



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI

2 A GeV ENERJİLİ ^{20}Ne DEMETİNİN ^{12}C HEDEF ÜZERİNE
BOMBARDİMANIYLA GERÇEKLEŞTİRİLEN REAKSİYON İLE HAFİF
HİPERÇEKİRDEKLER ($^3_{\Lambda}\text{H}$ ve $^4_{\Lambda}\text{H}$) SPEKTROSKOPİSİ

VAKKAS BOZKURT

Ekim 2015

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2 A GeV ENERJİLİ ^{20}Ne DEMETİNİN ^{12}C HEDEF ÜZERİNE
BOMBARDIMANIYLA GERÇEKLEŞTİRİLEN REAKSİYON İLE HAFİF
HİPERÇEKİRDEKLER($^3_{\Lambda}\text{H}$ ve $^4_{\Lambda}\text{H}$) SPEKTROSKOPİSİ

VAKKAS BOZKURT

Doktora Tezi

Danışman

Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Ekim 2015

Vakkas BOZKURT tarafından Prof.Dr. Sefa ERTÜRK danışmanlığında hazırlanan “2 A GeV enerjili ^{20}Ne demetinin ^{12}C hedef üzerine bombardımanı ile gerçekleştirilen reaksiyon ile hafif hiperçekirdekler ($^3\text{A}\text{H}$ ve $^4\text{A}\text{H}$) spektroskopisi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

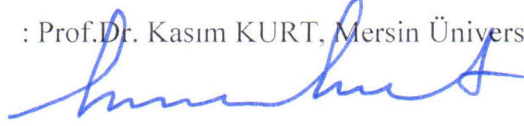
Başkan : Prof.Dr. İsa DUMANOĞLU, Çukurova Üniversitesi



Üye : Prof.Dr. Sefa ERTÜRK, Niğde Üniversitesi



Üye : Prof.Dr. Kasım KURT, Mersin Üniversitesi



Üye : Doç.Dr. Hüsnü AKSAKAL, Niğde Üniversitesi



Üye : Doç.Dr. Sezgin AYDIN, Aksaray Üniversitesi



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20....

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Vakkas BOZKURT

ÖZET

2 A GeV ENERJİLİ ^{20}Ne DEMETİNİN ^{12}C HEDEF ÜZERİNE BOMBARDIMANIYLA GERÇEKLEŞTİRİLEN REAKSİYON İLE HAFİF HİPERÇEKİRDEKLER($^3_{\Lambda}\text{H}$ ve $^4_{\Lambda}\text{H}$) SPEKTROSKOPİSİ

BOZKURT, Vakkas

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman

:Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Ekim 2015, 96 sayfa

HypHI projesinin amacı, sabit hedef üzerine ağır iyon gönderilmesi ile oluşan ağır iyon reaksiyonu sonucunda, hiperçekirdek spektroskopisinin çalışılması olmuştur. HypHI projesinin ikinci aşaması olan phase 0.5 deneyi, 2010 yılının Mart ayında nükleon başına 2 a GeV ve yoğunluğu 3×10^5 /s olan ^{20}Ne demeti, kalınlığı 8.84 g/cm^2 olan ^{12}C hedefi üzerine gönderilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Değişmez kütle metodu kullanılarak Λ -hiperonu ($\Lambda \rightarrow \text{p} + \pi^-$), hafif hiperçekirdek olarak bilinen $^3_{\Lambda}\text{H}$ ($^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \pi^-$) ve $^4_{\Lambda}\text{H}$ ($^4_{\Lambda}\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + \pi^-$) parçacıkların değişmez kütle spektrumları elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen Λ -hiperonu için, kütle değerinin $1111.13 \pm 0.37 \text{ MeV}/c^2$, sinyal genişliğinin $4.10 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$, sinyal sayımının 468 ± 65 , anlamlılık değerinin ise 13.14σ olduğu ve ortalama ömür değerinin 263^{+112}_{-60} ps olarak elde edilmiştir. $^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için ise kütle değeri $2987.07 \pm 0.35 \text{ MeV}/c^2$, sinyal genişliği $3.48 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$, sinyal sayımı 498 ± 59 , anlamlılık değeri 12.58σ ve ortalama ömür değeri ise 170^{+46}_{-30} ps olarak ölçülmüştür.

Anahtar sözcükler: Λ hiperonu, Hiperçekirdek, Ağır iyon çarpışması, Değişmez kütle, Ortalama ömür.

SUMMARY

SPECTROSCOPY OF LIGHT HYPERNUCLEI (${}^3_{\Lambda}\text{H}$ AND ${}^4_{\Lambda}\text{H}$) WITH INDUCED REACTIONS OF ${}^{20}\text{Ne}$ PROJECTILES AT 2 A GeV ON ${}^{12}\text{C}$ TARGET

BOZKURT, Vakkas

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor : Professor Dr. Sefa ERTÜRK

October 2015, 96 pages

The HypHI Project aims to study hypernuclear spectroscopy with heavy ion induced reactions of stable heavy ion beams on fixed target. The second experiment of the HypHI Project which is the Phase 0.5 experiment was performed in March 2010 by using ${}^{20}\text{Ne}$ at 2 A GeV beam with an intensity of 3×10^5 /s impinging on the ${}^{12}\text{C}$ target with a thickness of 8.84 g/cm^2 . Signals of the Λ hyperon ($\Lambda \rightarrow \text{p} + \pi^-$), ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ (${}^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \pi^-$) and ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ (${}^4_{\Lambda}\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \pi^-$) hypernuclei were observed by means of an invariant mass spectroscopy. In the invariant mass of the Λ -hyperon has been found at $1111.13 \pm 0.37 \text{ MeV}/c^2$ with a peak integral of 468 ± 65 counts and significance of 13.14σ with a width of $4.10 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$ and measured Λ -lifetime is 263^{+112}_{-60} ps. In the invariant mass spectrum of the ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hypernuclei has been found at $2987.07 \pm 0.35 \text{ MeV}/c^2$ with a peak integral of 498 ± 59 counts with a width of $3.48 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$ and significance of 12.58σ . The lifetime of ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ is deduced to be 170^{+46}_{-30} ps.

Keywords: Λ hyperon, Hypernuclei, Heavy ion collision, Invariant mass, Lifetime.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, merkezi Almanya’ da olan GSI (The Helmholtz center for heavy ion research) nükleer araştırma merkezinde ağır iyon çarpışması sonucunda oluşan reaksiyonlar ile hiperçekirdek parçacıkların deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla HypHI projesi kapsamında, Phase 0.5 deneyi 2010 yılında $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen verinin analizi yapılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesini sağlayan, bu tezin hazırlanışı sırasında ikinci danışmanlığımı yapan, bana öğrettikleri, tüm bilgi ve birikimini benimle payalaşan ve Almanya-GSI’ da bu gruba dahil olmamı sağlayan HypHI kollabrosyonun başkanı olan Prof. Dr. Take R. Saito ve ekip üyeleri Dr. Christophe Rappold, Dr. Daisuke Nakajima, Dr. Olga Bertini, Dr. Eunhee Kim, Dr. Yue Ma, Kohtaroh Yoshida, Dr. Sebastian Bianchin ve bu grup ile tanışmama vesile olan Dr. Banu Özel-Tashenov ve diğer tüm üyelere teşekkürlerimi sunarım.

Almanya’ da GSI merkezinde kaldığım süre boyunca burs imkanı sağlayan “Helmholtz association as Helmholtz-University Young Investigators Group VH-NG-239 at GSI” kurumuna teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen ve her zaman desteğini hissetmemi sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Sefa ERTÜRK’ e teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren ve bütün eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sevgili anneme, babama ve tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her aşamasında yanımda olan, bilge bir insan olarak bana yol gösteren sevgili *Ali BOZKURT* abim, yaşamda öğrettiğin her şey için çok teşekkür ederim. Seni çok özliyoruz.

Sevgili Ali BOZKURT abime...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Hiperçekirdek Spektroskopisine Giriş	1
1.2 Hiperçekirdekler	2
1.2.1 Hiperçekirdeklerin üretimmekanizması.....	3
1.2.1 Ağır iyon çarpışması ile hiperçekirdek üretimi	5
BÖLÜM II HypHI PROJESİ.....	8
2.1 HypHI Projesinin Amacı	8
2.1.1 Phase 0.5 deneyi..	11
2.2 Phase 0.5 Deney Setinin Kurulumu	12
2.2.1 ToF-Start (Uçuş zamanı) dedektörü	14
2.2.2 Fiber iz-dedektörleri (TR0, TR1 and TR2).....	15
2.2.3 Drift chambers (Sürüklenme odaları), BDC and SDC	17
2.2.4 TOF-Plus (Pozitif parçacıklar için uçuş zamanı) dedektörü.....	20
2.2.5 TFW (Negatif parçacıklar için uçuş zamanı) dedektörü.....	21
2.3 Trigger (Tetikleme)Sistemi	21
2.3.1 Secondary vertex trigger (İkincil uç tetikleme).....	22
2.3.2 Pion (π^-) tetikleme.....	22
2.3.3 Fragment (Parça tetikleme).....	23
2.4 Veri Alımı ve Analiz Şeması	23
BÖLÜM III MATERYAL VE METOT	25
3.1 Veri Analizi İçin Kalibrasyon Ve Metot	25

3.1.1 Dedektörlerin kalibrasyonu.....	25
3.2 Parçacıklar İçin İz-Bulma Yöntemi	32
3.2.1 Kalman filter	34
3.3 Parçacıkların Tanımlanması.....	35
3.3.1 $Z = 1$ parçacıklarının belirlenmesi.....	35
3.3.2 $Z = 2$ parçacıklarının belirlenmesi	38
3.3.3 $Z = -1$, pion (π^-) parçacığının belirlenmesi	42
3.4 Yapılandırma İçin Parçacık-İz Seçimi	45
BÖLÜM IV SONUÇLAR	53
4.1 $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ İçin Değişmez Kütle Spektroskopisi	53
4.2 ${}^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \pi^-$ İçin Değişmez Kütle Spektroskopisi.....	57
4.3 ${}^4_{\Lambda}\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \pi^-$ İçin Değişmez Kütle Spektroskopisi.....	61
4.4 Ortalama Ömür Hesabı	62
4.4.1 Λ için ortalama ömür	65
4.4.2 ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için ortalama ömür değeri.....	66
4.4.3 Λ ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için ortalama ömür değerleri	67
4.5 Kinematik.....	68
BÖLÜM V TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
KAYNAKLAR	75
ÖZ GEÇMİŞ	80
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Baryon-oktet sınıfı içerisinde yer alan baryonlar	3
Şekil 1.2.	Reaksiyon spektrometresi ile deneysel olarak elde edilen hiperçekirdek grafiği (Hashimoto and Tamura, 2006)	4
Şekil 1.3.	(K^-, π^-) reaksiyonu ile Λ hiperonunun üretim mekanizması	4
Şekil 1.4.	(π^+, K^+) reaksiyonu ile Λ hiperonunun üretim mekanizması	5
Şekil 1.5.	$(e, e' K^+)$ reaksiyonu ile Λ hiperonunun üretim mekanizması	5
Şekil 1.6.	Gelen demet ile sabit hedef arasında meydana gelen çarpışma sonucu oluşan Λ hiperonu ve oluşabilecek olan hiperçekirdek mekanizması	6
Şekil 1.7.	Λ hiperonu, hedef (y_T) ve demet (y_P) ile oluşan parçacıkların rapidity dağılımı	7
Şekil 2.1.	HypHI projesi, Phase 0 deney şeması	9
Şekil 2.2.	GSI ve FAIR'in kuş bakışı fotoğrafı	11
Şekil 2.3.	GSI hızlandırıcı merkezinin şematik görüntüsü	12
Şekil 2.4.	${}^3_\Lambda\text{H}$ hiperçekirdeğinin dünyada ölçülen ömür değerleri	13
Şekil 2.5.	HypHI projesi, Phase 0.5 deney şeması ve kurulumu	14
Şekil 2.6.	Şekil (a) TOF-Start dedektörünün fotoğrafını ve şekil (b)' de ise TOF-Start dedektörünün kurulum şeması gösterilmektedir	15
Şekil 2.7.	TR0, TR1 ve TR2 dedektörleri için z-ekseninde yerleştirilme şeması	15
Şekil 2.8.	Fiber dedektörü için kullanılan PMT H2760KS MOD. yapısı	16
Şekil 2.9.	Şekil (a) TR0 dedektörünün fotoğrafını, şekil (b) TR1 dedektörünün fotoğrafını ve şekil (c) ise TR2 dedektörünün fotoğrafı	17
Şekil 2.10.	BDC drift chamber dedektörünün fotoğrafı	18
Şekil 2.11.	BDC kablolarının kurulum şeması	18
Şekil 2.12.	Şekil (a) tek bir yüzey için teflon malzeme ile yapılan maskeleme gösterimini ve Şekil (b) ise TOF-Start dedektörünün fotoğrafı ve şekil (b)' de gelen demet yönünde yer alan BDC dedektörü için teflon ile yapılan maskeleme işlemini gösterilmektedir	19
Şekil 2.13.	SDC drift chamber dedektörünün fotoğrafı	20

Şekil 2.14.	TOF+ dedektörünün dizaynı	21
Şekil 2.15.	TOF+ dedektörünün fotoğrafı	21
Şekil 2.16.	TFW dedektörünün fotoğrafı	22
Şekil 2.17.	Analiz şeması	24
Şekil 3.1.	TOF+ sintilatörleri üzerindeki parçacıkların enerji dağılımı	26
Şekil 3.2.	TOF+ dedektörü üzerinde yer alan sintilatörler üzerinde hesaplanan ve ölçülen parçacıkların y-pozisyonu dağılımı[mm]	27
Şekil 3.3.	TOF+ için sintilatör üzerinde hesaplanan ve ölçülen parçacığın y-pozisyonu farkı[mm]	27
Şekil 3.4.	Şekil (a) TFW için dikey ve her bir yatay sintilatörün kesişen y-pozisyonu ve yatay sintilatörlerin y-pozisyonu[mm], şekil (b) ise TFW için dikey sintilatör ve yatay+dikey sintilatörlerin kesiştiğini gösteren dağılımını gösterilmektedir[mm]	28
Şekil 3.5.	TFW dedektörü üzerinde yer alan bir sintilatör için enerji-zaman dağılımı	29
Şekil 3.6.	BDC x-kablosu için hesaplanan ve ölçülen dağılım	30
Şekil 3.7.	ToF-Start dedektörü üzerinde yer alan bir sintilatör için enerji-zaman dağılımı	31
Şekil 3.8.	ToF-Start dedektörü üzerindeki bir sintilatör için enerji dağılımı	31
Şekil 3.9.	İz-takip yöntem şeması (Kim, 2013)	33
Şekil 3.10.	$Z = 1$ parçacıkları için momentum- β korelasyonu	36
Şekil 3.11.	$Z = 1$ parçacıkları için momentum-kütle ilişkisi	37
Şekil 3.12.	$Z = 1$ parçacıkları için momentum- β aralığı (a) tek boyutlu momentum dağılımı (b)	38
Şekil 3.13.	$Z = 2$ (^3He , ^4He) parçacıklarına ait olan momentum dağılımı	39
Şekil 3.14.	$Z = 2$ parçacıkları için momentum ve fiber cluster dağılımı (birinci şekil) ve her bir cluster'a karşılık gelen momentum dağılımları	40
Şekil 3.15.	$Z = 2$ parçacıkları için momentum ve sinyal genişliği dağılımı (birinci şekil) ve her bir sinyal genişliğine karşılık gelen momentum dağılımları	41
Şekil 3.16.	$Z = 2$, (^3He ve ^4He) parçacıkları için momentum dağılımı	42
Şekil 3.17.	Pion (π^-) parçacığı için momentum-beta dağılımı	43

Şekil 3.18.	π^- parçacığının TFW dedektörü üzerindeki her bir sintilatör için momentum-beta (β) dağılımı	44
Şekil 3.19.	Şekil (a) $Z = 1$ parçacığı için p-değerini, şekil (b) $Z = 2$ parçacığı için p-değerini ve şekil (c) ise π^- parçacığı için p-değerini ifade etmektedir	45
Şekil 3.20.	Geometrik olarak iki farklı parçacık arasındaki mesafenin gösterimi .	46
Şekil 3.21.	Farklı (pozitif ve negatif) parçacıklar arasındaki mesafe	47
Şekil 3.22.	Gelen demetin TOF-Start dedektörüne vurması ile oluşan ve ana çekirdeğin hedef üzerinde bıraktığı x-pozisyon şeması	48
Şekil 3.23.	Gelen demetin TOF-Start dedektörüne vurması ile oluşan ve ana çekirdeğin hedef üzerinde bıraktığı x-pozisyon mesafeleri	49
Şekil 3.24.	z-ekseni üzerinde oluşan secondary vertex dağılımı	50
Şekil 3.25.	Reaksiyon sonucu oluşan iz-sayım büyüklüğü	51
Şekil 3.26.	Reaksiyon sonucu oluşan parçacıkların (proton, $Z = 2$, $Z = 3 \sim Z = 10$ ve pion (π^-)) sayım oranları	52
Şekil 4.1.	Proton ve π^- bozunumundan oluşan Λ hiperonunun değişmez kütle spektrumu	54
Şekil 4.2.	Λ hiperonu için elde edilen sinyal sayımının, kombinasyonel veya gürültü sayımından çıkarılması ile oluşan spektrum	55
Şekil 4.3.	Λ hiperonu, “maximum likelihood” metodunda model olarak sinyal ve oluşan gürültü hesaba katılarak elde edilen dağılım	56
Şekil 4.4.	Λ hiperonu, “maximum likelihood” metodunda model olarak yalnızca oluşan gürültü için elde edilen dağılım (a) ve elde edilen Λ ’ nın istatistiksel olarak önemini ifade eden dağılım (b)’ de gösterilmektedir	57
Şekil 4.5.	^3He ve π^- bozunumundan oluşan $^3_\Lambda\text{H}$ hiperçekirdeği için değişmez kütle spektrumu	58
Şekil 4.6.	$^3_\Lambda\text{H}$ hiperçekirdeği için elde edilen sinyal ve kombinasyonel sayım farkını gösteren spektrum	59
Şekil 4.7.	$^3_\Lambda\text{H}$ hiperçekirdeğinin, “maximum likelihood” metodunda model olarak sinyal ve oluşan gürültü hesaba katılarak elde edilen dağılım . .	60

Şekil 4.8.	${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için, “maximum likelihood” metodunda model olarak yalnızca oluşan gürültü için elde edilen dağılım (a) ve elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ’nin istatistiksel olarak önemini ifade eden dağılım (b)’de gösterilmektedir	60
Şekil 4.9.	${}^4\text{He}$ ve π^- bozunumundan oluşan ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için değişmez kütle spektrometresi (a) ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için, “maximum likelihood” metodunda model olarak yalnızca oluşan kombinasyonel gürültünün oluşturduğu dağılım (b)	61
Şekil 4.10.	Λ için simulasyon sonucu elde edilen akseptans verim dağılımı	64
Şekil 4.11.	${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için simulasyon sonucu elde edilen akseptans verim dağılımı	65
Şekil 4.12.	Λ hiperonu için bozunum-zaman spektrumu (a) ve Λ hiperonun bozunum zamanı için “Profiled likelihood” fonksiyonu (b)	66
Şekil 4.13.	${}^3_{\Lambda}\text{H}$ için bozunum-zaman spektrumu (a) ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin bozunum zamanı için “Profiled likelihood” fonksiyonu (b)	67
Şekil 4.14.	${}^3_{\Lambda}\text{H}$ için dünya genelinde ölçülen ortalama ömür değerleri	68
Şekil 4.15.	Veri analizinden elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin oluşturduğu rapidity - transverse momentum korelasyonu (a) ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğine ait olan tek-boyutlu rapidity dağılımı (b). Simulasyon sonucunda elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için rapidity - transverse momentum korelasyonu (c) ve tek-boyutlu rapidity dağılımı (d)	70
Şekil 4.16.	Deney sonucu elde edilen veri analizi ile Λ hiperonun sahip olduğu rapidity - transverse momentum korelasyonu (a) ve Λ hiperonu için tek-boyutlu rapidity dağılımı (b)	71
Şekil 5.1.	Şekil (a) Λ hiperonu, şekil (b) ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve şekil (c) ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ için değişmez kütle spektrumları	72
Şekil 5.2.	${}^3_{\Lambda}\text{H}$ için ölçülen ortalama ömür değerleri	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. TR0x, TR0y, TR1x, TR1y, TR2x, TR2y fiber dedektörlerinin özellikleri	16
Çizelge 2.2. BDC dedektörünün fiziksel özellikleri	19
Çizelge 2.3. SDC dedektörünün fiziksel özellikleri	20

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

Λ	Lambda
β	Beta
γ	Gamma
σ	Sigma
ρ	Rho
τ	Tau
ϵ	Epsilon
Σ	Sigma
Ω	Omega
χ	Chi
π^-	Pion
ν	Nu
${}^6\text{Li}$	Lityum-6
${}^4\text{He}$	Helyum-4
${}^3\text{He}$	Helyum-3
${}^{12}\text{C}$	Karbon-12
${}^{20}\text{Ne}$	Neon-20

Kısaltmalar

Açıklama

ps	Pico saniye
ns	Nano saniye
ToF	Time of Flight
PMT	Photomultiplier Tube
GSI	Helmholtz Centre for heavy Ion Research
FAIR	Facility for Antiproton and Ion Research
CERN	European Organization for Nuclear Research
BNL	Brookhaven National Laboratory
KEK	The High Energy Accelerator Research Organization

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Hiperçekirdek Spektroskopisine Giriş

Nükleer fizik çalışmaları, maddenin temel yapısının ve maddeler arasında meydana gelen etkileşmelerin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlar. Madde temel olarak hadronlar ve leptonlar tarafından meydana gelmektedir. Hadronlar, baryon ve mezonlardan oluşmaktadır, baryonlar üç kuark ya da üç anti kuark tarafından oluşur. Baryonlar arasındaki etkileşmenin incelenmesi fizikte önemli bir yer tutmaktadır. Maddenin oluşumunda rol oynayan baryonlar, kuarklar tarafından oluşmaktadır ve bu kuarklar çeşni-SU(3) olarak adlandırılan yapı içerisinde, u(yukarı), d(aşağı) ve s(tuhaf) olarak isimlendirilmektedir.

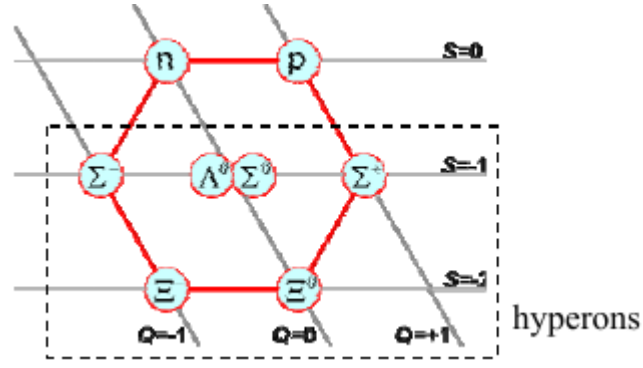
Baryon-baryon etkileşmesinin anlaşılması için nükleonlar (N) ve hiperonlar (Y) arasındaki etkileşmenin incelenmesi gerekmektedir, bu tür bir çalışma temel olarak nükleer sistem içerisinde s-kuarkı içeren hiperçekirdeklerin incelenmesi ile mümkündür. Baryon-baryon arasında meydana gelen etkileşmelerin incelenmesi, deneysel olarak bir bombardıman parçacığı (demet) ve hedef üzerinde meydana gelen reaksiyonların incelenmesi ile mümkündür. Yapılan bu tür deneysel çalışmalar bize yalnızca nükleonlar arasında meydana gelen etkileşmeler hakkında bilgi vermektedir. Hiperon-nükleon (YN) veya hiperon-hiperon (YY) arasındaki etkileşmelerin deneysel olarak çalışılması için gerekli olan hiperon hedefi yapmak hiperonların çok kısa olan yarı ömrü (~ 200 ps) nedeniyle mümkün değildir. Fakat hiperçekirdeklerin, yani en az bir hiperon ($\Lambda, \Sigma, \Omega, \Xi$) tarafından meydana gelen bir sistemin, kullanılması ile YN ve YY arasındaki etkileşmelerin deneysel olarak çalışılabilmektedir. Hiperçekirdekler ilk olarak 1952 yılında Polonya'lı fizikçiler M. Danysz ve J. Pniewski tarafından (Danysz and Pniewski, 1995) "emulsion chamber" dedektörü üzerine kozmik ışınlar gönderilerek kullanılarak elde edilmiştir. Fotoğrafik emulsiyon filmleri üzerinde oluşan yüklü parçacıkların izlediği yol takip edilerek bu parçacıkların meydana getirdiği hiperçekirdekler belirlenmiştir. Bu fotoğrafik yöntem özellikle kısa ömürlü parçacıkların oluşum ve bozunum noktalarının tespiti için kullanılan hassas dedektör sistemi içinde yer almaktadır. Daha sonra

deneysel olarak birincil elektron ve ikincil mezon-demet olarak adlandırılan reaksiyonlar sonucu oluşan hiperçekirdekler çalışılmıştır. Yapılan bu tür deneylerde bir veya iki nükleonun düşük momentum transferi ile hiperona(s) dönüşümü sağlanmaktadır, bu yöntem yüksek düzeyde enerji çözünürlüğü sağlamaktadır ve bu sayede detaylı bir şekilde hiperçekirdek yapıları incelenebilmektedir. Ancak bunun yanında egzotik olarak adlandırılan hiperçekirdekler, hiperçekirdeklerin manyetik momenti ve yüksek isospin durumların çalışılması günümüzde teknolojik olarak pek mümkün değildi. Bunun üzerine HypHI grubu, merkezi Darmstadt/Almanya’ da bulunan GSI (Helmholtz Center for Heavy Ion Research GmbH) nükleer araştırma merkezinde ağır iyon çarpışması ile elde edilecek olan hiperçekirdeklerin spektroskopisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması ile hiperçekirdeklerin, ağır iyon demetinin sabit bir hedef üzerine gönderilmesi ile oluşacak olan reaksiyonların, değişmez kütle spektroskopisi yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Hiperçekirdekler

Hiperçekirdekler, nükleon ile birlikte yüksek enerji reaksiyonları sonucu oluşan ve en az bir hiperon ($\Lambda, \Sigma, \Omega, \Xi$) tarafından meydana gelen parçacıklardır. Lambda- Λ hiperonu “Baryon-octet” sınıfı içerisinde Şekil 1.1.’ deki gibi gösterilmektedir. Λ ’ nın kütlesi $1115.684 \text{ MeV}/c^2$ olup nükleonun kütlesinden %20 daha ağırdır (Amsler vd., 2008), yük durumu sıfır ve isospin durumu $I=0$ ’ dır. Hiperçekirdekler ${}^A_Z Y$ sembolü ile gösterilmektedir, burada Z elementin adını, A baryon numarasını ve Y ise hiperona karşılık gelen ifadeyi göstermektedir. Örnek olarak, ${}^{12}_\Lambda \text{C}$ hiperçekirdeği 6 tane proton, 5 tane nötron ve bir Λ parçacığından oluştuğunu göstermektedir. Hiperçekirdek yapılarının incelenmesi hem geleneksel nükleer fizik hem de hadron fiziği alanında çalışma yapılmasını sağlamaktadır, ayrıca hiperonlar yüksek yoğunlukta oluştuğu için astrofizik alanında ve özellikle nötron yıldızlarının (Schaffer and Mishustin, 2008) oluşumu hakkında bilgi sahibi olmamıza olanak sağlamaktadır.

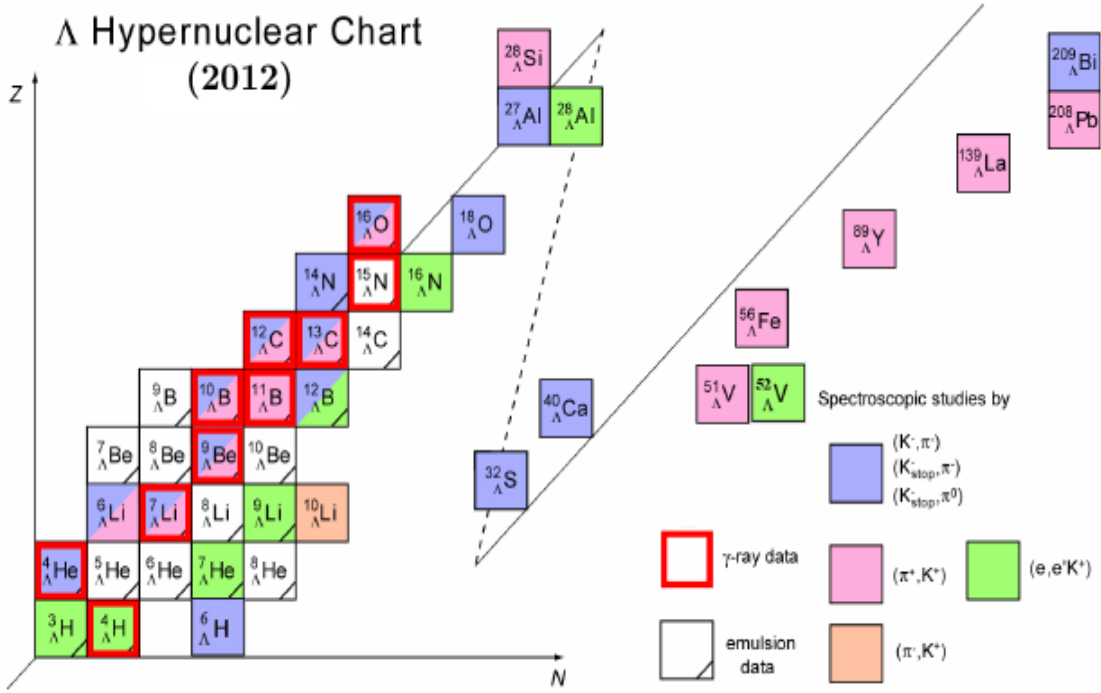


Şekil 1.1. Baryon-oktet sınıfı içerisinde yer alan baryonlar

Lambda- Λ , Mesonik Weak Decay (MWD) (Mezonik Zayıf Bozunum) ve NonMesonic Weak Decay (NMWD) (Mezonik Olmayan Zayıf Bozunum) olmak üzere iki tür bozunum moduna sahiptir. Mesonic bozunum modunda ($\Lambda \rightarrow \pi^- + p + 37.8 \text{ MeV}$ veya $\Lambda \rightarrow \pi^- + n + 41.1 \text{ MeV}$), çekirdek içerisinde bulunan Λ parçacığı küçük olan Q-değerinden ($\sim 40 \text{ MeV}$) (Alberico and Garbarino, 2002) ve Pauli-dışarlama etkisinden dolayı bastırılmış durumdadır. Diğer mod çekirdek içerisinde meydana gelen mezonik olmayan bozunum türüdür ($\Lambda + p \rightarrow p + n + 176 \text{ MeV}$ veya $\Lambda + n \rightarrow n + n + 176 \text{ MeV}$), bu bozunumda açığa çıkan $\sim 176 \text{ MeV}$ enerji seviyesi, $\sim 400 \text{ MeV}/c$ momentuma denk geldiğinden bu işlem orta ve daha ağır olan hiperçekirdeklerde daha fazla meydana gelmektedir.

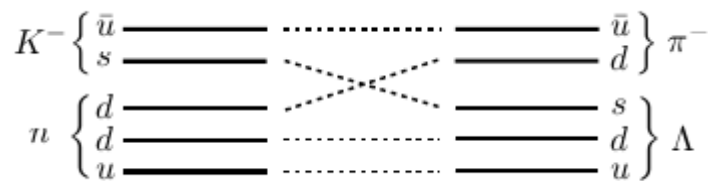
1.2.1 Hiperçekirdeklerin Üretim Mekanizması

M.Danysz ve J.Pniewski fizikçilerinin, hiperçekirdek keşfinden sonra, deneysel olarak, 1970'li yıllardan itibaren CERN'de (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) (Brückner vd., 1978) (K^-, π^-) reaksiyonları kullanılmıştır, daha sonra aynı reaksiyon ile Amerika'da bulunan Brookhaven National Laboratory (BNL) (Milner vd., 1985; Pile vd., 1991) daha sonra 1980'li yıllarda yine BNL'de ve Japonya'da bulunan (The High Energy Accelerator Research Organization) KEK araştırma merkezinde (Akel vd., 1991; Hasgawa vd., 1995; Hashimoto vd., 1998, Hotchi vd., 2001), (π^+, K^+) reaksiyonu kullanılarak hiperçekirdeklerin yapıları araştırılmıştır. JLAB (Thomas Jefferson National Accelerator Facility) laboratuvarında elektromanyetik (e, e', K^+) üretim mekanizması (Hungerford, 1994) ile Λ -hiperçekirdek üretilmesinde yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu tür reaksiyonlar ile elde edilen hiperçekirdekler Şekil 1.2. ile gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Reaksiyon spektrometresi ile deneysel olarak elde edilen hiperçekirdek grafiği (Hashimoto and Tamura, 2006)

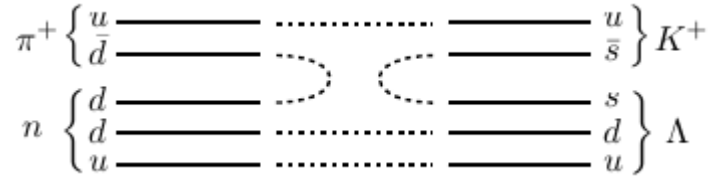
Daha önce ifade edildiği gibi hiperçekirdekleri farklı reaksiyon mekanizmaları ile üretmek mümkündür. Bunlardan ilki 1970' li yıllarda K^- demeti kullanılarak ($K^- + n \rightarrow \Lambda + \pi^-$) "strangeness exchange" adı verilen reaksiyon türüdür. Şekil 1.3.' de bu metod ile üretilen mekanizma gösterilmektedir. Bu sistem içerisinde bir nötronun yer değişimi ile reaksiyon sonucu hiperçekirdek oluşumu sağlanmaktadır.



