşan, uzaydan gelen atom ve atom altı parçacıklardan oluşmaktadır. Kozmik ışınların kökenlerine dair ipuçları ise varış yönlerinin dağılımını inceleme yoluyla elde edilmeye çalışılmaktadır.

Kozmik ışınlar, neredeyse ışık hızıyla seyahat eden ve Dünya'ya her yönden çarpan, uzaydan kaynaklanan yüksek enerjili yüklü parçacıklardır. Kozmik ışınların çoğu, periyodik tablodaki en hafiften en ağır elementlere kadar değişen atomların çekirdekleridir. Kozmik ışınlar ayrıca yüksek enerjili elektronları, pozitronları ve diğer atom ve atom altı parçacıkları içerir. "Kozmik ışınlar" terimi genellikle, Samanyolu galaksimiz boyunca dağılan ve güneş sistemi dışındaki kaynaklardan çıkan galaktik kozmik ışınları ifade eder. Bununla birlikte, bu terim aynı zamanda Güneş'teki enerji ile ilgili olaylarla bağlantılı olarak hızlandırılmış çekirdek ve elektronlar

(güneş enerjili parçacıklar olarak adlandırılır) ve gezegenler arası uzayda hızlanan parçacıklar dahil olmak üzere uzaydaki diğer parçacık sınıflarını da kapsamaktadır [13-17].

1930'lardan 1950'lere kadar, yeryüzünde inşa edilen insan yapımı parçacık hızlandırıcıları çok yüksek enerjilere ulaşmadan önce, kozmik ışınlar, yüksek enerjili fizik araştırmaları için bir parçacık kaynağı olarak hizmet etmiş ve pozitron ve müon içeren atom altı parçacıkların keşfedilmesine de yol açmıştır. Kozmik ışınların bu uygulamaları devam etse de, uzay çağıının başlangıcından itibaren kozmik ışın araştırmalarının ana odağı, kozmik ışınların nereden kaynaklandığına, kozmik ışınların bu kadar yüksek hızlara nasıl ulaştıklarına, kozmik ışınların bileşimlerinin bize güneş sisteminin dışından gelen maddeler hakkında neler söyleyebileceklerine, kozmik ışınların Galaksinin dinamiklerinde nasıl bir rol oynadıklarına dair astrofiziksel araştırmalara yönelmiştir. Nükleer ve yüksek enerjili fizik deneylerinde kullanılan parçacık detektörlerine benzer detektörler kullanılarak, uzay araçları ve yüksek irtifa balonlarında kurulan düzeneklerle araştırmalar yapılarak, kozmik ışınları, atmosfer tarafından yavaşlatılmadan ve parçalanmadan önce doğrudan ölçebilmenin yolları aranmıştır [13-17].

Kozmik ışınların enerjisi genellikle mega elektron volt (MeV) veya giga elektron volt (GeV) birimleri cinsinden ölçülür. Bir elektron volt, bir elektronun 1 voltluk bir potansiyel farkıyla hızlandırıldığında kazanılan enerjidir. Çoğu galaktik kozmik ışın, 100 MeV (protonlar için ışık hızının % 43'ü kadar bir hıza karşılık gelir) ve 10 GeV (ışık hızının % 99.6'sına karşılık gelir) arasında enerjilere sahiptir. 1 GeV'nin üzerindeki enerjilere sahip kozmik ışınların sayısı, enerjideki her 10 faktör artışında yaklaşık 50 kat azalır. Geniş bir enerji aralığında büyük enerjiye sahip (GeV cinsinden ölçülür) saniyede steradyan m² başına parçacık sayısı yaklaşık olarak

$$N(>E) = k(E + 1)^{-a} \quad (2.1)$$

ile verilir.

Burada m² başına $k \sim 5000$ ve $a \sim 1.6$ 'dır. Bugüne kadar ölçülen en yüksek enerjili kozmik ışınlar, yaklaşık 100 mil hızla giden bir topun kinetik enerjisine eşdeğer olan 1020 eV'den fazlasına sahiptir [13-17].

Galaktik kozmik ışınların çoğunun enerjisinin, Galaksimizde yaklaşık 50 yılda bir meydana gelen süpernova patlamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Milyonlarca yıl boyunca

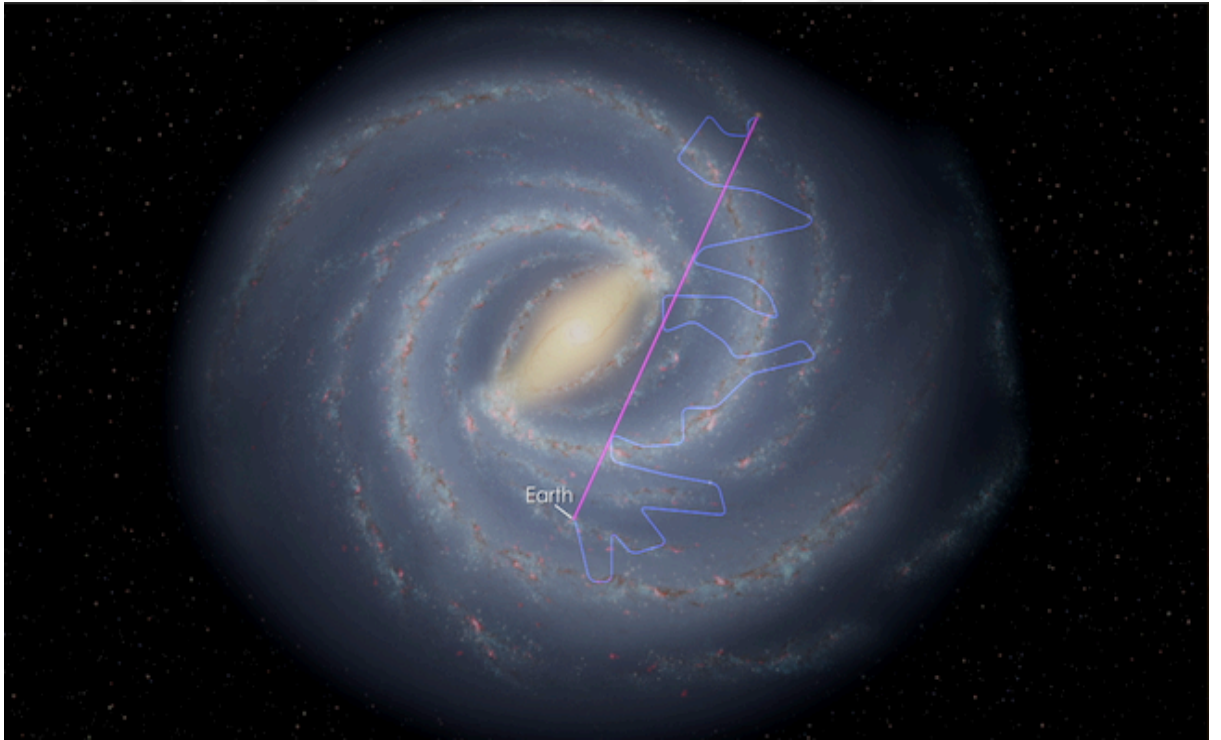
gözlemlenen kozmik ışın yoğunluğunu korumak için, tipik bir süpernova patlamasında 10^{51} erg den fazla salınan enerjinin yüzde birkaçının kozmik ışınlara dönüştürülmesi gerekir. Kozmik ışınların bu patlamalardan gelen şok dalgaları gibi hızlanarak yıldızlararası gazın içinden geçtiklerine dair önemli kanıtlar bulunmaktadır. Kozmik ışınların Galaksiye katkıda bulunduğu enerjinin (cm^3 başına yaklaşık 1 eV), galaktik manyetik alanlarda ve yıldızlar arasındaki boşluğu kaplayan gazın termal enerjisinde bulunan enerjiye yaklaşık olarak eşit olduğu bilinmektedir [13-17].

Kozmik ışınlar, esasen periyodik tablodaki tüm elementleri içerir; Çekirdeklerin yaklaşık % 89'u hidrojen (protonlar), %10'u helyum ve yaklaşık %1'i daha ağır elementlerdir. Yaygın daha ağır elementler (karbon, oksijen, magnezyum, silikon ve demir gibi) güneş sistemindekiyle yaklaşık aynı orandaki miktarlarda bulunurlar, ancak temel ve izotopik bileşimde kökenleri ve geçmişi hakkında bilgi sağlayan önemli farklılıklar mevcuttur. Galaktik kozmik ışınların, örneğin yıldızlararası gazla çarpışmalar sırasında karbon, nitrojen ve oksijen gibi daha ağır kozmik ışınlar daha hafif çekirdeklere dönüştüğünde üretilen nadir elementlerin, örneğin lityum, berilyum ve borun önemli bir fazlalığı olmaktadır. Ayrıca İzotop ^{22}Ne elementi de fazladır ve bu da kozmik ışınların ve güneş sistemi materyalinin nükleosentezinin farklı olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra elektronlar, galaktik kozmik ışınların yaklaşık %1'ini oluşturur. Elektronların neden çekirdeklerden daha az verimli bir şekilde hızlandırıldığı bilinmemektedir [13-17].

Diğer yandan, kozmik ışınlar elektriksel olarak yüklü olduklarından dolayı manyetik alanlar tarafından saptırılırlar ve böylece yönleri rastgele hale getirildiğinden, nereden kaynaklandıklarını söylemek imkânsız hale gelir. Bununla birlikte, Galaksinin diğer bölgelerindeki kozmik ışınlar ürettikleri elektromanyetik radyasyon nedeniyle izlenebilirler. Crab Nebula (Yengeç Bulutsusu) gibi süpernova kalıntılarının, kalıntının manyetik alanlarında spirallenen kozmik ışın elektronları tarafından yayılan radyo sinkrotron radyasyonundan gelen kozmik ışınların kaynağı olduğu bilinmektedir. Ayrıca yıldızlararası gazla kozmik ışın çarpışmalarından kaynaklanan yüksek enerjili (10 MeV - 1000 MeV) gama ışınları gözlemleri, çoğu kozmik ışının Galaksinin diskiyle, muhtemelen manyetik alanıyla sınırlı olduğunu göstermektedir. Kozmik ışın çekirdeklerinin benzer çarpışmaları, yarı ömrü 1.6 milyon yıl olan ^{10}Be gibi radyoaktif izotoplar da dahil olmak üzere daha hafif nükleer parçacıkların üretilmesine neden olmaktadır. Kozmik ışınlarda ölçülen ^{10}Be miktarı, ortalama olarak, kozmik ışınların

galaktikler arası uzaya kaçmadan önce, Galakside yaklaşık 10 milyon yıl geçirdiği anlamına gelmektedir [13-17].

Kozmik ışınlar pozitif yüklü protonlar veya çekirdekler veya negatif yüklü elektronlar şeklinde yüklü parçacıklar olduklarından dolayı, en yüksek enerjili kozmik ışınlar hariç, kozmik ışınların uzaydaki yolları manyetik alanlar tarafından saptırılabilmektedir. Kozmik ışınların Dünya'ya yaptıkları yolculuk esnasında Galaksinin, Güneş sisteminin ve Dünya'nın manyetik alanları, kozmik ışınların kaynaklarından çıktıktan sonra seyahat ettikleri yollarını o kadar karıştırmaktadır ki, bu nedenle kozmik ışınların tam olarak nereden geldiklerini bilmemiz mümkün olmamaktadır. Bu durum kozmik ışınların nereden geldiğini ancak dolaylı yollarla belirlememiz gerektiği anlamına gelmektedir [18].



Şekil 2.1: Kozmik ışınların kaynağından çıkıp dünyaya ulaşana kadar izlediği temsili yol örneği (Kredi: NASA's Goddard Space Flight Center) [18].

Şekil 2.1’de mavi ile çizilmiş temsili yol örneğinde gösterildiği gibi, kozmik ışınlar elektrik yükü taşıdıkları için manyetik alanlar içinde hareket ettikçe yönleri değiştiğinden dolayı, kozmik ışınların kaynaklarından çıktıktan sonra dünyaya ulaşana kadar izledikleri yolları,

onları kaynaklarına kadar geri izleyemeyeceğimiz kadar karışık yollardır. Şekil 2.1’de mor ile çizilen yol ile gösterildiği gibi, ışık bize doğrudan kozmik ışınların kaynaklarından gelmektedir [18].

Kozmik ışınları doğrudan bir kaynağa kadar izleyemesek bile, bize yine de kozmik nesneler hakkında bilgi verebilirler. Çoğu galaktik kozmik ışın, muhtemelen süpernova kalıntılarının patlama dalgalarında hızlanmaktadır. Kozmik ışınların hızlandığı yer olan süpernova patlamalarının kalıntıları, genişleyen gaz ve manyetik alan bulutları binlerce yıl dayanabilirler. Kalıntının manyetik alanında rasgele ileri geri zıplamak, bazı parçacıkların enerji kazanmasına ve kozmik ışınlara dönüşmesine izin verir. Sonunda, kalıntının artık onları tutamayacağı kadar yüksek bir hız oluştururlar ve böylece galaksiye kaçarlar. Süpernova kalıntılarında hızlanan kozmik ışınlar, yalnızca ivme bölgesinin boyutuna ve manyetik alan gücüne bağlı olarak belirli bir maksimum enerjiye ulaşabilirler. Bununla birlikte, kozmik ışınlar, süpernova kalıntılarının üretebileceğinden çok daha yüksek enerjilerde gözlemlenmiştir ve bu ultra yüksek enerjilerin nereden geldiği astronomide açık ve büyük bir soru olma durumunu korumaktadır. Belki de bu çok yüksek enerjili kozmik ışınlar galaksinin dışından, aktif galaktik çekirdeklerden, kuasarlardan veya gama ışını patlamalarından gelmektedirler. Ya da belki de bazı egzotik yeni fiziğin imzası olarak sayılan süper sicimler, egzotik karanlık madde, güçlü etkileşimli nötrinolar veya evrenin yapısındaki topolojik kusurlardan gelmektedirler. Bu tür sorular, kozmik ışın astrofiziğini temel parçacık fiziğine ve evrenin temel doğasına bağlamaktadır [18].