Şekil 1.3. (K^-, π^-) reaksiyonu ile Λ hiperonunun üretim mekanizması

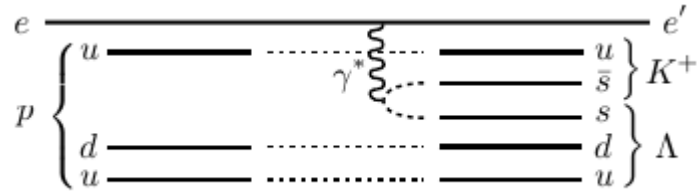
Bu reaksiyon türünde ağır olan Kaon'nun ilk kanalda yer alması sonucu momentum transferi küçüktür (~ 280 MeV), bununla birlikte differansiyel tesir kesiti büyüktür (Ejiri, 1994).

Hiperçekirdek üretiminde ikinci metot olarak, (π^+, K^+) reaksiyonu kullanılarak oluşturulan ve “strangeness associated” adı verilen reaksiyon $(\pi^+ + n \rightarrow \Lambda + K^+)$ türüdür. Şekil 1.4.’ de kuark modeli ile hiperçekirdek üretim mekanizması gösterilmektedir. Burada üretilmiş olan hiperona yüksek momentum transferi $\sim 300-400$ MeV mümkündür, yüksek momentum transferinden dolayı tesir kesiti “strangeness exchange” metoduna göre daha küçüktür, bununla birlikte yüksek yoğunlukta pion demeti kullanılarak tesir kesit seviyesi artırılabilir.



Şekil 1.4. (π^+, K^+) reaksiyonu ile Λ hiperonunun üretim mekanizması

Üçüncü metot ise $(e, e' K^+)$ reaksiyon mekanizmasıdır, Şekil 1.5.’ de kuark seviyelerini gösteren şemada bir protonun hiperon dönüşümü ile gerçekleşen bu mekanizma görülebilir. Bu reaksiyon mekanizmasında $(e^- + p \rightarrow e' + \Lambda + K^+)$ momentum transferi ~ 350 MeV dir.

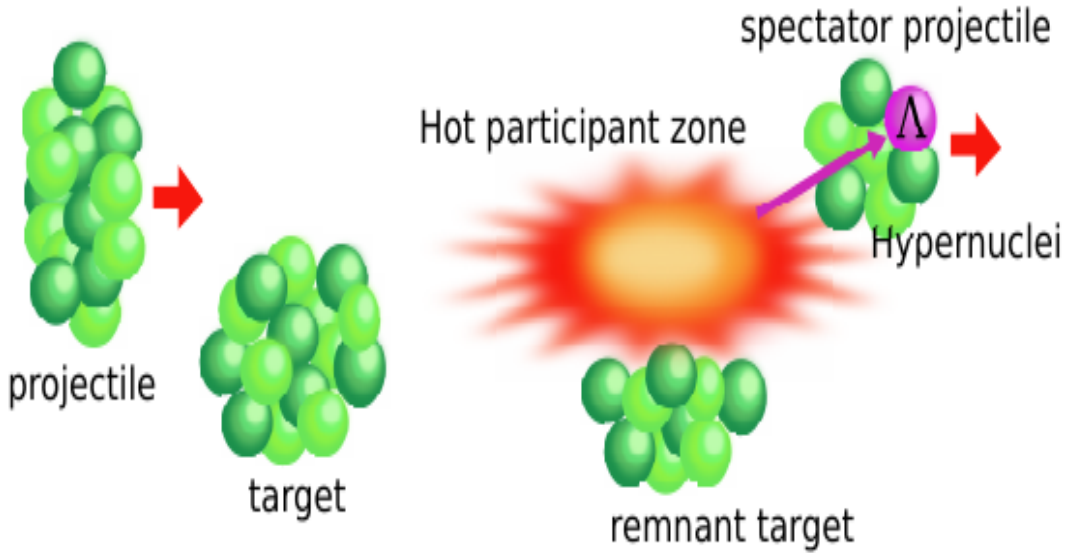


Şekil 1.5. $(e, e' K^+)$ reaksiyonu ile Λ hiperonunun üretim mekanizması

1.2.2 Ağır iyon çarpışması ile hiperçekirdek üretimi

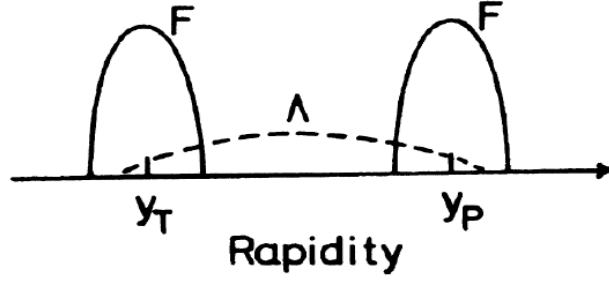
Ağır iyon çarpışması ile hiperçekirdek çalışmaları ilk olarak Kerman ve Weiss (Kerman and Weiss, 1973) tarafından yapılmıştır. Çarpışma sonucu oluşan hiperonlar nükleer parçacığa yakalanarak hiperçekirdek oluşumunu sağlanmaktadır. Yüksek enerjili çarpışmalarda “participant spectator” modeli, bu tür reaksiyonlar hakkında genel olarak bilgi sahibi olmamızı sağlar. Şekil 1.6.’ de görüleceği üzere gelen demetin sabit hedef ile çarpışması sonucu kuvvetli bir reaksiyon meydana gelmektedir. Reaksiyon sonucu,

demet ve hedef arasında kalan bölge “participant”, çarpışma sonrası meydana gelen bölge ise “spectator” bölge olarak adlandırılır. Çarpışma ile oluşan geniş “rapidity” (hızlılık) dağılımından dolayı oluşan hiperonlar gelen demet ile birleşip hiperçekirdek oluşumuna neden olur. $NN \rightarrow \Lambda KN$ temel reaksiyonunda, Λ hiperonunun oluşum enerjisi en az ~ 1.6 GeV kadardır. Meydana gelen bu hiperonlar Lorentz kuvvetinden dolayı durgun halinden daha uzundur. İlk olarak relativistik iyon çarpışması ile ${}^{16}_{\Lambda}O$ hiperçekirdeği ve ortalama-ömrü hesaplanmıştır (Nield vd., 1976). Hedef arkasında meydana gelen bu hiperçekirdeklerin bozunum anında oluşan kanalları çalışılarak, bu tür reaksiyon sonucu oluşan hiperçekirdekler hakkında bilgi sahibi olmamız mümkündür.



Şekil 1.6. Gelen demet ile sabit hedef arasında meydana gelen çarpışma sonucu oluşan Λ hiperonu ve oluşabilecek olan hiperçekirdek mekanizması

Hiperçekirdekler, demet ile hedefin çarpışması sonucu oluşan Λ hiperonun, Şekil 1.6.'de görülen "spectator projectile" kısım ile birleşmesi sonucu meydana gelmesi beklenmektedir. "Coalescence scenario" olarak adlandırılan bu mekanizma sayesinde hiperçekirdeklerin üretimi, araştırılması ve bilgi sahibi olmamız açısından büyük bir önem arz etmektedir. Şekil 1.7.'de bu mekanizma ile oluşan Λ hiperonun rapidity dağılımını ifade etmektedir (Wakai vd., 1988).



Şekil 1.7. Λ hiperonu, hedef (y_T) ve demet (y_P) ile oluşan parçacıkların rapidity dağılımını

Yapılan bu tez çalışmasında, ağır iyon çarpışması sonucu oluşan hiperçekirdek parçacıkların, değişmez kütle metodu kullanılarak incelenmesi ve bununla birlikte elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ortalama ömrünün ölçülmesi ve diğer yapılan çalışmalar ile kıyaslanması olmuştur. Birinci bölümde hiperçekirdekler ile ilgili genel bir bilgi verildikten sonra ikinci bölümde ağır iyon kullanarak hiperçekirdek fiziği çalışması gerçekleştiren HypHI projesi ile ilgili bilgi verilecektir. Ayrıca HypHI projesi kapsamında yapılan Phase 0 ve bu tezin ana konusu olan Phase 0.5 deneyleri ve deneyde kullanılan dedektör sistemi ayrıntılı şekilde anlatılacaktır. Üçüncü bölümde, Phase 0.5 deneyi ile elde edilen verinin analizi, kalibrasyonu ve reaksiyon sonucunda oluşan parçacıkların tanımlanması yapılmıştır. Dördüncü bölümde, değişmez kütle metodunun uygulanması ile Λ hiperonu, ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerin yapılandırılması ve ortalama ömür hesabı yapılmıştır. Son bölümde ise veri analizi sonucunda elde edilen parçacıkların incelenmesi ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ için elde edilen ortalama ömür değerinin dünyada ölçülen diğer değerler ile karşılaştırılması yapılacaktır.

BÖLÜM II

HypHI PROJESİ

Şu ana kadar, deneysel olarak birincil elektron ve ikincil mezon-hüzmesi olarak adlandırılan reaksiyon sonucu oluşan hiperçekirdek spektroskopisi çalışılmıştır. Bu yöntem ile bir veya iki nükleonun düşük momentum transferi ile hiperona dönüşümü sonucu hiperçekirdeklerin oluşumu sağlanmaktadır. Bu yöntem ile yüksek enerjili çözünürlük sağlanmakta ve bu sayede hiperçekirdeklerin yapılarının, detaylı bir şekilde incelenmesi şansını vermektedir fakat bu metot ile hiperçekirdeklerin manyetik momenti ve egzotik olan hiperçekirdeklerin çalışılması mümkün değildir. HypHI kolabrasyonu tarafından önerilen ağır iyon çarpışması ile oluşan hiperçekirdek çalışmalarına, yeni bir yön verilmesi amaçlanmıştır.

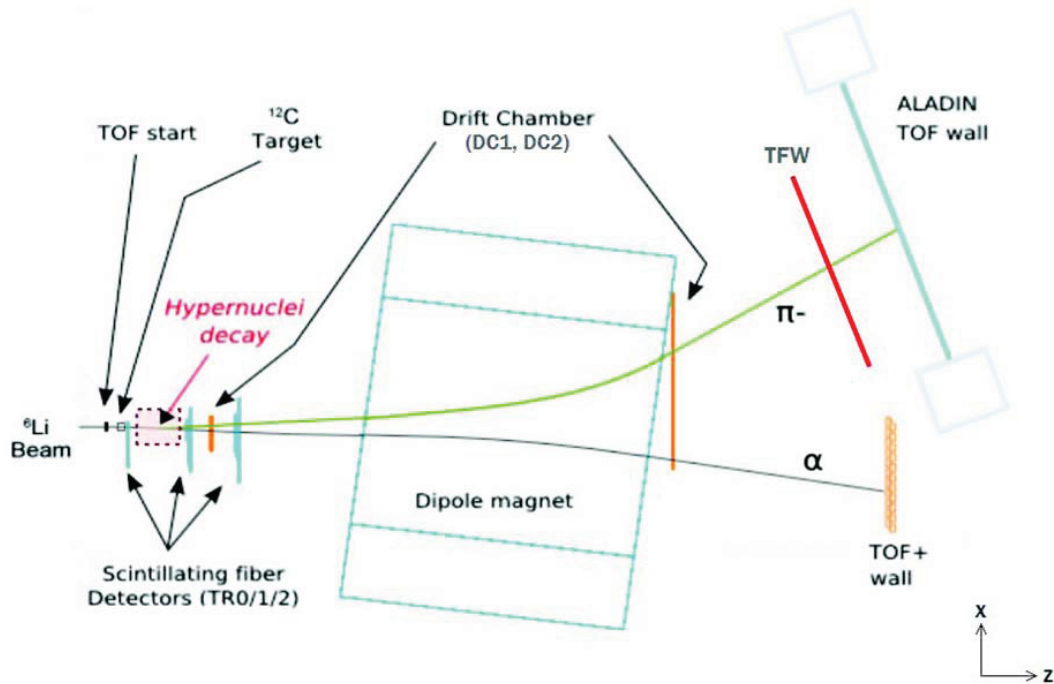
Ağır iyon çarpışmalarında, hiperçekirdekler hedefte ve ileri yönde giden demet üzerinde oluşur. Bu tez çalışması için gerçekleştirilen deneyde çarpışma sonucunda ileri yönde giden demet ile oluşan hiperçekirdeklerin spektroskopisi üzerinde çalışma amaçlanmıştır. İleri yönde gerçekleşen hiperçekirdekler geniş Lorentz kuvetine sahip olup bu sayede ortalama ömrü daha uzun olmaktadır. Ağır iyon kullanılarak ve ileri yönde yani hedef arkasında oluşan hiperçekirdeklerin incelenmesinde sinyal/gürültü oranı göz önüne alındığında bu yöntem bize daha iyi bir spektroskopi almamızı sağlayacaktır, aynı şekilde oluşan her bir hiperçekirdeğin ortalama-ömrünün ölçülmesine olanak sağlayacaktır. Bu özellikler HypHI projesinin, hiperçekirdek spektroskopisinin çalışılmasında önemli bir yer tutmasını ve bu alanda yapılacak olan çalışmalara yön vermesi ve bu alanda daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır.

2.1 HypHI Projesinin Amacı

HypHI projesinin amacı, GSI (Helmholtz Center for Heavy Ion Research) ve FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) araştırma merkezinde ağır iyon demeti kullanarak hiperçekirdek spektroskopisinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır (Saito vd., 2006). HypHI projesi kapsamında şu başlıkların incelenmesi mümkün olacaktır.

- Proton ve nötron zengini hiperçekirdek üretimi,
- Hiperçekirdeklerin magnetik momenti,
- Nükleer madde içindeki Λ - Σ bağlantısı,
- Proton ve nötron zengini hiperçekirdekler,
- Hiperon-Nükleon (YN) etkileşimi,
- Hiperçekirdeklerin bağlanma enerjilerinin ölçümü.

HypHI kolaborasyonu bugüne kadar iki deney gerçekleştirmiştir, 2009 yılında projenin ilk aşaması olarak Phase 0 deneyinde, Λ hiperonu ve hafif hiperçekirdek olarak adlandırılan ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ için nükleon başına 2 A GeV ve yoğunluğu $3 \times 10^6/\text{s}$ olan ${}^6\text{Li}$ demeti, kalınlığı (8.84 g/cm^2) karbon (${}^{12}\text{C}$) hedef üzerine gönderilerek hiperçekirdeklerin meydana gelmesi sağlanmıştır (Saito vd., 2010; Saito vd., 2012; Rappold vd., 2013). Phase 0 deneyinin temel amacı, HypHI projesinin sunmuş olduğu deney metodunun ilk olarak hafif hiperçekirdeklerin spektroskopisinin elde edilmesi ile bu yöntemin kullanılabilir olduğunun ispatlanması olmuştur. Phase 0 deneyinin kurulum şeması Şekil 2.1.' de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1. HypHI projesi, Phase 0 deney şeması

Phase 0.5 deneyi içinde aynı dedektör sistemi kullanıldığından dolayı tüm sistem aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır. Phase 0 ve Phase 0.5 deneyi arasındaki en temel fark, kullanılan demet olmuştur. Phase 0 deneyinde ilk olarak, hafif hiperçekirdeklerin çalışılması için hafif olan ${}^6\text{Li}$ demeti kullanılırken, Phase 0.5 deneyinde ise hafif ve daha ağır olan hiperçekirdeklerin spektroskopisi için ağır olan ${}^{20}\text{Ne}$ demeti kullanılmıştır. Diğer bir fark ise, DC2 veya SDC olarak adlandırılan gaz sürüklenme odaları (drift chamber) dedektörünün, ağır olan demet için dizayn edilmediğinden ve dedektöre zarar vereceği düşünüldüğünden dolayı demet yönünden alınarak sadece π^- dedeksiyonu için TFW dedektörünün ön tarafına yerleştirilmiştir, bununla beraber Aladin TOF dedektörü ise TOF+ dedektörünün arkasına alınmıştır.

İkinci aşama ise 2010 yılında ve Phase 0.5 olarak adlandırılan deney setinde hem hafif hem de ağır olan hiperçekirdeklerin çalışılması için, nükleon başına 2 A GeV ve yoğunluğu $3 \times 10^5/\text{s}$ olan ${}^{20}\text{Ne}$ demeti aynı hedef (${}^{12}\text{C}$) üzerine gönderilerek oluşacak olan hiperçekirdeklerin spektroskopisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney kurulumu, Phase 0 deneyi yani hafif olan demet (${}^6\text{Li}$) demeti için hazırlanmıştı bu nedenden dolayı bu tez çalışması için kullanılan (${}^{20}\text{Ne}$) demeti için deney şeması ve trigger (tetikleme) sistemi yapılan Phase 0.5 deneyi için yeniden dizayn edilmiştir, tüm bu ayrıntılar diğer bölümde verilecektir.

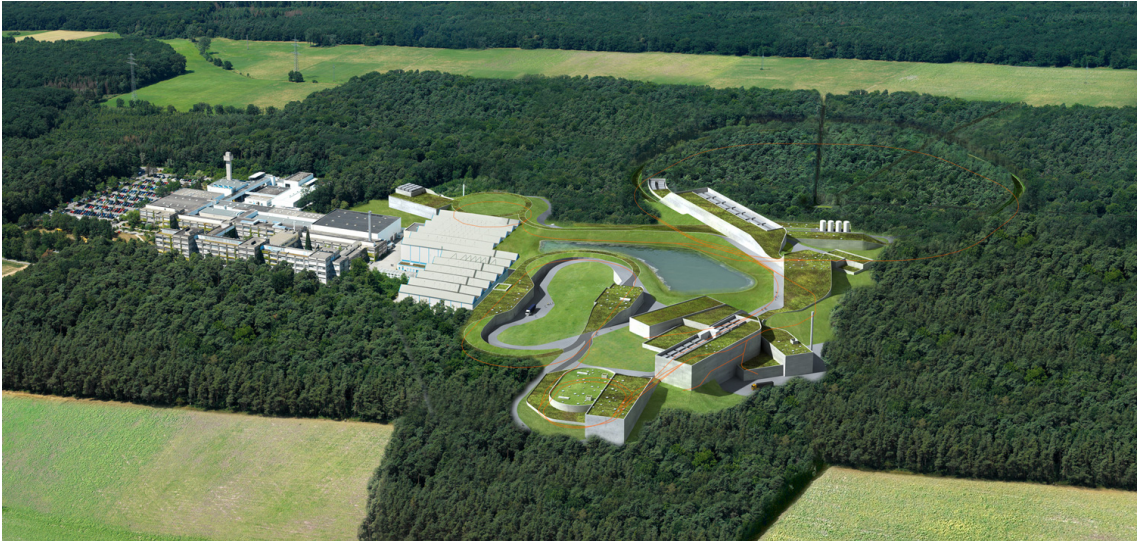
HypHI spektrometresi, 0.75 T ile uyarılmış olan ALADiN magnet (A LARge Acceptance Dipole Magnet), magnet önünde gelen demetin ölçümü ve parçacıkların uçuş zamanının belirlenmesinde referans noktasının tayini için kullanılan ToF-Start dedektörü, her bir parçacığın iz takip yöntemi ile tayin edilmesinde kullanılan 6 sıra halinde fiber dedektörleri (TR0, TR1, TR2) ve drift chamber olarak kullanılan gaz sürüklenme odaları BDC (Beam Drift Chamber) dedektörleri yer almaktadır. Magnet arkasında ise her bir parçacığın uçuş zamanının belirlenmesi ve aynı zaman da diğer SDC (Scattered Drift Chamber) dedektörü kullanılmıştır. Her bir dedektörün fiziksel özellikleri diğer bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

Daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalar ile birlikte ${}^3_{\Lambda}\text{H} - {}^{208}_{\Lambda}\text{Bi}$ olmak üzere, yaklaşık olarak 40 civarı hiperçekirdek üretimi sağlanmıştır. Bu yapılan çalışmalar ile birlikte

her bir hiperçekirdeğin yapıları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Fakat bu yapılan deneylerde hedef çekirdek nedeniyle, hiperçekirdek üretimi belirli bir sınırdan kalmıştır bu nedenden dolayı yüksek isospin durumdaki hiperçekirdek seviyelerine ulaşmak mümkün olmamıştır. Bu durumda isospin durumundaki hiperon-nükleon arasındaki bağıllık yeterince anlaşılmamıştır, bu bilginin yeterince anlaşılması astrofizik alanında nötron yıldızlarının yapısını incelememize yardımcı olacaktır. HypHI projesi ile beraber ağır iyon reaksiyonları ile yüksek durumdaki isospin durumlarında olan hiperçekirdeklerin ve egzotik durumdaki hiperçekirdeklerin araştırılması amaçlanmıştır (Miyoshi vd., 2003).

2.1.1 Phase 0.5 deneyi

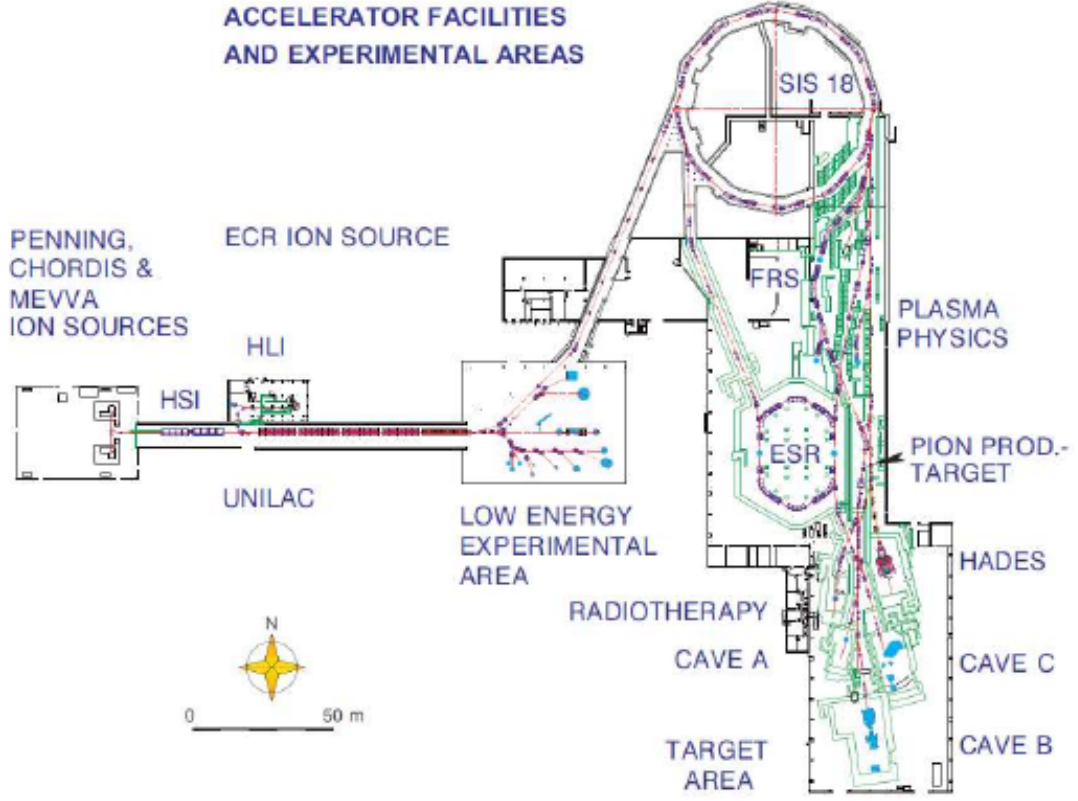
2010 yılında HypHI projesi kapsamında hafif ve daha ağır hiperçekirdeklerin araştırılması için ağır iyon reaksiyonları kullanılarak GSI' da (Helmholtz Center for Heavy Ion Research GmbH) Phase 0.5 deneyi yapılmıştır. Şekil 2.2.' de GSI ve FAIR' in kuş bakışı görüntüsü gösterilmektedir. GSI, ağır iyon üretimi ve kullanılması bakımından özel bir araştırma merkezi konumundadır, hazırlanan iyon hedefler ışık hızının %90 mertebesine ulaşması mümkündür. Bu merkezde parçacık fiziği, atom fiziği, plazma fiziği, biyo fizik ve radyasyon fiziğinden tümör terapisine kadar bir çok alanda çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 2.2. GSI ve FAIR'in kuş bakışı fotoğrafı

GSI içerisinde şu anda, 120 metre uzunluğunda lineer hızlandırıcı (UNILAC) (Universal-Linear-Accelerator) ile iyonların hızlandırılması için kullanılan 70 metre çapında ağır

iyon sinkrotronu (SIS), experimental storage (deneysel halka) ring (ESR) ve fragment separator FRS (fragment ayırıcı) yer almaktadır. Phase 0.5 deneyi, Şekil 2.3.' de görülen ve Cave C adı verilen alan içerisinde gerçekleştirilmiştir.

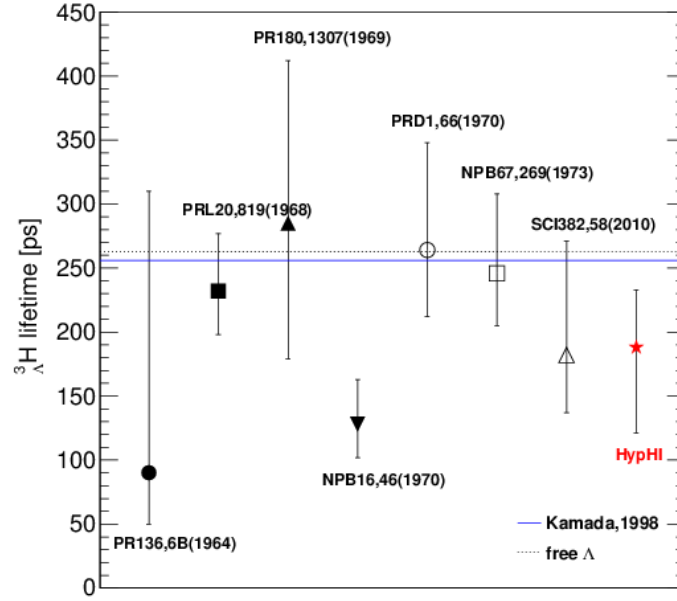


Şekil 2.3. GSI hızlandırıcı merkezinin şematik görüntüsü

2.2 Phase 0.5 Deney Setinin Kurulumu

Phase 0.5 deneyinin amacı hafif hiperçekirdek olarak adlandırılan (${}^3_{\Lambda}\text{H}$, ${}^4_{\Lambda}\text{H}$) ve daha ağır hiperçekirdek sınıfına giren, örnek olarak (${}^7_{\Lambda}\text{Li}$, ${}^{12}_{\Lambda}\text{B}$...) parçacıkların incelenmesidir. Aynı zamanda ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin yaşam süresinin (Lifetime) ölçülmesi temel olarak amaçlanmıştır. Hafif hiperçekirdeklerin ortalama ömür süreleri deneysel (Prem and Steinberg, 1964; Keyes vd., 1968; Keyes vd., 1970) ve teorik olarak çalışılmıştır (Dalitz and Rajasekharan, 1962). Son yıllarda, Amerika'da bulunan (Brookhaven National Laboratory) ve STAR kolabrasyonu tarafından gerçekleştirilen relativistik ağır iyon çarpışması ile elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^3_{\Lambda}\bar{\text{H}}$ hiperçekirdeklerin ortalama ömrü ölçülmüştür (Star Collaboration, 2010), ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ için bulunan ortalama ömür değeri 182^{+89}_{-45} olmuştur, yeniden yapılan analiz

çalışmaları ile bu değerin 123_{-22}^{+23} (Star Collabration, 2013) olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer yakın zamanda hafif hiperçekirdekler için ortalama ömür ölçümü HypHI projesinin ilk aşaması olan Phase 0 deney çalışmasında ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerin ömürleri elde edilmiştir (Rappold vd., 2013). HypHI simgesi ile ifade edilen ve Phase 0 deneyinden elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ömür değeri 189_{-50}^{+77} ps olarak elde edilmiştir ve Şekil 2.4.'de dünyada görülen diğer ölçümler ile karşılaştırılmıştır (Kim, 2013).

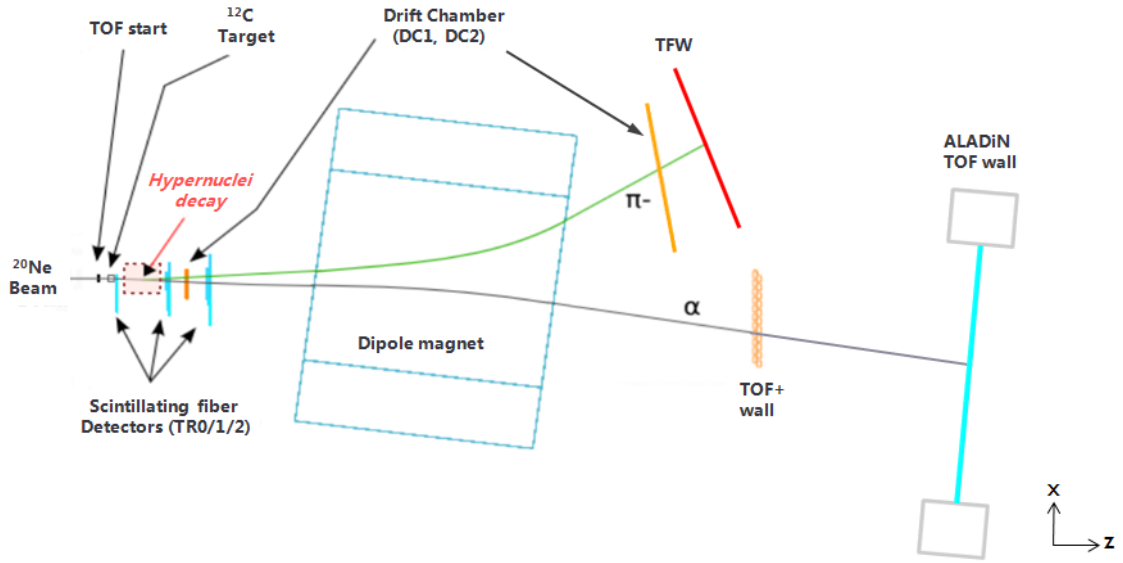


Şekil 2.4. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin dünyada ölçülen ömür değerleri

Şu ana kadar yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ömür değerinin Λ hiperonun ömrü (263 ± 2 ps) (Beringer vd., 2012) kadar olmasının gerektiği söylenmektedir. Fakat, Şekil 2.4.'de görüleceği üzere yapılan son deneysel çalışmalar bu değerin daha küçük olabileceğini öngörmektedir.

Bu yapılan tez çalışması ile ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ortalama ömür ölçümü yapılarak, geçmişten bugüne kadar yapılan diğer deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması yapılacaktır. Elde edilecek olan ortalama ömür değeri ile bu alanda yapılacak olan çalışmalara yeni bir referans olması beklenmektedir. Şekil 2.5.'de Phase 0.5 için kullanılan deney setinin kurulum şeması gösterilmektedir. ${}^{20}\text{Ne}$ demeti, yoğunluğu $3 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ ve nükleon başına 2 A GeV'lik enerji ile hızlandırılıp, ${}^{12}\text{C}$ hedef üzerine "cave C" olarak adlandırılan deney laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Target sistemi hiperçekirdeklerin etkileşim tesir keski-

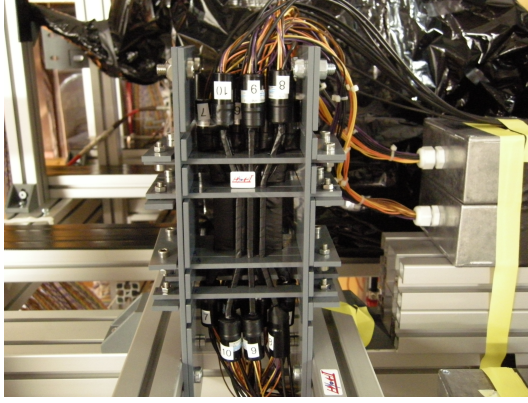
tinin ölçülmesi için tasarlanmıştır. Deney setinde kullanılan ALADiN magnet, çarpışma sonucu oluşan yüklü parçacıklara ve hiperçekirdek bozunum kanallarına yön vermektedir. Yüklü pozitif parçacıkların aşağı yönde, negatif parçacıkların ise yukarı yönde hareket etmesini sağlamaktadır. Magnet, hedeften 2.35 m uzaklıkta olup, 0.7447 Tesla büyüklüğünde magnetik alan uygulanmıştır. Herbir yüklü parçacığın tanımlanmasında iz-dedektörleri ve TOF (Time-of-Flight) uçuş zamanı dedektörleri kullanılmıştır. Bundan sonraki bölümde her bir dedektörün yapısı ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.