Yüksek enerjili kozmik ışınlar, üst atmosferin atomları ile çarpışmaya uğradığında, atmosfer yoluyla Dünya’nın yüzeyine yağan bir "ikincil" parçacıklar dizisi üretmektedirler. İkincil kozmik ışınlar arasında piyonlar (müonlar, nötrinolar ve gama ışınları üretmek için hızla bozunur) ile müon bozunması ve atmosferik atomlarla gama ışını etkileşimleri tarafından üretilen elektronlar ve pozitronlar bulunmaktadır. Dünya yüzeyine ulaşan parçacıkların sayısı, üst atmosfere çarpan kozmik ışınların enerjisi ile ilgili olmaktadır. 10^{14} eV’nin üzerinde enerjilere sahip olan kozmik ışınlar, kilometrekarelerce geniş alana dağılmış büyük “hava duşu” detektör dizileriyle incelenmektedir. Hava sağanaklarının sıklığı, 10^{15} eV’den büyük enerjiler için yılda m^2 başına yaklaşık 100 ile, 10^{20} eV’den büyük enerjiler için ise yüzyılda km^2 başına yaklaşık 1 olarak değişmektedir. Nötrinolar gibi kozmik ışın etkileşim ürünleri de yer altı madenlerinin derinliklerine veya su altına yerleştirilmiş büyük detektörlerle incelenmektedirler [13-17].

Dünya yüzeyine ulaşan ikincil kozmik ışınların çoğu, saniyede metrekaare başına ortalama 100 yoğunluğa sahip müonlardır. Her dakika vücudumuzdan binlerce kozmik ışın geçmesine rağmen, ortaya çıkan radyasyon seviyeleri nispeten düşük olmakla birlikte, deniz seviyesindeki doğal radyasyonun sadece yüzde birkaçına karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, uzaydaki kozmik ışınların daha yüksek yoğunluğu, özellikle Güneş aktifken astronotlar için potansiyel bir radyasyon tehlikesi olmaktadır ve gezegenler arası boşluk aniden güneş enerjili parçacıklarla dolabilmektedir. Kozmik ışınlar ayrıca uzaydaki elektronik cihazlar için de bir tehlike oluşturmaktadır. Örneğin ağır iyonlaştırıcı kozmik ışın çekirdeklerinin etkileri, bilgisayar bellek bitlerinin dönmesine veya küçük mikro devrelerin bozulmasına neden olabilmektedir [13-17].

Kozmik ışınların bileşenlerinin incelenmesi, kozmik ışınların yapılarını anlamamızın bir diğer yoludur. Kozmik ışınlardaki her bir farklı elementin miktarını ölçmek nispeten kolay olmaktadır. Çünkü her çekirdeğin farklı yükleri ve farklı imzaları olmaktadır. Ölçmesi daha zor olabilen, ancak daha belirgin bir imza bırakanlar ise aynı elementin farklı sayıda nötron içeren çekirdekleri olan izotopik bileşimleridir. İzotopları birbirinden ayırmak demek, aslında kozmik ışın detektörüne giren her atom çekirdeğinin tartılmasını da kapsamaktadır. Periyodik tablodaki tüm doğal elementler kozmik ışınlarda mevcuttur. Bu durum, örneğin yıldızlarda üretilen demirden daha hafif elementlerin yanı sıra, büyük bir yıldızın ömrünün sonunda gerçekleşen süpernova patlamaları gibi şiddetli koşullarda üretilen daha ağır elementleri de kapsamaktadır [18].

2.1.1 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi

Önceleri atmosfer üzerindeki kozmik ışınları araştırmak için yalnızca balonla taşınan deneyler kullanılıyordu. Fakat bunlar kozmik ışınların gerçek uzun vadeli ölçümelerini sağlayamıyordu. Bu nedenle parçacıkları mümkün olan en yüksek enerjilerde incelemek için nihai laboratuvar Evrenin kendisidir düşüncesiyle 1994'te Uluslararası Uzay İstasyonuna (ISS) kurulacak olan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS) yani uzayda taşınan bir deney önerildi [19,20].



Şekil 2.2: Uluslararası Uzay İstasyonu [20].

AMS-01, 2-12 Haziran 1998 tarihleri arasında öncü bir deney olarak uzay mekiği STS-91 ile keşif için uçarken, bir parçacık fiziği detektörünün uzayda çalıştırılmasının mümkün olduğunu da göstererek önemli bir başarıya imza atmış oldu [21,22].

AMS-01'in başarılı keşif görevinden sonra yaklaşık 10 yıl süren araştırma ve kurulum çalışmaları sonrasında AMS-02, uzay mekiği STS-134 ile uzaya fırlatıldı. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi yüklü kozmik ışınların bileşimini ve enerji spektrumlarını ölçmek, anti-maddeyi aramak ve karanlık maddenin doğasını keşfetmek üzere temel fizik araştırmaları görevini gerçekleştirmek için 19 Mayıs 2011'de Uluslararası Uzay İstasyonu'na (ISS) yerleştirilmiştir [11].

Uluslararası Uzay İstasyonu (International Space Station, ISS) uzay için inşa edilen en büyük ve en karmaşık mühendislik projesidir ve Alfa Manyetik Spektrometre (Alpha Magnetic Spectrometer AMS-02) deneyinin çalışmasını yöneten benzersiz bir platform sağlamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin Enerji Bakanlığı ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (National Aeronautics and Space Administration, NASA) finanse ettiği Alfa Manyetik

Spektrometre AMS-02 deneyi, son yıllarda yayınladığı elektron, pozitron, proton ve helyum spektrumlarını başka hiçbir deneyde ulaşılmamış bir hassasiyetle hesaplayan, önemli derecede netlikle kaydedip yayınlarak kullanışlılığını kanıtlayan yüksek kaliteli detektörler arasındadır [11].



Şekil 2.3: Uluslararası Uzay İstasyonuna yerleştirilmiş Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi [20].

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinin odaklandığı antimadde fazlalığı çalışmalarından karanlık madde araştırmalarına, antinüklei tespit çalışmalarından antimadde araştırmalarına kadar, evrenin oluşumunu ve yapısını anlamak için planlanmış tüm kozmik ışın ölçümleri için, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinin ölçümlerinin kesinliğindeki hassasiyet, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinin uzayda Uluslararası Uzay İstasyonunda (ISS) yerleştiği konumu tarafından önemli derecede desteklenmektedir. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi ayrıca ikincil çekirdek oranlarına karşı primerlerin incelenmesi yoluyla kozmik ışınların yayılma modellerinin de gözden geçirilmesini hedeflemektedir [11].

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinin yüksek kaliteli detektörü ile 19 Mayıs 2011 tarihinden günümüze kadar çeşitli enerji ve zaman aralıklarında, kozmik ışınlar için çok hassas ölçümler yapılmaktadır [23-30]



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 KARMAŞIK SİSTEMLER VE KARMAŞIKLIK BİLİMİ

Karmaşıklık biliminin en görünür özelliklerinden biri disiplinler arası bir bilim dalı olma özelliği taşımasıdır. Bunun nedeni karmaşıklık biliminin incelediği karmaşık sistemlerin fiziksel sistemler yanı sıra, sayısal bilimler, mühendislik bilimleri, biyolojik bilimler ve sosyal bilimler gibi birçok alanda gerçek dünya problemleri olarak ortaya çıkmasıdır.

Karmaşık sistemler, çok sayıda dinamik bileşenden oluşan, bu dinamik bileşenleri ile kendi kendine örgütlenen ve bu dinamik bileşenlerin birbirleri ya da çevreleri ile etkileşimleri sonucu yeni yapılar oluşturan adaptif (uyarlanımlı) sistemlerdir. Karmaşık sistemlerin bileşenlerinin birbirleriyle ve çevreleriyle olan ve doğrusal bir orantı izlemeyen etkileşimleri sonucunda ortaya çıkan yeni ürünlerden dolayı, sistemin bütününe anlaşılmaması ve sistemin davranışlarının öngörülebilmesi için, sistemin sadece bileşenlerinin tespit edilip incelenmesi ve anlaşılmaması yeterli olmamaktadır. Karmaşık sistemlerin bileşenleri tek tek anlaşılsa bile, sistemin bütününe özelliklerinin, tek tek bileşen özelliklerinden çok farklı olacağının vurgusu, bu alanda yaygınca kullanılan bir söz olan “bütün, parçalarının toplamından daha büyüktür” sözü ile ifade edilmektedir [31].

Kendi kendini organize edebilme yeteneğine sahip olan karmaşık sistemler, sistemin merkezi bir kontrol mekanizması ile denetlenmesinin mümkün olmadığı sistemlerdir. Günlük hayatımızda karşılaştığımız bir örnek düşündüğümüzde, doğada karşılaştığımız kuşların sürü olarak uçuş eylemlerinde kendiliğinden organize olma özelliklerini gözlemleyebilmekteyiz. Sağlamlık, esneklik ve dolayısıyla dayanma yeteneği gibi özellikler karmaşık sistemlerin adaptasyon özelliğini göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle karmaşık adaptif sistemler olarak da adlandırılan karmaşık sistemler ve karmaşık sistemlerin anlaşılması için geliştirilen yaklaşımların ve tekniklerin aynı çatı altında toplandığı karmaşıklık bilimi, çok çeşitli disiplinlerdeki varlıkları ve uygulamaları nedeniyle evrensellik özelliği taşımaktadır [31].

Fiziksel bir sistem örneği olarak kozmik ışınlar, çeşitli enerji değerlerinde çeşitli kozmolojik kaynakların etkilerini taşıyan bir karmaşık sistemden elde edilen veriler olarak ele alındığından dolayı, karmaşık sistemler için önerilen teknolojiler ile anlaşılmaya çalışılmaktadır. Bu

teknoloji karmaşık sistemler için geliştirilmiş olan genelleştirilmiş istatistik mekanik yaklaşımıdır [32-42].

3.2 GENELLEŞTİRİLMİŞ İSTATİSTİK MEKANİK YAKLAŞIMI

Fiziğin diğer branşlarında olduğu gibi istatistik mekanikte de genelleştirme ihtiyacı doğmuştur. Nasıl ki klasik mekanik, geçerli olduğu aralıkta doğru sonuçlar verse de geçerliliğinin bir limitinin olduğu fark edilmiş ve dolayısıyla oradan kuantum mekaniği doğmuş ve geliştirilmiştir, son yirmi yıldan fazla bir zaman diliminde de benzer şekilde Boltzmann-Gibbs istatistik mekaniği geçerli olduğu aralıkta doğru sonuçlar verse de, karmaşık sistemler söz konusu olduğu zaman kesinlikle yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Boltzmann-Gibbs istatistik mekaniğinin genelleştirilmesi yani karmaşık sistemleri de kapsayacak şekilde oluşturulmak istenen genelleştirilmiş istatistik mekanik teorisi, hala araştırmacıların teorisini ve uygulamalarını genişletmeye devam ettiği, henüz tamamlanmamış ve geliştirilmekte olan bir teordir. Bu teorinin tamamlanması şüphesiz bilimde çok büyük başarıları arkasından getirecektir. Genelleştirilmiş yeni bir teori olarak q-istatistik ve süperistatistik teorilerinin geliştirilme çalışmaları sürerken uygulamaları da birbirinden farklı çok çeşitli alanlarda artmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tezinde, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi aracılığıyla kaydedilen kozmik ışınların karmaşık sinyallerini analiz edebilmek için genelleştirilmiş istatistik mekanik yaklaşımı kullanılacaktır. “Malzeme ve Yöntemler 3.3 Tsallis İstatistiği (q-İstatistik)” bölümünde ve “Malzeme ve Yöntemler 3.4 Süperistatistik” bölümünde genelleştirilmiş istatistik mekanik [3,43-47] yaklaşımları detaylı şekilde anlatılacaktır.

3.3 TSALLIS İSTATİSTİĞİ (q-İSTATİSTİK)

Mekanik mikroskopik yasalar ile klasik termodinamik arasında çok kullanışlı bir köprü kuran Boltzmann-Gibbs (BG) istatistiksel mekaniği, Claisus’un entropisinin kesikli versiyonu için şu şekilde yazılmaktadır:

$$S_{BG} = -k \sum_{i=1}^W p_i \ln p_i \quad (3.1)$$

Ancak Boltzmann-Gibbs (BG) teorisi de, diğ er birçok insan aklıyla ortaya konan yapılar gibi sınırlı bir uygulama alanına sahiptir, bu nedenle de evrensel değildir. Bu teori, çok özel kararlı hal adı verilen, dolayısıyla temel önemi olan, termal denge makroskopik durumu merkezi olarak ele alır. Boltzmann-Gibbs teorisinin bu durum dışındaki ö ngör üleri yetersiz olmaktadır. Bunun nedeni, Boltzmann'ın ü nlü “Stosszahlansatz” yani Moleküler Kaos Hipotezi'nin temelinde yatan doğ rusal olmayan dinamiklere, daha güçlü kaosa, dolayısıyla karış ma özelliğ ine ve ergodiklik özelliğ ine dayanmaktadır. Doğ al, yapay ve hatta sosyal sistemlerdeki birçok önemli olgu, bu basitleşt irici hipoteze uymamaktadır. Fiziksel bilimlerde olduğ u kadar, denge dışı sabit durumların yaygın olduğ u biyoloji ve ekonomide de Boltzmann-Gibbs teorisine uyulmadığ ı sıkça görö lmektedir. Daha sonra, mikroskopik dinamik düzeyde, güçlü kaos, tipik olarak zayıf versiyonu ile yani zayıf kaotik ile yer değ işt irir, ç ünkü başlangıç koşullarına duyarlılık zamanla ü ssel (exponential) olarak değ il, daha çok bir kuvvet yasası (power law) gibi büyür [43,48].

Boltzmann-Gibbs istatistiksel mekaniğ indekilere benzer kavramlar ve yöntemlerle yeni bir istatistik mekanik arayışında en iyi bilinen genelleşt irilmiş istatistik mekanik yaklaşımı ilk olarak 1988 yılında Constantino Tsallis tarafından ö nerilen q-istatistik (Tsallis istatistik), Boltzmann-Gibbs entropisi ifadesinin genelleşt irilmesine dayanmaktadır [43,48].

$$S_q = -k_B \sum_{i=1}^{\Omega} p_i^q \ln_q p_i = \frac{1 - \sum_{i=1}^{\Omega} p_i^q}{1 - q} \quad (3.2)$$

$q = 1$ olduğ u durum için ,

$$S_1 = S_{BG} \quad (3.3)$$

olduğ undan, Boltzmann-Gibbs teorisi geçerlidir [43].

Tsallis istatistiğ i (q-istatistik) entropisinin toplanabilirlik (additivity) özelliğ i açısından incelenmesi önemlidir. Eğ er bağımsız alt sistemleri bir araya getirirsek, Denklem (3.4)'de görö ldüğ ü gibi S_{BG} toplanabilir özelliğ ine sahip iken,

$$S(A, B) = S(A) + S(B) \quad (3.4)$$

$q \neq 1$ için ise Denklem (3.5)'de görö ldüğ ü gibi

$$S_q(A + B) = S_q(A) + S_q(B) + (1 - q)S_q(A)S_q(B) \quad (3.5)$$

Sq toplanabilirlik özelliğini sağlamaz, yani non-additive'dir. q serbest bir parametredir [43,48].

Boltzmann-Gibbs istatistik mekaniğinin yetersiz kaldığı karmaşık sistemlerin istatistik mekaniği için, çok başarılı sonuçlar veren q-istatistik, fiziksel sistemler yanı sıra birçok disiplinler arası alanda da uygulanmaktadır. Hangi genel teoriler üzerinde kullanıldığı konusunda, bu listeyle sınırlı kalmamak üzere literatürden şu konuları sayabiliriz:

Genelleştirilmiş entropi ve termostatistik, termodinamik, topluluklar ve Jaynes'in bilgi teorisi, H-teoremi ve tersinmezlik, Ehrenfest teoremi, von Neumann denklemi, kuantum istatistikleri, varyasyonel ve tedirgin edici yöntemler; Bogolyubov eşitsizliği, Green fonksiyonları, yol integrali, Boltzmann denklemi, Langevin ve Fokker-Planck denklemleri, dalgalanma-yayılma, Nyquist ve Onsager karşılıklılık teoremleri, Kubo'nun doğrusal yanıt teorisi ve Kramers Kronig ilişkisi, Poisson denklemi, Callen özdeşliği, Ising iletimi, klasik eşit bölme ilkesi, kuantum belirsizlik, Fisher bilgi ölçüsü, ergodiklik, doğrusal olmayan dinamik sistemler, kendi kendine organize kritiklik, hücresel otomata, fraktallar, genel görelilik, kozmoloji, karanlık enerji, sicim teorisi, kuantum grupları ve kuantum mekaniği, dalgacıklar, sinyal işleme, EEG, kuantum bağlantılı çok cisim problemleri, Gentile, Haldane dışlama istatistikleri, sonlu sistemler, integral dönüşümler (Hilhorst ve Prato formülleri), harmonik osilatör, serbest parçacık, hidrojen ve benzeri atomlar, kara cisim ışıması, fotonik sistemler, Landau manyetizması vd. [49].

q-istatistiğin ne kadar geniş bir alanda uygulandığını göstermek için de yine bunlarla sınırlı kalmamak üzere şu uygulama alanlarını sıralayabiliriz.

Yıldız politropları, Vlasov denklemi, Galaksiler, Galaksi kümeleri, türbülans, granül madde, Navier-Stokes denklemi, Boltzmann denklemi, Mossbauer etkisi, güneş nötrinoları, yüksek enerji fiziği, ferrofluid benzeri malzemeler, Lennard-Jones sıvıları, süperakışkan helyum, Bose-Einstein yoğunlaşması, Boltzmann-Gibbs termostatistik testi, kozmik ışınlar, temel parçacıklar, biyolojik sistemler, mikroemülsiyonlar, sıvı, kristaller, stokastik rezonans, Brownian motorları, finans teorisi, fonksiyonlar teorisi Monte Carlo, kuantum kimyası, yerçekimi modelleri, Lennard-Jones kümeleri, Thomson modeli, spin sistemleri, proteinler, nükleik asitler, sinirsel ağlar, depremler, ekonomi, jeofizik, ilaç, tomografi, sembolik dinamikler, dilbilim, filoloji, bilişsel bilimler, hidroloji, ekoloji vd. [49].

3.4 SÜPERİSTATİSTİK

Süperistatistik, gerçek hayattaki fizik, kozmoloji, mühendislik, biyoloji, tıp, ekoloji, finans, psikoloji, antropoloji alanlarındaki çok çeşitli karmaşık sistem problemlerine uygulanan, karmaşık sistemlerin anlaşılmasında, yorumlanmasında ve sınıflandırılmasında çok kullanışlı olan, 2003 yılında Prof.Dr.Christian Beck ve 2004 Boltzmann Madalya sahibi Prof.Dr.E.G.D. Cohen tarafından önerilen [3] kavram ve tekniklerdir.

Süperistatistiksel bir karmaşık sistem birkaç istatistiğin üst üste binmesi ile matematiksel bir şekilde açıklanabilmektedir. Bunlardan bir tanesi lokal denge istatistik mekaniği iken diğeri sistemin yavaşça değişen β parametresi olmaktadır. Süperistatistik tekniklerin kullanılabilmesi için, ele alınan karmaşık sistem için yeterli zaman ölçeği ayrımı gerekmektedir. Örneğin sistemin lokal relaksasyon zamanı, β ile değişen tipik zaman ölçeğinden çok daha kısa olmalıdır. Süperistatistik teknikler genellikle yeterli zaman ölçek ayrımı olabilen sistemlere uygulanabilmektedir [4].

Şimdiye kadar üç ana fiziksel evrensel süperistatistik sınıfı çalışılmıştır [4].

Bunlar;

χ^2 süperistatistik, (=Tsallis istatistiği)

Inverse χ^2 süperistatistik

Lognormal süperistatistik

Bu üç ana fiziksel evrensel süperistatistik sınıfı, birçok farklı sistem için evrensel istatistik limitleri olarak çok yaygındır. Denge dışı istatistik mekanikte yavaşça değişen “a” kontrol parametresi, süperistatistik dinamikler altında lokal olarak sistemin sıcaklığının tersine denk gelmektedir yani $a = \beta$. Bununla beraber, kontrol parametresi genelde farklı anlamlara sahip olabilmektedir. Örneğin matematiksel finans konusunda β parametresi, borsadaki türbülanslar ve değişen borsa hareketlerinin açıklayan, fiyatların zaman içindeki değişimini veren terim olan volatilit parametresidir. Zaman serileri için ise genellikle, uygun bir şekilde seçilmiş zaman dilimlerinden doğrudan çıkarılan lokal varyans parametresidir. Süperistatistik kavramının gerçek hayatta uygulanan çok sayıda ilginç uygulamaları da vardır. Örneğin tren gecikme

istatistikleri, hidrodinamik türbülans, kanserden hayatta kalma istatistikleri bunlardan bazılarıdır [4].

Süperistatistiğin genelleştirilmiş Boltzmann faktörü $f(\beta)$ olasılık yoğunluğunun Laplace dönüşümü ile verildiği kolaylıkla görülmektedir.

$$B(E) = \int_0^\infty d\beta f(\beta) e^{-\beta E} \quad (3.6)$$

χ^2 süperistatistik (= Tsallis istatistik) durumunda, süperistatistiğin Tsallis istatistiği için özel bir durumudur ve “Malzeme ve Yöntemler 3.4.1 Süperistatistik Uygulama Örneği” bölümünde detaylı bir şekilde anlatılacaktır [50-52].

χ^2 süperistatistik için $f(\beta)$, Γ dağılımı ile verilir.

$$f(\beta) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{n}{2\beta_0}\right)^{n/2} \beta^{(n/2)-1} e^{-n\beta/2\beta_0} \quad (3.7)$$

Burada β_0 , β 'nın ortalamasıdır. Bu bir power law (kuvvet yasası) eğrisine uyan genelleştirilmiş Boltzmann faktörü Denklem (3.6)'da verilen $B(E)$ 'yi oluşturur. n çok sayıdaki serbestlik derecesini karakterize eden bir parametredir [4].

Inverse χ^2 süperistatistik durumunda $f(\beta)$ Denklem (3.8) ile verilir;

$$f(\beta) = \frac{\beta_0}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{n\beta_0}{2}\right)^{n/2} \beta^{(-n/2)-2} e^{-n\beta_0/2\beta} \quad (3.8)$$

Bu durumda genelleştirilmiş Boltzmann faktörü

$$B(E) = \int f(\beta) e^{-\beta E} , \quad e^{-\beta\sqrt{E}} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) ile verilir.

Log-normal süperistatistik durumunda, $f(\beta)$ lognormal dağılım Denklem (3.10) ile verilmektedir, μ ve s uygun parametrelerdir [51].

$$f(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s\beta} \exp \left\{ -\frac{\left(\ln \frac{\beta}{\mu}\right)^2}{2s^2} \right\} \quad (3.10)$$

3.4.1 Süperistatistik Uygulama Örneği

Süperistatistiği, ilk olarak [32,35]'de ortaya konulan önemli bir örneği üzerinden inceleyelim.

$$f(\beta) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{q-1}\right)} \left\{ \frac{1}{(q-1)\beta_0} \right\}^{1/(q-1)} \beta^{(1/(q-1)-1)} \exp\left\{ -\frac{\beta}{(q-1)\beta_0} \right\} \quad (3.11)$$

χ^2 veya Γ olasılık dağılımıdır.

$q > 1$ olmak üzere β_0 ve q parametrelerdir.

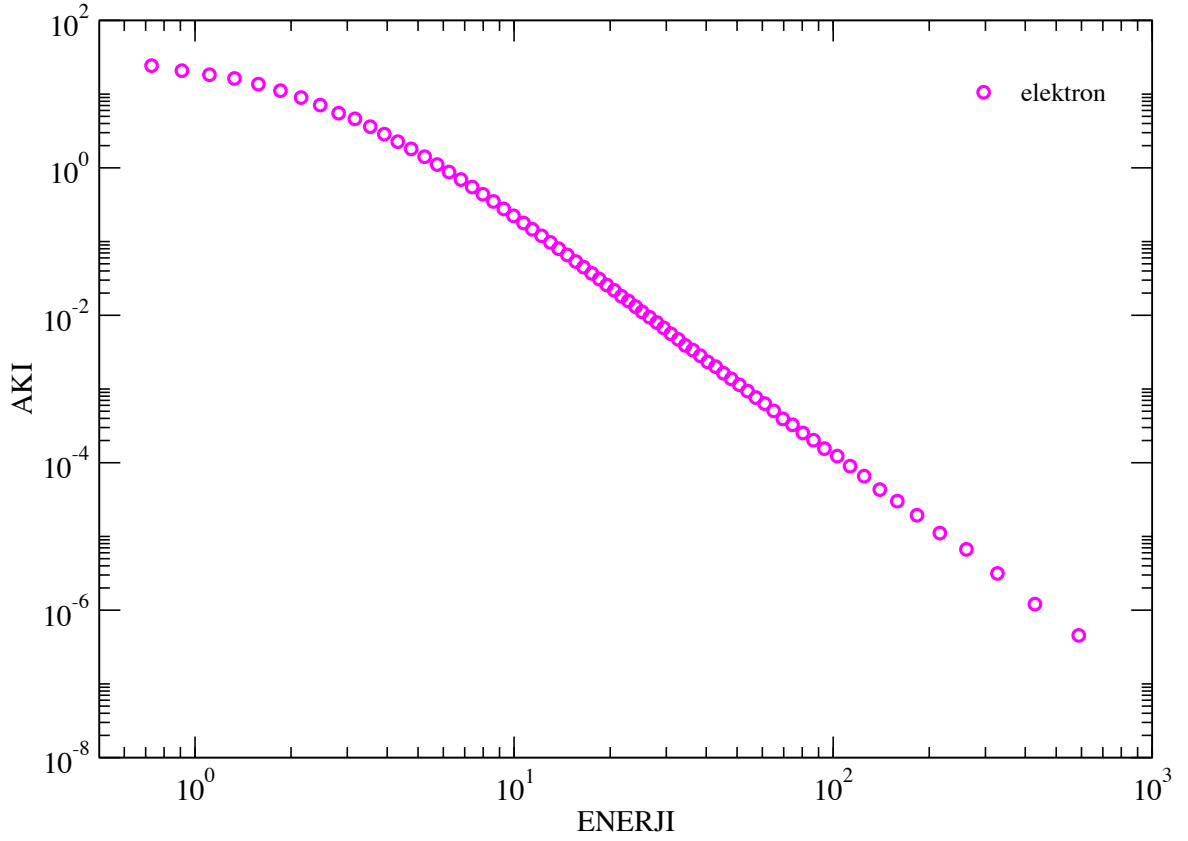
$$\int_0^\infty d\beta f(\beta) e^{-\beta E} = \frac{1}{(1 + (q-1)\beta_0 E)^{1/(q-1)}} \quad (3.12)$$

Sıradan bir Boltzmann faktörü $e^{-\beta E}$ ye, Denklem (3.11)'de görülen χ^2 olasılık dağılımı uygulandığında, β parametresinin, q -üstel formunda geçerli bir Boltzmann faktörü verdiği Denklem (3.12)'nin sağ tarafında görülmektedir. Burada fiziksel olarak, sıcaklık titreşimlerine sahip denge dışı sistemlerin Boltzmann faktörleri açısından daha genel ve geçerli bir ifade ürettiği görülmektedir [4].