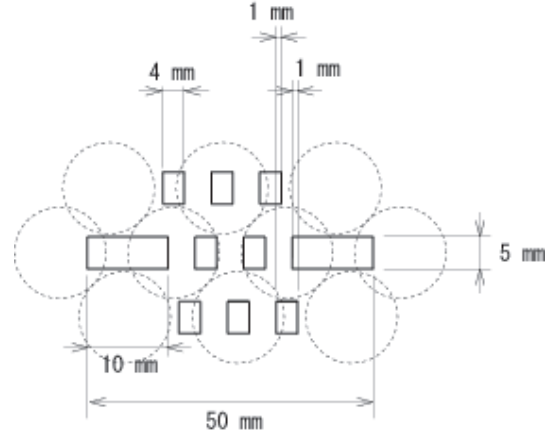
Şekil 2.5. HypHI projesi, Phase 0.5 deney şeması ve kurulumu

2.2.1 ToF-Start (Uçuş zamanı) dedektörü

ToF-Start dedektörü hedef önünde yer almaktadır, gelen demetin ayrıntılı bir şekilde ölçümü, hiperçekirdeklerin bozunumu sonucu oluşan yüklü parçacıkların enerjisini ve uçuş zamanının belirlenmesi için kullanılmıştır. ToF-Start dedektörü Şekil 2.6. (a)' da görüleceği üzere 10 adet ve her iki taraftan okunan PMT (Photomultiplier Tube) tüpleri olan plastik sintilatörlerden oluşmaktadır. Her bir sintilatör 5 mm kalınlığa ve 4 mm genişliğe sahiptir, her iki tarafta bulunan iki plastik sintilatörün genişliği 10 mm dir. Dedektörün toplam alanı $5.0[\text{genişlik}] \times 5.3[\text{yükseklik}] \text{ cm}^2$ ' dir. Dedektörün ön taraftan görünüşü ise Şekil 2.6. (b)' deki gibidir. ToF-Start dedektörü yalnızca saniye başına yoğunluğu 10^7 olan demet için dizayn edilmiştir, zaman çözünürlüğü ~ 300 ps (FWHM) kadardır (Bianchin vd., 2009).



(a)

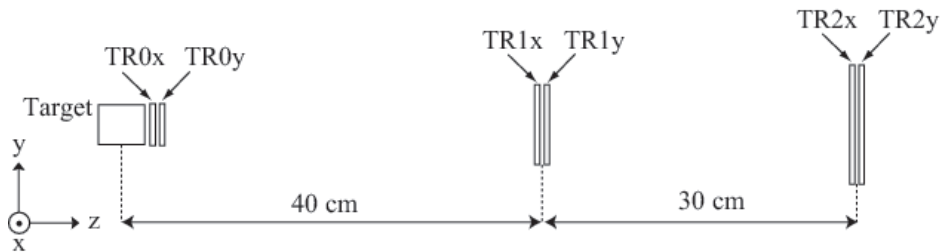


(b)

Şekil 2.6. Şekil (a) TOF-Start dedektörünün fotoğrafını ve şekil (b)' de ise TOF-Start dedektörünün kurulum şeması gösterilmektedir

2.2.2 Fiber iz-dedektörleri (TR0, TR1 and TR2)

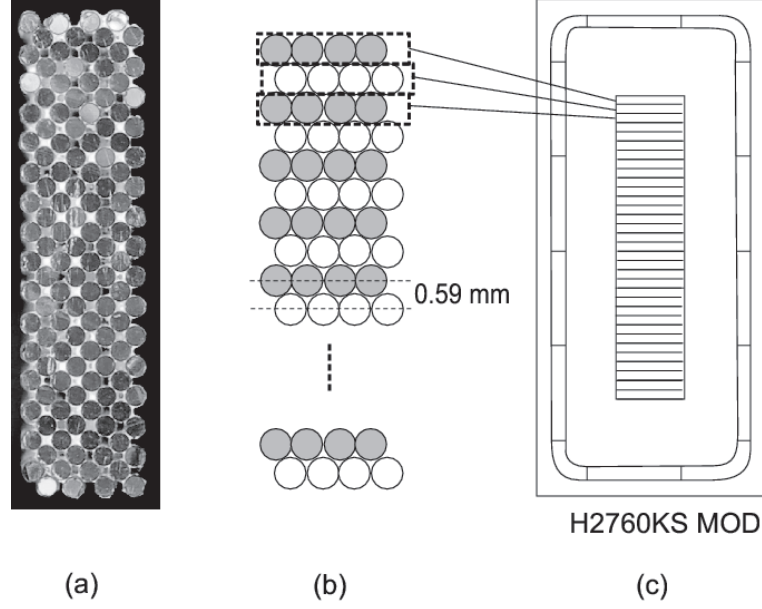
Deneyde hedef arkasında, yüklü parçacıkların iz-takip yöntemi ile belirlenmesi için 3 adet (TR0_{xy}, TR1_{xy}, TR2_{xy}) yatay ve dikey bileşenleri olan (SciFi) fiber dedektörleri kullanılmıştır. Aynı zaman da “secondary vertex trigger” (çarpışma ve etkileşme noktasına yakın olan parçacıkların bozunumu sonucunda meydana gelen olayların iz-takibinin yapılması) sistemi içinde bu dedektörler ile gerçekleştirilmiştir. Fiber dedektörleri Şekil 2.7.' de görüldüğü gibi deney seti içerisinde yer almıştır. TR0, hedef noktasından 3,65 cm, TR1 40 cm ve TR2, 70 cm uzaklığa yerleştirilmiştir.



Şekil 2.7. TR0, TR1 ve TR2 dedektörleri için z-ekseninde yerleştirilme şeması

Fiber dedektörlerinin yapımı için dış çapı 0.83 mm ve aktif alanı 0.73 mm olan (Kuraray SCSF-78) sintilatör kablolar kullanılmıştır. 4 kablo bitişik, 32 kanallı multi-anode foto

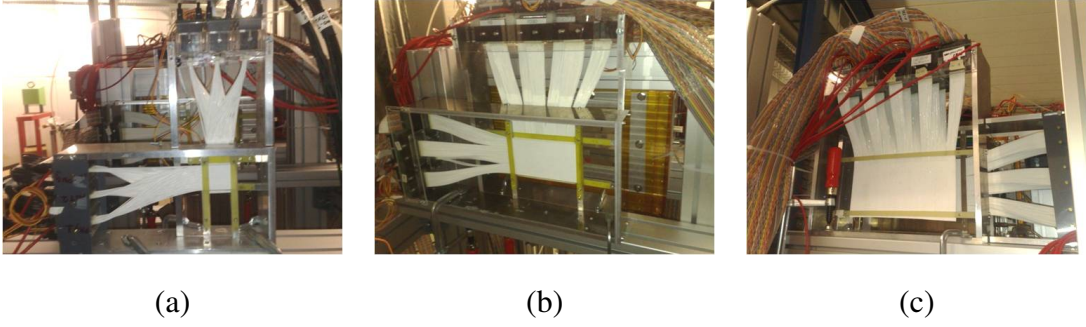
tüplere bağlanmıştır (HAMAMATSU H2760KS MOD). Dedektörlerin özellikleri özet halinde Tablo 2.1' de belirtilmiştir. Şekil 2.8.' de görüldüğü gibi her bir kablo merkezden 0.59 mm' lik aralıklar ile sıralanmıştır, aşağıda yine (TR0, TR1, TR2) dedektörlerinin fotoğrafları Şekil 2.9. (a), (b) ve (c)' de gösterilmektedir



Şekil 2.8. Fiber dedektörü için kullanılan PMT H2760KS MOD. yapısı

Çizelge 2.1. TR0x, TR0y, TR1x, TR1y, TR2x, TR2y fiber dedektörlerinin özellikleri

Name	Size [mm]	Number of channels	Number of PMTs
TR0x	39	64	3
TR0y	39	64	3
TR1x	139	224	7
TR1y	76	128	4
TR2x	245	416	13
TR2y	113	192	6



Şekil 2.9. Şekil (a) TR0 dedektörünün fotoğrafını, şekil (b) TR1 dedektörünün fotoğrafını ve şekil (c) ise TR2 dedektörünün fotoğrafı

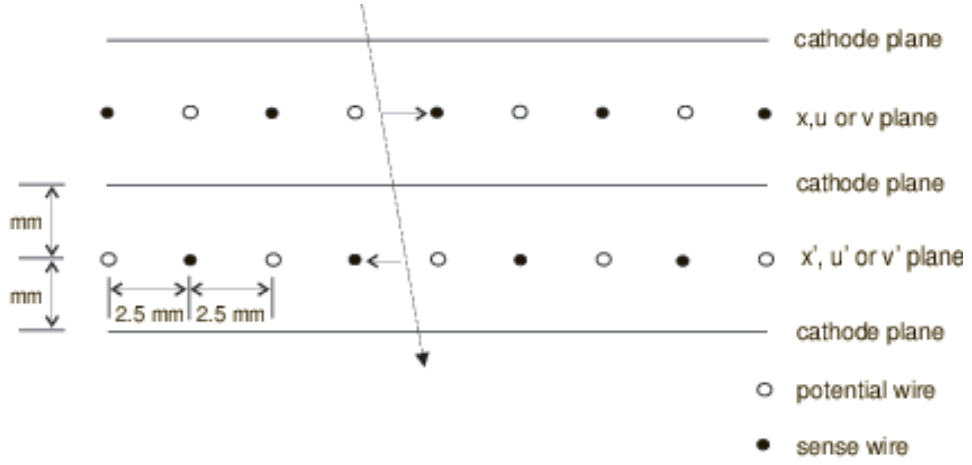
Foto tüpten alınan sinyal, “logic” sinyal üretimi için Double Threshold Discriminator (DTD) (çift eşikli ayırıcı) modülüne aktarılır, bu sistem merkezi Mainz/Almanya’da olan MAMI C, KaoS deneyi için geliştirilmiştir (Achenbach vd., 2008). DTD’den alınan logic (mantık) sinyal Field Programmable Gate Array (FPGA) ile VUPROM2 (VME Universal PROcessing Module) (Hoffman, vd., 2007) adı verilen modüle aktarılır. Fiber dedektörlerinde zaman bilgisinin ölçümü için kullanılan VUPROM2 modülünün her bir sinyal alımında ayırım için geçen süre 2.5 ns kadardır. TR0 dedektöründe kullanılan ve parçacıkların enerji değerinin depolanmasında CAEN VME QDC modülü kullanılmıştır.

2.2.3 Drift chambers (Sürüklenme odaları), BDC ve SDC

Yüklü parçacıkların iz-takibi ile belirlenmesi için ayrıca iki adet drift chamber (sürüklenme odaları) kullanılmıştır. BDC (Beam Drift Chamber), magnet önünde TR1 ve TR2 arasına monte edilmiştir. BDC dedektörünün şeması Şekil 2.10.’de gösterilmektedir. BDC, 6 kablolu xx' , uu' ve vv' şeklinde dizayn edilmiştir, uu' ve vv' $\pm 15^\circ$ derecelik açı ile dikey olan xx' kablolarına göre ayarlanmış hem yatay hem de dikey yönde, parçacığın dedektör üzerinde pozisyonunun ölçülmesini sağlamaktadır. Dedektör genişliği $24 \times 14 \text{ cm}^2$ olup her bir kablo arasındaki mesafe 5 mm’dir. Parçacıkların daha hassas bir şekilde ölçülmesi için çift kablolar arası mesafe 2.5 mm olarak ayarlanmıştır. BDC dedektörünün yapısı Şekil 2.11.’de gösterilmektedir.



Şekil 2.10. BDC drift chamber dedektörünün fotoğrafı

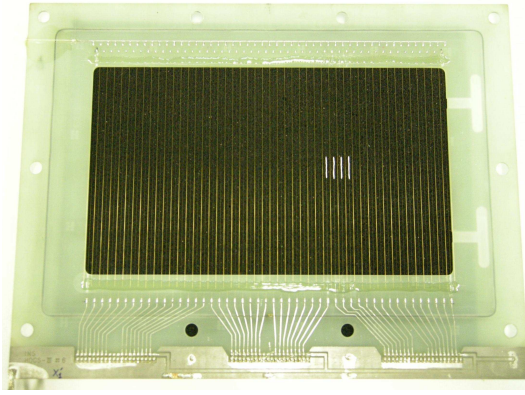


Şekil 2.11. BDC kablolarının kurulum şeması

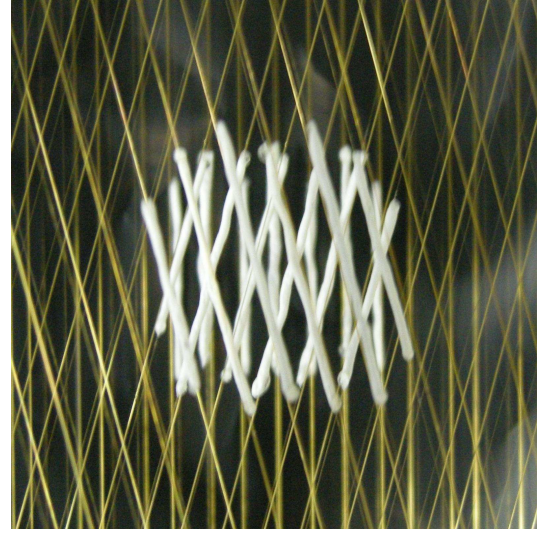
BDC dedektörü için Ar (70%) + CO₂ (30%) gaz karışımı kullanılmıştır. BDC, saniye başına 10⁵ parçacık için dizayn edilmiştir, yapılan deneyde gelen demet bu dedektör üzerinden geçtiği için ve dedektöre verilecek zararın önlenmesi için demet yönünde kalan kablolar Şekil 2.12. (a) ve Şekil 2.12. (b)' de ise gösterilen teflon malzeme yerleştirilerek maskeleye yapılmıştır. BDC dedektörü için genel bilgiler Tablo 2.2' de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. BDC dedektörünün fiziksel özellikleri

İsim	Uzay	Aktif Alan [cm ²]	Wire angle	Sürüklenme Aralığı [mm]
BDC	xx'	24[W]×14[H]	0°	2.5
	uu'		15°	2.5
	vv'		-15°	2.5



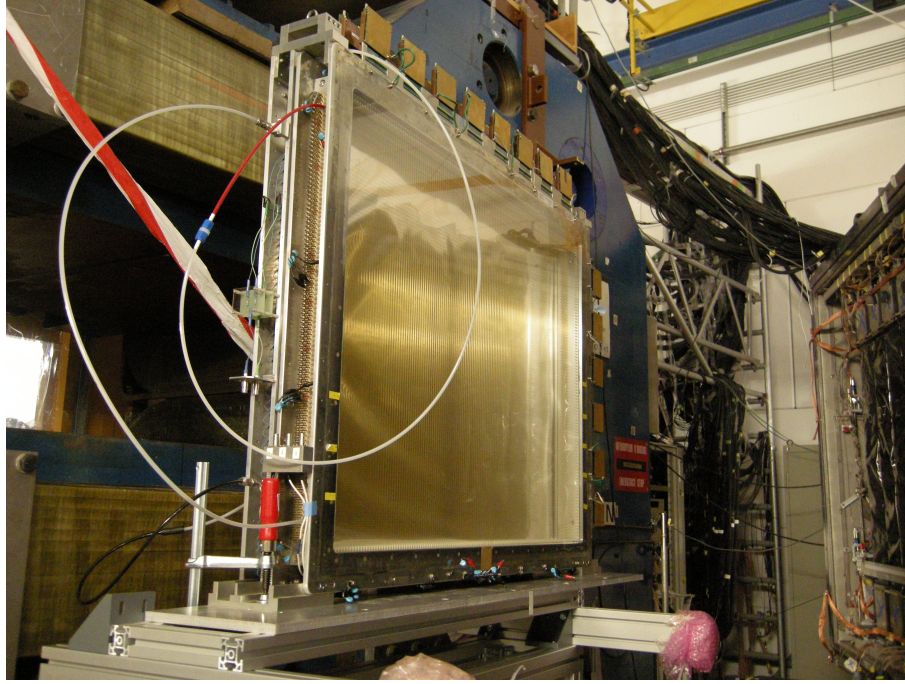
(a)



(b)

Şekil 2.12. Şekil (a) tek bir yüzey için teflon malzeme ile yapılan maskeleme gösterimini ve Şekil (b) ise TOF-Start dedektörünün fotoğrafı ve şekil (b)' de gelen demet yönünde yer alan BDC dedektörü için teflon ile yapılan maskeleme işlemini gösterilmektedir

Diğer bir drift chamber dedektörü Şekil 2.13.'de gösterilen, SDC (Scattered Drift Chamber) magnet arkasında ve parçacık iz-takibi için kullanılan diğer bir iz-dedektörü olmuştur. SDC, 5 adet kablodan (xx' , yy' ve u) meydana gelmektedir, u kablosu 45° lik açığa sahiptir. SDC dedektörünün genişliği 120×90 cm² kadardır. SDC için aynı şekilde Ar (70%) + CO₂ (30%) gaz karışımı kullanılmıştır, SDC dedektörüne ait olan ayrıntılı özellikler Tablo 2.3' de verilmektedir.



Şekil 2.13. SDC drift chamber dedektörünün fotoğrafı

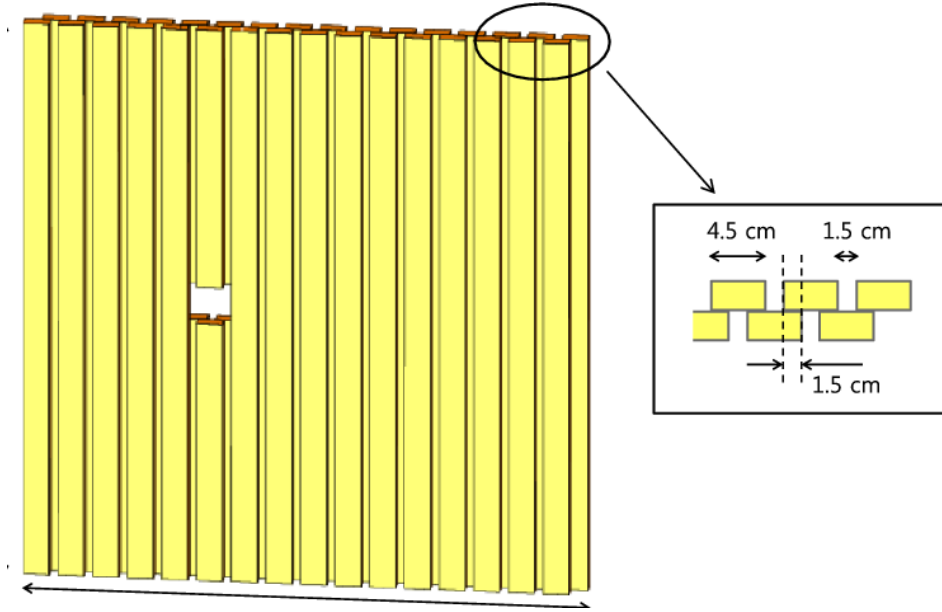
Çizelge 2.3. SDC dedektörünün fiziksel özellikleri

İsim	Uzay	Aktif Alan [cm ²]	Wire angle	Sürüklenme Aralığı [mm]
SDC	xx'	120[W]×90[H]	0°	4.5
	yy'		90°	4.5
	u'		45°	9.0

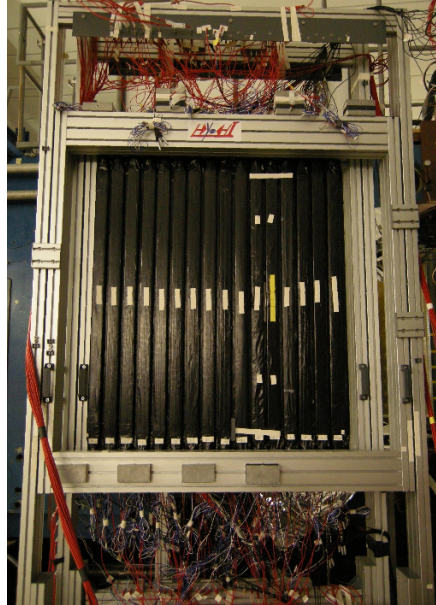
2.2.4 TOF-Plus (Pozitif parçacıklar için uçuş zamanı) dedektörü

Pozitif parçacıkların tanımlanması için Time-Of-Flight (TOF+) adı verilen dedektör kullanılmıştır. Yüklü parçacıkların, zaman, pozisyon ve enerjisinin belirlenmesi bu dedektör tarafından elde edilmektedir. TOF+, 32 adet (Bicron BC-408) sintilatörden oluşmaktadır, her bir sintilatör arasındaki mesafe 1.5 cm kadardır. TOF+ dedektörünün geometrik yapısı Şekil 2.14. ve Şekil 2.15.' de gösterilmektedir.

Plastik sintilatörlerin eni 2.5 cm, genişliği 4.5 cm ve uzunluğu 100 cm' dir. Sintilatörler



Şekil 2.14. TOF+ dedektörünün dizaynı

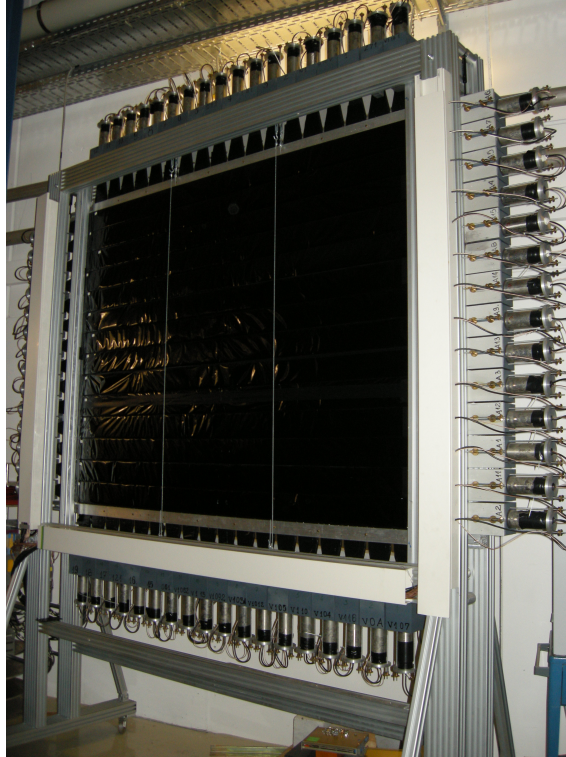


Şekil 2.15. TOF+ dedektörünün fotoğrafı

xz-eksenine dikey olarak konumlanmıştır, her bir sintilatör 1.5 cm aralıklar şeklinde dizilmiş olup x-pozisyonu ölçümünde ayırım değeri 1.5 cm' dir. TOF+ dedektörünün toplam alanı $97.5 \times 100 \text{ cm}^2$ kadardır. Plastik sintilatörlerden alınan veri HAMAMATSU R3478 foto tüpler sayesinde okunması sağlanmıştır, parçacıkların enerji ve zaman ölçümü ise CAEN VME QDC ve TDC modülleri ile elde edilmiştir.

2.2.5 TFW (Negatif parçacıklar için uçuş zamanı) dedektörü

Yüklü negatif parçacıkların (π^-) uçuş zamanı ve parçacık izinin tespiti için kullanılmıştır. TFW dedektörü Şekil 2.16.' de gösterildiği gibi yatay ve dikey olmak üzere toplam 32 adet plastik sintilatörden (SCSN-81) oluşmuştur. Her bir sintilatörün kalınlığı 0.5 cm ve genişliği 10.5 cm kadardır. Toplam dedeksiyon alanı $1.89 \times 1.47 \text{ m}^2$ kadardır. Parçacıkların enerji ve zaman bilgisi FASTBUS ADC ve CAEN VME TDC modülleri ile sağlanmıştır.



Şekil 2.16. TFW dedektörünün fotoğrafı

2.3 Trigger (Tetikleme) Sistemi

Deney elektroniginde veri alımı için “hypernuclear trigger” adı verilen sistem kurulmuştur. Bu sistem ile beraber 3 farklı (Secondary vertex trigger, π^- trigger ve fragment trigger (Pozitif parçacıklar için)) tetikleme sistemi, dedektör üzerinde meydana gelen her bir olayın sahip olduğu özelliğe göre algılayan sistemdir.

2.3.1 Secondary vertex trigger (İkincil uç tetikleme)

Daha önceki bölümde, fiber dedektörlerinin kurulum özellikleri anlatılırken bu dedektör sisteminin, tetikleme sistemi içinde kullanıldığı belirtilmiştir. Λ hiperonu ve hiperçekirdeklerin bozunumu, hedef arkasında meydana geldiği zaman fiber dedektörleri ile alınan sinyal VUPROM2 modülüne aktarım sağlanmaktadır. TR1 ve TR2 dedektörlerinden alınan sinyal TR0 dedektöründen alınan sinyal ile karşılaştırılır ve eğer gelen sinyal TR0 dedektöründen gelen sinyal ile aynı ise bu sinyal kaldırılmaktadır çünkü hiperçekirdek bozunumundan gelen π^- parçacığının TR0 üzerinde oluşması beklenmemektedir. Simulasyon çalışmasına göre (Rappold, C. 2010) reaksiyon sonucu oluşan olayların %14 kadarı bu tetikleme sistemi ile görülmesi amaçlanmıştır.

2.3.2 Pion (π^-) tetikleme

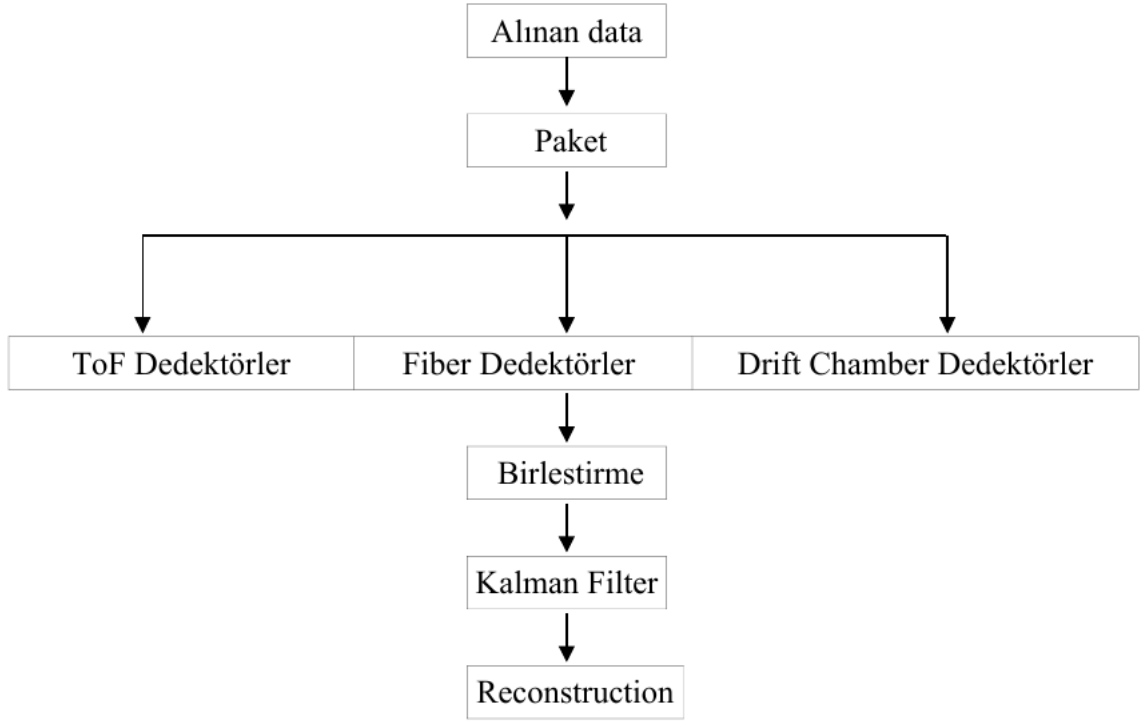
Belirli bir enerji seviyesinde TFW dedektörü üzerinden alınan sinyal ile bu tetikleme sistemi çalışmaktadır. Uygulanan manyetik alan ve TFW dedektörü için oluşturulan geometri ile bu dedektör üzerinde yalnızca π^- parçacıklarının gözlemlenmesi sağlanmıştır.

2.3.3 Fragment (Parça tetikleme)

Bu tetikleme sistemi $Z = 2$ parçacıkları için dizayn edilmiştir çünkü bu sistem kurulurken temel olarak ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin bozunum kanalı (${}^3\text{He} + \pi^-$) ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için ise bozunum kanalı olarak (${}^4\text{He} + \pi^-$) bilinmektedir, bu bozunum içerisinde yer alan Helyum parçacıkları göz önüne alınmıştır. Yapılan simulasyon çalışmalarına göre, gerçekleşen olayların %99’ nun bu sistem sayesinde analizi mümkün olmuştur (Rappold, C. 2007).

2.4 Veri Alımı ve Analiz Şeması

İlk aşama olarak Şekil 2.17.' de görüldüğü gibi deney süresince alınan verinin bir paket şeklinde toplanması ve analiz şeması oluşturmak olmuştur, veri alımı Go4 analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Adamczewski vd., 2002).



Şekil 2.17. Analiz şeması

İkinci aşama ise alınan verinin incelenmesi için dedektör özelliklerine göre ayırımı olmuştur. Bu aşamada uçuş zamanının ölçülmesi ve iz-takibi için kullanılan ToF dedektörler (ToF-Start, TOF+ ve TFW), iz bulma işlemi için kullanılan fiber dedektörler (TR0, TR1, TR2) ve drift chamber dedektörler (BDC ve SDC) için ayrı ayrı kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada her bir işlemde verinin ROOT formatına dönüştürülmesi yapılmıştır (Brun and Rademakers, 1997) . Daha sonra her bir dedektörün koordinat sistemi üzerinde pozisyon bilgisi belirlenmiştir daha sonra ise ayrılan bu dedektörlerin tek bir program içerisinde yer alması sağlanmıştır. Birleştirilen bu kısımların kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Yapılan kalibrasyon işlemleri diğer bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

BÖLÜM III

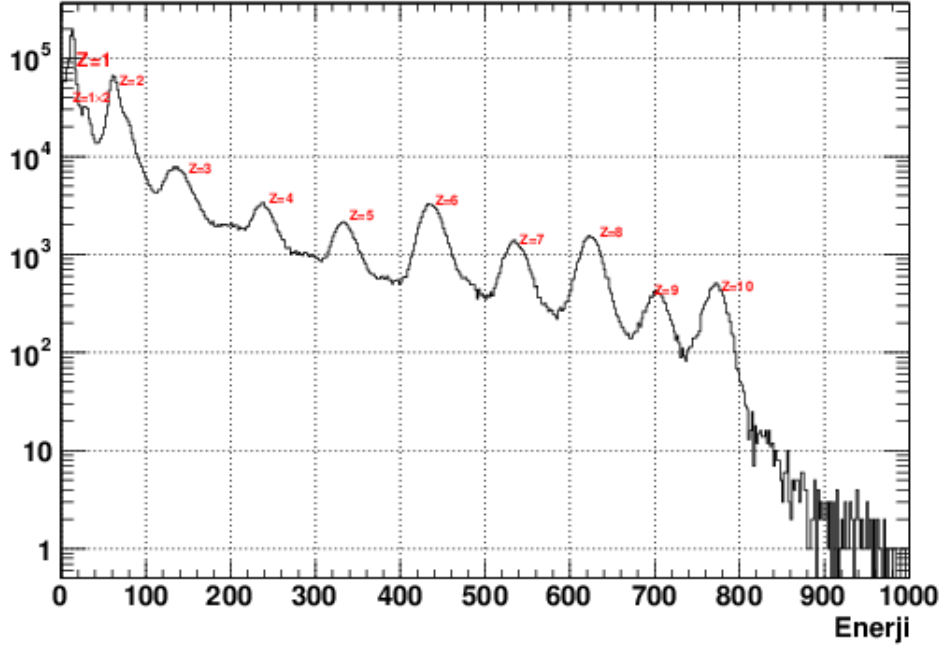
MATERYAL VE METOT

3.1 Veri Analizi için Kalibrasyon Ve Metot

Deney süresince oluşan parçacıkların iz-takip yöntemi ile belirlenmesinden önce her bir dedektörün pozisyon, enerji ve zaman bilgilerinin doğru bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Deneyde kullanılan tüm dedektörlerin pozisyonları, deneyden önce FARO Laser Tracker (Sigma 3D GmbH) kurumu tarafından $20\mu\text{m} + 10\mu\text{m}/\text{m}$ hassasiyeti ile ölçülmüştür.

3.1.1 Dedektörlerin kalibrasyonu

İlk olarak **Şekil 3.1.**' de görülen TOF+ dedektörü üzerinde oluşan pozitif parçacıkların (Z, parçacığın proton numarası) oluşturduğu QDC (enerji) dağılımları elde edilmiştir. Enerji değeri denklem 3.1 kullanılarak, her bir plastik sintilatör üzerinde yer alan, alt ve üst PMT'lerden elde edilen QDC (Charge-to-Digital Converter) değerinden hesaplanmıştır. **Şekil 3.1.**' de görüldüğü gibi deneyde kullanılan QDC modülü ile her bir parçacığı ayrı ayrı şekilde tanımlamak mümkün olmuştur.



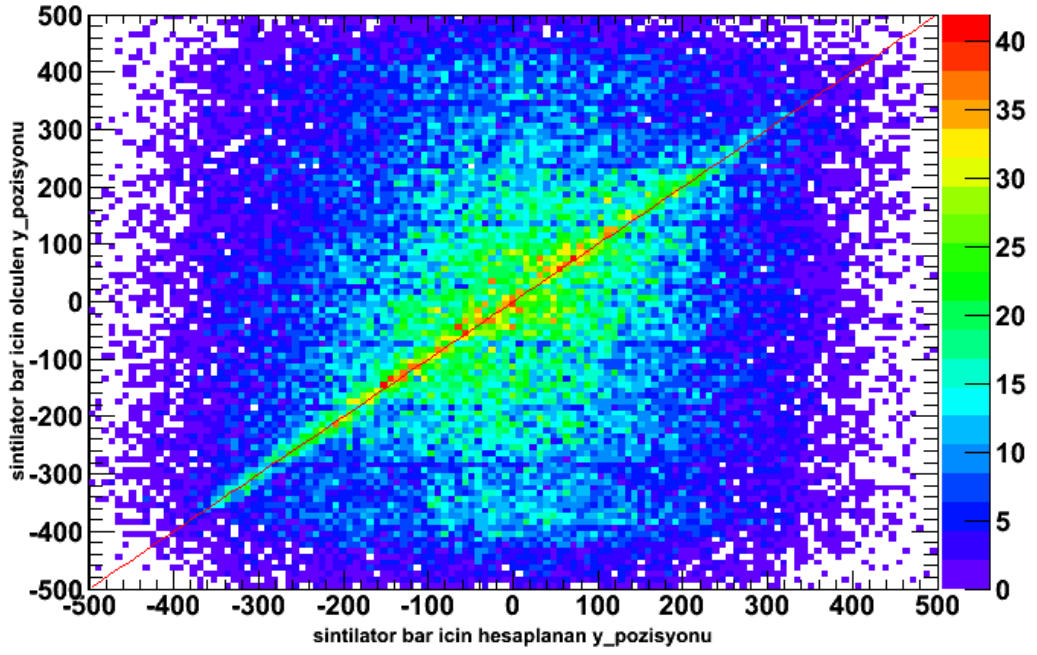
Şekil 3.1. TOF+ sintilatörleri üzerindeki parçacıkların enerji dağılımı

$$dE = \sqrt{QDC_{ust} \times QDC_{alt}} \quad (3.1)$$

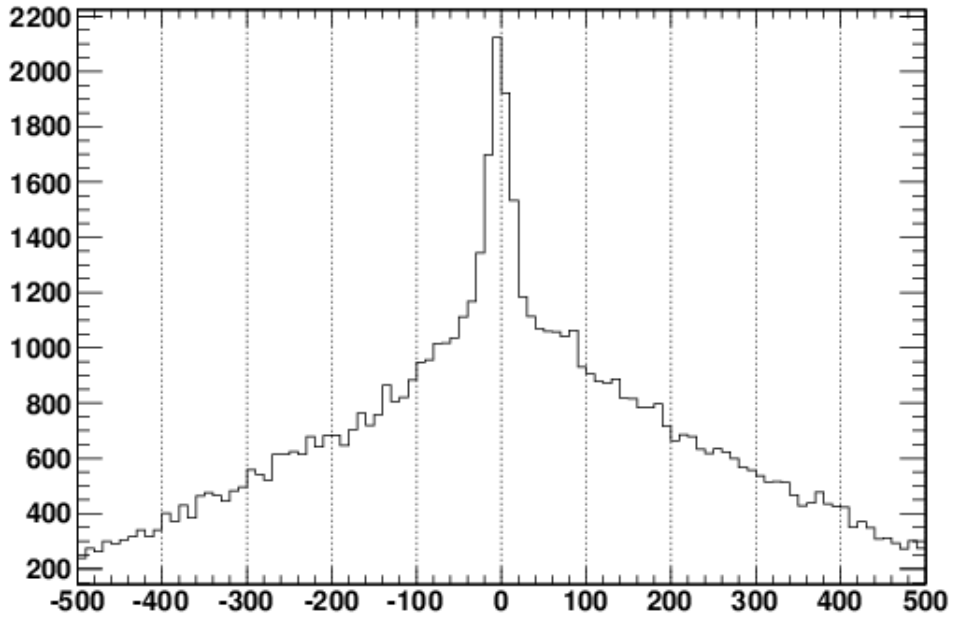
Daha sonra bu enerji bilgileri ve zaman bilgisi kullanılarak TOF+ dedektörü üzerinde yer alan her bir sintilatör için parçacıkların y -pozisyonu aşağıda verilen denklem 3.2 formülü ile elde edilmiştir, a kırılma indeksi, T_{ust} ve T_{alt} ise sintilatör üzerindeki alt ve üst PMT' den (Foto çoğaltıcı tüp) gelen zaman değerini ve Δ_y ' de düzeltme değerini ifade etmektedir.

$$y = a \times (T_{ust} - T_{alt}) + \Delta_y \quad (3.2)$$

Kırılma indeksi (a), her bir sintilatör için farklı değerler göstermekle beraber her bir PMT' nin performansına göre değişim göstermektedir, bunun için her bir sintilatör için ayrı ayrı kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde her bir sintilatör için farklı Δ_y değerleri söz konusu olmuştur.



Şekil 3.2. TOF+ dedektörü üzerinde yer alan sintilatörler üzerinde hesaplanan ve ölçülen parçacıkların y-pozisyonu dağılımı[mm]

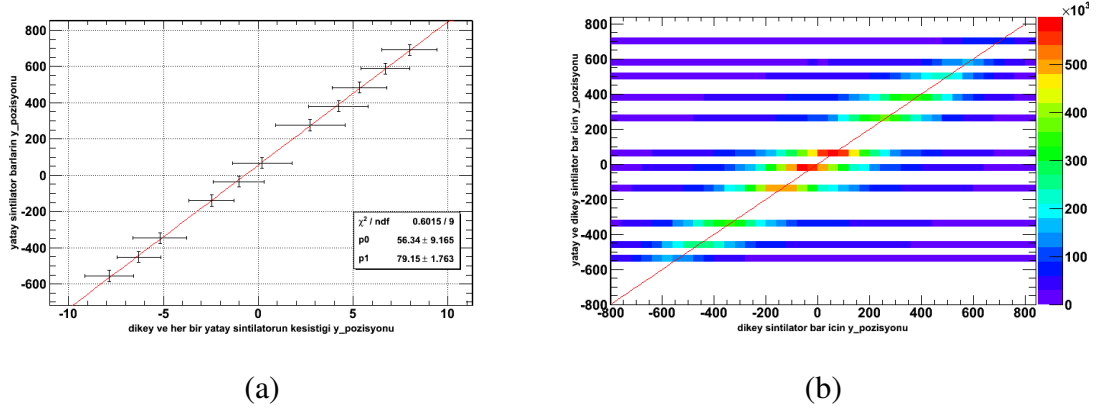


Şekil 3.3. TOF+ için sintilatör üzerinde hesaplanan ve ölçülen parçacığın y-pozisyonu farkı[mm]

Tüm bunlar göz önüne alınarak dedektör üzerinde oluşan her bir parçacık için sintilatör

üzerinde, fiber (TR1_y ve TR2_y) dedektörleri ve bir ToF dedektörü (pozitif parçacıklar için TOF+, negatif parçacıklar için ise TFW) kullanılarak yz-koordinat sistemi üzerinde lineer bir doğru elde edilmiştir. Pozitif parçacıklar için elde edilen bu lineer doğru ile hesap edilen y-pozisyonu ve dedektör tarafından ölçülen y-pozisyonu dağılımı Şekil 3.2.' de iki boyutlu bir şekilde gösterilmektedir, Şekil 3.3. ise elde edilen her bir dağılımın farkını ifade etmektedir. Z =1 ve Z =2 parçacıkları için TOF+ dedektörünün sahip olduğu her bir sintilatör üzerinde bu işlemler yapılarak kalibrasyon işlemi yapılmıştır.

Negatif parçacıkların tanımlanması için kullanılan TFW dedektörü üzerinde yatay ve dikey sintilatörler birlikte kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. TFW dedektörü üzerinde hem yatay hem de dikey yönde sintilatörler yer aldığı için y-pozisyonunun bulunması için bu iki düzlem üzerinde bir kesişme noktası oluşturarak parçacık pozisyonunun belirlenmesi sağlanmıştır.

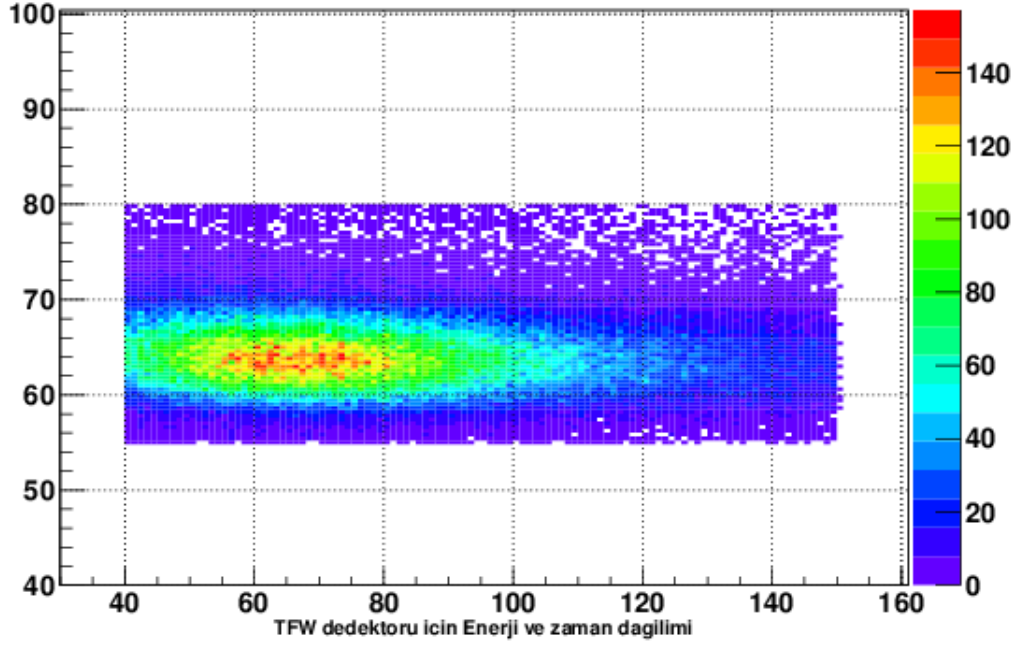


Şekil 3.4. Şekil (a) TFW için dikey ve her bir yatay sintilatörün kesişen y-pozisyonu ve yatay sintilatörlerin y-pozisyonu[mm], şekil (b) ise TFW için dikey sintilatör ve yatay+dikey sintilatörlerin kesiştiğini gösteren dağılımını gösterilmektedir[mm]

Şekil 3.4. (a) dağılımı, dikey sintilatör ile her bir yatay sintilatör üzerinde kesişen y-pozisyonu ve her bir yatay sintilatör için ölçülen y-pozisyon grafiği gösterilmektedir. Şekil 3.4. (b)' de ise dikey yönde yer alan sintilatör üzerinde ölçülen y-pozisyonu ve dikey+yatay sintilatör üzerinde ölçülen y-pozisyonunu göstermektedir.

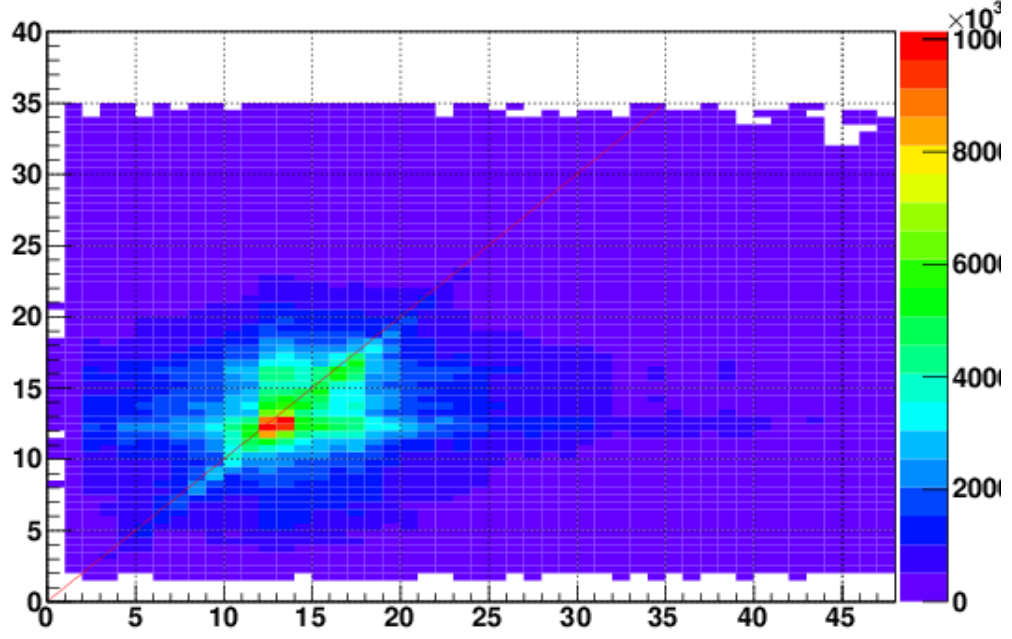
Aynı zamanda TFW-dedektöründen elde edilen enerji ve zaman bilgisi kullanılarak her bir sintilatör için walk-correction adı verilen kalibrasyon yapılmıştır. Sintilatör üzerinde enerji yüklenmesi belirli bir zamana kadar devam etmektedir, daha sonra bu yüklem

işlemi bir azalım göstermektedir. Bu zaman aralığındaki değişimin giderilmesi için walk-correction adı verilen işlem yapılmaktadır. Şekil 3.5.' de yapılan bu işlem sonrası TFW dedektörü için enerji-zaman dağılımı gösterilmektedir.



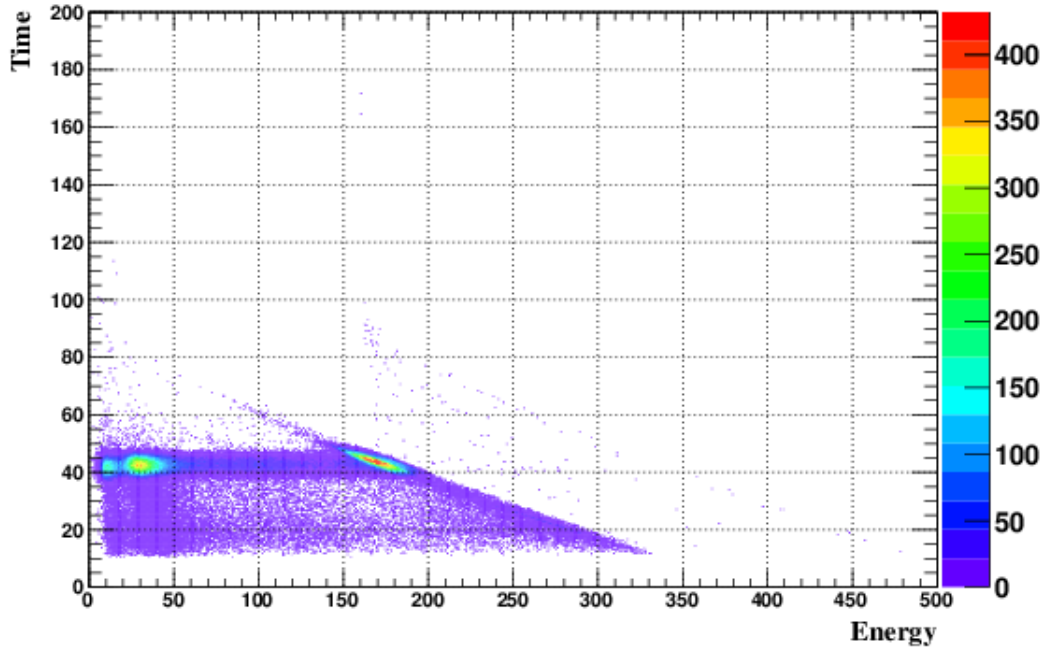
Şekil 3.5. TFW dedektörü üzerinde yer alan bir sintilatör için enerji-zaman dağılımı

BDC drift chamber dedektöründe bulunan her bir kablo için fiber ve ToF dedektörlerinden biri ile beraber extrapolasyon işlemi yapılarak her bir kablo için pozisyon kalibrasyonu işlemi yapılmıştır. Şekil 3.6.' de x-kablosu için hesaplanan x_{id} ve ölçülen x_{id} dağılımı gösterilmektedir. Bu işlem diğer kablolar içinde yapılmıştır.

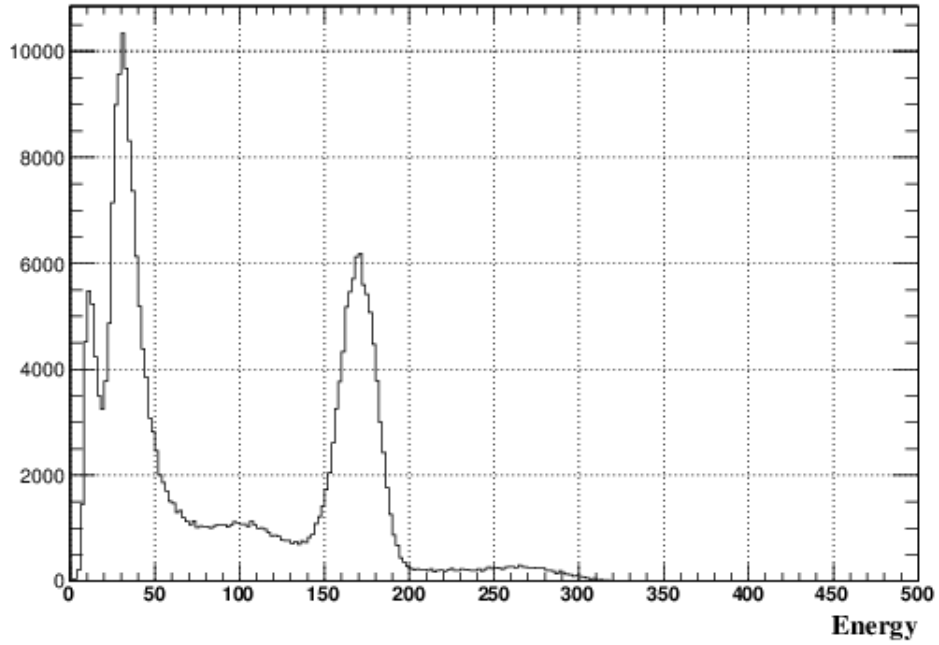


Şekil 3.6. BDC x-kablosu için hesaplanan ve ölçülen dağılım

Daha öncede ifade edildiği gibi deney düzeneği ^{20}Ne ağır iyon demeti için dizayn edilmediğinden dolayı kalibrasyon işlemlerinin uzun sürmesine neden olmuştur. Özellikle parçacıkların uçuş-zaman bilgisini elde etmekte kullanılan ve uçuş zamanının başlangıç noktasını tayin eden ToF-Start dedektöründeki sintilatörler üzerinde, kullanılan ağır iyon ve gelen demetin yüksek yoğunluğundan dolayı hasar oluşmuştur. Şekil 3.7.'de ToF-Start dedektörü üzerinde oluşan enerji ve zaman dağılımını göstermektedir.



Şekil 3.7. ToF-Start dedektörü üzerinde yer alan bir sintilatör için enerji-zaman dağılımı



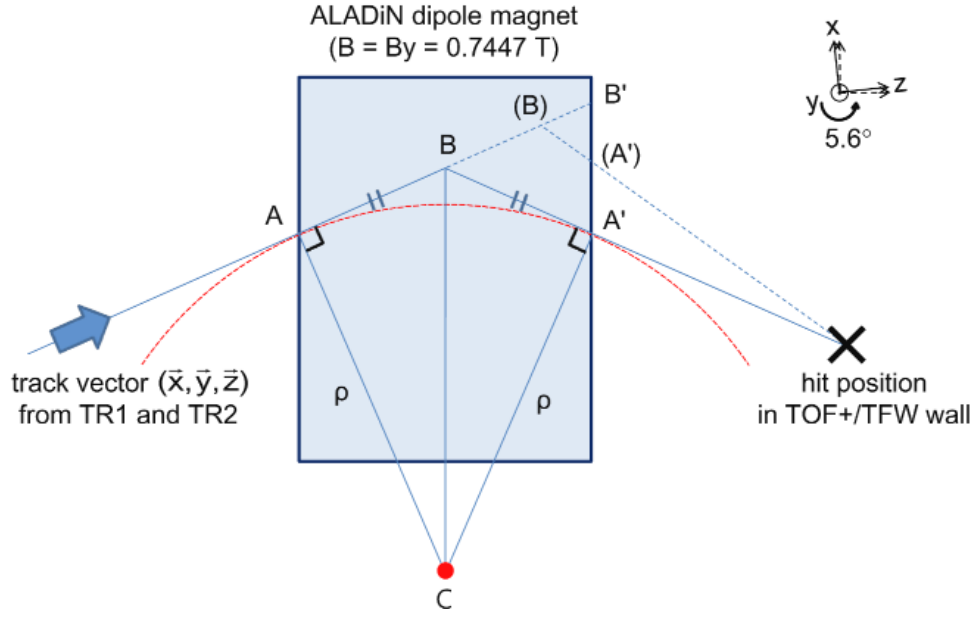
Şekil 3.8. ToF-Start dedektörü üzerindeki bir sintilatör için enerji dağılımı

Şekil 3.8.' de ise tek boyutlu enerji dağılımı gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere enerji görüntüsünde iki adet dağılımın oluştuğu gözlenmiştir. Dedektör üzerinde

oluşan enerji dağılımı için yapılan kalibrasyon işlemlerinde hangi kısmın gelen demetten kaynaklandığı, hangi kısmın gelen demetin yoğunluğundan kaynaklanan gürültü olabileceği üzerine uzun çalışmalar yapılmıştır. Dedektör üzerinde yer alan her bir sintilatör için kombinasyonlar kurulup her bir sintilatör için doğru olan bölge seçilip parçacıkların tanımlanması gerçekleştirilmiştir.

3.2 Parçacıklar için İz-bulma Yöntemi

Dedektörler üzerinde oluşan parçacık sinyallerinin tayin edilmesi için iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk olarak her bir dedektör üzerinde oluşan izler, lineer-bağlantı kurularak “pre-tracking” adı verilen ilk aşama gerçekleştirilmiştir. Bu aşama ile gelen demetin sabit hedef ile çarpışması sonucu oluşan ve dedektör üzerinde gürültü olarak bilinen sinyallerin belirli bir bölümünün yok edilmesi sağlanmıştır. Daha sonra “Kalman Filter” adı verilen ve daha hassas şekilde parçacıkların belirlenmesini sağlayan yöntem kullanılmıştır (Rappold vd., 2010). TR1, TR2 ve pozitif parçacıklar için TOF+, negatif parçacıklar için TFW dedektörleri ile oluşan tüm sinyal kombinasyonları ki-kare (χ^2) dağılım metodu ile lineer bir bağlantı oluşturularak analiz yapılmıştır. TR1 ve TR2 arasında bu dedektörler üzerinden alınan sinyaller bir vektör ile belirtildikten sonra bu iki dedektör arasında yer alan BDC ile bu vektörün kontrolü sağlanmaktadır bu aşamada BDC sayesinde gürültü oranının azalması sağlanmıştır. TR1, TR2 ile beraber TOF+ veya TFW dedektörlerinin üzerinde oluşan sinyaller için y-bileşeni ve z-bileşeni kullanılarak oluşturulan χ^2 değerinin 20’ den az olan kısım doğru sinyal olarak kabul edilmiş, bu değer üzerinde kalan bölgenin gürültü olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.9.’ da parçacıkların izinin bulunması yöntemi için kullanılan metot gösterilmektedir.



Şekil 3.9. İz-takip yöntem şeması (Kim, 2013)

Şekil 3.9.' de görüldüğü üzere TR1 ve TR2 dedektörlerinden başlangıç vektörünün $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ yüzeyleri hesap edilmiştir. Gelen başlangıç vektörünün magnet başlangıç noktasından itibaren oluşturduğu doğru ile TOF+ veya TFW dedektörlerinden gelen sinyalin magnet çıkış noktası ile diğer bir vektör oluşturulmuştur. Bu her iki vektörün kesiştiği nokta B ile tanımlanmıştır. Şekil 3.9.' de görüldüğü gibi kesişim noktasının bulunduğu noktada AB ve BA' vektörlerinin eşit konumda olması gerekmektedir. C merkezli oluşturulan daire ile yarıçap (ρ) hesap edilmiştir. ρ ' nun hesaplanması ile her bir parçacığın momentumu aşağıdaki denklem 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$P_{zx} = 0.3 \times B \times \rho \times q \quad (3.3)$$

Burada P_{zx} parçacığın momentumunu, B magnetik alanı ($B = 0.7447$ T) ve q ise parçacığın yük numarasını ifade etmektedir. Parçacıklara ait olan toplam momentum P_{zx} ve TR1, TR2 dedektörlerinden elde edilen birim vektör bileşenleri denklem 3.4 kullanılarak elde edilir.

$$P = P_{zx} \times \frac{\sqrt{\vec{x}^2 + \vec{y}^2 + \vec{z}^2}}{\sqrt{\vec{x}^2 + \vec{z}^2}} \quad (3.4)$$

3.2.1 Kalman Filter

Kalman filter metodu son zamanlarda yüksek enerji fiziği alanında yapılan deneylerde kullanılan ve daha hassas bir şekilde parçacık izlerinin bulunmasında kullanılan bir yöntem olmuştur. Bu yöntem daha önce radar takip yöntemi ile çalışan araçlar için tasarlanmıştır. Yüksek enerji fiziği çalışmalarında kullanılması için ilk olarak (Billoir, 1984; Billoir vd., 1985) tarafından ele alınmıştır. Yapılan bu tür deneylerde gürültü sayımının fazla olmasından dolayı parçacık izlerinin doğru bir şekilde bulunması bu yöntem ile başarılı bir şekilde elde edilmesi sağlanmıştır (Kalman, 1960; Frühwirth, 1987).

Kalman filter metodunda gelen demet boyunca izlerin dedektör geometrisine bağlı olarak, (z) ekseninde dedektör üzerine bırakılan izler 5 farklı parametre tanımlanarak durum vektörü (\mathbf{r}) belirlenir. $x(z)$ (z pozisyonunda x koordinatını), $y(z)$ (z pozisyonunda y koordinatını), t_x (xz düzleminde görülen izlerin eğimi ($\tan\theta_x = P_x/P_z$)), t_y (yz düzleminde görülen izlerin eğimi ($\tan\theta_y = P_y/P_z$)), q/p (q yük durumunu ve p ise momentumu ifade etmektedir). Kalman filter “optimal estimator” olarak tanımlanmıştır. Bu aşamada dedektörlerden alınan sinyaller gauss fonksiyonu şeklinde bir dağılım oluşturduğu zaman, Kalman filter bu fonksiyon içerisinde ortalama değerdeki en iyi parametreyi minimize edilmiş şekilde işlem gerçekleştirerek doğru sinyal alımını sağlamaktadır. Eğer alınan sinyal gauss dağılımı şeklinde değilse, yine burada Kalman filter yöntemi ile lineer şekilde gelen sinyalleri değerlendirerek doğru sinyal alımında rol oynamaktadır.

Kalman filter modeli, \mathbf{t} zamanındaki sistem durumunda, bir önceki $\mathbf{t} - 1$ zaman durumuna bağlı olarak durum vektörünü geliştirerek devam eder.

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{F}_t \mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{B}_t \mathbf{u}_t + \omega_t \quad (3.5)$$

Burada;

\mathbf{F}_t , \mathbf{x}_{t-1} zamanında uygulanan geçiş modeli olarak tanımlanır. t zamanında elde edilen sinyal ile \mathbf{x}_{t-1} zamandaki sinyalin o anki konumunda etkisi söz konusudur.

\mathbf{u}_t vektörü kontrol değerlerinin yönlendirilmesi olarak adlandırılır.

\mathbf{B}_t , \mathbf{u}_t ile verilen kontrol değerlerinin uygulanmasını sağlayan matrix.

ω_t ise sinyal alımı sırasında elde edilen durum vektörü içerisinde tüm parametreleri içeren vektör.

Bir diğer ölçüm model sistemi ise,

$$\mathbf{z}_t = \mathbf{H}_t \mathbf{x}_t + \mathbf{v}_k \quad (3.6)$$

Denklem 3.6' da;

\mathbf{z}_t , doğruluğu kesin olmayan ölçülen vektörü ifade ederken, sinyal değeri \mathbf{x}_t ile gürültü (\mathbf{v}_k) arasında linner bir kombinasyon söz konusudur. Kalman filter işleminde temel olarak 3 farklı durum söz konusudur. İlk olarak, tahmin, yani modelin bulunduğu yerde olan durumdan, diğer bir safhada gelebilecek olan durumun tahmini söz konusudur. İkinci durumda, filtreleme, bir önceki ölçüm değerinin uygulanması ile şu anki durumun tahmin edilmesi ve durum vektörünün belirlenmesindeki son aşama, düzeltme, bir önceki durum vektörünün şu anda bulunan durum vektörü göz önüne alınarak tekrar hesaplanıp düzeltme işleminin gerçekleştirilmesi.

3.3 Parçacıkların Tanımlanması

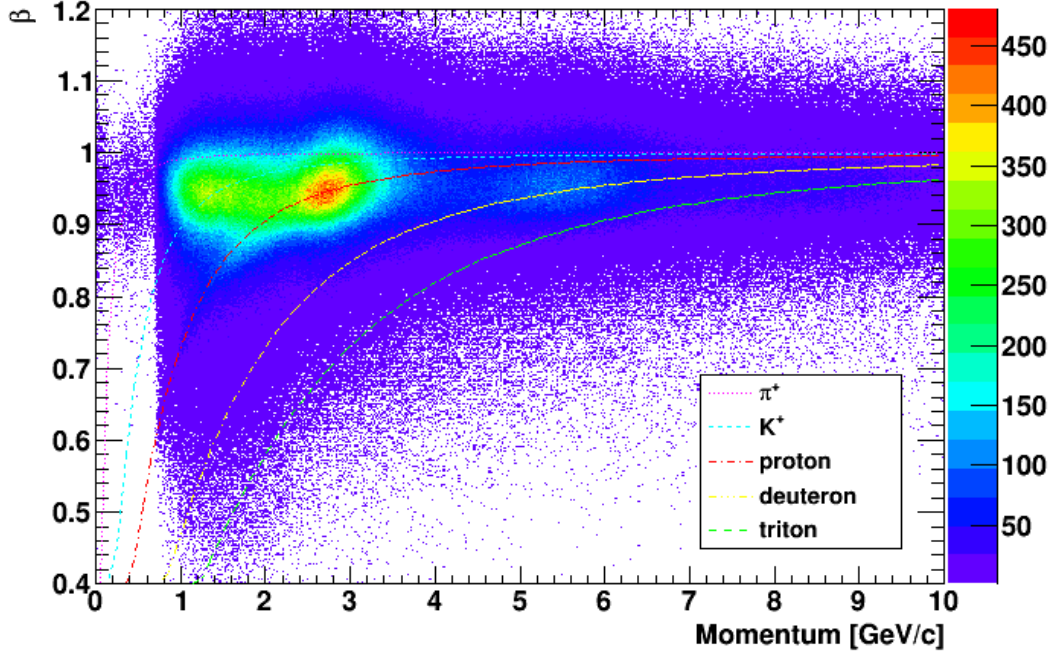
Yapılan fizik deneylerinde parçacıkların tanımlanması (belirlenmesi) önemli bir çalışma gerektirmektedir. Yaptığımız deneyde ilk olarak pozitif ve negatif parçacıkların tanımlanması için gerekli dedektör kalibrasyonları ve parçacıkların belirlenmesi için kullanılan yöntem bir önceki bölümde anlatılmıştır. Pozitif parçacıkların tanımlanması, TOF+ dedektörü üzerinde her bir sintilatör için Şekil 3.1.' de görülen ve her bir parçacık ($z=1, z=2, \dots$) için enerji, momentum, beta (β) aralıkları belirlenmiştir. Aynı şekilde TFW dedektörünün kullanılması ile π^- parçacığının tanımlanması gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 $Z = 1$ parçacıklarının belirlenmesi

$Z = 1$ (proton, döteron ve trityum) parçacıklarının ayırımının yapılabilmesi için bu parçacıklar arasında, parçacık hızı (β) ve momentumun hesaplanması ile bu parçacıklar arasındaki ilişkiden doğru bir tanımlama yapılması sağlanabilmektedir.

$$\beta = \frac{p}{\sqrt{p^2 + m^2}} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7' de verilen teoriksel ifade ile $Z = 1$ parçacıkları arasındaki ilişki Şekil 3.10.' de verilmiştir.