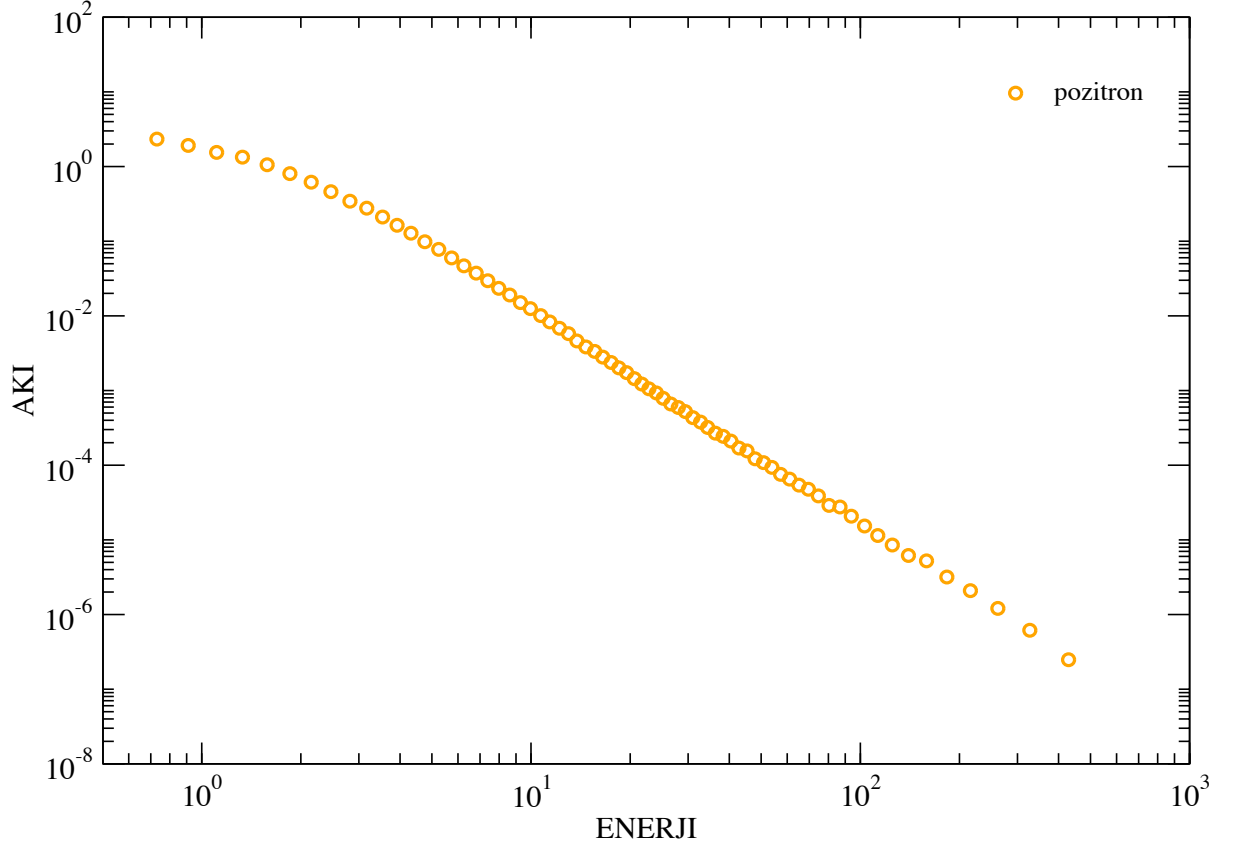
q -istatistiğin temel kavramlarının anlaşılması ve yorumlanmasında önemli iki çalışma olan G. Wilk ve Z. Włodarczyk tarafından 2000 yılında yayınlanan [32] "Interpretation of the nonextensive parameter q in some applications of Tsallis statistics and Levy distributions" ve yine q -istatistiğin dinamik temelleri hakkında C.Beck tarafından 2001 yılında yayınlanan "Dynamical foundations of nonextensive statistical mechanics" başlıklı çalışmalarda $f(\beta)$ fonksiyonu için Denklem (3.11)'de verilen χ^2 olasılık dağılımı vurgulanmıştır. Bu seçimle yapılan dinamik bakış açısıyla hem q -istatistik (Tsallis istatistiği) kavramı anlaşılmış hem de karmaşık sistemlerin sınıflandırılmasında önemli bir teknik olan süperistatistik içinde q -istatistik yerini almıştır. Genelleştirilmiş $f(\beta)$ ise daha sonra "Süperistatistik" [3] başlıklı çalışmada yayınlanmış ve süperistatistik adı da ilk kez bu çalışmada ortaya atılmıştır. Burada süperistatistik aslında birden fazla istatistiğin üst üste binmesi ile oluşan bir yapıyı anlatmak için kullanılan kısaltılmış bir ifadedir [4].

3.4.2 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları

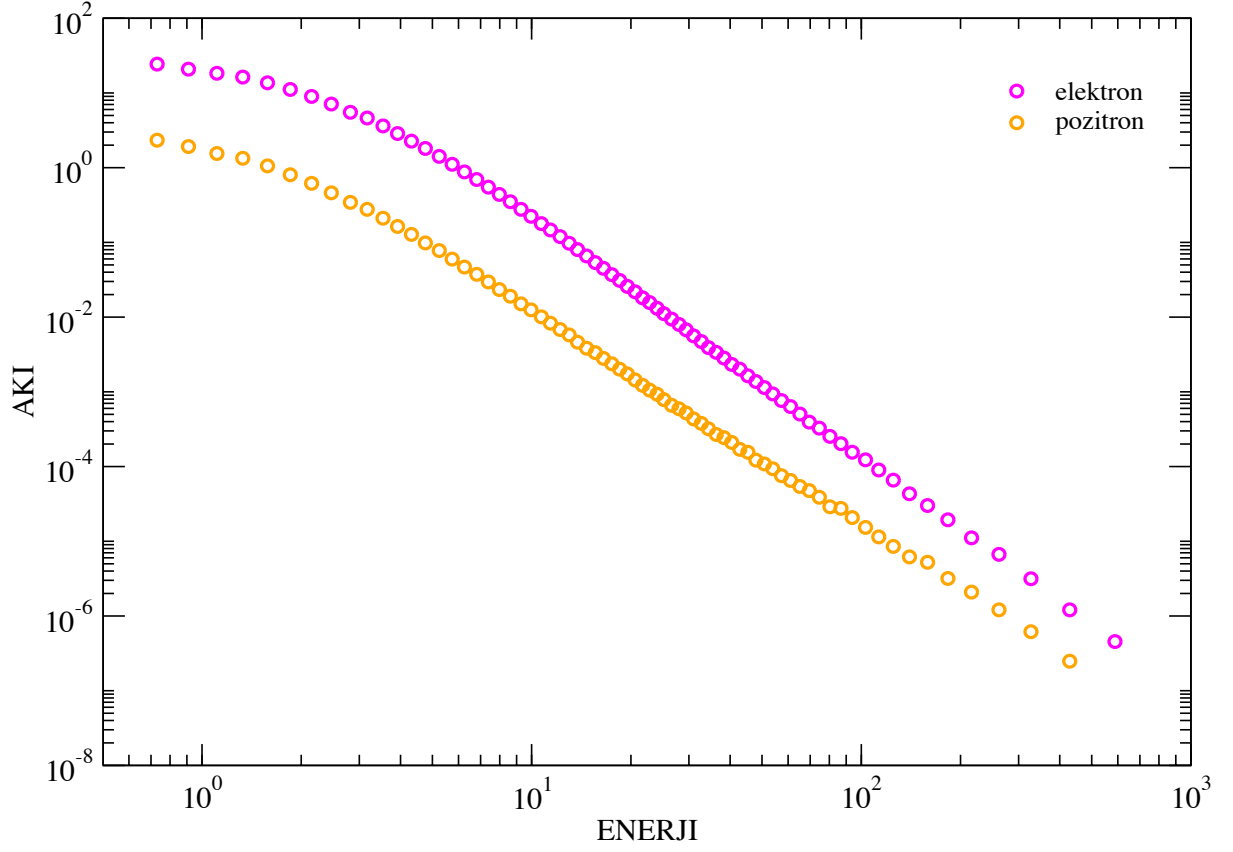
Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı olarak dağılımı Şekil 3.1’de, pozitron akısının [25] enerjiye bağlı olarak dağılımı Şekil 3.2’de, elektron ve pozitron akılarının enerjiye bağlı olarak dağılımlarının karşılaştırılması ise Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımı.



Şekil 3.2: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımı.



Şekil 3.3: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [25] Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki enerjiye bağlı dağılımlarının karşılaştırılması.

3.4.3 Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi

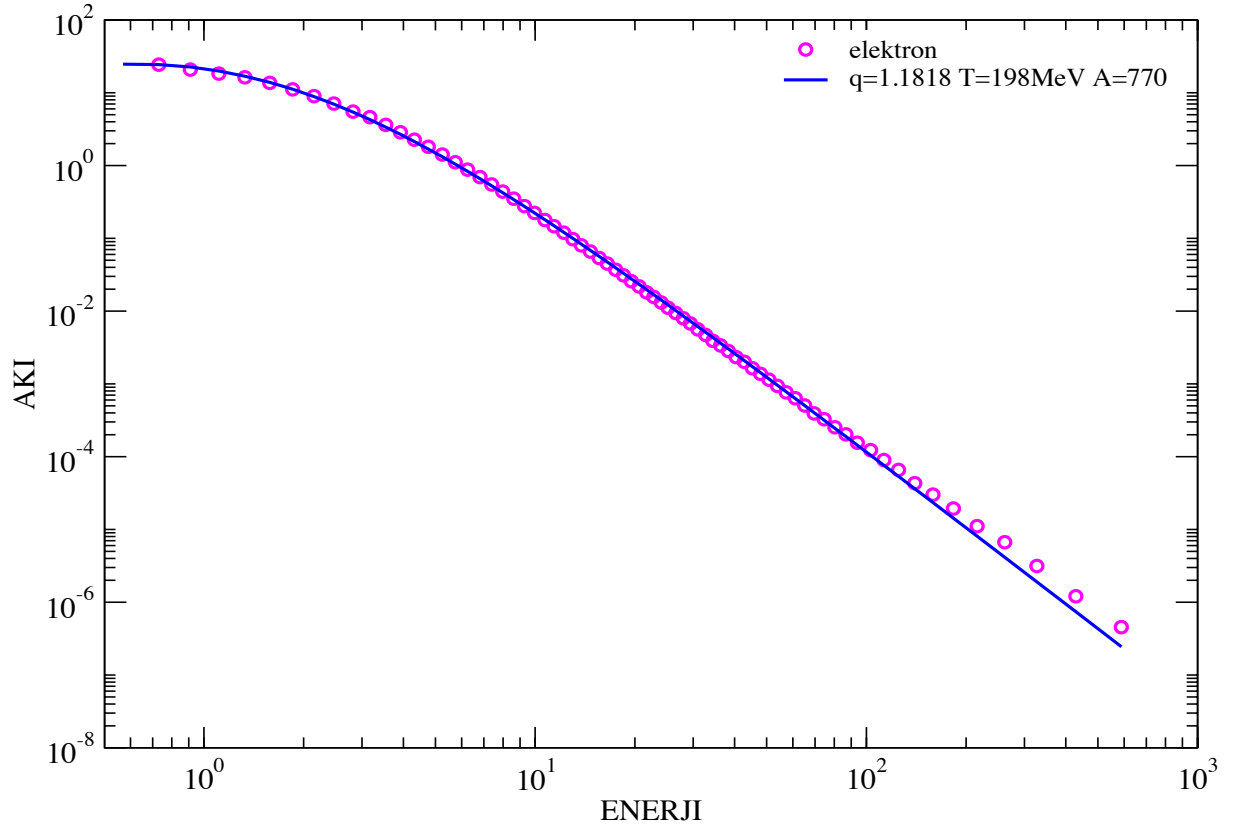
Yüksek enerji fiziğinde genelleştirilmiş istatistik mekanik yaklaşımı ile daha önce başarıyla uygulanan [32-42,50,52]'deki süreçlerden $q = \frac{13}{11} = 1.1818$ ve Hagedorn sıcaklığı olarak [53-55]'den $kT_H=180\text{MeV}$ alınarak, [8]'de $kT = \beta^{-1}$ olarak tanımlanan ortalama sıcaklığın tersi için

$$T_H = \frac{1}{2}(\hat{T} + T) \quad (3.13)$$

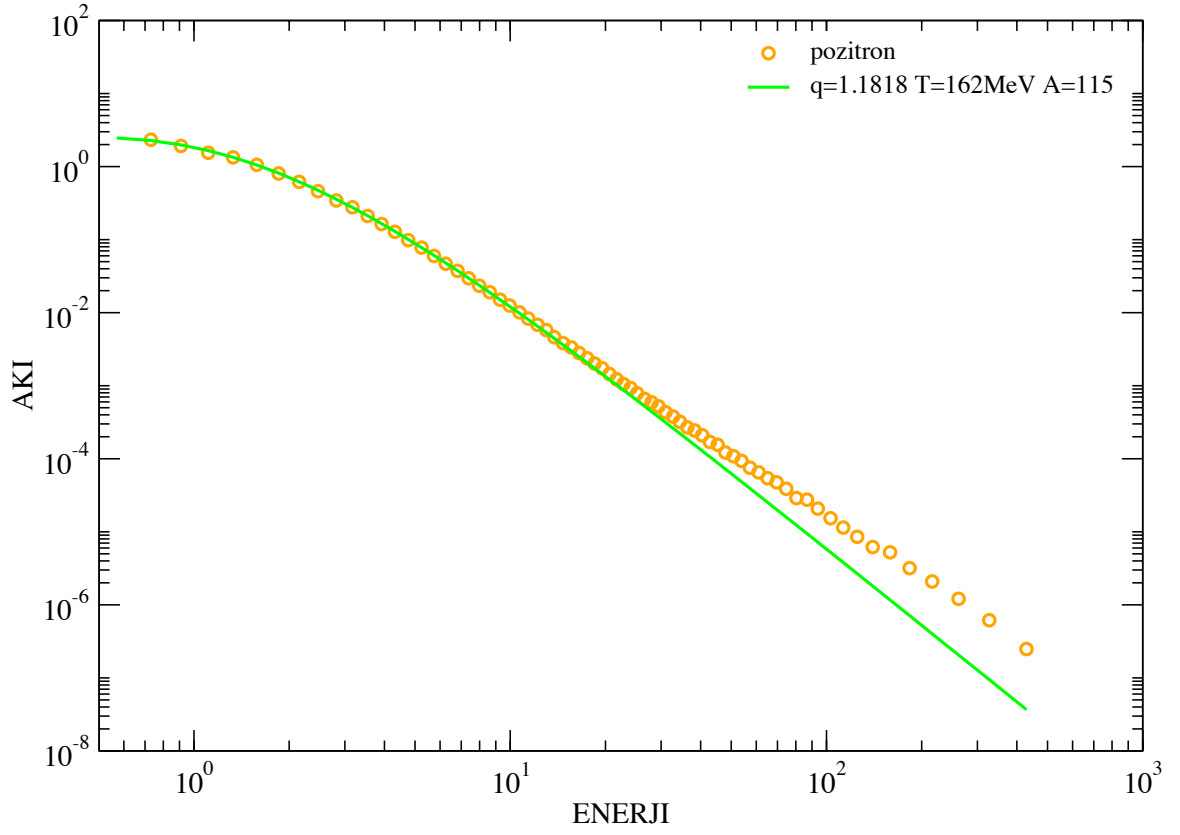
$$T = \frac{9}{10}T_H = T_H - \frac{1}{10}T_H \quad (3.14)$$