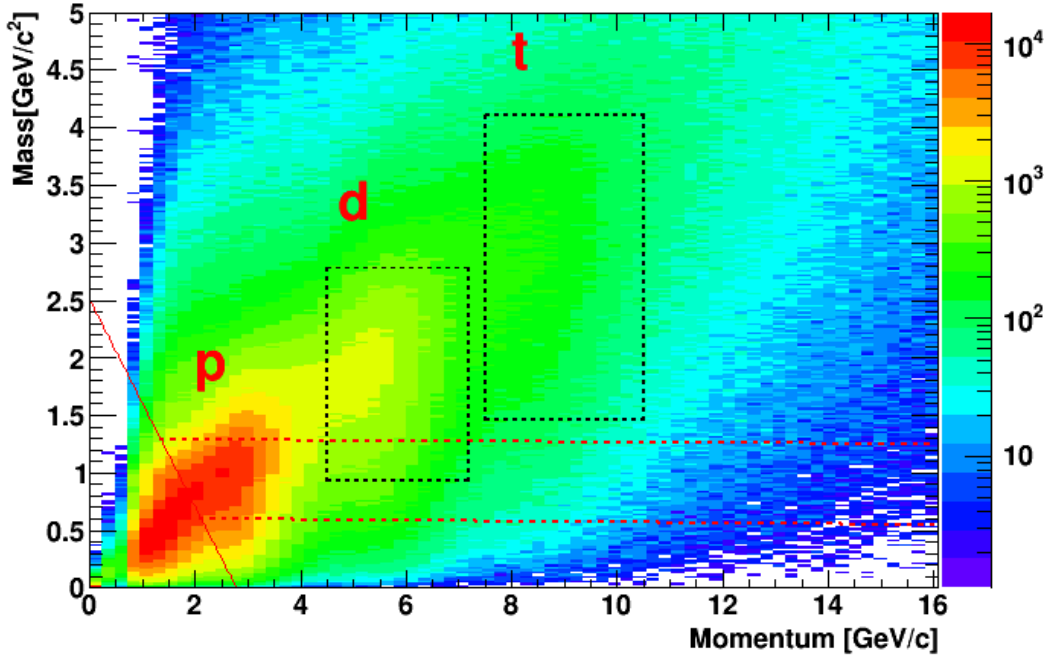
Şekil 3.10. $Z = 1$ parçacıkları için momentum- β korelasyonu

Şekil 3.10.' den görüleceği üzere her bir parçacığa (proton (p), döteron (d), trityum (t), π^+ , K^+) denk gelen β çizgisi bize elde edilen dağılımın doğruluğunu göstermektedir. Aynı zamanda $Z = 1$ parçacıkları için denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak bu parçacıklara ait olan kütlelerin elde edilmişliği sağlanmıştır.

$$m = \frac{p}{\gamma\beta} \quad (3.8)$$

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2} \quad (3.9)$$

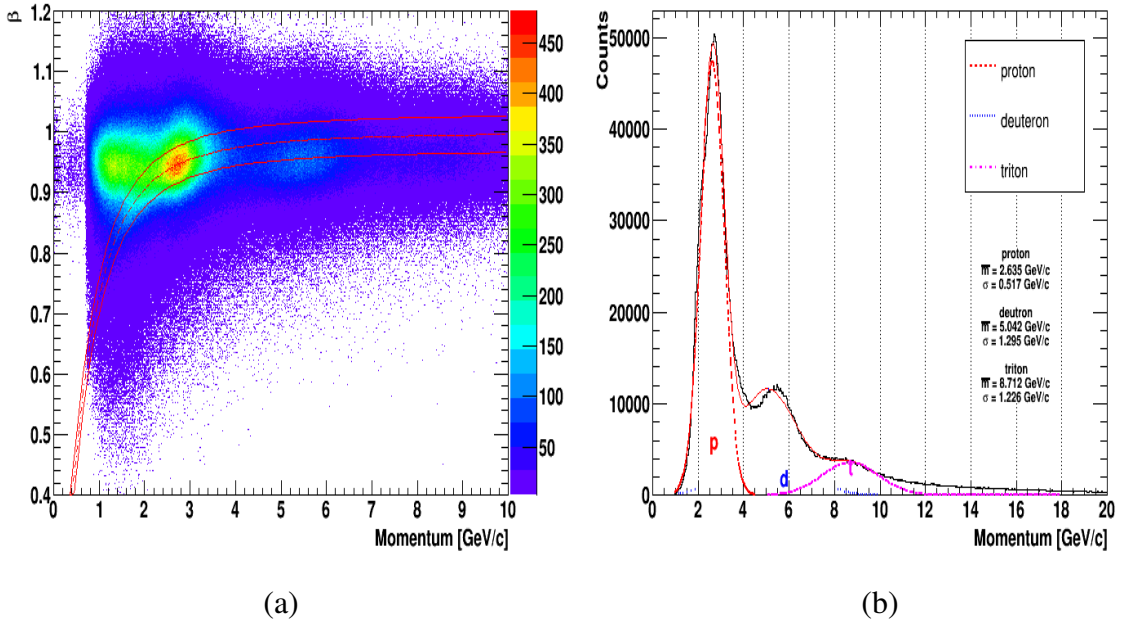
Şekil 3.11.' de $Z = 1$ parçacıklarına ait olan momentum ve kütle korelasyonunun dağılımı ve yapılandırma yapılırken bu dağılım üzerinden bu parçacıklara ait olduğu bilinen alanlar gösterilmektedir.



Şekil 3.11. $Z = 1$ parçacıkları için momentum-kütle ilişkisi

Şekil 3.11.' den görüleceği üzere protonun kütlesi için kırmızı çizgilerle belirtilen bölge reconstruction (yapılandırma) yapılırken seçilen alan olmuştur.

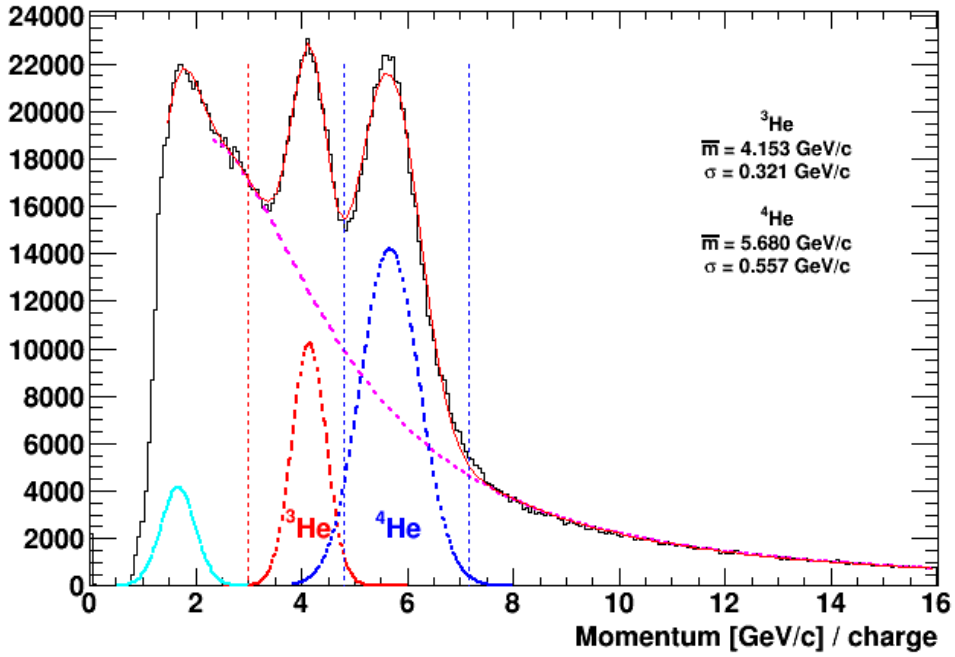
Şekil 3.12. (a)' da Λ hiperonun oluşturulması sırasında proton olarak kabul edilen ve proton- β dağılımından oluşan $\beta = \frac{p}{\sqrt{p^2+m^2}} + 0.04$ ve $\beta = \frac{p}{\sqrt{p^2+m^2}} - 0.04$ aralığı kabul edilmiştir. Şekil 3.12. (b)' de ise tek boyutlu $Z = 1$ parçacıkları için momentum dağılımı gösterilmektedir yine aynı şekilde yapılandırma yapılırken protonun momentum aralığı $0.0 < P < 4.3$ şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 3.12. $Z = 1$ parçacıkları için momentum- β aralığı (a) tek boyutlu momentum dağılımı (b)

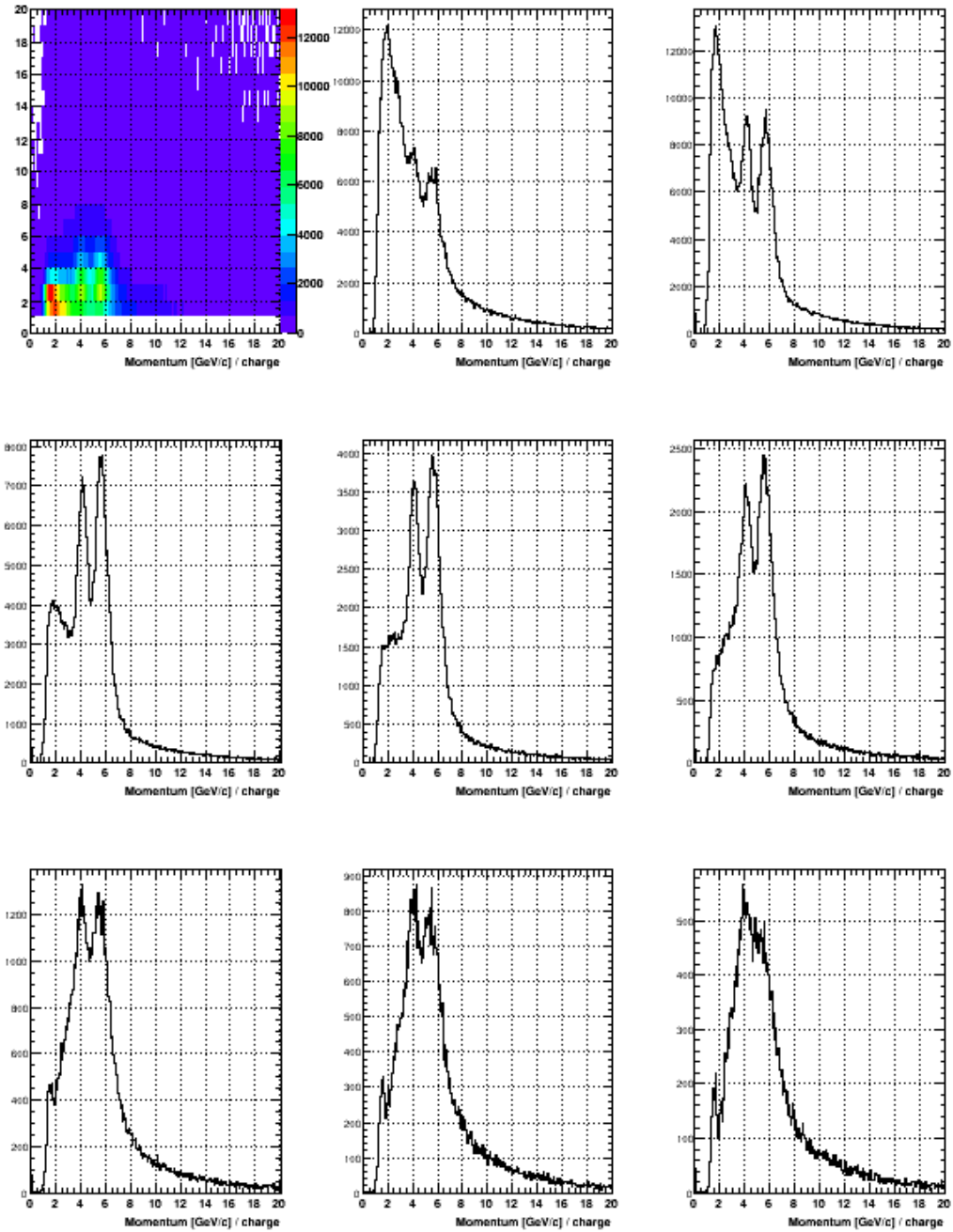
3.3.2 $Z = 2$ parçacıklarının belirlenmesi

Şekil 3.1.' de görülen TOF+ dedektörünün enerji dağılımı üzerinde görülen ($Z = 2$) Helyum parçacıkları için parçacık tayini ilk olarak yapılmıştır. Yapılan deneyde, $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile TOF+ dedektörü üzerinde çok fazla sayım olduğu görülmüştür. Bunun bir nedeni TOF+ dedektörü ile beraber magnet arkasında ikinci bir dedektörün olmamasından kaynaklanmaktadır. Yapılan kalibrasyon işlemleri sırasında ilk olarak başlangıçta elde edilen momentum dağılımı Şekil 3.13.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.13. $Z = 2$ (${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$) parçacıklarına ait olan momentum dağılımı

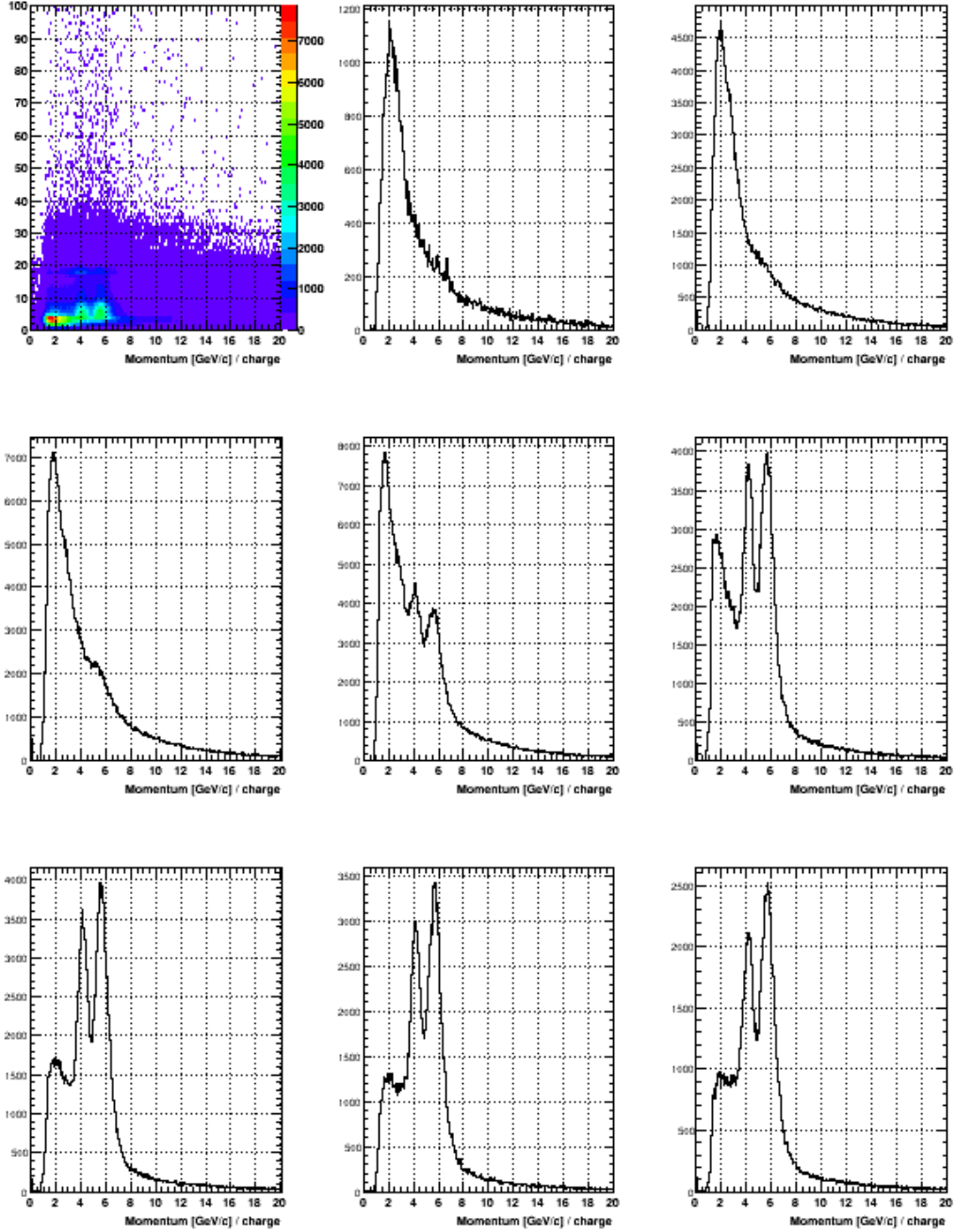
Şekil 3.13.' de ${}^3\text{He}$ ve ${}^4\text{He}$ parçacıkları ve yüksek sayım sonucu oluşan kombinasyonel olarak adlandırılan dağılım görülmektedir. Oluşan bu kombinasyonel kısmın azalması ve bu sayede daha net bir şekilde ${}^3\text{He}$ ve ${}^4\text{He}$ parçacıklarının görülebilmesi için fiber dedektörü üzerinde sinyallerin oluşturduğu cluster (küme) ve her bir sinyal için sinyal-genişliği göz önüne alınarak momentum dağılımı daha net bir biçimde gözükmesi sağlanmıştır. İlk olarak TR1x fiber dedektörü için Şekil 3.14.' de verilen ve ilk şekilde gösterilen her bir cluster sayısının oluşturduğu momentum dağılımı iki boyutlu şekilde verilmiştir, x-ekseni momentumu ve y-ekseni ise cluster sayısını ifade etmektedir. Diğer şekillerde ise her bir cluster sayısına (cluster=1,2,3 ...) ait olan tek boyutlu momentum dağılımı gösterilmektedir. Dağılımlardan görüldüğü üzere, cluster sayısı 1 veya 6'dan büyük olduğu zaman bu kısımdan gelen sinyallerin çok fazla gürültüye sahip olması dolayısıyla, yapılandırma yapılırken bu kısım yok sayılmıştır. Aynı kalibrasyon işlemi diğer fiber dedektörleri (TR1y, TR2x, TR2y) içinde yapılmıştır, bu sayede ${}^3\text{He}$ ve ${}^4\text{He}$ parçacıklarının tanımlanması, kombinasyonel kısmın azaltılması ile yapılandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. $Z = 2$ parçacıkları için momentum ve fiber cluster dağılımı (birinci şekil) ve her bir cluster'a karşılık gelen momentum dağılımları

$Z = 2$ parçacıklarından alınan sinyallerin temizlenmesi ve oluşan kombinasyonel sinyallerin azaltılması için yine fiber dedektöründen alınan sinyallerin genişliğine bakılmıştır. Birinci şekilde x-ekseni momentumu, y-ekseni ise sinyal genişliğinin değerini vermektedir. Diğer şekillerde ise her bir değere karşılık gelen momentum dağılımı gösterilmektedir. Yine burada ${}^3\text{He}$ ve ${}^4\text{He}$ parçacıklarına karşılık gelen sinyallerin

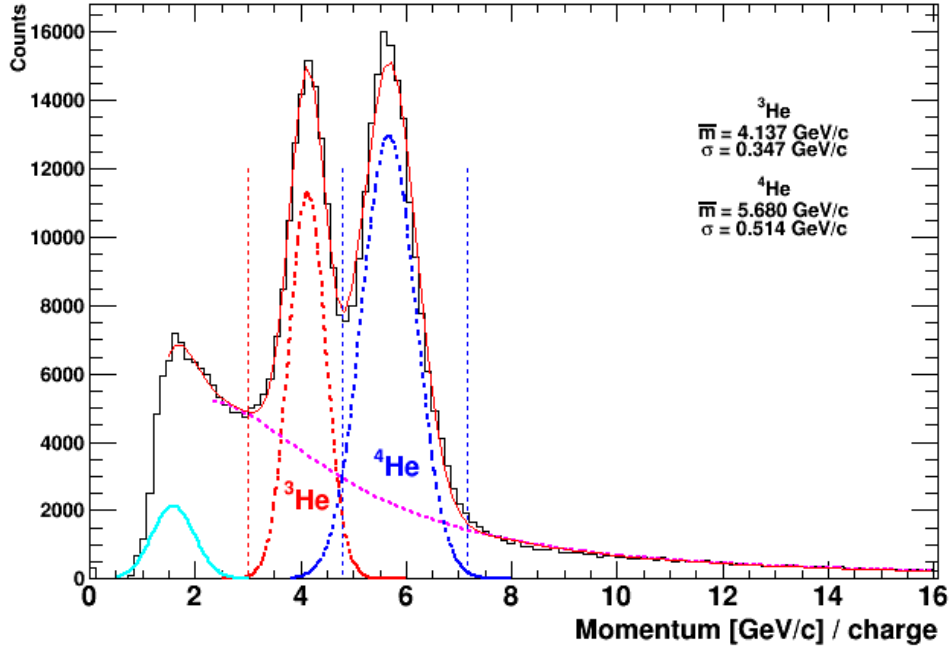
temizlenmesi için sinyal genişliği 4'den düşük ve 15'den büyük olduğu zaman bu sinyaller yok sayılmıştır. Şekil 3.15., yalnızca TR1x fiber dedektörü üzerindeki dağılımı göstermektedir, aynı şekilde diğer fiber dedektörleri (TR1y, TR2y) içinde aynı çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.15. $Z = 2$ parçacıkları için momentum ve sinyal genişliği dağılımı (birinci şekil) ve her bir sinyal genişliğine karşılık gelen momentum dağılımları

Yapılan bu kalibrasyon işlemlerinin ardından ${}^3\text{He}$ ve ${}^4\text{He}$ parçacıklarına ait olan mome-

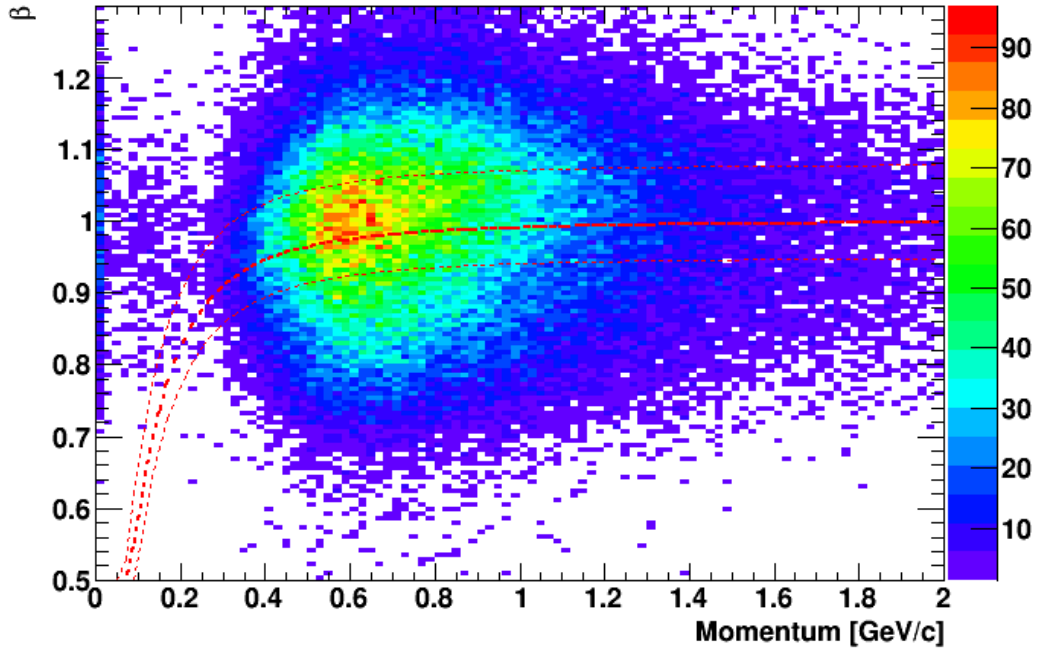
tum dağılımında, ${}^3\text{He}$ parçacığı kırmızı kısa çizgiler, ${}^4\text{He}$ parçacığı için ise mavi kısa çizgiler aralığında seçilmiş olup Şekil 3.16.' de gösterilmiştir. Şekil 3.16.' den ifade edildiği üzere ve daha önce verilen Şekil 3.13.' deki momentum dağılımına göre daha net bir şekilde $Z = 2$ parçacıklarının tanımlanması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. $Z = 2$, (${}^3\text{He}$ ve ${}^4\text{He}$) parçacıkları için momentum dağılımı

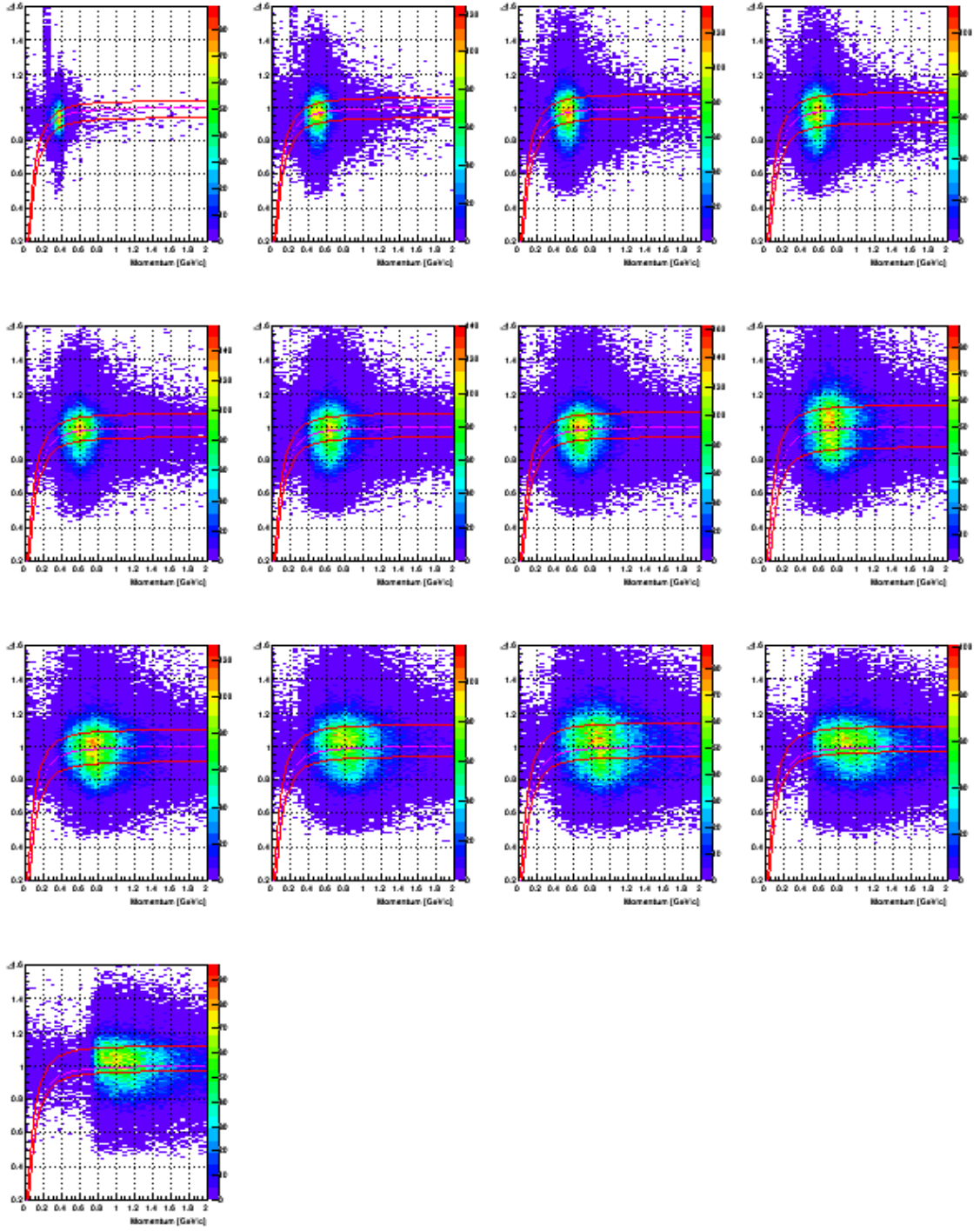
3.3.3 $Z = -1$, pion (π^-) parçacığının belirlenmesi

Negatif pion (π^-) parçacıklarının tanımlanması için TFW dedektörü kullanılmıştır. Pion parçacığı içinde β ($\beta = p/\sqrt{p^2 + m_{\pi^-}^2}$) hesaplanmıştır, ve momentum- β dağılımı Şekil 3.17.' de gösterilmektedir. Kısa çizgiler ile gösterilen bölge ($p/\sqrt{p^2 + m_{\pi^-}^2} - 0.03 < \beta < p/\sqrt{p^2 + m_{\pi^-}^2} + 0.03$) ile elde edilmiştir. Bu alan Λ -hiperonu, ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerinin yapılandırılması için kabul edilen π^- ' leri ifade etmektedir.



Şekil 3.17. Pion (π^-) parçacığı için momentum-beta dağılımı

Λ hiperonu, ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdek yapılandırmalarında pion parçacıklarının seçimi yapılırken TFW dedektörünün sahip olduğu her bir sintilatör için momentum- β dağılımı elde edilmiştir. Şekil 3.18.' de görüldüğü gibi her bir sintilatör için ayrı ayrı β parametreleri kullanılmıştır.

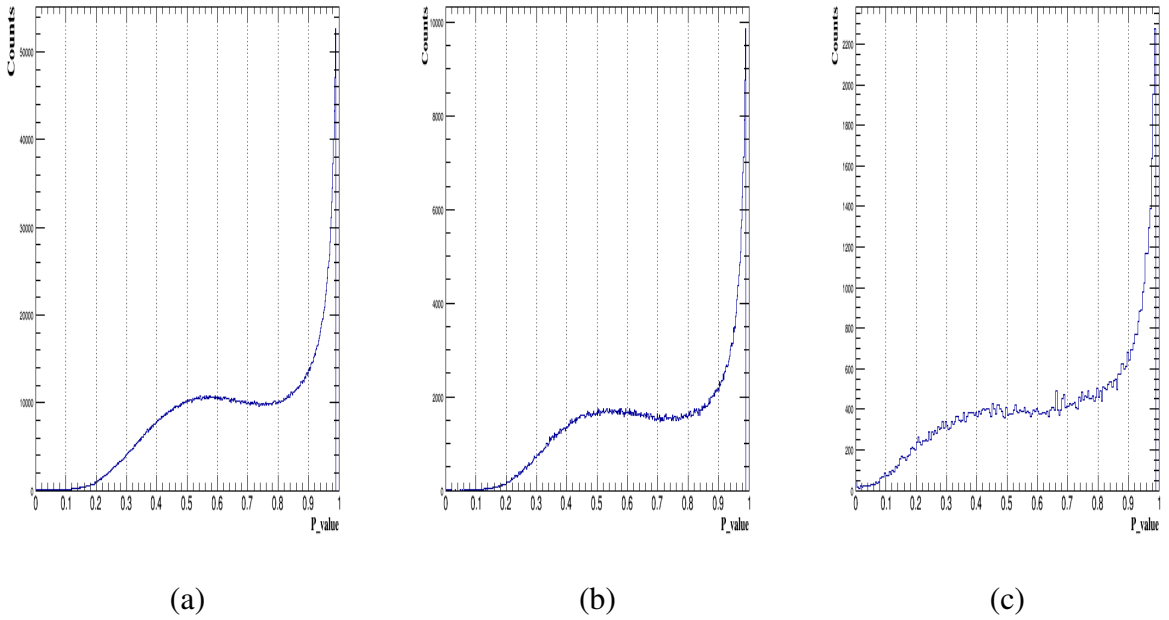


Şekil 3.18. π^- parçacığının TFW dedektörü üzerindeki her bir sintilatör için momentum-beta (β) dağılımı

3.4 Yapılandırma için Parçacık-iz Seçimi

Reaksiyon ile meydana gelen her bir olay çiftinden π^- ile beraber diğer bir kanal olarak pozitif parçacığın seçilmesi amaçlanmıştır. $\Lambda (p + \pi^-)$, ${}^3_{\Lambda}\text{H} ({}^3\text{He} + \pi^-)$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H} ({}^4\text{He} + \pi^-)$ hiperçekirdeklerinin bozunum kanalları için bir önceki bölümde gösterildiği gibi parçacık tanımlaması yapılmıştır.

Seçilen parçacık izleri için ilk olarak elde edilen bozunumlar için ve verinin gürültüden arındırılması ve güvenilirliğin artırılması için π^- , $Z = 1$ ve $Z = 2$ parçacıklarının p-değerine bakılmıştır.

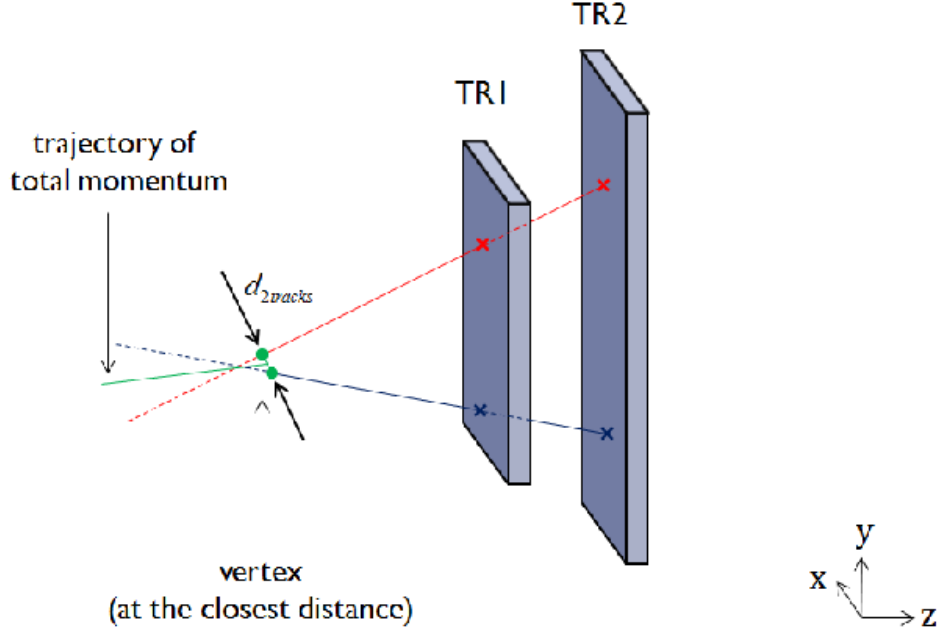


Şekil 3.19. Şekil (a) $Z = 1$ parçacığı için p-değerini, şekil (b) $Z = 2$ parçacığı için p-değerini ve şekil (c) ise π^- parçacığı için p-değerini ifade etmektedir

Elde edilen dağılımlar sonucunda yapılandırma yapılırken Şekil 3.19. (c)' da görülen π^- parçacığı için $p < 0.9$ ' dan kalan kısım kullanılırken, $Z = 1$ ve $Z = 2$ (Şekil 3.19. (a) ve Şekil 3.19. (b)) parçacıkları için ise $p < 0.99$ kullanılmıştır. π^- için $p < 0.9$ kullanılmasının nedeni yapılandırma yapılırken oluşan kombinasyonel kısmın genellikle π^- tarafından oluştuğu görülmüştür ve sayımın azalması ve daha net bir yapılandırma spektrumu elde edilmesi amaçlanmıştır.

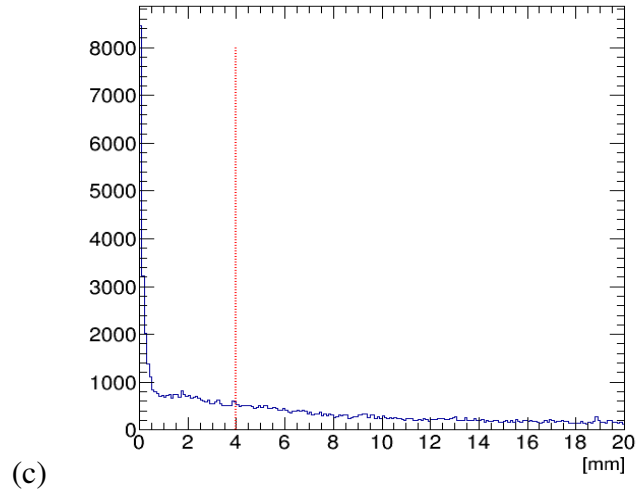
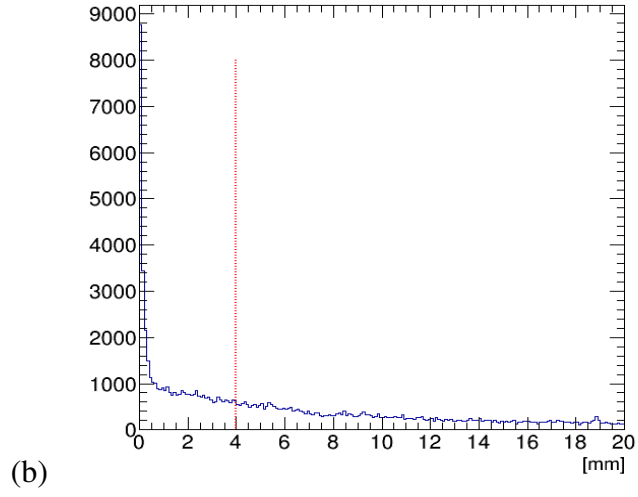
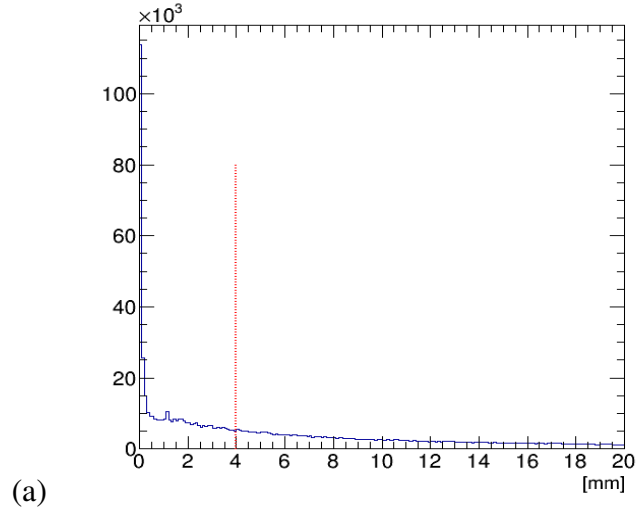
Daha sonra ana çekirdeğin bozunum sırasındaki kanallar (pozitif ve negatif parçacıklar)

arasındaki mesafe göz önüne alınmıştır. Şekil 3.20.' de geometrik olarak iki parçacığın ana çekirdek bozunumu sırasında oluşması beklenen ve parçacıkların ana çekirdekten gelme olasılığını gösteren şema gösterilmektedir (Kim, 2013).



Şekil 3.20. Geometrik olarak iki farklı parçacık arasındaki mesafenin gösterimi

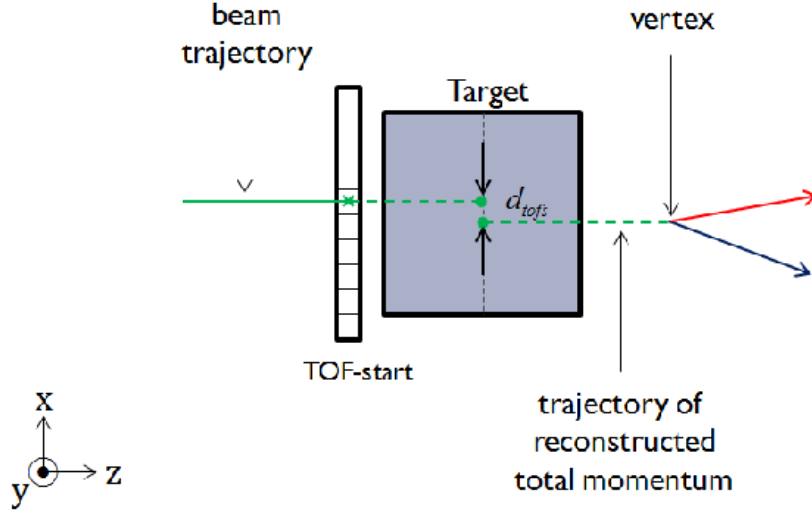
Ana çekirdeğe ait olan bozunum kanalları (pozitif ve negatif parçacıklar) için iki parçacık izi arasındaki mesafe Şekil 3.21.' de gösterilmiştir. Şekil 3.21. (a)' da Λ hiperonu için bozunum kanalları olan (p ve π^-), Şekil 3.21. (b)'de ${}^3_{\Lambda}H$ (3He ve π^-) ve Şekil 3.21. (c) ise ${}^4_{\Lambda}H$ (4He ve π^-) parçacıkları arasındaki mesafenin 4 mm' den küçük olan kısımda kombinasyonel sinyallerinin az olduğu belirlenip yalnızca bu alan yapılandırma için kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Farklı (pozitif ve negatif) parçacıklar arasındaki mesafe

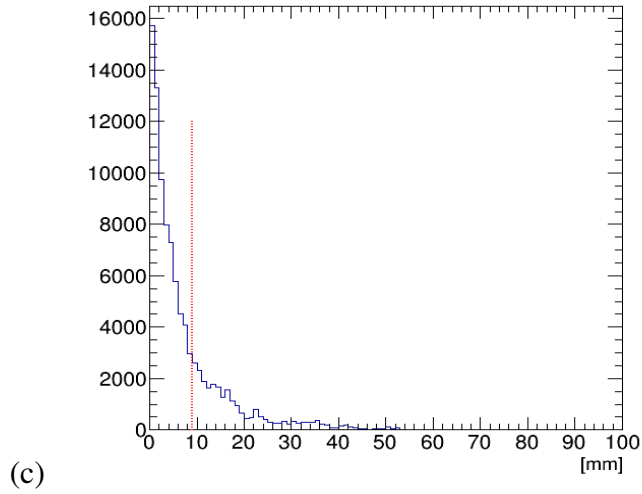
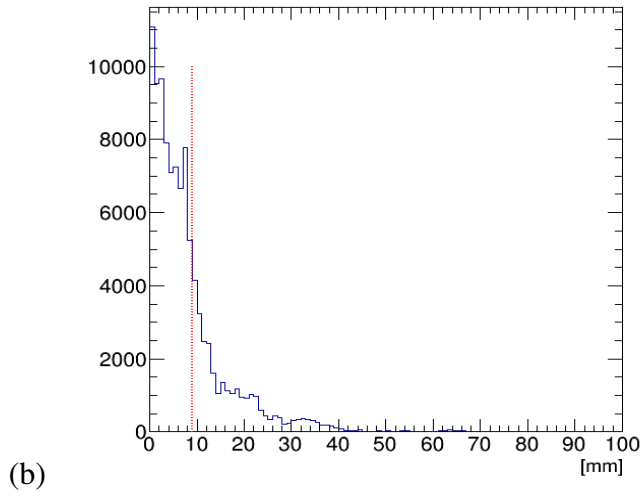
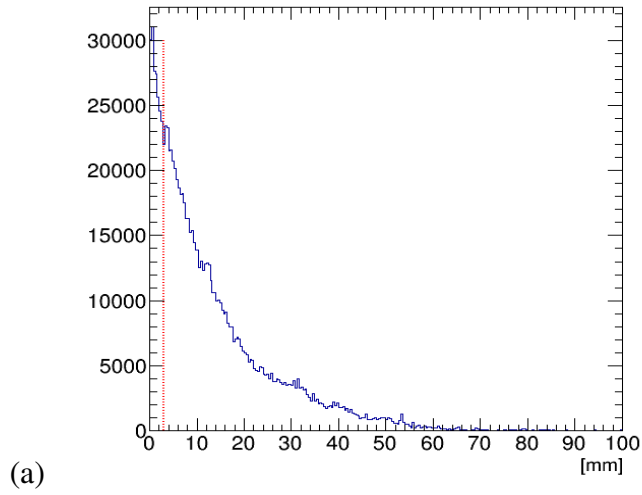
Bir diğer yapılandırma için kullanılan parçacık-iz seçme kriteri TOF-Start dedektörü kul-

lanılarak yapılmıştır. Gelen demetin TOF-Start dedektörüne vurduktan sonra x -ekseninde oluşturduğu pozisyon ve π^- ile pozitif bir parçacığın oluşturduğu ana çekirdeğin hedef üzerinde bıraktığı iz ile oluşan vurmanın oluşturduğu x -pozisyonu ölçülmüştür. Bu oluşum anı için oluşturulan geometri aşağıdaki Şekil 3.22.' de verilmiştir.



Şekil 3.22. Gelen demetin TOF-Start dedektörüne vurması ile oluşan ve ana çekirdeğin hedef üzerinde bıraktığı x -pozisyon şeması

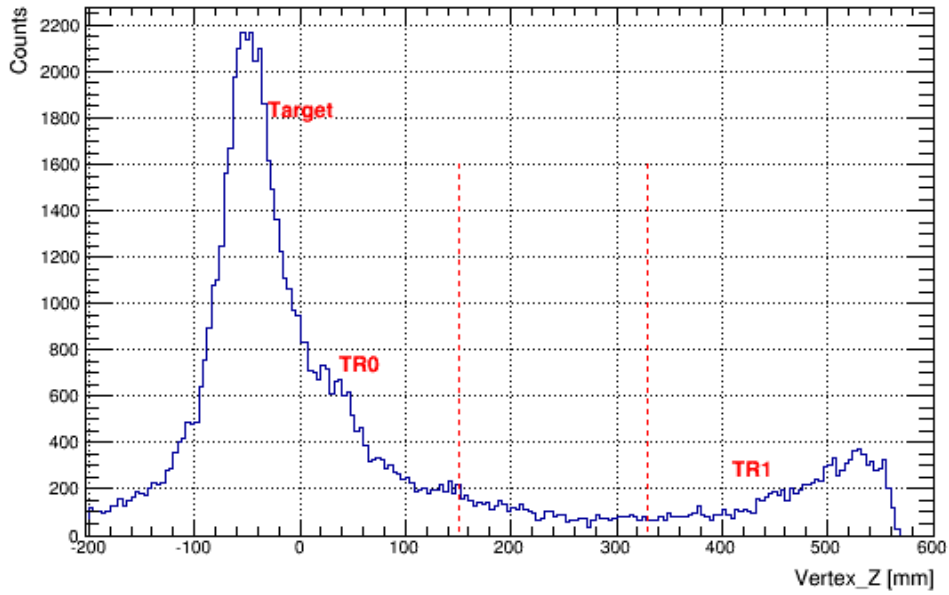
Şekil 3.23. (a)' da, iki farklı parçacık yani Λ ' nın bozunum kanalları olan proton ve π^- tarafından yapılandırılan Λ hiperonunun hedef üzerinde görülen x -pozisyonu ile gelen demetin TOF-Start dedektörü üzerinde bıraktığı vurma ile oluşan x -pozisyonu arasındaki mesafeyi göstermektedir. Gelen demetin z -eksenine paralel olması durumunda bu mesafenin sıfıra doğru gitmesi beklenmektedir. Aynı şekilde, Şekil 3.23. (b) ${}^3_{\Lambda}H$ hiperçekirdeğini ve Şekil 3.23. (c) ise ${}^4_{\Lambda}H$ hiperçekirdeklerinin yapılandırması ile oluşan dağılımları ifade etmektedir. Λ -hiperonunun yapılandırılması için 1.5 mm' den az olan parçacık adayları kullanılmıştır, Şekil 3.23. (a)' da görüldüğü gibi bu yapılandırma için yüksek olan proton sayımının fazla olması ve proton parçacığının daha geniş bir şekilde dağılması olmuştur. ${}^3_{\Lambda}H$ ve ${}^4_{\Lambda}H$ hiperçekirdekleri için bu mesafe 9 mm' den az olan kısım içerisinde yer alan olaylar kabul edilmiştir.



Şekil 3.23. Gelen demetin TOF-Start dedektörüne vurması ile oluşan ve ana çekirdeğin hedef üzerinde bıraktığı x -pozisyon mesafeleri

Bir diğer parçacık-izlerinin seçilme kriteri, z -ekseni üzerinde oluşan vertex veya düğüm

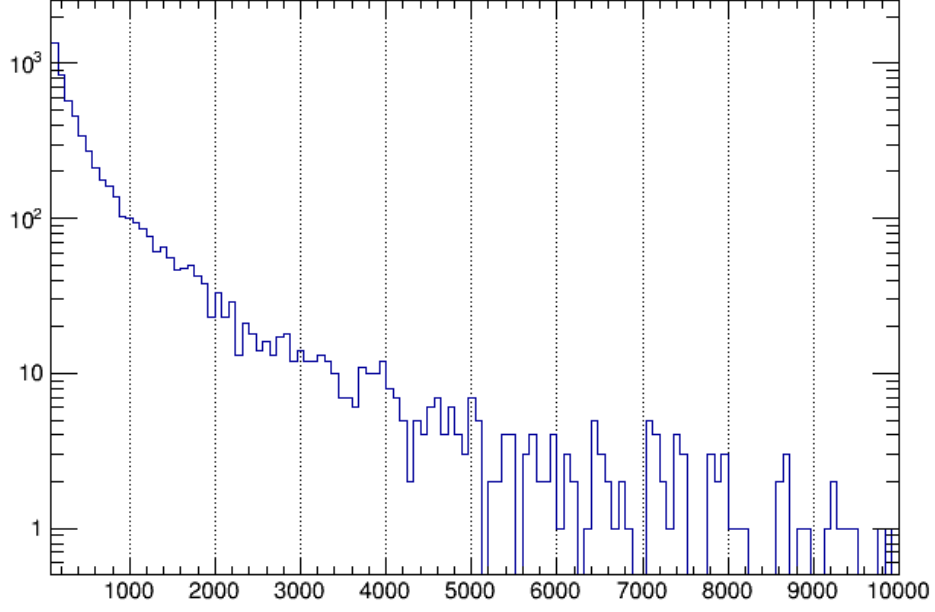
noktası (çarpışma ile beraber bozulan parçacıkların izlerinin oluşturduğu) dağılımı olmuştur. Şekil 3.24.' de secondary (ikincil) vertex olarak adlandırılan ve ana çekirdeğin bozunum dağılımını gösteren spektrum gösterilmektedir. Şekil 3.24.' de görüldüğü üzere, hedefin z-ekseni üzerinde oluşması beklenen koordinat değeri hedefin yer aldığı konum (-52 mm) ve TR0 fiber dedektörünün yer aldığı (36 mm) alanlarda bir dağılımın oluşması beklenmektedir. Daha öncede ifade edildiği gibi $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile çok sayıda kombinasyonol olarak adlandırılan olaylar gerçekleşmiştir ve bu nedenle yapılandırma yapılırken bunların yok edilmesi gerekmektedir. Λ , $^3_{\Lambda}\text{H}$ ve $^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerin yapılandırması yapılırken kombinasyonol kısmın azalması, oluşan gürültü sinyal sayısının azaltılması ve hedef arkasında meydana gelen ana çekirdeğin yapılandırılması için 150 ~ 330 mm aralığı seçilmiştir.



Şekil 3.24. z-ekseni üzerinde oluşan secondary vertex dağılımı

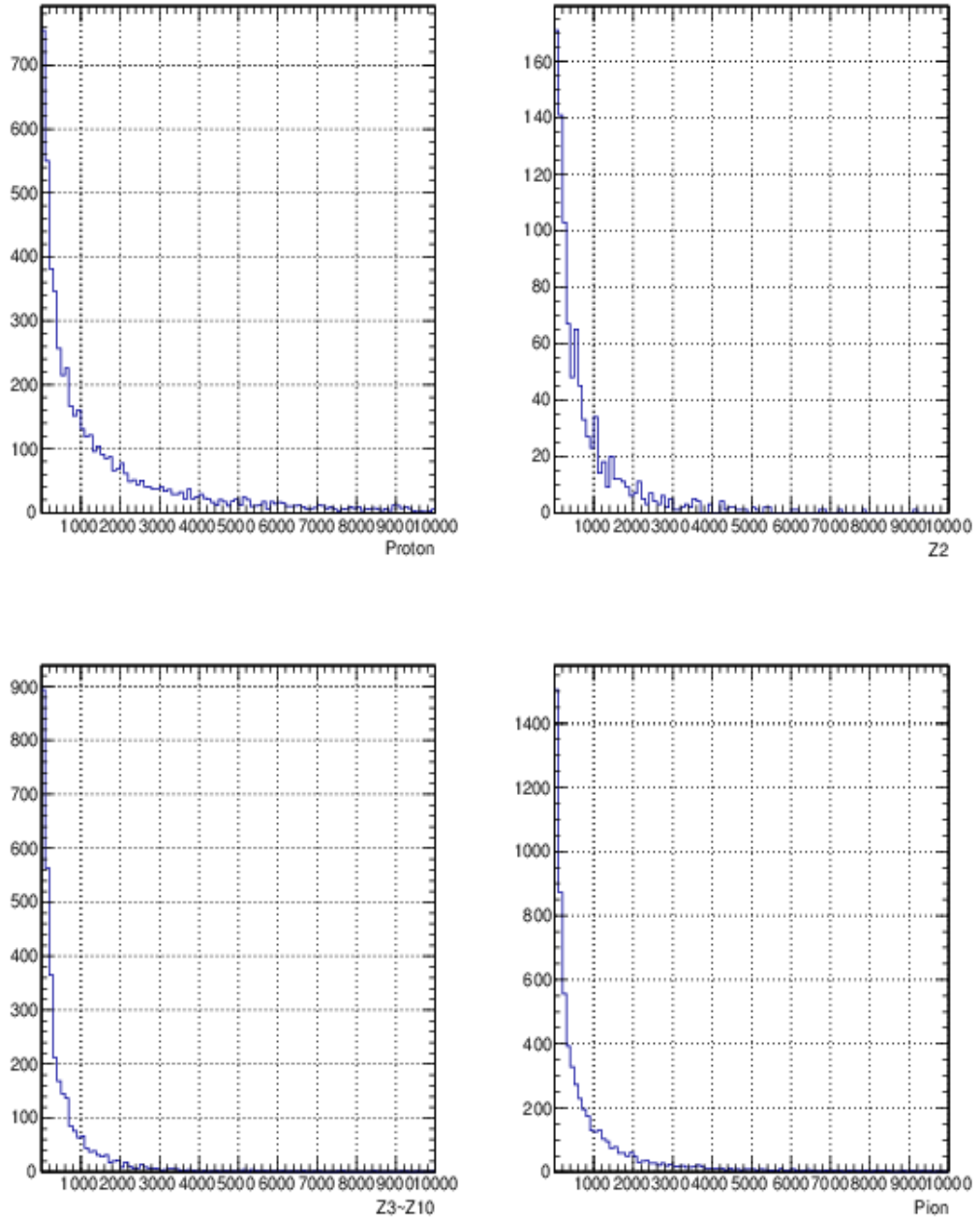
$^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile meydana gelen olaylar ve bu çarpışma ile oluşan ve bizim ilgilendiğimiz (proton, döteron, trityum, ^3He , ^4He ve π^-) parçacıkların iz takibi ile elde edilen sayım dağılımı Şekil 3.25.' de gösterilmektedir. Λ yapılandırması yapılırken proton sayımı yüksek olduğu için daha fazla kombinasyonol sinyal oranına neden olduğundan iz sayım oranı 2000' den düşük olan kısım kullanılmıştır. Aynı şekilde $^3_{\Lambda}\text{H}$ veya $^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerin yapılandırılması oluşturulurken ^3He veya ^4He parçacıkların sayım oranı protona göre daha düşük olması ve oluşabilecek kombinasyonol sinyalin

oranı Λ hiperonuna göre daha düşük olacaktır bu nedenle iz sayım oranı ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerin yapılandırması için, iz sayım kısmı 3000' den düşük şekilde kabul edilmiştir.



Şekil 3.25. Reaksiyon sonucu oluşan iz-sayım büyüklüğü

Şekil 3.26.' de her bir parçacığa ait olan sayım büyüklüğünü ifade etmektedir. Şekil 3.26.' de birinci spektrum proton sayım büyüklüğünü, ikinci spektrum $Z = 2$ parçacıklarını, üçüncü spektrum $Z = 3 \sim Z = 10$ parçacıklarını ve dördüncü spektrum ise π^- sayım oranını ifade etmektedir.



Şekil 3.26. Reaksiyon sonucu oluşan parçacıkların (proton, $Z = 2$, $Z = 3 \sim Z = 10$ ve pion (π^-)) sayım oranları

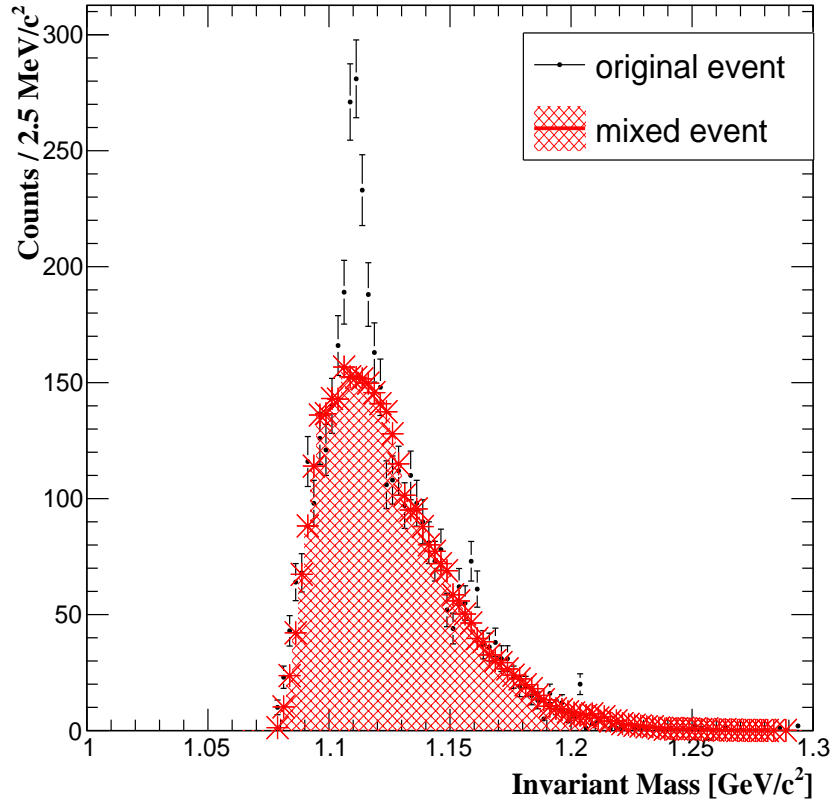
BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Λ , ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeklerin yapılandırılmaları için bu parçacıkların oluşumuna neden olan bozunum ürünleri ile beraber “invariant mass” değişmez kütle spektrometresi adı verilen yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Bu yapılandırmalarda iki bozunum (π^- ile beraber proton, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$) türüne sahip olan parçacıklar göz önüne alınmıştır. Yapılandırılan ana çekirdeğin değişmez kütlesi $M_M = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2}$ ifadesi ile elde edilmiştir. E_1, E_2 bozunum ürünlerinin enerjisini ifade ederken, \vec{P}_1, \vec{P}_2 ise momentumları ifade etmektedir. Bununla beraber elde edilen Λ hiperonunun ve hiperçekirdeklerin ömür hesapları yapılmıştır. HypHI projesinin, ilk aşaması olan Phase 0 deneyinde elde edilen parçacıkların yapılandırılması için elde edilen parçacık izleri arasından ve kombinasyonlarından χ^2 (Ki-kare) değeri minimize edilerek tek bir olay seçimi yapılarak yapılandırma yapılmıştır (Rappold vd., 2013) (${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$ reaksiyonu). Burada tekrar ifade etmek gerekirse ${}^{20}\text{Ne} + {}^{12}\text{C}$ reaksiyonu sonucunda yapılandırma yapılırken çok sayıda sayım gerçekleştiğinden dolayı böyle bir seçim kriteri uygulamak mümkün olamamıştır. Bu yüzden Phase 0.5 deneyinde bir önceki yapılan Phase 0 deneyinden farklı olarak elde edilen tüm parçacık olayları göz önüne alınarak bir önceki bölümde anlatılan parçacık seçimi, tüm bu kombinasyonlar üzerinden uygulanıp yapılandırma yapılmıştır. Buna ek olarak, π^- parçacığının seçimi için TR1_{xy}, TR2_{xy} fiber dedektörleri üzerinden p-value değeri minimize edilerek tek bir olay seçimi yapılmıştır ve SDC dedektörü üzerinden sinyal seçimi alınırken çift olan kablolardan sinyal alındığı zaman bu sinyaller kabul edilerek yapılandırma için kullanılmıştır. Yapılandırma yapılırken oluşan kombinasyonların temel nedeni birbiri (“mixed event” olarak adlandırdığımız) ile ilişkisi olmayan olayların meydana getirdiği dağılım olmuştur (Croched and Braun-Munzinger, 2002). Bu oluşabilecek kombinasyonel izlerin oluşturabileceği spektrum içinde ayrı bir çalışma yapılmıştır, bu yapılan çalışma Λ , ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdek yapılandırmalarında ayrıca gösterilecektir.

4.1 $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ için Değişmez Kütle Spektroskopisi

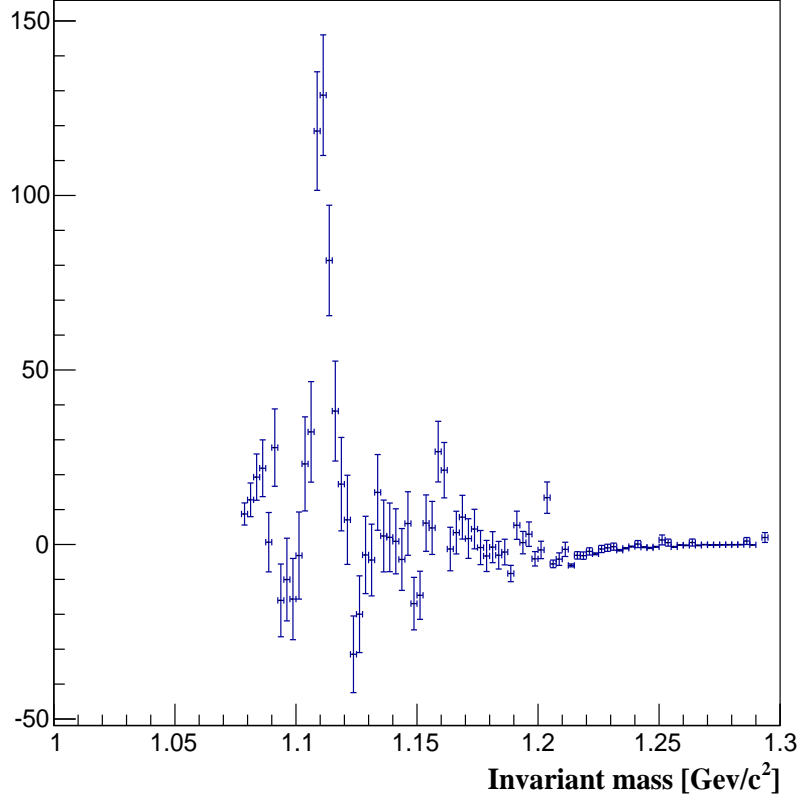
Şekil 4.1.'de ağır iyon çarpışması ($^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$) ile oluşan Λ hiperonunun bozunum ürünleri olan proton ve π^- parçacıklarının iz-takip yöntemi ile yapılandırılması sonucu oluşan $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ spektrometresini göstermektedir. Yapılandırma için bir önceki bölümde anlatılan parçacık iz-seçim işlemleri uygulanmıştır. Kırmızı-yıldız simge ile gösterilen bölge birbiri ile ilişkisi olmayan (mixed event) parçacık izlerinin farklı olaylardan seçilerek oluşturduğu dağılımı ifade etmektedir. Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi hedef arkasında gürültü sayımının azalması için ($150 < z < 300$ mm) aralığında elde edilen ve kombinasyonel olan alan üzerinde Λ hiperonuna ait olan sinyal net bir şekilde ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.1. Proton ve π^- bozunumundan oluşan Λ hiperonunun değişmez kütle spektrumu

Analiz sonucunda elde edilen Λ spektrumunda (Şekil 4.1.) verilen sinyal ve elde edilen verinin oluşturduğu kombinasyonel gösterildi. Daha sonra kombinasyonel sinyallerden oluşan bölge ($1.12 \sim 1.20 \text{ GeV}/c^2$) aralığında oluşan olaylar optimize ve ölçeklendirme

yapılarak Şekil 4.2.’ de ifade edilen ve Λ hiperonuna ait olan, sinyal ve kombinasyonel farkını gösteren spektrum elde edilmiştir.

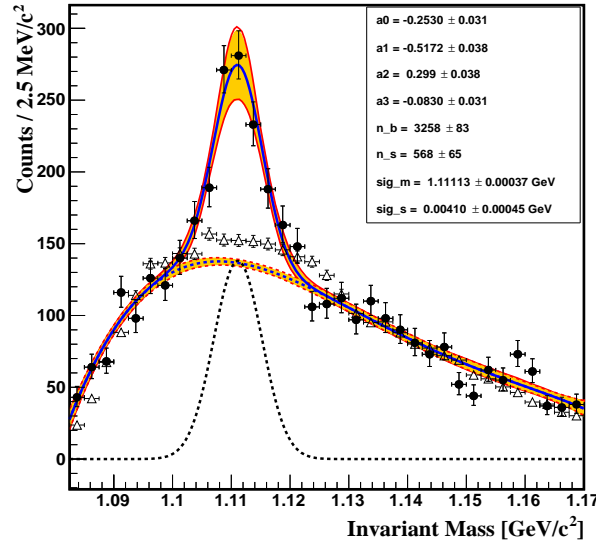


Şekil 4.2. Λ hiperonu için elde edilen sinyal sayımının, kombinasyonel veya gürültü sayımından çıkarılması ile oluşan spektrum

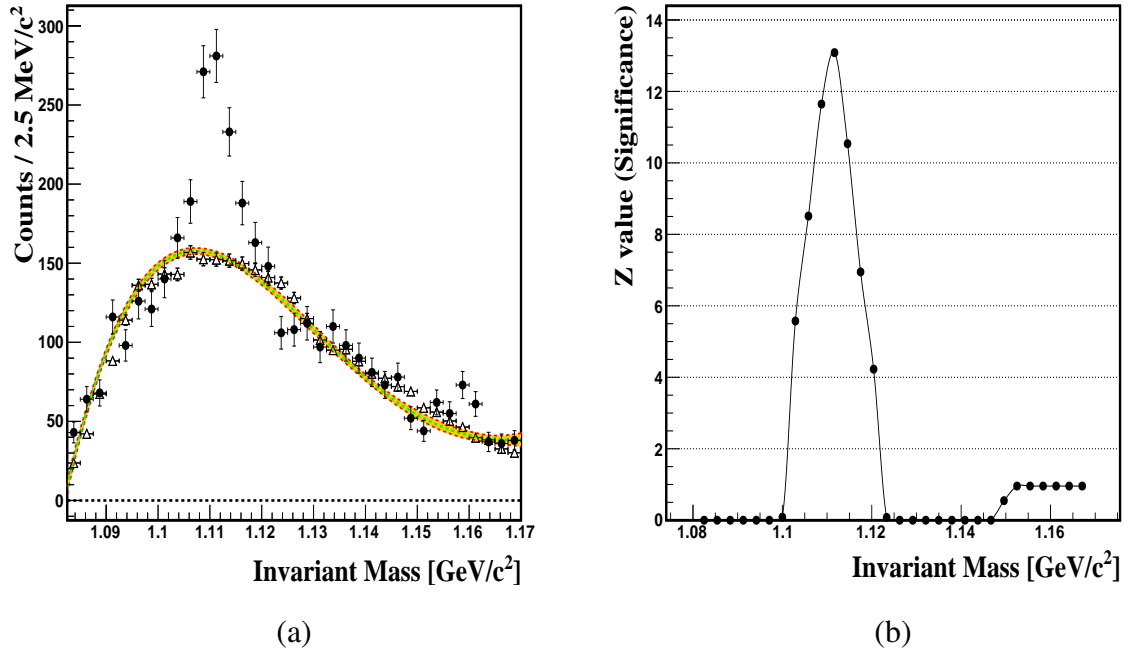
$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ hiperonun yapılandırılması için elde edilen veri bir diğer yöntem olarak “maximum likelihood method” kullanılarak analiz edilmiştir (Verkerke and Kirkby, 2003; Moneta vd., 2010). Şekil 4.3.’ de proton ve π^- bozunumundan elde edilen Λ hiperonu için Gaussian fonksiyonu ve Chebychev polinom fonksiyonu kullanılarak oluşturulan dağılımın fit edilmesi ile oluşan spektrum gösterilmektedir. Şekil 4.4. (a)’ da elde edilen verinin oluşturduğu gürültü sayımının verdiği dağılımı göstermektedir. Şekil 4.4. (b)’ de ise elde edilen sinyalin gösterdiği istatistiksel anlamı ifadesinden verilen değeri göstermektedir, Λ için bu değer 13.14σ kadar ölçülmüştür.

Bu elde edilen spektrumların istatistiksel bir şekilde okunması ve anlamlandırılması bakımından, spektrumda görüldüğü gibi elde edilen Λ ’ nın kütle değeri bilinen Λ -hiperon’ nun kütle değerinden farklı ölçülmüştür, aynı şekilde Phase 0 deneyinden elde

edilen Λ -hiperonun kütle değeri 1111.3 ± 0.4 kadar olmuştur (Rappold vd., 2013). Bunun nedeni detaylı ve hassas bir şekilde dedektör pozisyonlarının belirlenememesi veya manyetik alanın hassas bir şekilde ölçülememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Λ -hiperonu için elde edilen sinyalin fit edilmesi ile kütle değeri 1111.13 ± 0.37 MeV/c² olarak ölçülmüştür. Sinyalin χ^2 değeri 1.148 ve sinyal genişliği 4.10 ± 0.45 MeV/c² kadar ölçülmüş olup toplamda 568 ± 65 sayım elde edilmiştir.