$$\hat{T} = \frac{11}{10}T_H = T_H + \frac{1}{10}T_H \quad (3.15)$$

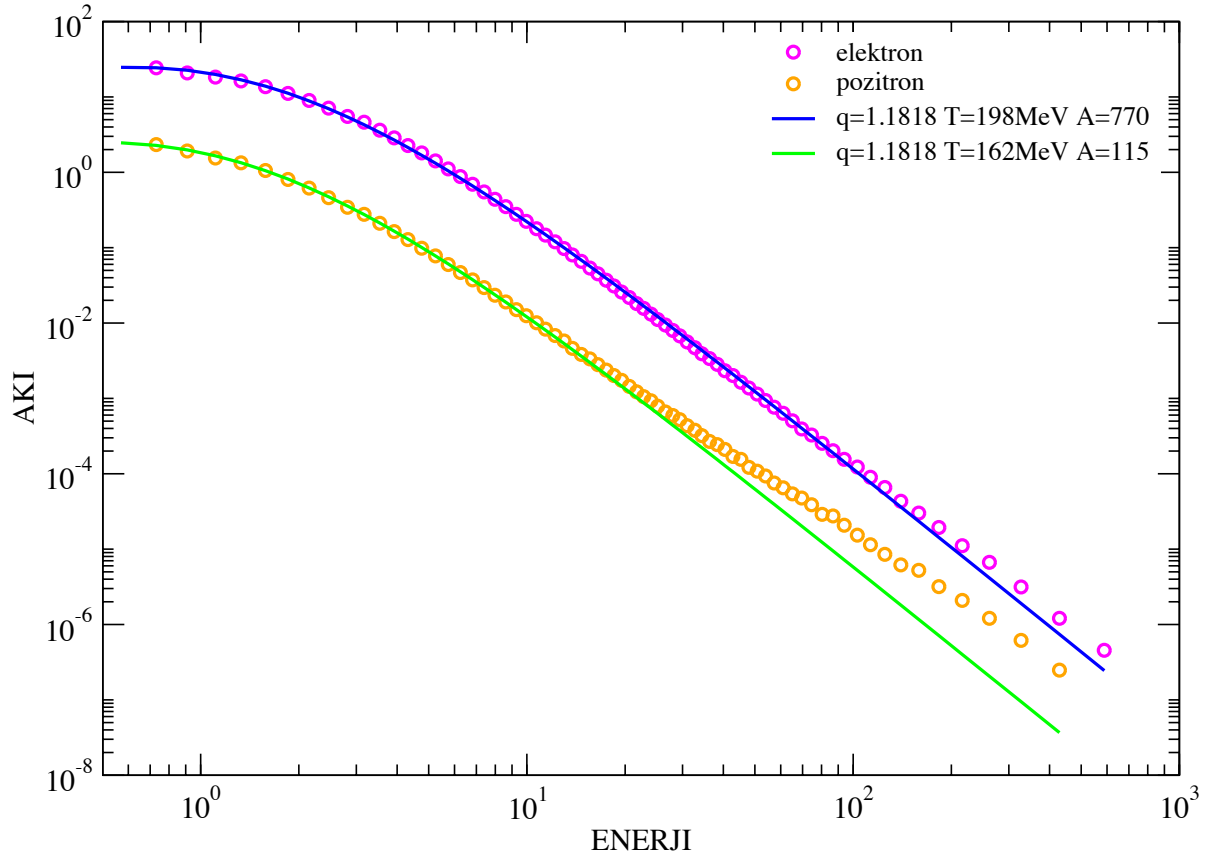
Denklem (3.13), (3.14), (3.15) üzerinden, elektron için $kT_H=198\text{MeV}$ ve pozitron için $kT_H=162\text{MeV}$ olarak alınmıştır. Şekil 3.4'de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen elektron akısının enerjiye bağlı dağılımının $q=1.1818$ ve $T=198\text{MeV}$ değerleri ile, Şekil 3.5'de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlar da kaydedilen pozitron akısının enerjiye bağlı dağılımının $q=1.1818$ ve $T=162\text{MeV}$ değerleri ile fit edildiği görülmektedir. Şekil 3.6'de ise Şekil 3.4'deki elektron akısının ve Şekil 3.5'deki pozitron akısının enerjiye bağlı dağılımları için çizilen fit eğrileri karşılaştırılmaktadır [8].



Şekil 3.4: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının $q=1.1818$ ve $T=198\text{MeV}$ değerlerine fit edilmesi [8].



Şekil 3.5: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının $q=1.1818$ ve $T=162\text{MeV}$ değerine fit edilmesi [8].

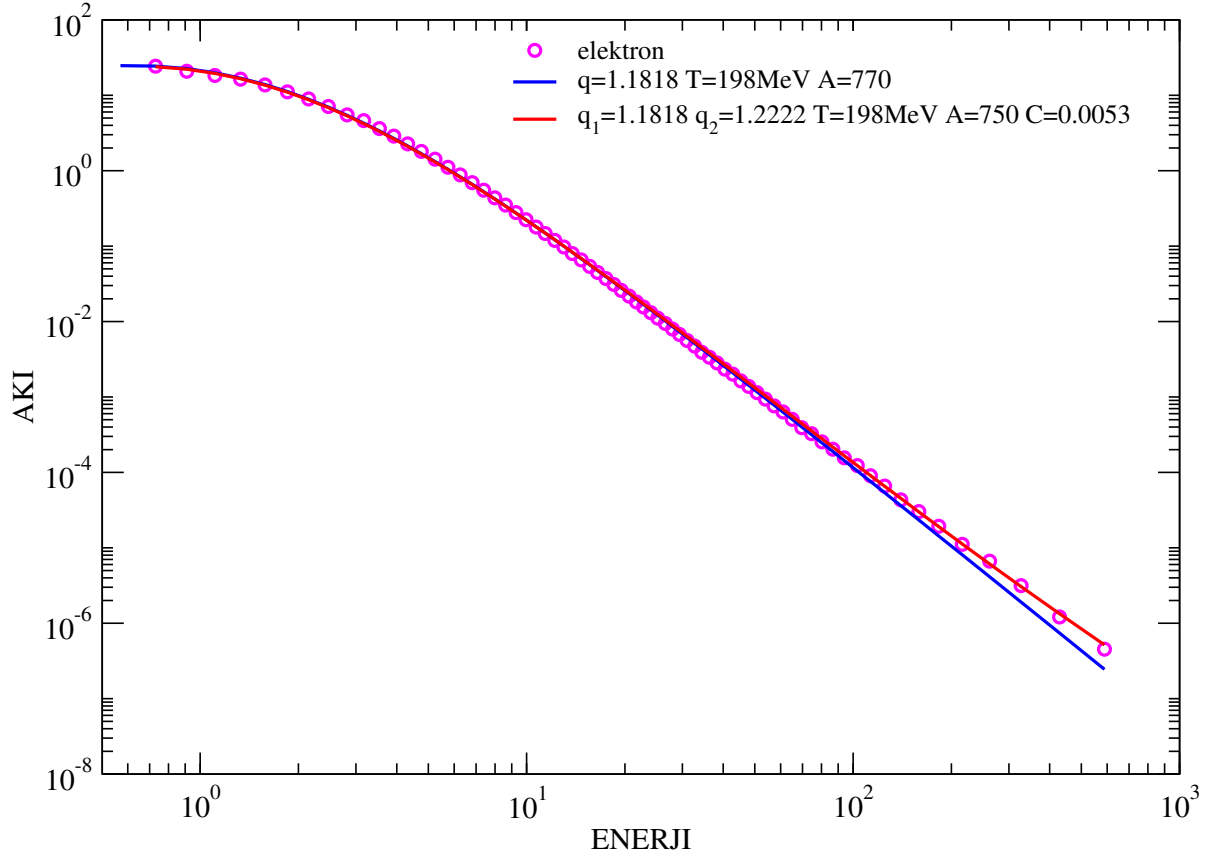


Şekil 3.6: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [25] Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de çizilen fit eğrilerinin karşılaştırılması [8].

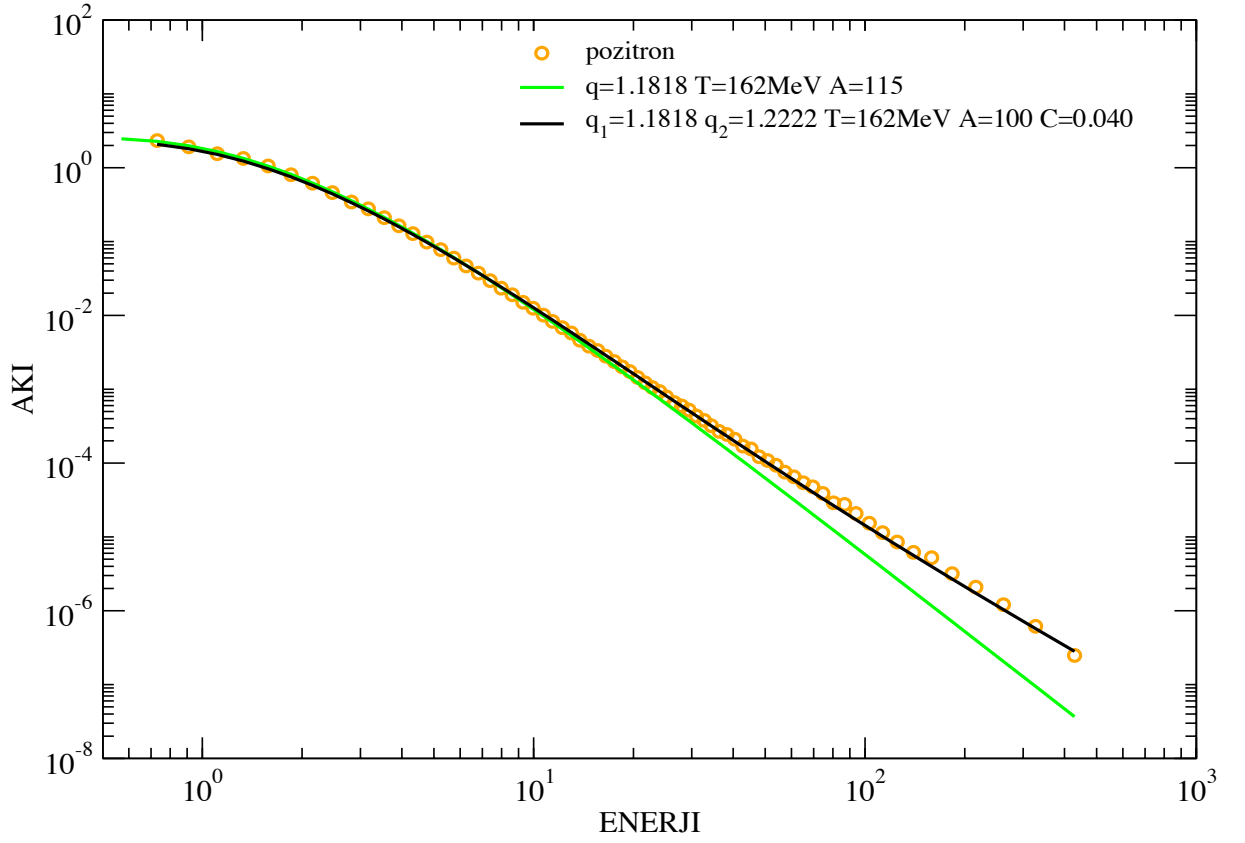
[8]'de tanımlanan bir eskort fonksiyon ile iki fonksiyonun lineer kombinasyonu

$$P_{\pm}(E) = A_{\pm} \left(\frac{E^2}{(1 + (q - 1)\beta_0 E)^{\frac{1}{q-1}}} + C_{\pm} \frac{E^2}{(1 + (\hat{q} - 1)\beta_0 E)^{\frac{1}{\hat{q}-1}}} \right) \quad (3.16)$$

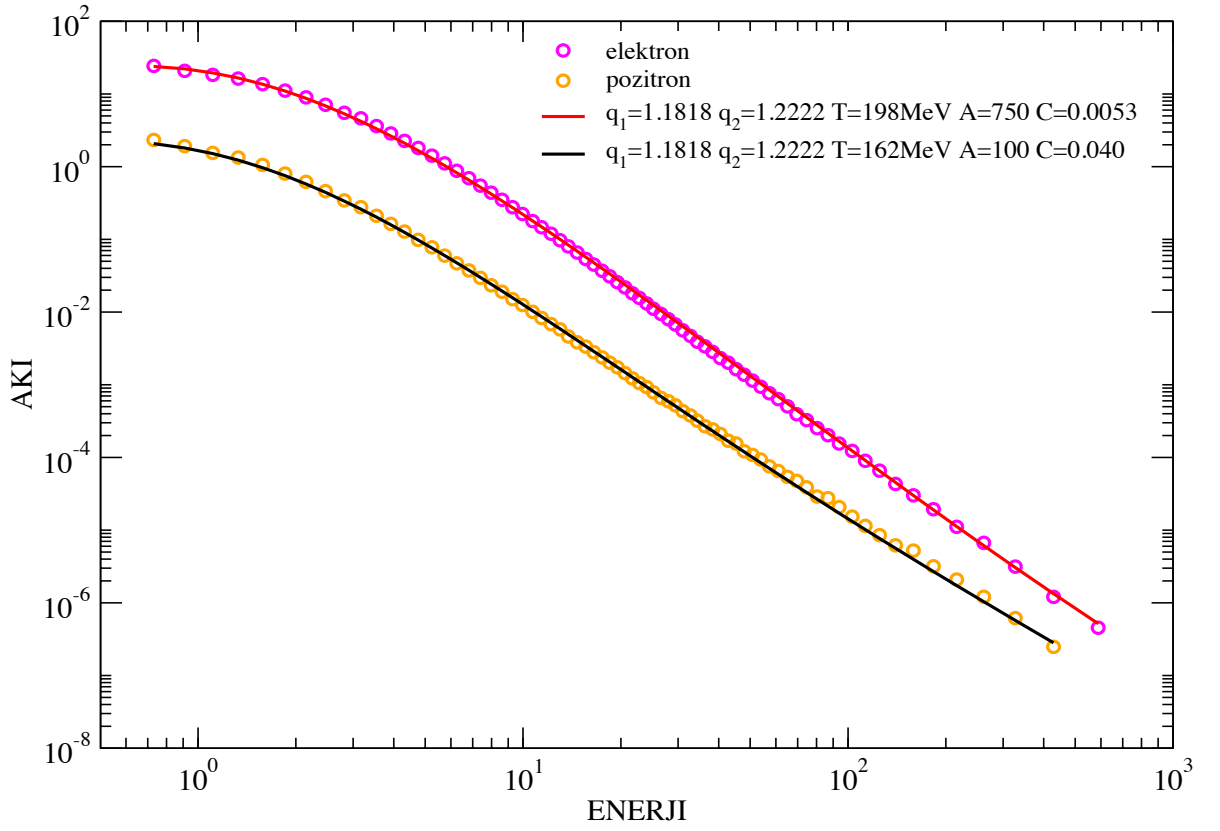
Denklem (3.16) ile verilmiştir ve $q = \frac{13}{11} = 1.1818$ değeri ve ona eşlik eden q değeri $q = \frac{11}{9} = 1.2222$ olarak alınarak genelleştirilmiş istatistik mekaniğin q -dualitesi olarak adlandırılmıştır[8]. Ayrıca [8]'de önerilen q -Hagedorn teori gözönüne alınarak, Şekil 3.7'de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının enerjiye bağlı dağılımının süperistatistiksel analizi, q -dualitenin önerdiği $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$ ve q -Hagedorn teorisinin önerdiği $T=198\text{MeV}$ değerleri ile fit edilerek yapılmıştır. Şekil 3.8'de ise Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının enerjiye bağlı dağılımının süperistatistiksel analizi, q -dualitenin önerdiği $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$ ve q -Hagedorn teorisinin önerdiği $T=162\text{MeV}$ değerleri ile fit edilerek yapılmıştır. Şekil 3.9'da ise Şekil 3.7 ve Şekil. 3.8'de verilen elektron akısının ve pozitron akısının enerjiye bağlı dağılımlarının süperistatistiksel analizleri, q -dualitenin ve q -Hagedorn teorisinin önerdiği değerler kullanılarak çizilen fit eğrileri ile karşılaştırılmıştır [8].



Şekil 3.7: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının süperistatistiksel analizi, q -dualitenin önerdiği $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$ ve q -Hagedorn teorisinin önerdiği $T=198\text{MeV}$ değerleri ile fit edilmesi [8].



Şekil 3.8: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen pozitron akısının [25] enerjiye bağlı dağılımının süperistatistiksel analizi, q-dualitenin önerdiği $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$ ve q-Hagedorn teorisinin önerdiği $T=162\text{MeV}$ değerleri ile fit edilmesi [8].



Şekil 3.9: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının [25] enerjiye bağlı dağılımlarının Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'deki süperistatistik analizlerinde çizilen fit eğrilerinin karşılaştırılması [8].

4. BULGULAR

Karmaşık sistemlerin istatistik fiziği için Boltzmann-Gibbs istatistik mekaniğinin genelleştirilmiş yaklaşımı olarak başarılı sonuçlar veren q-istatistik ve süperistatistik teknikleri önerilmiştir [3,43]. Disiplinler arası bir kavram olan ve çok geniş bir alana yayılan fiziksel sistemler, biyoloji, tıp, ekoloji, kozmoloji, finans, psikoloji, antropoloji veya mühendislikte karşılaştığımız karmaşık sistemler, q-istatistik ve süperistatistik teknikleri ile analiz edilerek anlaşılmaya çalışılmaktadır.

Fizikte en gizemli konuların başında gelen evrenin oluşumunu ve evrendeki yapıların etkileşimlerini anlamak için, uzay için inşa edilen Uluslararası Uzay İstasyonu (International Space Station - ISS), kozmik ışınların çevresel faktörlerden en az etkilenebileceği bir platform imkanı sunmaktadır. Bu platforma yerleştirilen Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi sayesinde hassasiyet ve netlikle ölçülebilen kozmik ışınlar, evrendeki çeşitli enerjilerdeki olayların oluşumu ve/veya ürünü ile olabilecek etkileşimlerinden veya ilişkilerinden dolayı evren ile ilgili çok önemli bilgiler taşımaktadırlar.

Bu yüksek lisans tezinde, kozmik ışınlar belirli bir enerji değeri için çok sayıda ve çeşitli olayların izlerini taşıdığından dolayı, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından ölçülen karmaşık sinyallerin, çeşitli kozmolojik kaynakların ve/veya olayların etkilerini ortaya çıkarabilecek ip uçları verebileceği düşünülen, istatistiğin istatistiği olarak bir süper pozisyon özelliği de taşıyan süperistatistik teknikler kullanılacaktır. Böylece yeni kozmolojik model çalışmalarına da destek olabilecek sonuçlar sunulmuş olacaktır.

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi ölçümlerinde elde edilen akı spektrumlarının süperistatistiksel analizinin ve karşılaştırmalarının incelendiği bu yüksek lisans tezi kapsamında kullanılan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum, elektron ve pozitron akı ölçüm verileri Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi yayınlarından elde edilmiştir [25,29].

Kozmik ışınların ölçüm verilerinin süperistatistik analizinde, bu verilerin süperistatistik dağılımları çizilerek sinyallerin titreşimlerinin karakteristiği analiz edilecektir. Ölçüm verilerinin süperistatistik dağılımları çizildiğinde, öncelikle bilinen ve en çok karşılaşılan üç

evrensel süperistatistik dağılım sınıfından biri olan χ^2 süperistatistik dağılımı ile uyumlu olup olmadığı karşılaştırılacaktır.

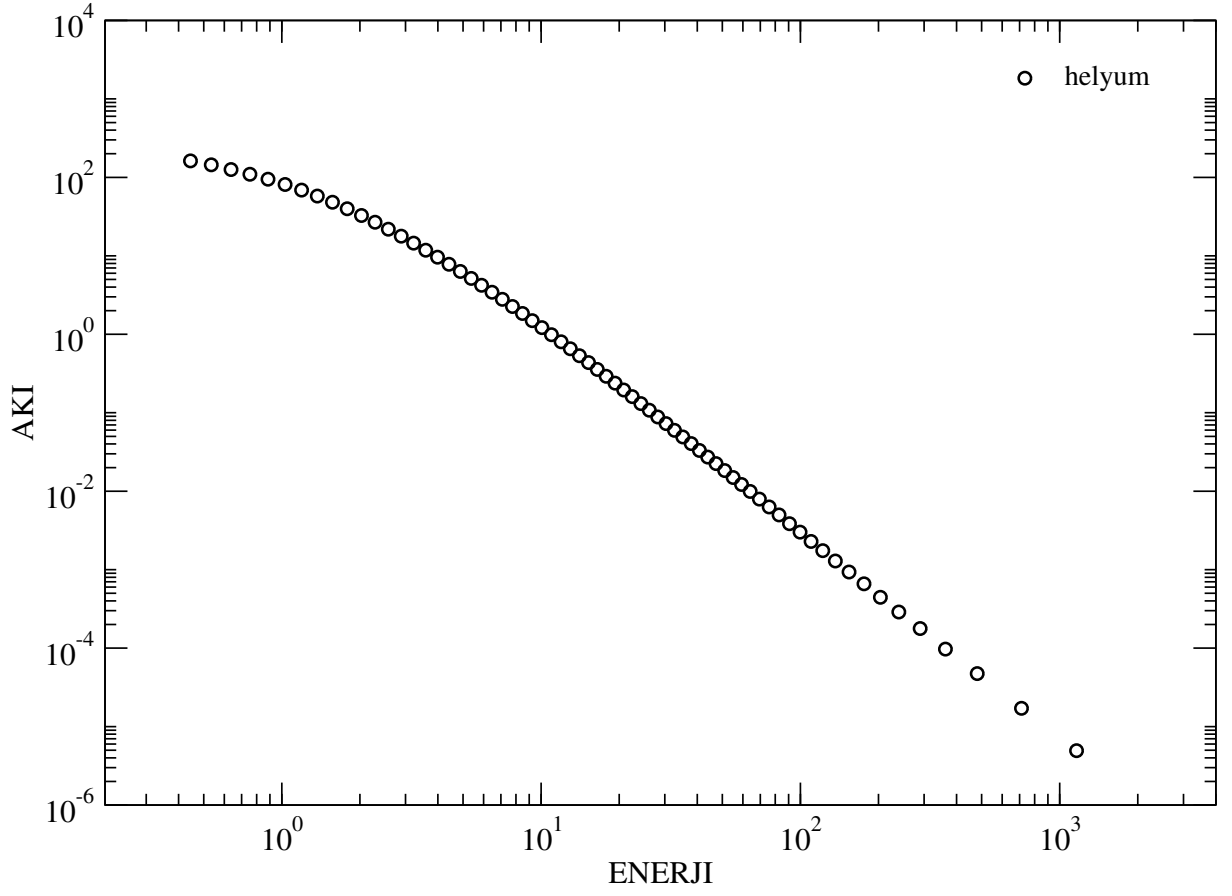
Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının enerjiye bağlı olarak dağılımı ve süperistatistik analizi ile karşılaştırmasını yapacağımız, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen elektron ve pozitron akılarının enerjiye bağlı olarak dağılımlarının ve süperistatistik analizlerinin detayları yakın zamanda Yalçın ve Beck tarafından yapılan çalışma [8]'de yayınlanmıştır. Söz konusu çalışma “Malzeme ve Yöntem 3.4.2 AMS-02 Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları” bölümünde ve “3.4.3 AMS-02 Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi” bölümünde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

4.1 ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISI

Evrende kaynağı henüz belirlenemeyen kozmik ışınların gizemini çözebilmek için, uzay için inşa edilen en büyük, en karmaşık mühendislik projesi olma özelliğini taşıyan Uluslararası Uzay İstasyonuna (ISS) yerleştirilmiş olan Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi, çeşitli enerji ve zaman aralıklarında, kozmik ışınlardaki atom ve atom altı parçacıkların konsantrasyonunu, bu parçacıkların akısını enerjiye bağlı olarak çok hassas bir şekilde kaydetmektedir [23,30]. Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinin Uluslararası Uzay İstasyonuna (ISS-the International Space Station) konuşlanması ile kozmik ışınların hassas ve net bir şekilde ölçülebilmesi için atmosferde herhangi bir etkileşime girmesine neden olabilecek çevresel faktörlerin en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

19 Mayıs 2011 tarihinden itibaren Uluslararası Uzay İstasyonu'na (ISS) konuşlanan, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi aracılığıyla yapılan ölçümler, AMS-02 araştırmacıları tarafından analiz edilmektedir. Bu ölçümler arasında elektron, pozitron, proton, anti-proton, helyum, nitrojen, lityum, berilyum, boron, karbon, oksijen, neon, magnezyum ve silikon gibi atomik yapıları sayabiliriz [23-30].

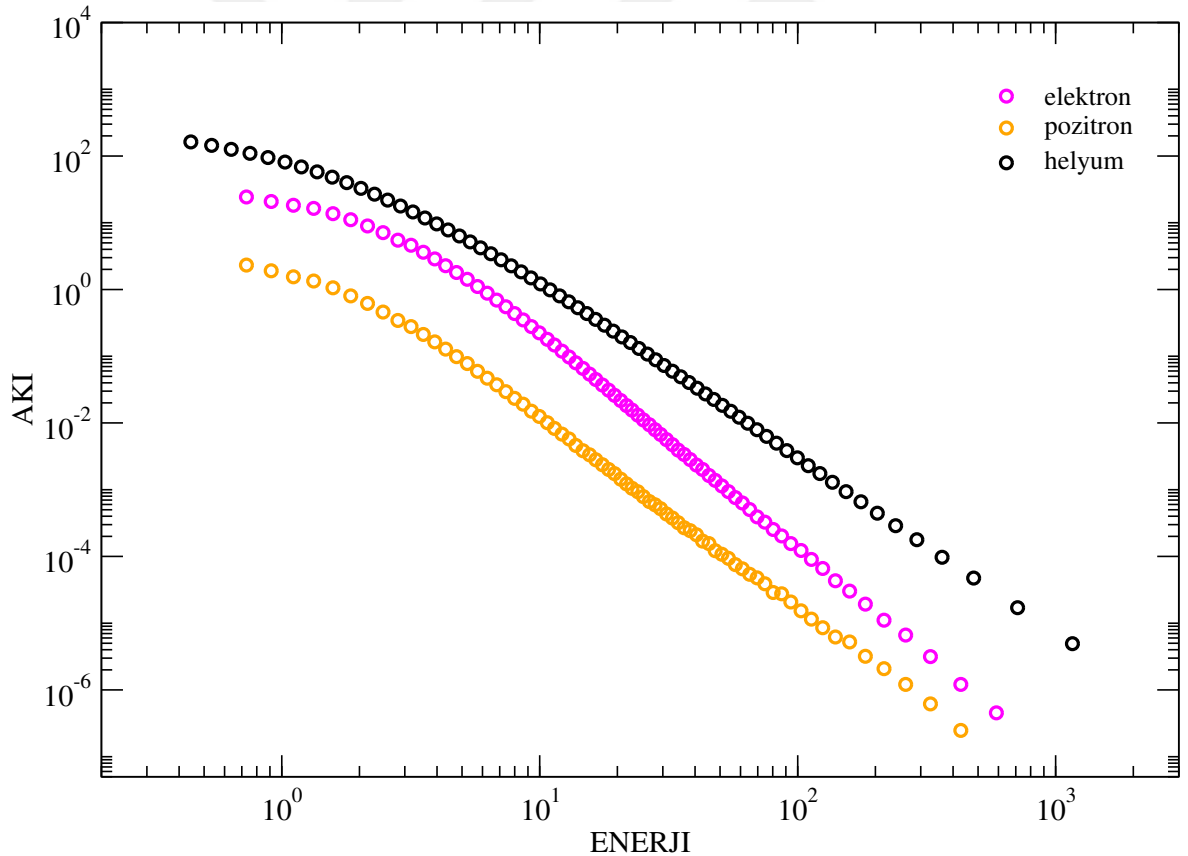
Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımı Şekil 4.1'de çizilmiştir.