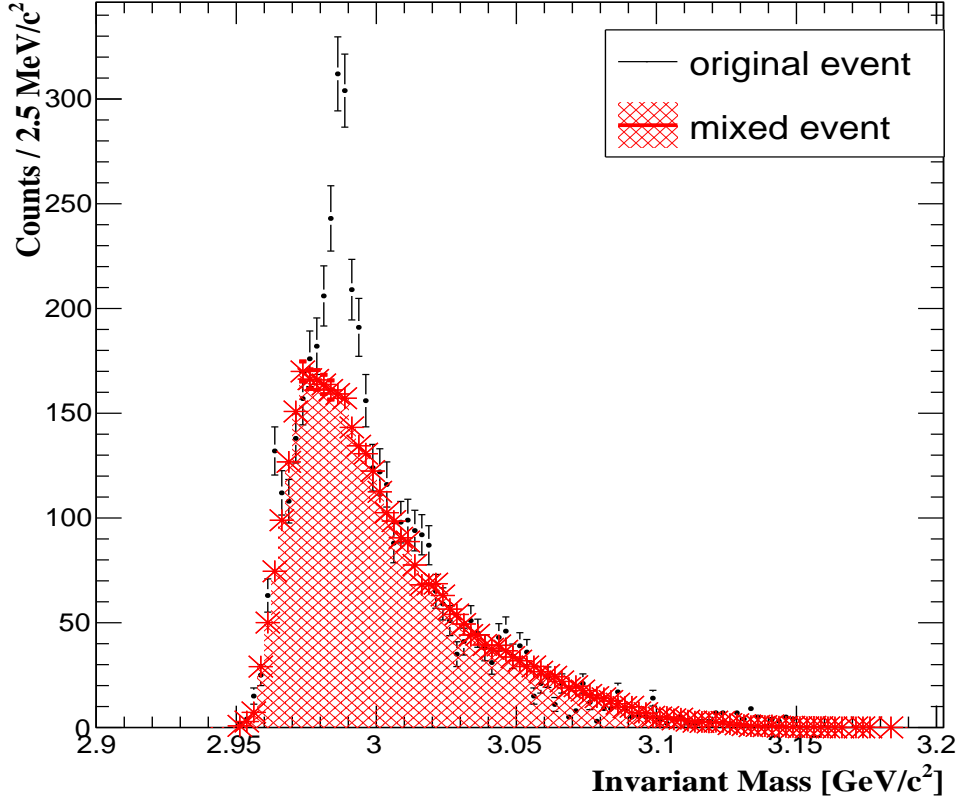
Şekil 4.3. Λ hiperonu, “maximum likelihood” metodunda model olarak sinyal ve oluşan gürültü hesaba katılarak elde edilen dağılım



Şekil 4.4. Λ hiperonu, “maximum likelihood” metodunda model olarak yalnızca oluşan gürültü için elde edilen dağılım (a) ve elde edilen Λ ’nın istatikselsel olarak önemini ifade eden dağılım (b)’de gösterilmektedir

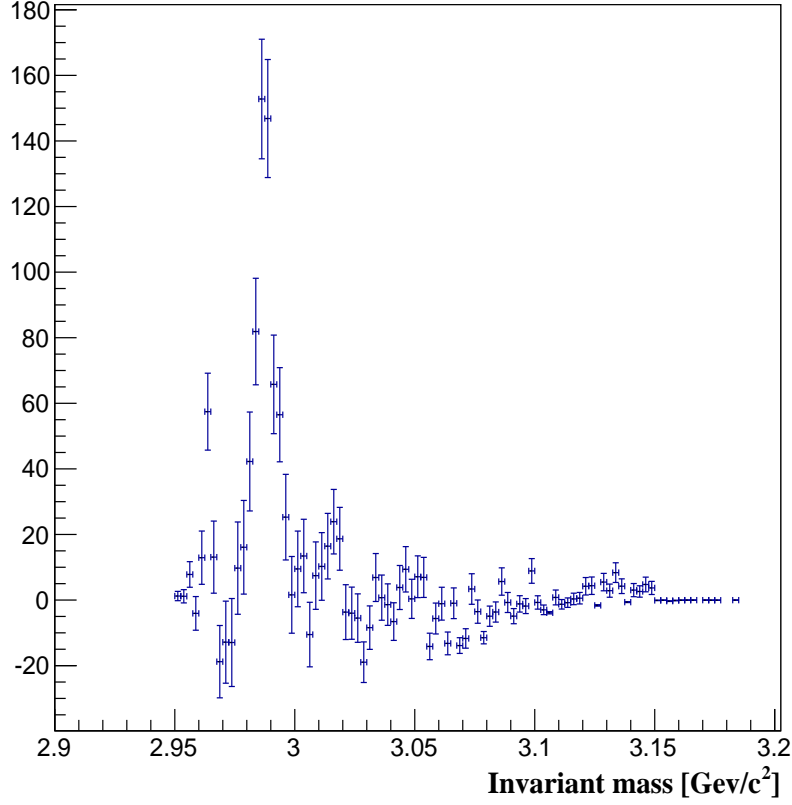
4.2 ${}^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \pi^{-}$ için Değişmez Kütle Spektroskopisi

${}^3\text{He}$ ve π^{-} bozunum ürünleri ile meydana gelen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğine ait değişmez kütle spektroskopisini gösteren dağılım Şekil 4.5.’de gösterilmektedir. Bozunum ürünlerinin tanımlanması için önceki bölümlerde anlatılan kalibrasyon ve parçacık izleme metodunun uygulanması ile ${}^3\text{He}$ ve π^{-} parçacıklarının gürültüden arındırılması ile yapılandırma yapılmıştır. Kırmızı-yıldız simgesi ile gösterilen dağılım birbiri ile ilişkisi olmayan olaylar göz önüne alınarak elde edilmiştir. Dağılımdan görüleceği üzere, birbiri ile ilişkili olan olayların oluşturduğu sinyallerin, kombinasyonel olan sinyaller üzerinde bir dağılım oluşturduğu görülmektedir. Elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği, gürültü sinyallerinden arındırılması için hedef arkasında ve $150 < z < 300$ mm aralığında oluşan sinyallerin yapılandırılması sonucu elde edilmiştir.



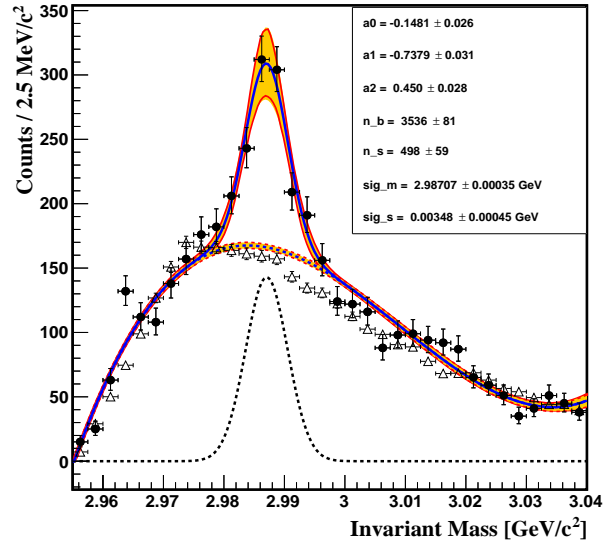
Şekil 4.5. ${}^3\text{He}$ ve π^- bozunumundan oluşan ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerkeği için değişmez kütle spektrumu

${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerkeği için de Şekil 4.5. spektrumunda görülen olaylar için $3.00 \sim 3.10 \text{ GeV}/c^2$ aralığında spektrum ölçeklendirilerek sinyal ve kombinasyonel farkının oluşturduğu dağılım Şekil 4.6.' da gösterilmiştir.

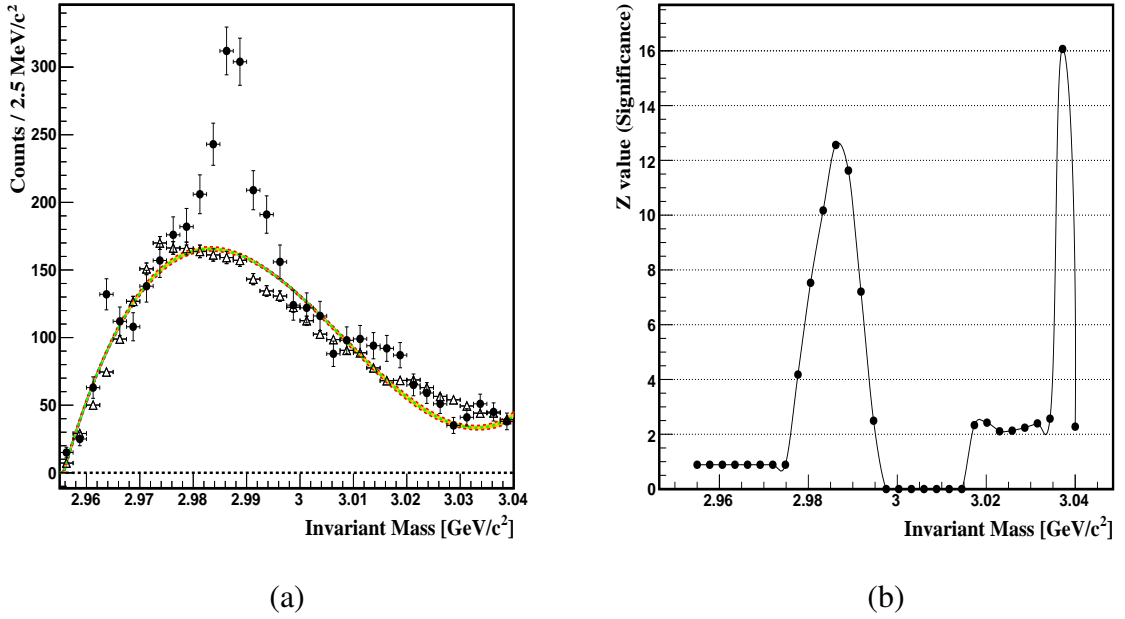


Şekil 4.6. ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçerkeği için elde edilen sinyal ve kombinasyonel sayım farkını gösteren spektrum

Şekil 4.7.' de elde edilen veri setinin, ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçerkeği için Gaussian ve Chebychev polinom fonksiyonunun sinyal ve gürültünün oluşturduğu verinin fit edilmesi ile oluşan spektrum gösterilmektedir. Şekil 4.8. (a)' da sinyalin yalnızca gürültü kısmının model olarak seçilmesi durumunda ki fit edilmiş spektrumunu göstermektedir. Şekil 4.8. (b) ise ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçerkeğinin verdiği sinyal üzerine fit edilmesi durumunda elde edilen istatistik önemini ifade etmektedir ve bu değer 12.58σ olarak ölçülmüştür. Elde edilen verinin ölçülmesi ile ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçerkeği için kütle değeri $2987.07 \pm 0.35 \text{ MeV}/c^2$ olarak analiz edilmiştir. Bilinen kütle değeri ${}^3_{\Lambda}$ H için $2991.68 \pm 0.05 \text{ MeV}/c^2$ (Juric vd., 1973). Elde edilen sinyalin fit edilmesi ile birlikte χ^2 değeri 1.635, sinyal genişliği $3.48 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$ ve 498 ± 59 sayım elde edilmiştir. Λ -hiperonunda olduğu gibi ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçerkeği içinde Phase 0 deneyinde olduğu gibi (Rappold vd vd., 2013) kütle değeri bilinen değerden daha düşük seviyede görülmüştür.



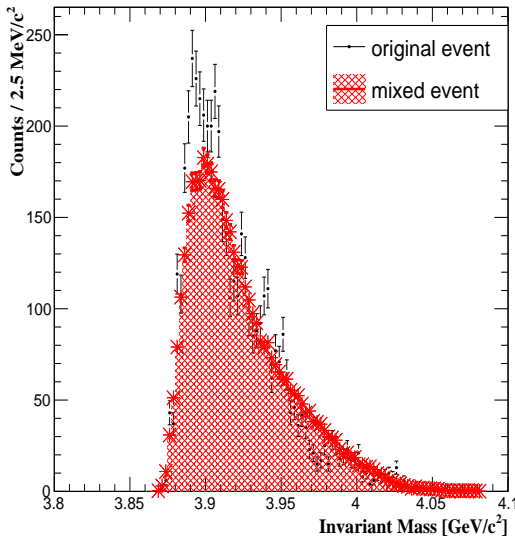
Şekil 4.7. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin, “maximum likelihood” metodunda model olarak sinyal ve oluşan gürültü hesaba katılarak elde edilen dağılım



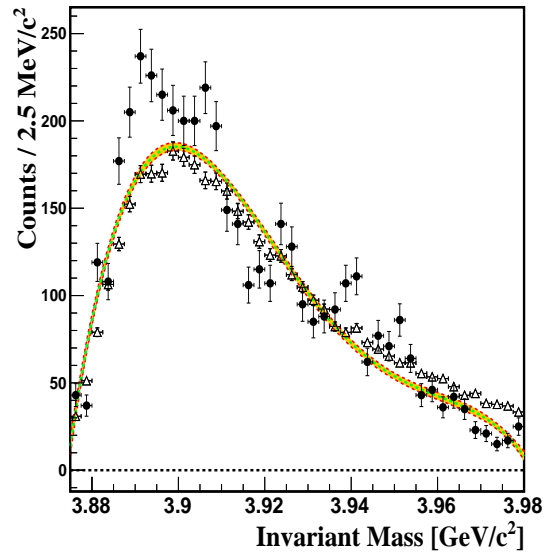
Şekil 4.8. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için, “maximum likelihood” metodunda model olarak yalnızca oluşan gürültü için elde edilen dağılım (a) ve elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ’nin istatistiksel olarak önemini ifade eden dağılım (b)’de gösterilmektedir

4.3 ${}^4_{\Lambda}\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \pi^-$ için Değişmez Kütle Spektroskopisi

${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği, ${}^4\text{He}$ ve π^- parçacıklarının yapılandırılması sonucu oluşmaktadır. Bozunum ürünleri olan ${}^4\text{He}$ ve π^- parçacıklarının tanımlanması ile ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ yapılanması analiz edilmiştir. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinde uygulanan parçacık seçimi kriterleri ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ için de aynı şekilde uygulanmıştır ve elde edilen sonuç Şekil 4.9. (a)' da gösterilmiştir. Kırmızı şekilde gösterilen alan birbiri ile ilişkisi olmayan yani farklı olaylardan elde edilen ${}^4\text{He}$ ve π^- parçacıklarının yapılandırılması ile oluşan dağılımı ifade etmektedir. Şekil 4.9. (a)' da görüldüğü gibi ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ için alınan veriden bu çekirdek için net bir sinyal elde edilmesi, analizin bu aşamasında mümkün olamamıştır. Bir önceki HypHI Phase 0 deneyinde kullanılan ${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$ reaksiyonu için elde edilen verinin analizi sonucunda ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin oluşumunu görmek mümkün olmuştur (Rappold vd., 2013). Kullanılan ${}^{20}\text{Ne}$ demetinde, çok daha fazla ${}^4\text{He}$ parçacığın meydana gelmesi, ${}^4\text{He}$ parçacığının tanımlanmasının zorlaşmasına neden olmuştur. Şekil 4.9. (b)' da ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ için elde edilen verinin yalnızca gürültü veya kombinasyonel sinyal kısmının model olarak seçilmesi durumunda ki fit edilmiş spektrumunu göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.9. ${}^4\text{He}$ ve π^- bozunumundan oluşan ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için değişmez kütle spektrometresi (a) ve ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için, “maximum likelihood” metodunda model olarak yalnızca oluşan kombinasyonel gürültünün oluşturduğu dağılım (b)

4.4 Ortalama Ömür Hesabı

Fizikte yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen parçacıkların araştırılması konusunda diğer bir ölçüm “lifetime” yani ortaya çıkan parçacıkların ortalama yaşam sürelerinin hesaplanması önemli bir yer tutmaktadır. Bu yapılan tez çalışması ile ağır iyon reaksiyonu olarak adlandırılan ve $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu kullanılarak meydana gelen Λ hiperonu ve $^3_{\Lambda}\text{H}$ olarak bilinen hafif hiperçekirdeğinin ortalama ömürleri elde edilmiştir. Ömür hesabı genellikle τ simgesi ile gösterilmektedir. Oluşan parçacıkların ortalama ömür hesabı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4.1)$$

λ , bir çekirdeğin bir saniyede bozunma olasılığını ifade eder, τ ise bir parçacığın ortalama ömrünü ifade etmektedir. $\lambda = 1/\tau$ ifadesinden,

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}, \quad (4.2)$$

$t = \frac{L}{c\beta\gamma}$, burada L parçacığın bozunum uzunluğunu, alınan veri için hedefin merkezi ile “secondary vertex” olarak adlandırılan yerde parçacığın bozunum alanını ifade etmektedir (Λ ve $^3_{\Lambda}\text{H}$ parçacıklarının, reaksiyon sonucu görülen her bir olayın ortalama yaşam süreleri için “secondary vertex” bölgesi $150 < z < 300$ mm olarak belirlenmiştir, hedef z-ekseninde -52 mm’ de yer almaktadır), γ Lorentz faktörünü ve $c\beta$ ise hız ifadesini belirtmektedir. Oluşan parçacıkların ömür hesapları analiz sonucu elde edilen düşük sayım nedeniyle “unbinned maximum likelihood” metodu kullanılmıştır. Bu metodun uygulanmasında denklem 4.1 de verilen ifade ile poisson dağılımı model olarak kullanılarak ortalama ömür hesapları yapılmıştır. Model olarak seçilen denklem 4.3, likelihood fonksiyonu kullanılarak denklem 4.4’ te tanımlanmıştır

$$P(t) = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (4.3)$$

$$L = \prod_i P_i. \quad (4.4)$$

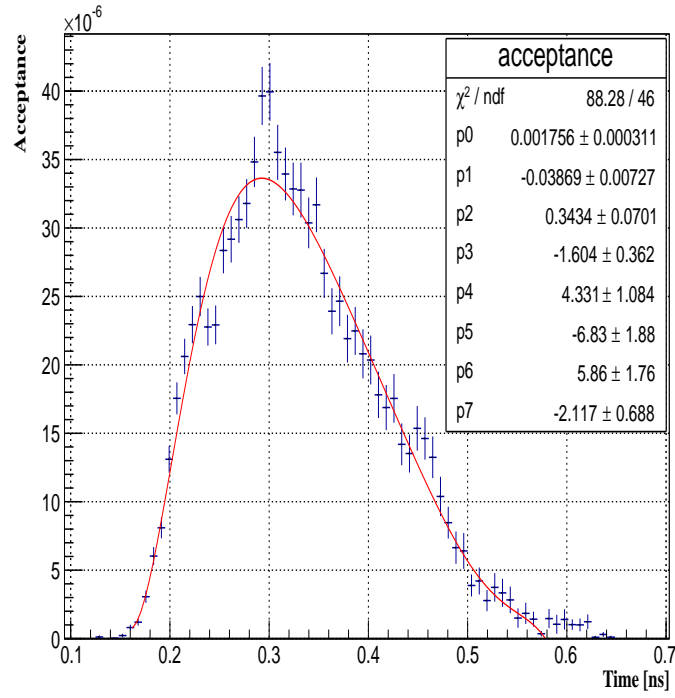
Poisson dağılımında μ elde edilen sayımın ortalaması ve n ise sayım sayısını göstermektedir.

$$L(\{t_i\}) = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!} \times \prod_i P(t_i) \quad (4.5)$$

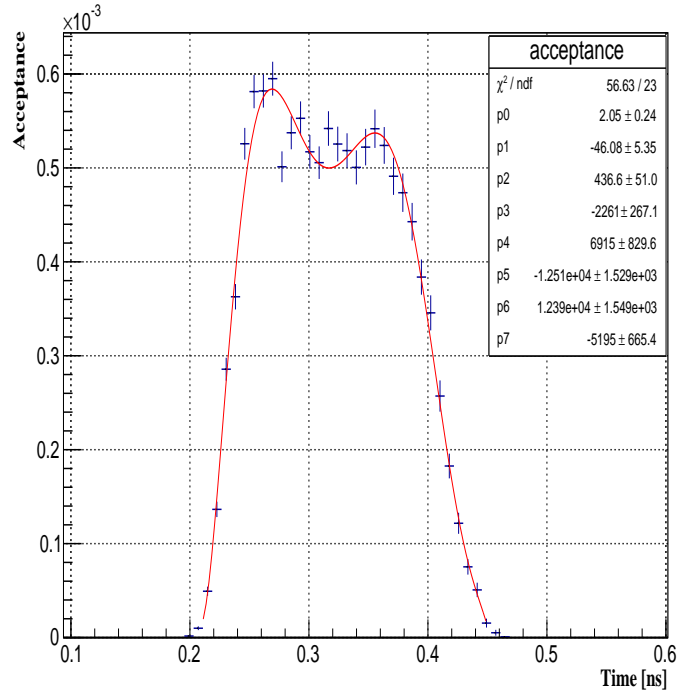
Elde edilen Λ spektrumu ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdek spektroskopisinin gürültü olan sayımlardan arındırılması için gerçek veya doğru olarak adlandırılan olayların oluşturduğu sinyal bölgesi ile gürültü “background” oluşumuna neden olan olayların spektrumlarından çıkarılması ile ömür ölçümü yapılmıştır. Λ hiperonu için sinyal, gürültü veya kombinasyonel olarak oluşan olayların ayırımı ve farkı yapılırken, Şekil 4.1.’de verilen Λ için değişmez kütle spektrometresinden elde edilen sinyal için kütle aralığı $1.1023 \sim 1.1190 \text{ GeV}/c^2$ olarak belirlenmiştir. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için ise Şekil 4.5.’de verilen kütle spektroskopisinden sinyal aralığı için $2.980 \sim 2.993 \text{ GeV}/c^2$ aralığı kabul edilmiştir. Elde edilen spektrumların sinyal aralığı belirtildikten sonra, sinyal bölgesinden gürültü alanının çıkartılması amacıyla Şekil 4.1.’deki spektrum üzerinden Λ hiperonu için sinyal bölgesinden, $1.00 - 1.1023$ ve $1.1190 - 1.5 \text{ GeV}$ kısmın farkı alınarak yalnızca sinyal bölgesi için ortalama ömür hesabı yapılmıştır. Aynı şekilde ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ise Şekil 4.5.’de verilen spektrumun incelenmesi ile sinyal alanından, kütle aralığı $2.80 - 2.98$ ve $2.993 - 3.30 \text{ GeV}$ bölgesinde yer alan gürültü sayımlarının çıkarımı yapılarak ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için de ortalama ömür ölçümü yapılmıştır.

Ağır iyon çarpışması ile yapılan bu deneyde kullanılan dedektörlerin dizaynı, geometrisi ve kurulumunda Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Yapılan bu simülasyon çalışması ile hiperçekirdeklerin üretimi ve kinematiği, kullanılan yapılandırma metodunun performansı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlaması için ayrı bir önem arz etmektedir. Simülasyon için Ultra Relativistic Quantum Molecular Dynamics (UrQMD) (Bass vd., 1998) adı verilen ve olay üretimi sağlayan model kullanılmıştır. UrQMD ile elde edilen olaylar GEANT4 simülasyon programı ile deney kurulumu, triger dizaynı ve deney esnasında oluşabilecek gürültülerin etkisini gözlemlemek, yapılan deneyden alınan gerçek veriden anlaşılması ve analiz edilmesi için kullanılmıştır. UrQMD ile elde edilen verinin analizi, deney ile elde edilen verinin analizi için kullanılan analiz metodu ile aynı şekilde olup yapılandırma yapılmıştır.

Λ -hiperonu ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ortalama ömür hesabı için dedektörlerden elde edilen performanslar kabul alanı olarak da adlandırılan akseptans (acceptance) ve dedektörlerin verim dağılımları yapılan simulasyon çalışması ile elde edilmiştir. Simulasyon sonucunda Şekil 4.10. Λ hiperonu için elde edilen akseptans ve verim dağılımını ve Şekil 4.11. ise ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için akseptans ve verim spektrumunu göstermektedir. Şekil 4.10. ve Şekil 4.11. verilen Λ ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin akseptans dağılımlarının fit edilmesi ile akseptanse doğrulaması yapılarak ortalama ömür hesaplamalarına geçilmiştir.



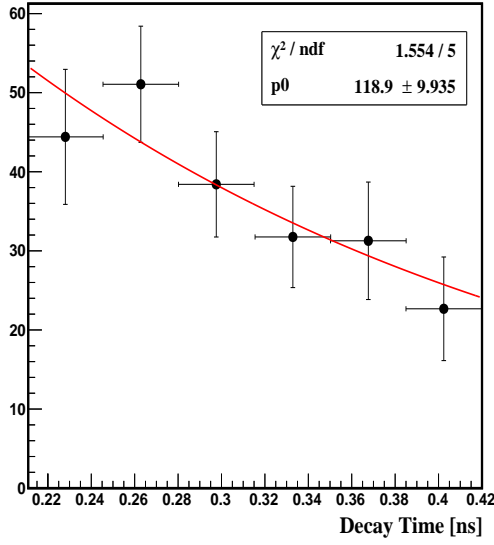
Şekil 4.10. Λ için simulasyon sonucu elde edilen akseptans verim dağılımı



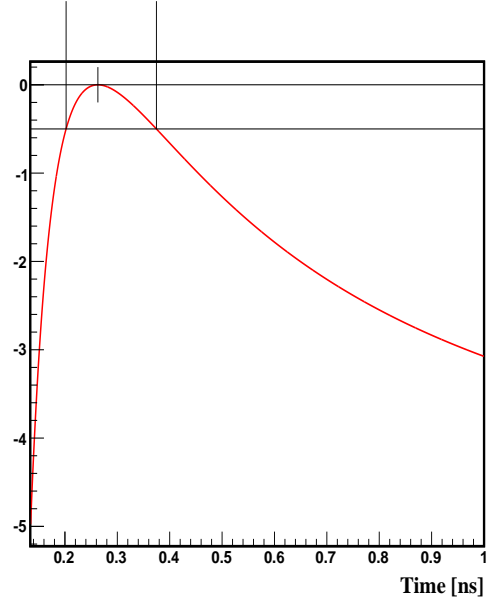
Şekil 4.11. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeği için simülasyon sonucu elde edilen akseptans verim dağılımı

4.4.1 Λ için ortalama ömür

İlk olarak daha önceden ölçülen Λ ' nın ortalama ömür değerinin 263 ± 2 ps olduğunun bilinmesi gerekiyor. Tezin temel amaçlarından biri ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ortalama ömrünün ölçülmesidir. Bunun nedeni ise son yıllara kadar yapılan teoriksel ve deneysel çalışmalarda, ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ortalama ömrünün, Λ ' nın ortalama ömür değeri kadar olduğunun düşünülmesiydi. Yalnız daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi yakın zamanda yapılan deneysel çalışmalar ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin ortalama ömür değerinin (STAR Collabrator, 2010; STAR Collabrator, 2013; Rappold vd., 2013), daha kısa olduğunu görülmektedir. Λ hiperonu için değişmez kütle spektrometresinden elde edilen dağılım üzerinden kütle aralığının $1.1023 \sim 1.1190$ GeV seçilmesi ve gürültü olan kısmın spektrumdan çıkarılması ile elde edilen bozunum-zaman spektrumu ve bu spektrumun fit edilmesi ile elde edilen dağılım Şekil 4.12. (a)' da gösterilmiştir. Şekil 4.12. ise bozunum-zaman spektrumu için elde edilen 1 standart sapma değeri için "Profiled likelihood" fonksiyonunu görülmektedir. Λ hiperonu için elde edilen ortalama ömür değeri 263^{+112}_{-60} ps olarak ölçülmüştür.



(a)

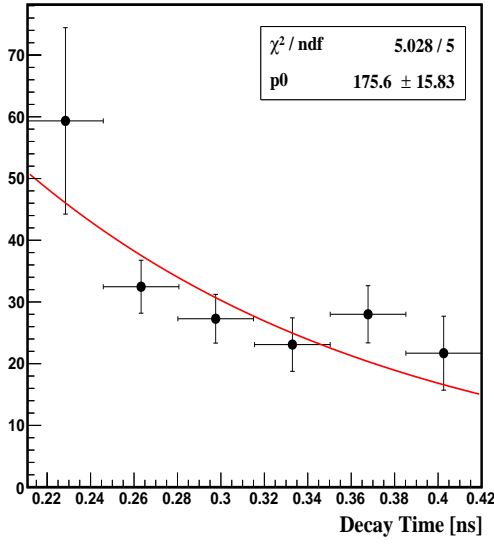


(b)

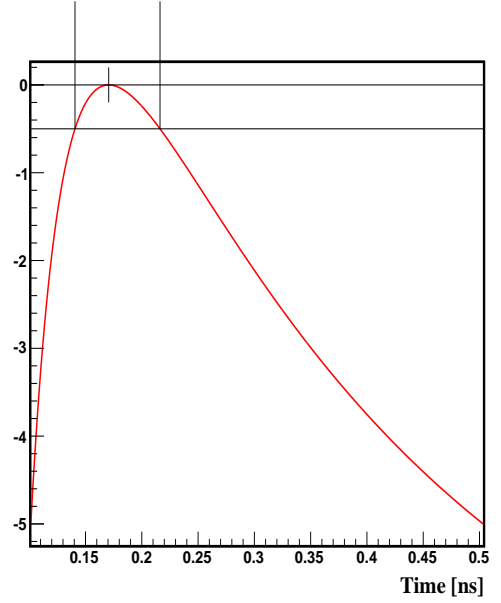
Şekil 4.12. Λ hiperonu için bozunum-zaman spektrumu (a) ve Λ hiperonun bozunum zamanı için “Profiled likelihood” fonksiyonu (b)

4.4.2 ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeği için ortalama ömür değeri

${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeğinin ömür hesabı için, bilinen Λ ömür değeri ile alınan verinin analizinden ölçülen Λ ömür değeri kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Ölçülen Λ ömür değerinin bilinen değer ile kıyaslanması sonucu elde edilen faktör, veri ile elde edilen Λ' ya uygulanmıştır, aynı şekilde bu faktör ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ömür değerinin bulunması için de kullanılan analizde uygulanmıştır. Λ' nın ömür hesabı için kullanılan metot, ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ içinde uygulanmıştır. Sinyal aralığı olarak değişmez kütle spektroskopisinden 2.980 ~ 2.993 GeV seçilerek Şekil 4.13. (a)' da görülen bozunum-zaman dağılımı elde edilmiştir. Şekil 4.13. (b)' de ise ${}^3_{\Lambda}\text{H}'$ nın bozunum-zaman spektrumu için elde edilen ve 1 standart sapma değeri için “Profiled likelihood” fonksiyonunu göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ortalama ömür değeri 170^{+46}_{-30} ps olarak ölçülmüştür.



(a)



(b)

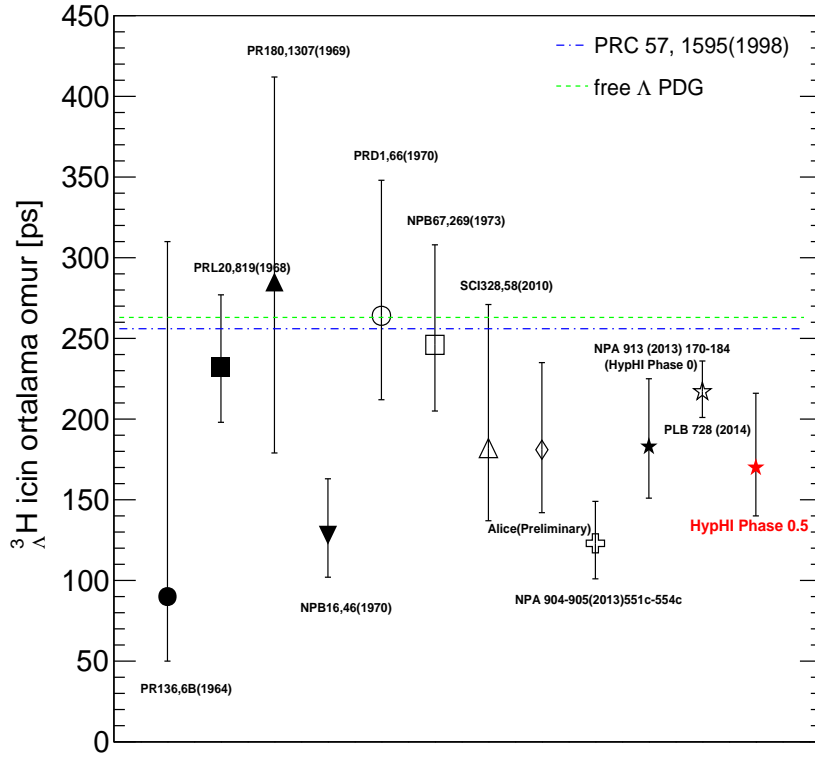
Şekil 4.13. ${}^3_{\Lambda}H$ için bozunum-zaman spektrumu (a) ve ${}^3_{\Lambda}H$ hiperçekirdeğinin bozunum zamanı için “Profiled likelihood” fonksiyonu (b)

4.4.3 Λ ve ${}^3_{\Lambda}H$ hiperçekirdeği için ortalama ömür değerleri

Daha öncede ifade edildiği gibi ${}^3_{\Lambda}H$ hiperçekirdeğinin ortalama ömür hesabının yapılması için Λ hiperonun bilinen değeri (263 ± 2 ps), kalibrasyon işlemi olarak kullanılmıştır. Yapılan kalibrasyon ile elde edilen Λ 'nın ortalama ömür değeri 263^{+112}_{-60} ps olarak elde edilmiştir. Λ hiperonunun ortalama ömür değerinin bulunması için elde edilen faktör kullanılarak, ${}^3_{\Lambda}H$ hiperçekirdeği için ömür değeri ise 170^{+46}_{-30} ps olarak ölçülmüştür. Şekil 4.14.'de verilen spektrumda, şu ana kadar yapılan farklı çalışmalarda ölçülen ${}^3_{\Lambda}H$ hiperçekirdeğinin ortalama ömür değerlerini göstermektedir. Mavi-aralıklı çizgiler ile gösterilen ortalama ömür değeri, Λ 'nın teoriksel olarak belirlenen ömür değerini ifade etmektedir (Kamada vd., 1998). Yeşil-aralıklı çizgiler ise Λ hiperonu için ortalama ömür değerini göstermektedir (Amsler, 2008).