Şekil 4.1: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımı.

4.2 ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISININ, e^- VE e^+ AKILARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 4.1’de çizilen Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının enerjiye bağlı olarak dağılımı ile, “Malzeme ve Yöntemler 3.4.2 AMS-02 Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları” bölümünde verilen Şekil 3.1’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen elektron akısının enerjiye bağlı olarak dağılımını ve Şekil 3.2’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen pozitron akısının enerjiye bağlı olarak dağılımının karşılaştırılması Şekil 4.2’de çizilmiştir.



Şekil 4.2: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] Şekil 4.1’deki enerjiye bağlı dağılımı ile elektron ve pozitron akılarının [25] Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’deki enerjiye bağlı dağılımlarının karşılaştırılması.

4.3 ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE (AMS-02) DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISININ SÜPERİSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Şekil 4.1’de enerjiye bağlı olarak dağılımı çizilen Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının fit parametreleri belirlenerek, süperistatistik dağılımı Şekil 4.3’de çizilmiştir.

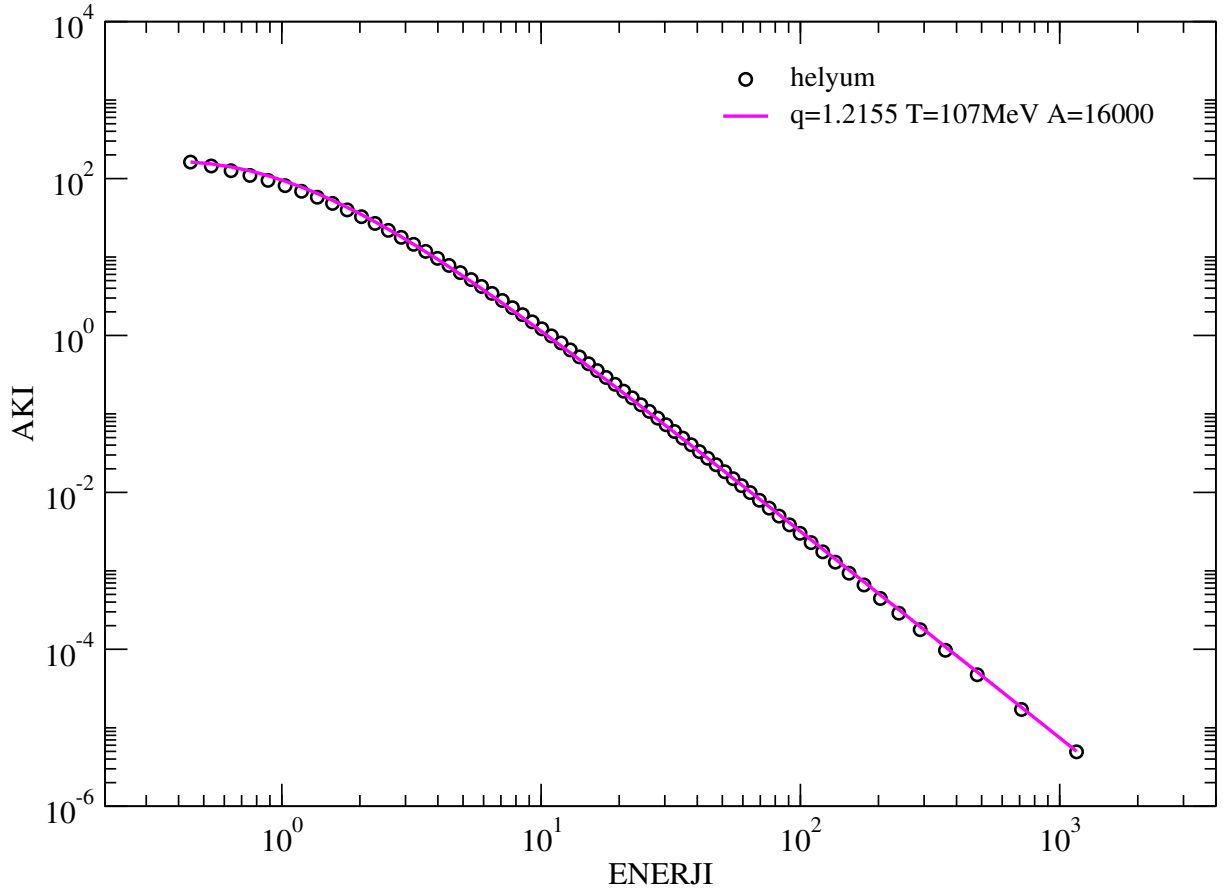
χ^2 süperistatistik dağılımından kısaca hatırlayacak olursak, denge dışı durumlarda sıradan Boltzmann faktörü

$$e^{-\beta E}, \quad (4.1)$$

$$(1 + (q - 1)\beta_0 E)^{1/(q-1)} \quad (4.2)$$

şeklinde kuvvet yasası (power law) ile uyumlu dağılmaktadır. Burada β^{-1} sıcaklığın tersi olmak üzere, bir $f(\beta)$ dağılımı vardır [4].

Şekil 4.3’de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısı bir kuvvet yasası (power law) dağılımı gösterdiğinden dolayı en iyi fit eğrisi için $q=1.2155$, $T=107\text{MeV}$ ve $A=16000$ değerleri tespit edilmiştir.



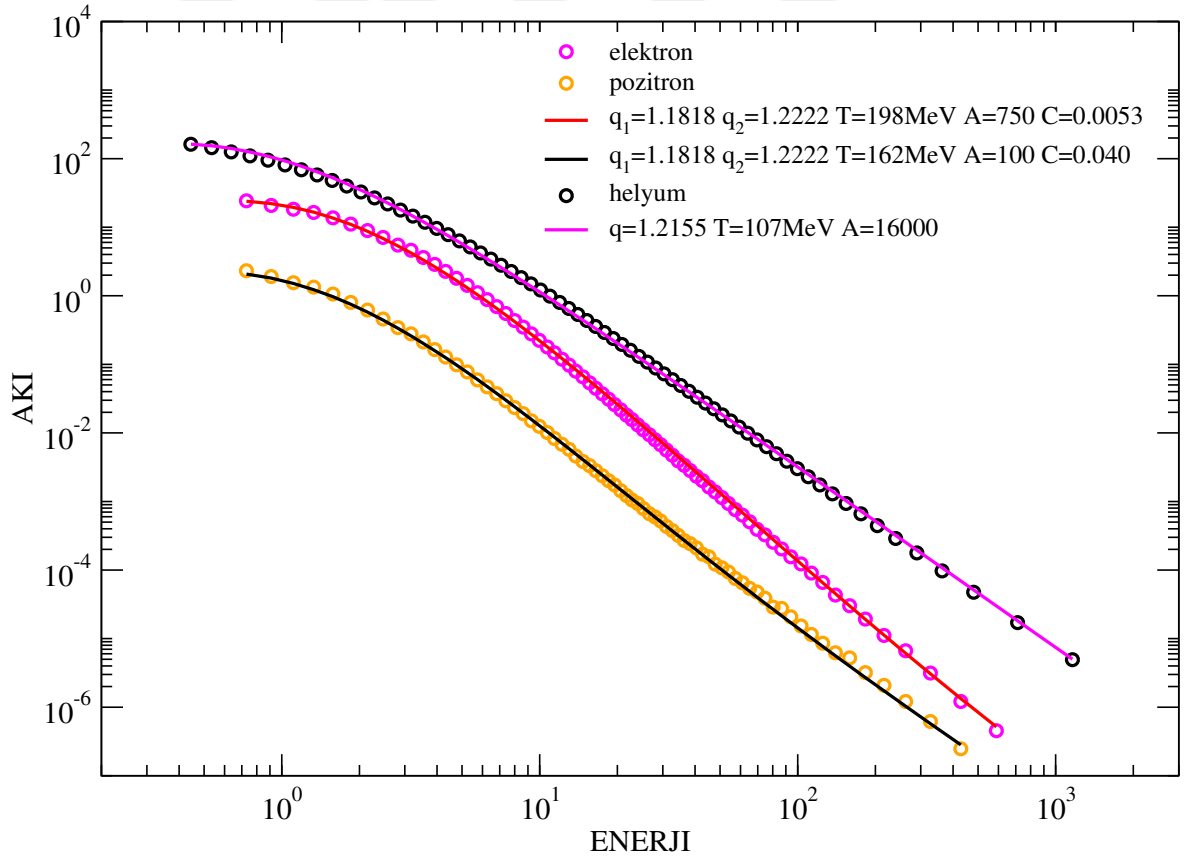
Şekil 4.3: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımının süperistik analiz, $q=1.2155$, $T=107\text{MeV}$ ve $A=16000$ değeri ile fit edilmesi.

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının süperistatistik analizinde, bu ölçüm sinyallerinin titreşimlerinin karakteristiğini analiz etmek için süperistatistik dağılımları Şekil 4.3’de çizilerek $q=1.2155$ ve $T=107\text{MeV}$ değerleri için fit edilmiştir. Şekil 4.3’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının süperistatistik dağılımının en çok karşılaşılan üç evrensel süperistatistik dağılım sınıfından biri olan χ^2 süperistatistik dağılımı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

χ^2 süperistatistik dağılımı, “Malzeme ve Yöntemler 3.4. Süperistatistik” bölümünde süperistatistik kavramı, teknikleri ve üç ana evrensel süperistatistik sınıfları teorik olarak detaylı bir şekilde açıklanırken anlatılmış, ayrıca “Malzeme ve Yöntemler 3.4.1 Süperistatistik Uygulama Örneği” bölümünde süperistatistik analizde üç ana evrensel süperistatistik sınıfından biri olan χ^2 süperistatistik dağılımının teorik çıkarımı verilmiştir. Bu noktada süperistatistik ile Tsallis istatistiği (q -İstatistik) arasındaki ilişki örneklenerek açıklanmıştır. Tsallis istatistiği (q -İstatistik)’in kavramsal ve matematiksel açıklaması “Malzeme ve Yöntemler 3.3 Tsallis İstatistiği (q -İstatistik)” bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

4.4 ALFA MANYETİK SPEKTROMETRE AMS-02 DENEYİ TARAFINDAN KOZMİK IŞINLARDA KAYDEDİLEN HELYUM AKISININ SÜPERİSTATİSTİKSEL ANALİZİ İLE e^- , e^+ AKILARININ SÜPERİSTATİSTİKSEL ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 4.3’de fit parametreleri tespit edilen ve Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının çizilen süperistatistik dağılımı ile, “Malzeme ve Yöntemler 3.4.3 AMS-02 Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi” bölümünde verilen Şekil 3.7’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen elektron akısının süperistatistik dağılımı fit eğrisi ve Şekil 3.8’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen pozitron akısının süperistatistik dağılımı fit eğrisi ile karşılaştırılması Şekil 4.4’de çizilmiştir.



Şekil 4.4: Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının [29] enerjiye bağlı dağılımının Şekil 4.3’deki süperistatistik analizi ile elektron ve pozitron akılarının [25] enerjiye bağlı dağılımlarının Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’deki süperistatistik analizlerinin [8] karşılaştırılması.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son yıllarda fizikçiler ve astrofizikçiler büyük bir heyecanla karanlık madde, anti-madde, evrenin oluşumu ve evrenin yapısı hakkındaki gizemini koruyan soruların cevaplarını aramaktadır. Bunun için yapılan gözlem deneylerinde en hassas ve net şekilde kozmik ışınlardaki atom ve atom altı parçacıkların ölçümlerinin kaydedilebilmesine çalışılmaktadır. Bu ölçümlerin yapılması sırasında ölçülen atomların ve atom altı parçacıkların en saf hallerinin yeryüzündeki çevresel faktörlerden arındırılması amaçlanmaktadır. İşte bu amaçların sağlanması için Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS-the International Space Station) üzerine yerleştirilen Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi aracılığıyla elde edilen kozmik ışınlar 19 Mayıs 2011 tarihinden itibaren kayıt edilmektedir.

Çok yakın bir zamanda yapılan bir çalışmada, karmaşık sistemlerin sınıflandırılması ve anlaşılması için güçlü bir teknik olan süperistatistiğin [3], AMS-02’de aynı bir enerjide gerçekleşen çoklu kozmik olayların süperpozisyonunu analiz ederek çeşitli kozmolojik kaynakların etkilerinin ve izlerinin de anlaşılmasına yardımcı olacak bir yöntem olduğu da gösterilerek, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinden elde edilen kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akılarının süperistatistik analizleri [8]’de yapılmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmamızda, her enerji değerinde çeşitli kozmolojik kaynakların etkilerini taşıyan kozmik ışınların, Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi aracılığıyla kaydedilen karmaşık sinyallerini analiz edebilmek için istatistiğin istatistiği olarak adlandırılan süperistatistik ile karmaşık sistemlerin incelenmesine imkan veren genelleştirilmiş istatistik mekanik yaklaşımı kullanılmıştır.

Tez çalışmamızda, süperistatistik [3] analiz yöntemi kullanılarak Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinden elde edilen kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının enerjiye bağlı olarak dağılımı çizilmiş ve süperistatistiksel analizi yapılmıştır. Ayrıca Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinden elde edilen kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının yapılan bu süperistatistik analizi ile, [8]’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyinden elde edilen kozmik ışınlarda kaydedilen e^- ve e^+ akılarının süperistatistik analizleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.1’de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının dağılımı enerjiye bağlı olarak çizilmiştir ve Şekil 4.2’de ise

“Malzeme ve Yöntemler 3.4.2 AMS-02 Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akıları” bölümünde verilen Şekil 3.1’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen elektron akısının enerjiye bağlı olan dağılımı ve Şekil 3.2’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen pozitron akısının enerjiye bağlı olan dağılımı ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından yapılan kozmik ışın ölçümlerinde helyum akısının hem elektron hem de pozitron akısından daha düşük enerjilerde ölçülürken, hem elektron hem pozitron akısının da helyum akısından daha yüksek enerjilerde ölçüldüğü görülmüştür.