Şekil 4.14.'den görüleceği üzere yapılan bu tez çalışmasında elde edilen ${}^3_{\Lambda}H$ ortalama ömür değeri özellikle son yıllarda yüksek teknoloji ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen değer ile uyum içerisindedir (Rappold vd., 2012; STAR Collabrator, 2010; STAR Collabrator, 2013). Buna ek olarak HypHI kolabrasyonu tarafından, HypHI Phase 0

deneyi dahil olmak üzere şu ana kadar ${}^3_\Lambda\text{H}$ için elde edilen tüm ortalama ömür değerlerinin hesaplanması ile ${}^3_\Lambda\text{H}$ için ortalama ömür değeri 217^{+19}_{-16} ps olarak elde edilmiştir (Rappold vd., 2014).

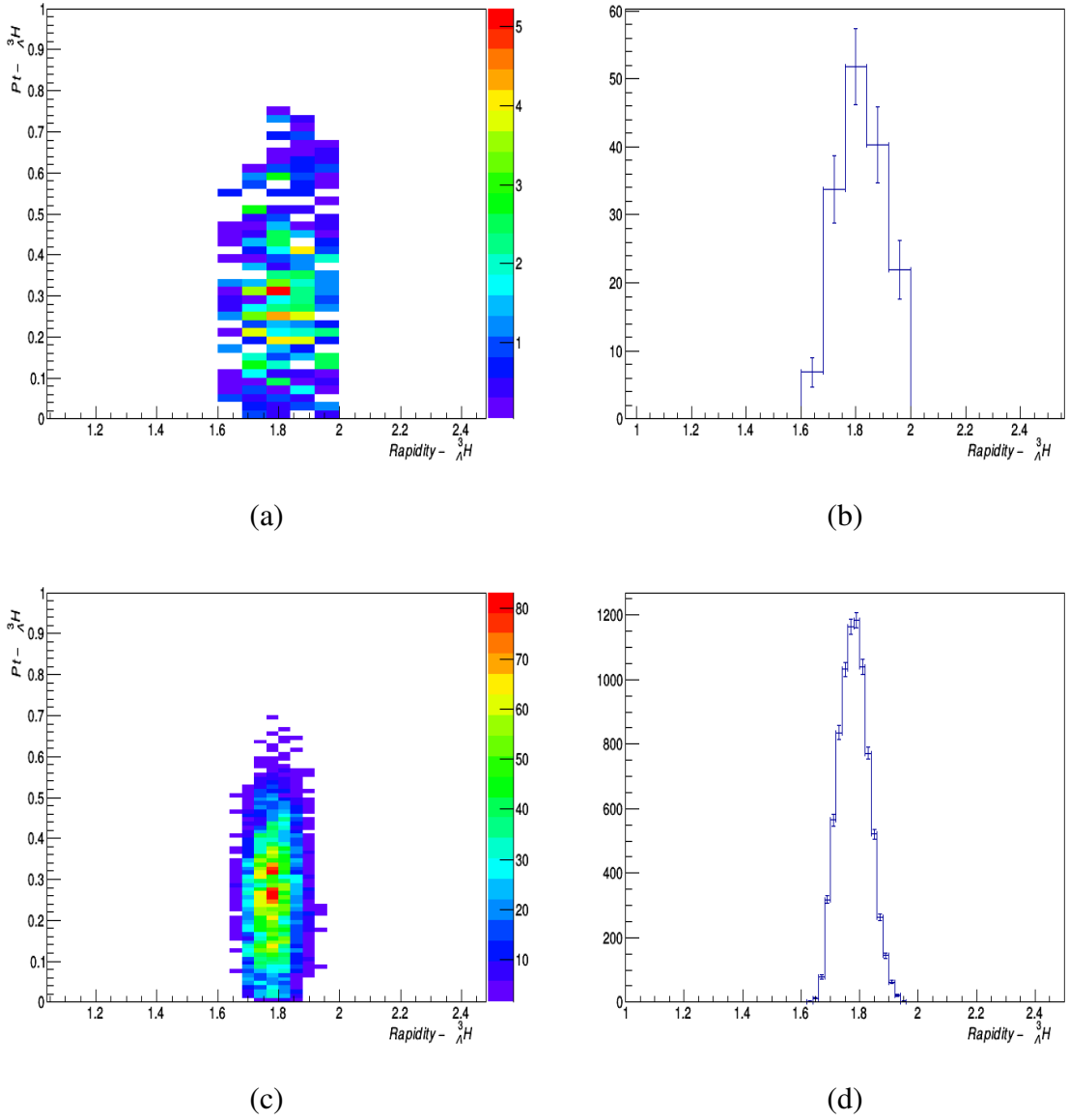


Şekil 4.14. ${}^3_\Lambda\text{H}$ için dünya genelinde ölçülen ortalama ömür değerleri

4.5 Kinematik

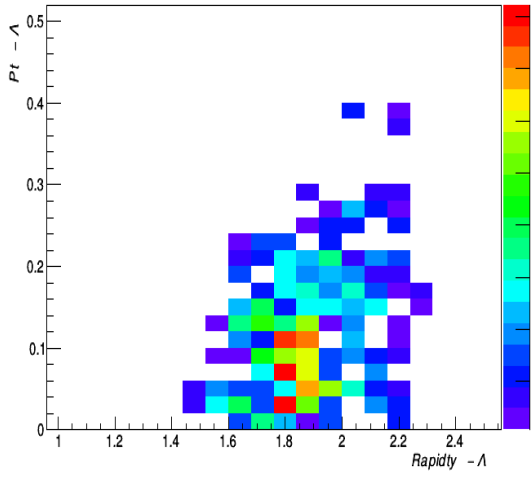
Ağır iyon çarpışması ile meydana gelen Λ -hiperonu ve hiperçekirdeklerin üretim mekanizmasının anlaşılması için meydana gelen bu parçacıkların kinematiğinin incelenmesi kapsamında, bu parçacıklara ait olan rapidity (hızlılıkları yani enine momentumu) ve P_t (dik - transverse momentum) dağılımları incelenmiştir. Tezin giriş bölümünde gösterildiği üzere gelen demet ile hedefin çarpışması sonucu meydana gelen alan içerisinde, geniş bir dağılıma sahip olan ve mid-rapidity olarak adlandırılan kısımda Λ -hiperon parçacığının oluştuğu bilinmektedir (Asai vd., 1984). Reaksiyon ile hem hedef hem de hedef ile reaksiyon sonucunda ileri yönde giden demeti kapsayacak şekilde bir rapidity dağılımının oluştuğu Şekil 1.7.' de gösterilmiştir (Wakai vd., 1988). Reaksiyon

sonucunda mid-rapidity bölgesinde oluşan hiperonlar, çarpışmadan sonra ileri yönde giden demet ile birleşerek hiperçekirdeklerin oluşumu sağlanmaktadır, hiperçekirdeklerin meydana geldiği bu bölge “hedef rapidity” olarak adlandırılmaktadır. Veri analizi sonucu elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğinin değişmez kütle spektroskopisinden sinyal ve birbiri ile ilişkisi olmayan olayların oluşturduğu “background” (fon, arka plan) ayırımı yapıldıktan sonra ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçekirdeğine ait olan rapidity-Pt korelasyonu Şekil 4.15. (a)’ da ve Şekil 4.15. (b)’ de ise tek boyutlu şekilde rapidity dağılımı gösterilmektedir. ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ’ nın 1.6~2.0 aralığında meydana geldiği ve bu alanın “hedef-rapidity (~ 1.81)” bölgesinde oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.15. (c) ve (d) ise simulasyon sonucu elde edilen rapidity-Pt ve rapidity dağılımları gösterilmektedir. Elde edilen dağılımlar, reaksiyon anında meydana gelen olay esnasında oluşan Λ -hiperonun, çarpışmadan sonra ileri yönde giden hedefe yapışarak (“coalescence scenario” olarak adlandırılan) hiperçekirdek parçacıkların meydana geldiğini ifade etmektedir. Aynı zamanda elde edilen bu sonuçların, daha önce yapılan teoriksel çalışmalar (Botvina vd., 1987; Lenske vd., 2009) ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

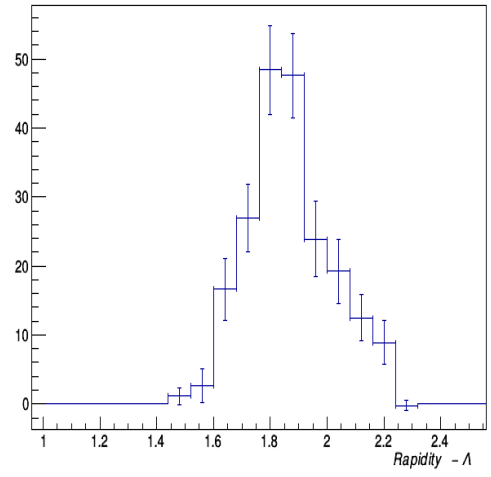


Şekil 4.15. Veri analizinden elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeğinin oluşturduğu rapidity - transverse momentum korelasyonu (a) ve ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeğine ait olan tek-boyutlu rapidity dağılımı (b). Simulasyon sonucunda elde edilen ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeği için rapidity - transverse momentum korelasyonu (c) ve tek-boyutlu rapidity dağılımı (d)

${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeği için elde edilen iki boyutlu rapidity- P_t ve tek boyutlu rapidity dağılımlarında uygulanan yöntem Λ -hiperonu için uygulanmıştır. Veri analizi sonucunda Λ -hiperonuna ait olan rapidity- P_t Şekil 4.16. (a)' da ve tek boyutlu olarak rapidity dağılımı ise Şekil 4.16. (b)' de gösterilmektedir. Şekil 4.16. (b)' de görüldüğü gibi elde edilen rapidity dağılımı, ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ hiperçerçirdeği için elde edilen rapidity dağılımına (Şekil 4.15. (b)) göre daha geniş bir dağılıma sahiptir.



(a)



(b)

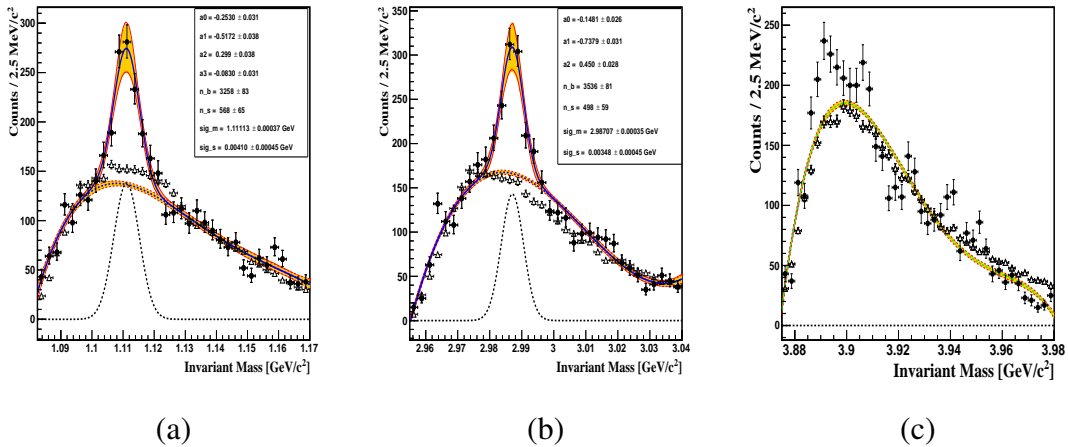
Şekil 4.16. Deney sonucu elde edilen veri analizi ile Λ hiperonun sahip olduğu rapidity - transverse momentum korelasyonu (a) ve Λ hiperonu için tek-boyutlu rapidity dağılımı (b)

BÖLÜM V

TARTIŞMA ve SONUÇ

HypHI (Hypernuclear Spectroscopy with Heavy Ion Collision) projesinin ikinci deneyi olan Phase 0.5, merkezi Darmstadt/Almanya' da olan GSI (The Helmholtz center for heavy ion research) merkezinde, kalınlığı 8.84 g/cm^2 olan karbon (^{12}C) hedef üzerine enerjisi nükleon başına 2 A GeV ve yoğunluğu $3 \times 10^5/\text{s}$ olan ^{20}Ne demeti gönderilerek gerçekleştirilen reaksiyon sonucu Λ -hiperonu ve hafif hiperçekirdek olarak bilinen $^3_{\Lambda}\text{H}$ ve $^4_{\Lambda}\text{H}$ parçacıklarının spektroskopisi incelenmiştir. Elde edilen bu parçacıkların bozunum ürünlerinin tayini için TR0, TR1 ve TR2 adı verilen fiber dedektörler, BDC ve SDC drift chamber (Sürüklenme Odaları) ve ToF-Start, TOF+, TFW plastik sintilatör dedektörleri kullanılmıştır. Reaksiyon sonucu oluşan parçacık izlerinin bulunması için Kalman Filter metodu kullanılmıştır, her bir parçacık izinin takibi ile bu parçacıkların enerjisi, her bir parçacığa ait olan momentum ve uçuş zaman bilgileri elde edilmiştir.

Şekil 5.1. (a)'da $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$, **Şekil 5.1.** (b)'de $^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \pi^-$, ve **Şekil 5.1.** (c)'de ise $^4_{\Lambda}\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + \pi^-$ parçacıklarının yapılandırma sonucu elde edilen değişmez kütle spektrumları gösterilmektedir.



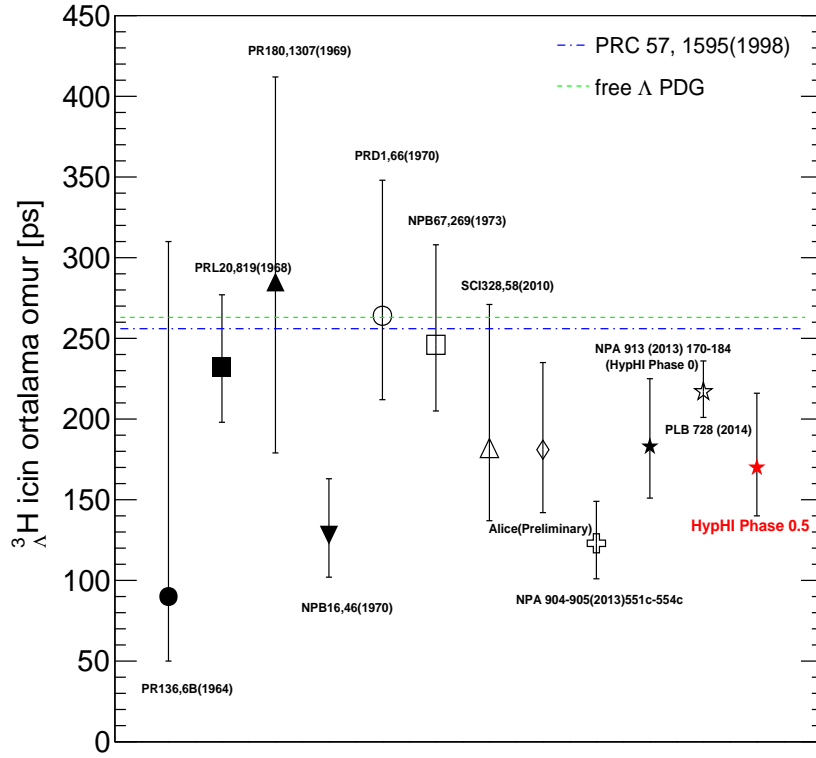
Şekil 5.1.: Şekil (a) Λ hiperonu, şekil (b) $^3_{\Lambda}\text{H}$ ve şekil (c) $^4_{\Lambda}\text{H}$ için değişmez kütle spektrumları

Λ hiperonu için, $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu sonucu alınan verinin analiz edilmesi ile kütle değerinin $1111.13 \pm 0.37 \text{ MeV}/c^2$ (bilinen değer, $1115.684 \text{ MeV}/c^2$), sinyal genişliğinin

$4.10 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$, sinyal sayımının 468 ± 65 ve anlamlılık degeğinin ise 13.14σ olduğu ve ortalama ömrünün ise 263_{-60}^{+112} ps (bilinen değer, 263_{-2}^2 ps) kadar olduğu tespit edilmiştir.

${}^3_{\Lambda}$ H hiperçekirdeği için ise, elde edilen spektrumun incelenmesi ile kütle değerı $2987.07 \pm 0.35 \text{ MeV}/c^2$ (bilinen değer, $2991.68 \pm 0.05 \text{ MeV}/c^2$), sinyal genişliğinin $3.48 \pm 0.45 \text{ MeV}/c^2$, sinyal sayımının 498 ± 59 ve anlamlılık değerinin 12.58σ olduğu yapılan analiz sonucunda elde edilmiştir. ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçekirdeğinin ortalama ömür değerinin ise 170_{-30}^{+46} ps olarak ölçülmüştür. ${}^4_{\Lambda}$ H hiperçekirdeği için gerçekleştirilen, veri analizi çalışmalarında, ${}^{20}\text{Ne} + {}^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile gerçekleşen deneysel çalışmada bu çekirdeğe ait bir sinyal gözlenmemiştir.

Yapılan bu tez çalışmasının en önemli kısmı, ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçekirdeğinin ortalama ömür değerinin ölçümüdür. ${}^3_{\Lambda}$ H için ömür hesabı ilk olarak “emulsion techniques” olarak bilinen yöntem kullanılarak ölçüm yapılmıştır (Prem vd., 1964; Keyes vd., 1968; Keyes vd., 1970; Crayton vd., 1962; Kang vd., 1965). Daha sonra yüksek enerjili çarpışmalarla yapılan deneyler ile ortalama ömür hesabı yapılmıştır (STAR Collaboration, 2010; Rappold vd., 2013; ALICE Collaboration 2015). Daha önce yapılan çalışmalar ile ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçekirdeğinin ortalama ömür değerinin, Λ hiperonu ile aynı olacağı düşünölmekteydi fakat Şekil 5.2.’ de göröleceği üzere, özellikle son yıllarda yapılan deneysel çalışmalarla bu değerın daha düşük olduğu öngörölmüştür (STAR Collaboration 2010; Rappold vd., 2013; ALICE Collaboration 2015), buna ek olarak HypHI grubu tarafından ${}^3_{\Lambda}$ H hiperçekirdeğine ait olan tüm ölçölen ortalama ömür değerlerinin kombinasyonu alınarak yapılan bu çalışmada elde edilen değerın (217_{-16}^{+19} ps) ve Λ hiperonuna ait olan ortalama ömür değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir (Rappold vd., 2014).



Şekil 5.2. ${}^3\Lambda\text{H}$ için ölçülen ortalama ömür değerleri

Yapılan bu tez çalışması ile elde edilen ${}^3\Lambda\text{H}$ 'nin ömür değeri 170^{+46}_{-30} ps olarak ölçülmüş olup, şu ana kadar yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen grafikte (Şekil 5.2.) “HypHI Phase 0.5” adı verilen simge ile ifade edilmiştir. Elde edilen değer son yıllarda yapılan çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir.

Hazırlanan bu tez çalışması, ağır iyon hüzmesi kullanarak gerçekleştirilen reaksiyon ile hiperçekerde spektroskopisinin incelenmesinde ve bu alanda yapılacak olan çalışmalara yeni bir metot olarak yön vermesi sağlanmıştır. Buna ek olarak elde edilen ${}^3\Lambda\text{H}$ hiperçekerdeğinin ortalama ömür değerinin bu alanda yapılacak olan teoriksel ve deneysel çalışmalara yeni bir referans olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Amsler, C. and Particle Data Group, “Review of particle physics”, *Phys. Lett. B.* 667, 1-1340, 2008.

Achenbach, P., Gayoso Ayerbe, C., ..., Sakaguchi, A. and Mizoi, Y., “In-beam tests of scintillating fibre detectors at MAMI and at GSI”, *Nucl. Instr. and Meth. A* 593, 353-360, 2008.

Adamczewski J., Al-Turany, M, Bertini, D., Essel, H.G., Hemberger, M., Kurz, N., and M. Richter, “Go4 multitasking class library with root”, *Nuclear Science IEEE Transactions on Nuclear Science* 49(2), 521-524,2002.

Alberico, W.M. and Garbarino, G., “Weak decay of Λ -hypernuclei”, *Physics Reports* 369, 1-109, 2002.

Akel, M., Amann, J.F., Chiba. J., ..., Yoshikawa, N. and Yamanoi, Y., “ (π^+, K^+) reaction on ^{12}C and ^{56}Fe ”, *Nucl. Phys. A* 534, 478-492, 1991.

Asai, F., Bando, H. and Sano, M., “The probability of hypernucleus production on high-energ heavy-ion collisions”, *Phys. Lett. B* 19, 145, 1984.

Bass, S.A., Belkacem, M., Bleicher, M., “Microscopic models for ultrarelativistic heavy ion collisions”, *Prog. Part. Nucl. Phys.* 41, 255, 1998.

Beringer, J. and Particle Data Group, “Reciew of particle physics”, *Phys. Rev. D* 86, 2012.

Brückner, W., Granz, B., ..., Ritter, H.G., and Schroder, H, ”Strangeness Exchange Reaction on Nuclei”, *Phys.Lett.B* 79, 157, 1978.

Bianchin, S., Borodina, O., ..., Tanida, K., and Trautman, W., “Progress on the Time-of-Flight detectors for the HypHI project”, *GSI Scientific Report* 223, 2008.

Billoir, P., Frühwirth, R. and Regler, M., “Track element merging strategy and vertex fitting in complex modular detectors”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A* 241(1), 115-131, 1985.

Brun, R. and Rademakers, F., “ROOT: An object oriented data analysis framework.” *Nucl. Instr. Meth. A* 389, 81-86, 1997.

Botvina, A.S., Iljinov, A.S., Mishustin, I.N., Bondorf, J.P., Donangelo, R. and Sneppen, K., “Statistical simulation of the breakup of highly excited nuclei”, *Nucl. Phys. A* 475, 663-686, 1987.

Billoir, P., “Track fitting with multiple scattering: a new method”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 225, 352-356, 1984.

Crochet, P. and Braun-Munzinger, P., “Investigation of background subtraction techniques for high mass dilepton physics”, *Nucl. Instr. and Meth. A* 484, 564 (2002).

Danysz, M. and Pniewski, J., “Delayed Disintegration of a Heavy Nuclear Fragment”, *Phil. Mag.* 44, 348, 1953.

Dalitz R.H. and Rajasekharan, G., “The spins and lifetimes of the light hypernuclei”, *Phys. Letters* 1, 58, 1962.

Ejiri, H., “Hypernuclear structure”, *Nuclear Physics A* 574, 311-330, 1994.

Frühwirth, R., “Application of Kalman filtering to track and vertex fitting”, *Nucl. Instr. Meth. A* 262, 444, 1987.

Hashimoto, O. and Tamura, H., “Spectroscopy of Λ hypernuclei, Progr. Part”, *Nucl. Phys.* 57, 564-653, 2006.

Hasgawa, T., Hashimoto, O., Homma, S., ..., Sawafuta, R. and Redwine, R.P., “Core-Excited States of ${}_{\Lambda}^{12}\text{C}$ Hypernuclei Formed in the (π^+, K^+) reaction” *Phys.Rev:Lett.* 74, 224, 1995.

Hotchi, H., Nagae, T., Outa, H., ..., Sawafta, R., and Tang, L. “Spectroscopy of medium-heavy Λ hypernuclei via the (π^+, K^+) reaction”, *Phys. Rev. C* 64, 2001.

Hungerford, E.V., “Experimental consideration in electromagnetic production of hypernuclei”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* 117, 135, 1994.

Kang, Y.W. Kwak, N., Schneps, J. and Smith, P.A., “Lifetimes of Light Hyperfragments”, *Phys. Rev.* 139, B401-B406, 1965.

Kamada, H. v.d., “Pi mesonic decay of the hypertriton”, *Phys. Rev. C* 57, 1595-1603, 1998.

Kalman, R.E., “A new Approach to Linear Filtering and Prediction Problems” *Transactions of ASME Journ. Basic Engineering* 82, 35, 1960.

Kerman, A.K. and Weiss M.S., “Superstrange Nuclei”, *Phys. Rev. C* 8, 408, 1973.

Keyes, G., Derrick, M., Fields, T., ..., Wang, T., “New measurement of the ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ lifetime”, *Phys. Rev. Lett.* 20, 819-821, 1968.

Keyes, G., Derrick, M., Fields, T., Hyman, L.G., Fetkovich, J.G., McKenzie, J., Riley, B. and Wang, I.T., “Properties of ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ ”, *Phys. Rev. D* 1, 66, 1970.

Kim, E., Observation of Few-body Hyperfragments in ${}^6\text{Li}+{}^{12}\text{C}$ reactions at 2 A GeV. PhD Thesis, *Department of Physics and Astronomy Graduate School Seoul National University*, 2013.

Milner, C., Barlet, M., Hoffmann, G.W., ..., Stearns, R.L., “Observation of Λ -Hypernuclei in the Reaction ${}^{12}\text{C}(\pi^+, K^+){}^1_{\Lambda}\text{C}$ ”, *Phys.Rev.Lett.* 54, 1237, 1985.

Miyoshi, T., Sarsour, M., Yuan, L., ..., Yamaguchi, H. and Yan, C., “High Resolution Spectroscopy of the ${}^3_{\Lambda}\text{B}$ Hypernucleus Produced by the (π^+, K^+) Reaction”, *Phys.Rev.Lett.* 90, 23, 2003.

Moneta, L., Belasco, K., Cranmer, K.S., ..., Verkerke, W. and Wolf, M., “The RooStats Project”, ArXiv Physics e-prints (2010), arXiv:physics/1009.1003.

Nield, K.J., Bowen, T., Cable, G.D., ..., Pifer, A.E., “Production of hypernuclei in a 2.1 GeV/nucleon oxygen beam”, *Phys. Rev. C* 13, 1263, 1976.

Outa, H., Aoki, M., Hayano, R.S., Tamura, H. and Yamayaki, T., “Mesonic and non-mesonic decay widths of (Λ) H-4 and (Λ) He-4”, *Proceedings of Science* 639, 251-260, 1998.

Pile, P.H., Bart, S., Chrien, R.E., Millener, D.J., ..., Reidy, J., “Study of hypernuclei by associated production”, *Phys.Rev.Lett.* 66, 2585, 1991.

Prem, P.J., and Steinberg, P.H., “Steinberg. Lifetimes of Hypernuclei ${}^3_{\Lambda}\text{H}, {}^4_{\Lambda}\text{H}, {}^5_{\Lambda}\text{H}$ ”, *Phys. Rev.* 136, B1803-B1806, 1964.

Hoffman, J., Kurz, N., Minami, S., Ott, E., Voltz, S., “Programmable Trigger Processing Module, VUPROM.” *GSI Scientific Report* 256, 2007.

Rappold, C., Kim, E., Nakajima, D., Saito, T.R., Bertini, O., Bianchin, S., **Bozkurt, V.**, Kavatsyuk, K., Ma, Y., Maas, F., Minami, S., Özel-Tashenov, B., Yoshida, K., ..., Ertürk, S., Yoon, C.J., “Hypernuclear spectroscopy of products from ${}^6\text{Li}$ projectiles on a carbon target at 2 A GeV” *Nuclear Physics A* 913, 170-184, 2013.

Rappold, C., “Study of hypernuclei in the reaction ${}^6\text{Li}+{}^{12}\text{C}$ at 2 A GeV”, PhD thesis, *University of Strasburg*, 2010.

Rappold, C., Saito, T.R., Bianchin, S., ..., Trautman, W., “Event reconstruction methods for the HypHI Phase 0 experiment at GSI”, *Nucl. Instrum. Methods A* 622, 231-235, 2010.

Rappold, C., Saito, T.R., Bertini, O., Bianchin, S., Bozkurt, V., ..., Özel-Tashenov, B., and Yoshida, K., “On the measured lifetime of light hypernuclei ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ and ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ ”, *Physics Letters B* 728, 543-548, 2014.

Rappold, C., Saito, T.R., Bertini, O., Bianchin, S., **Bozkurt, V.**, Kim, E., ..., Ertürk, S., ..., Voltz, S. and Yoon, C.J., “Hypernuclear production cross section in the reaction of ${}^6\text{Li}+{}^{12}\text{C}$ at 2 A GeV” *Physics Letters B* 747, 129-134, 2015.

Saito, T., “Letter of intent”, <http://www.gsi-scherionenforschung.org/documents/DOC-2005-Feb-432-1.ps>, 2006.

Saito, T.R., Nakajima, D., Rappold, C., Bianchin, S., Borodina, O., **Bozkurt, V.**, Göküzüm, B., Kavatsyuk, M., Kim, E., Ma, Y., Maas, F., Minami, S., zel-Tashenov, B., ..., Ertürk, S., ..., Yoshida, K., “Production of hypernuclei in peripheral HI collisions: The HypHI project at GSI” *Nuclear Physics A* 881, 218-227, 2012.

Saito, T., Bianchin, S., Borodina, O., Bozkurt, V., ..., Yoshida, K., “The HypHI Phase 0 Experiment”, *Nucl.Phys. A* 835, 110-116, 2010.

Schaffer, J. and Mishustin, I.N., “Hyperon-rich matter in neutron stars”, *Phys. Rev. C* 53, 1416, 1996.

The STAR Collaboration, “Observation of an Antimatter Hypernucleus”, *Science* 328, 58, 2010.

Verkerke, W. and Kirkby, D., “The RooFit toolkit for data modeling”, *Computing in High Energy and Nuclear Physics*, California, 24-28 March, 2003.

Wakai, M., Bando, H. and Sano, M. “Hypernucleus formation in high-energy collisions”, *Phys. Rev. C* 38, 748, 1988.

Juric, M. v.d., “A new determination of the binding-energy values of the light hypernuclei ($15 \geq A$)” *Nucl. Phys. B* 52, 1-30, 1973.

Lenske, H., Gaitanos T. and Mosel, U. “Formation of hypernuclei in high energy reactions within a covariant transport model” *Phys. Lett. B* 675, 297-304, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Vakkas BOZKURT 01.10.1984 tarihinde Adıyaman/Besni’de doğdu. Orta ve lise öğrenimini Gaziantep’te tamamladı. 2001 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisansa başladı. 2008 yılında yüksek lisans programını tamamlayıp aynı kurumda Doktora öğrenimine başladı. Doktora çalışmalarını yapmak üzere 2009-2015 yılları arasında merkezi Darmstadt/Almanya’da yer alan GSI (The Helmholtz Centre for Heavy Ion Research) kurumunda burslu olarak araştırmacı görevinde yer aldı. Bilim dalındaki ilgi alanı, nükleer fizik, yüksek enerji ve parçacık fiziği, nükleer enerji, dedektör geliştirme ve dedektör elektroniğidir.

TEZ ÇALIŞMASINDA ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından 5 adet uluslararası makale. Bu üretilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Saito, T.R., Bianchin, S., Borodina, O., **Bozkurt, V.**, Göküzüm, B., Kavatsyuk, M., Kim, E., Minami, S., Nakajima, D., Özel-Tashenov, B., Rappold, C., ..., Ertürk, S., ..., Yoshida, K., “The HypHI Phase 0 experiment” *Nuclear Physics A* 835, 110-116, 2010.

Saito, T.R., Nakajima, D., Rappold, C., Bianchin, S., Borodina, O., **Bozkurt, V.**, Göküzüm, B., Kavatsyuk, M., Kim, E., Ma, Y., Maas, F., Minami, S., zel-Tashenov, B., ..., Ertürk, S., ..., Yoshida, K., “Production of hypernuclei in peripheral HI collisions: The HypHI project at GSI” *Nuclear Physics A* 881, 218-227, 2012.

Rappold, C., Kim, E., Nakajima, D., Saito, T.R., Bertini, O., Bianchin, S., **Bozkurt, V.**, Kavatsyuk, K., Ma, Y., Maas, F., Minami, S., Özel-Tashenov, B., Yoshida, K., ..., Ertürk, S., Yoon, C.J., “Hypernuclear spectroscopy of products from ${}^6\text{Li}$ projectiles on a carbon target at 2 A GeV” *Nuclear Physics A* 913, 170-184, 2013.

Rappold, C., Kim, E., Saito, T.R., Bertini, O., Bianchin, S., **Bozkurt, V.**, Kavatsyuk, M., Ma, Y., ..., Ertürk, S., ..., Voltz, S. and Yoon, C.J., “Search for evidence of ${}^3_{\Lambda}\text{n}$ by observing $d + \pi^-$ and $t + \pi^-$ final states in the reaction of ${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$ at 2 A GeV” *Physical Review C* 88, 041001(R), 2013.

Rappold, C., Saito, T.R., Bertini, O., Bianchin, S., **Bozkurt, V.**, Kim, E., ..., Ertürk, S., ..., Voltz, S. and Yoon, C.J., “Hypernuclear production cross section in the reaction of ${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$ at 2 A GeV” *Physics Letters B* 747, 129-134, 2015.