Şekil 4.3’de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının enerjiye bağlı dağılımı, bir kuvvet yasası (power law) dağılımı ile uyumlu olduğundan, süperistatistiksel analiz için χ^2 dağılımı ile fit eğrisi parametre değerleri $q=1.2155$ ve $T=107\text{MeV}$ olarak tespit edilerek, süperistatistik dağılımı çizilip analiz edilmiştir. Buradaki fit eğrisi ile helyum akısı hem düşük enerjilerde hem de yüksek enerjilerde iyi bir şekilde uyum göstermektedir.

Yakın zamanda Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen kozmik ışınlardaki atom ve atom altı parçacıkların akısının süperistatistik analizi yapılan bir çalışmada [56]’da helyum akısı için yapılan analizde akı enerjinin 2.7 kuvveti ile çarpılarak alınmış ve fit eğrisi için değerler $q=1.2132$, $T=139\text{MeV}$ ve $A=5549$ olarak tespit edilerek bu değerlere göre süperistatistik dağılımı fit edilmiştir. [56]’daki bu analizde fit eğrisinin veri ile düşük enerjilerde yüksek enerjilere göre daha uyumlu iken, yüksek enerjilerde ise ancak çizilen hata çubuklarının içinde kalacak şekilde örtüştüğü görülmüştür. Bu tezde yapılan analiz çalışmasında ise [56]’dan farklı olarak, helyum akısının süperistatistiksel analizinin fit eğrisinin parametreleri karşılaştırıldığında da, tez çalışmamızdaki $q=1.2155$ $T=107\text{MeV}$ ve $A=16000$ parametreleri ile fit eğrisinin hem düşük hem de yüksek enerjilerdeki akı dağılımları ile çok uyumlu bir şekilde ifade edileceği görülmüştür.

“Malzeme ve Yöntemler 3.4.3 AMS-02 Deneyi Tarafından Kozmik Işınlarda Kaydedilen e^- ve e^+ Akılarının Süperistatistiksel Analizi” bölümünde Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen elektron ve pozitron akıları süperistatistik dağılımı Şekil 3.4’de ve Şekil 3.5’de gösterildiği gibi sadece $q_1=1.1818$ değeri ile fit edilirken fit eğrisi sadece düşük enerjilerde uyumlu olduğu görülmektedir. Bu nedenle [8]’de önerilen q -dualite ile $q_1=1.1818$ ve ona eşlik eden $q_2=1.2222$ ve q -Hagedorn teori ile elektron akıları için

$T=198\text{MeV}$ ve pozitron akıları $T=162\text{MeV}$ değerleri teorik olarak önerilen fit parametreleri olarak kullanıldıklarında, elektron ve pozitron akılarının enerjiye bağlı olarak değişimlerini çok uyumlu bir şekilde ifade ettikleri, ayrıca q -dualite ve q -Hagedorn teorisiyle önerilen teorik parametre değerleri kullanılarak üretilen fit eğrilerinin hem düşük enerjilerde hem de yüksek enerjilerde uyumlu olduğu görülmüştür.

Helyum akısının süperistatistik analizi ile, elektron ve pozitron akılarının süperistatistik analizlerini karşılaştırmak için, Şekil 4.3’de Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kozmik ışınlarda kaydedilen helyum akısının $q=1.2155$ ve $T=107\text{MeV}$ süperistatistik dağılımının fit eğrisi ile , Şekil 3.7’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen elektron akısının $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$, $T=198\text{MeV}$ süperistatistik dağılımı fit eğrisi [8] ve Şekil 3.8’deki Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen pozitron akısının $q_1=1.1818$, $q_2=1.2222$, $T=162\text{MeV}$ süperistatistik dağılımı fit eğrisi [8] karşılaştırmalı olarak Şekil 4.4’de çizilmiştir.

Alfa Manyetik Spektrometre (AMS-02) deneyi tarafından kaydedilen helyum akısının süperistatistik dağılımı, elektron ve pozitron akılarının süperistatistik dağılımından farklı olarak, tek bir q değeri ile, ve χ^2 süperistatistiksel dağılım sınıfı ile çok iyi bir şekilde fit edilebildiği ve çizilen bu fit eğrisinin hem düşük enerjilerde hem de yüksek enerjilerde çok iyi bir şekilde uyum sağlamakta olduğu gösterilmiştir.

Son söz olarak şunu ekleyebiliriz; karmaşık sistemlerin anlaşılması için geliştirilmiş olan genelleştirilmiş istatistik mekanikte süperistatistik yaklaşımının getirdiği teknikleri kullandığımız bu tezin, evren ile ilgili önemli bilgiler taşıyan, karmaşık kozmolojik sinyallerin daha iyi anlaşılmasına ve evren hakkında gizemini koruyan sorulara cevap verilebilmesinde yeni bilgi edinme yollarının açılmasına katkıda bulunacağına inanıyoruz.

KAYNAKLAR

- [1].Gell-Mann, M., 1995, *The quark and the jaguar: Adventures in the simple and the complex*, Henry Holt and Company, New York, ISBN:0805072532.
- [2].Thurner, S., Hanel, R., Klimek P., 2018, *Introduction to the theory of complex systems*, Oxford University Press, Oxford, ISBN: 019882193X.
- [3].Beck, C., Cohen, E.G.D., 2003, Superstatistics, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 322, 267-275.
- [4].Beck, C., 2003, Generalized statistical mechanics for superstatistical systems, *Philosophical Transaction of the Royal Society A*, 2011, 369, 453-465.
- [5].Yalcin, GC., Beck, C., 2012, Currents in complex polymers: an example of superstatistics for short time series, *Physics Letters A*, 376, 2344-2347.
- [6].Yalcin, GC., Beck, C., 2013, Environmental superstatistics, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392, 5431-5452.
- [7].Yalcin, GC., Rabassa, P., Beck, C., 2016, Extreme event statistics of daily rainfall: dynamical systems approach, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 49,154001.
- [8].Yalcin, G.C., Beck, C., 2018, Generalized statistical mechanics of cosmic rays: Application to positron-electron spectral indices, *Nature - Scientific Reports*, 8, 1-10.
- [9].Williams, GN., Schaefer, B., Beck, C., 2020, Superstatistical approach to air pollution statistics, *Physical Review Research*, 2, 013019.
- [10].Itto, Y., Beck, C., 2021, Superstatistical modelling of protein diffusion dynamics in bacteria, *Journal of The Royal Society Interface*, 18, 176.
- [11].The Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, <https://ams02.space/>, [Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2021].
- [12].Kozmik ışın, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kozmik_ışın [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2020].
- [13].Simpson, J A., 1983, Elemental and isotopic composition of the galactic cosmic rays, *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 33, 323-381.
- [14].Gaisser, TK., 1990, *Cosmic rays and particle physics*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0521339316.
- [15].Longair, S., 1992, *High energy astrophysics: volume 1, particles, photons and their detection, 2nd edition*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0521387736.
- [16].Jokipii, JR., McDonald, FB., 1994, Quest for the limits of the heliosphere, *Scientific American*, 272, 58-63.

- [17].Mewaldt, R.A., 1996, *Cosmic rays*, Macmillan Encyclopedia of Physics, Simon & Schuster Macmillan , New York, ISBN: 9780028973593.
- [18].Cosmic rays, National Aeronautics and Space Administration (NASA) Goddard Flight Space Center, https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/cosmic_rays1.html, [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2020].
- [19].Ahlen, S., Balebanov, V.M., Battiston, R., et al., 1994, An antimatter spectrometer in space, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 350, (1-2), 351-367.
- [20].The AMS-02 experiment, <https://ams.nasa.gov/>, [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2020].
- [21].Alcaraz, J., Alpat, B., et al., 2000, Leptons in near earth orbit, *Physics Letter B*, 482, 10-22.
- [22].Aguliar, M., Alcaraz, J., Allaby, J., et al., 2007, Cosmic-ray positron fraction measurement from 1 to 30 GeV with AMS-01, *Physics Letters B*, 646, 4, 145-154.
- [23].Ting, S., 2013, The Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, *Nuclear Physics B – Proceedings Supplements*, 243-244, 12-24.
- [24].Aguilar, M., et al., 2013, First result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision measurement of the positron fraction in primary cosmic rays of 0.5-350 GeV, *Physical Review Letters*, 110, 141102.
- [25].Aguilar, M., et al., 2014, Electron and positron fluxes in primary cosmic rays measured with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, *Physical Review Letters*, 113, 121102.
- [26].Aguilar, M., et al., 2015, Precision measurement of the (e^+e^-) flux in primary cosmic rays from 0.5 GeV to 1 TeV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, *Physical Review Letters*, 113, 221102.
- [27].Aguilar, M., et al., 2015, Precision measurement of the proton flux in primary cosmic rays from rigidity 1 GV to 1.8 TV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, *Physical Review Letters*, 114, 171103.
- [28].Aguilar, M., et al., 2016, Antiproton flux, antiproton-to-proton flux ratio, and properties of elementary particle fluxes in primary cosmic rays measured with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, *Physical Review Letters*, 117, 091103.
- [29].Aguilar, M., et al., 2017, Observation of the identical rigidity dependence of He, C, and O cosmic rays at high rigidities by the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station, *Physical Review Letters*, 119, 251101.
- [30].Aguilar, M., Cavasonza, L.A., et al., 2021, The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) on the International Space Station: Part II – Results from the first seven years, *Physics Reports*, 894, 1-116.

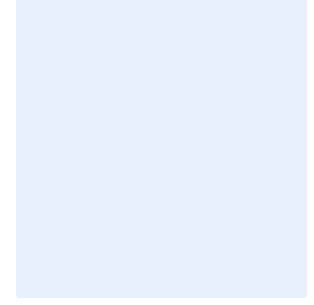
- [31].Domenico, MD., Brockmann, D., Camargo, C., Gershenson, C., Goldsmith, D., Jeschonnek, S., Kay, L., Nichele, S., Nicolás, JR., Schmickl, T., Stella, M., Brandoff, J.,Martínez Salinas AJ, Sayama, H., 2019, Complexity explained, DOI 10.17605/OSF.IO/TQGNW.
- [32].Wilk, G., Wlodarczyk, Z., 2000, Interpretation of the nonextensivity parameter q in some applications of Tsallis statistics and Levy distributions, *Physical Review Letters*, 84, 13, 2770-2773.
- [33].Beck, C., 2000, Non-extensive statistical mechanics and particle spectra in elementary interactions, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 286, 164-180.
- [34].Bediaga, I., Curado, E.M.F., de Miranda, J.M., 2000, A nonextensive thermodynamical equilibrium approach in e^+e^- to hadrons, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 286, 156-163.
- [35].Beck, C., 2001, Dynamical foundations of nonextensive statistical mechanics, *Physical Review Letters*, 87, 18 , 180601-180605.
- [36].Tsallis, C., Anjos, J.C., Borges, E.P., 2003, Fluxes of cosmic rays: a delicately balanced stationary state, *Physical Letters A*, 310, 372-376.
- [37].Beck, C., 2004, Generalized statistical mechanics of cosmic rays, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 331, 173-181.
- [38].Biro, T.S., Purcsel, G., Urmosy, K., 2009, Non-extensive approach to quark matter, *The European Physical Journal A*, 40, 325-340.
- [39].Wong, C-Y., Wilk, G., 2013, Tsallis fits to pT spectra and multiple hard scattering in pp collisions at the LHC. *Physical Review D*, 87, 114007.
- [40].Marques, L., Cleymans, J., Deppman, A., 2015, Description of high-energy pp collisions using Tsallis thermodynamics: Transverse momentum and rapidity distributions, *Physical Review D*, 91, 054025.
- [41].Wong, C-Y., Wilk, G., Cirto, LJL., Tsallis, C., 2015, From QCD-based hard-scattering to nonextensive statistical mechanical descriptions of transverse momentum spectra in high-energy pp and pbar collisions, *Physical Review D*, 91, 114027.
- [42].Tsallis, C., 2017, Generalization of the possible algebraic basis of q -triplets, *The European Physical Journal Special Topics*, 226, 455-466.
- [43].Tsallis, C., 1988, Possible generalization of Boltzman- Gibbs statistics, *Journal of Statistical Physics*, 52, 479-487.
- [44].Hanel, R., Thurner, S., Gell-Mann, M., 2011, Generalized entropies and the transformation group of superstatistics, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 6390-9394.

- [45].Hanel, R., Thurner, S., Gell-Mann, M., 2012, Generalized entropies and logarithms and their duality relations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 19151-19154.
- [46].Hanel, R., Thurner, S., Gell-Mann, M., 2014, How multiplicity determines entropy and the derivation of the maximum entropy principle for complex systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 6905-6910.
- [47].Yalcin, G.C., Robledo, A., Gell-Mann, M., 2014, Incidence of q statistics in rank distributions, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 14082-14087.
- [48].Boon, JP., Tsallis, C., 2005, Special issue overview nonextensive statistical mechanics: new trends, new perspectives, *Europhysics News*, 36, 6, 185-186.
- [49].Tsallis, C., Nonextensive statistical mechanics and thermodynamics: bibliography, <http://www.cbpf.br/GrupPesq/TEMUCO.pdf> [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2020].
- [50].Beck, C., 2004, Generalized statistical mechanics of cosmic rays, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 331, 173-181.
- [51].Abe, S., Beck, C., Cohen, EGD., 2007, Superstatistics, thermodynamics, and fluctuations, *Physics Review E*, 76, 031102.
- [52].Beck, C., 2009 Superstatistics in high energy physics: application to cosmic ray energy spectra and e^+e^- annihilation, *The European Physical Journal A*, 40, 267–273.
- [53].Man Lo, P., Marczenko, M., Redlich, K., Sasaki, C., 2015, Matching the Hagedorn mass spectrum with lattice QCD results, *Physical Review C*, 92, 055206.
- [54].Hagedorn, R., 1983, Multiplicities, p_T distributions and the expected hadron to quark-gluon phase transition, *La Rivista del Nuovo Cimento*, 6, 1-50.
- [55].Hagedorn, R., 1965, Statistical thermodynamics of strong interactions at high energies, *La Rivista del Nuovo Cimento*, 3, 147.
- [56].Smolla, M., Schaefer, B., Lesch, H., Beck, C., 2020, Universal properties of primary and secondary cosmic ray energy spectra, *New Journal of Physics*. 22, 093002.

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Fatma Kamer KARAKUŞ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	21.06.2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik
Programı	Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

Makale ve Bildiriler	