



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NÜKLEER REAKSİYONLARDA HİPERÇEKİRDEKLER

Aylin NAZLI BABAOĞLU

YÜKSEK LİSANS

Fizik Anabilim Dalı

OCAK-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NÜKLEER REAKSİYONLARDA HİPERÇEKİRDEKLER

Aylin NAZLI BABAOĞLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nihal BÜYÜKÇİZMECİ

2020, 44 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Nihal BÜYÜKÇİZMECİ
Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Doç. Dr. Gülay TEZEL

Relativistik iyon çarpışmalarında, seyirci artık çekirdeklerin parçalanması ve çoklu parçalanmasından gelen çekirdekleri ve hiperçekirdekleri araştırdık. Bu tür hiper nükleer sistemlerin istatistiksel olarak parçalanmasını ve parçacık üretiminin, hiperonların bağlanma enerjileriyle bağlantısını dikkate aldık. Normal çekirdek ve hiperçekirdeklerin kütle ve izotopik dağılımlarını araştırmak için hiperçekirdekler için uyarlanmış istatistiksel çok katlı parçalanma model versiyonunu kullandık. Bu modelle, parçalanmadan sonra açığa çıkan parçacıkların kütle ve izotop dağılımlarını farklı acayiplik içerikli çekirdekler için inceledik.

Anahtar Kelimeler: istatistiksel çok katlı parçalanma modeli, kütle dağılımları, izotop dağılımları, hiperçekirdekler.

ABSTRACT

MS THESIS

HYPERNUCLEI IN NUCLEAR REACTIONS

Aylin NAZLI BABAOĞLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

Advisor: Prof. Dr. Nihal BÜYÜKÇİZMECİ

2020, 44 Pages

Jury
Prof. Dr. Nihal BÜYÜKÇİZMECİ
Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Doç. Dr. Gülay TEZEL

We have investigated nuclei and hypernuclei coming from fragmentation and multifragmentation of spectator residues obtained in relativistic ion collisions. We consider statistical disintegration of such hyper nuclear systems and the connection of fragment production with the binding energies of hyperons. The statistical multifragmentation model version which is modified for hypernuclei are used to investigate mass and isotopic distributions of normal nuclei and hypernuclei. We have examined the mass and isotope distributions of formed fragments after fragmentation for different strangeness contents of nuclei within this model.

Keywords: Istatistical multifragmentation model, mass distributions, isotopic distributions, hypernuclei.

ÖNSÖZ

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulmuştur.

Bu tezin hazırlanmasında engin bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, bir abla sıcaklığı ile beni çalışmalarımda teşvik eden, kendisiyle çalışmaktan dolayı kendimi şanslı hissettiğim değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nihal BÜYÜKÇİZMECİ' ye sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımda benden desteğini esirgemeyen Dr. Ayşegül ERGUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aylin NAZLI BABAOĞLU
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Hiperon nedir? 1
1.1.1. Hiperonlar: Acayip Baryonlar 2
1.2. Hiperçekirdeklerin tanımlanması 4
1.3. Hiperçekirdeklerin keşfi 5

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **8**

2. MATERYAL VE YÖNTEM **12**

3.1. Hiperçekirdekler için istatistiksel yaklaşım 14

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **18**

4.1. Hiperçekirdekler için sıcaklık ve uyarma enerjisinin ilişkisi 18
4.2. Normal ve hiperçekirdeklerin kütle dağılımları 20
4.3. Normal ve hiperçekirdeklerin izotop dağılımları 22

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **30**

KAYNAKLAR **32**

ÖZGEÇMİŞ **36**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Kütle Numarası
Λ	: Lambda
ρ	: Rho(yoğunluk)
ρ_0	: Normal nükleer yoğunluk ($1.6fm^{-3}$)
τ	: Tau
Σ	: Sigma
Ω	: Omega
π^-	:Pion
K^-	: Kaon
fm	: Fermi (1fermi=10^{-15}m)
MeV	: Mega elektron volt,10^6eV
T	: Sıcaklık
Z	: Atom numarası

Kısaltmalar

ALADIN	: Advanced Probe Air Data Integration
DCM	: Dubna Cascade Model
FRS	: Fragment Separator (Parçacık ayrıştırıcı)
FAIR	: Facility for Antiproton and lon Research
CERN	: European Organization for Nuclear Research
NICA	: Nuclotron-Based Ion Collider Facility
SMM	: Istatistical Multifragmentation Model

1. GİRİŞ

Yüksek enerjili etkileşimlerde üretilen hiperonların (Y=Λ, Σ, Ξ, Ω) çekirdekler tarafından yakalanması ile hiperçekirdekler oluşur. Nükleer ortamdaki 'acaip kuark'a sahip olan baryonları araştırmak, düşük enerjilerdeki güçlü üç-kuark etkileşimini, çoklu parçacıklı sistemler çerçevesinde açıklayabilmenin imkânını sağlamaktadır. Aynı zamanda hiperçekirdekler, hiperon-nükleon ve hiperon-hiperon etkileşimini çalışmak için de bir araç olarak görülebilir. Hiperçekirdeklerin oluşmasına yol açan reaksiyonları ve hiperçekirdeklerin yapısını incelemek, nükleer fiziğin ilerleyen alanlarından biridir. Hiperçekirdeklerin fiziği, fiziğin pek çok alanında özel ilgi çekmektedir. En önemli ilgi alanlarından birisi baryonik maddedeki acayip parçacıkların davranışlarının anlaşılması ile ilgilidir. Çünkü ağır iyon fiziğinde, parçacık fiziğinde ve astrofizikte nükleer maddelerin acayiplik etkileri büyük önem taşımaktadır.

Hiperonların katkısı ve fiziksel etkileri nötron yıldızlarının kütlelerine büyük oranda etki etmektedir. Son onbeş yılda lambda hiperonu ve hiperçekirdekler ile ilgili deneysel çalışmalar sonucu yeteri kadar spektroskopik bilgiyi bilim alanına aktarmıştır. (Bando ve ark., 1990, Schaffner ve ark., 1993a, Gal ve Pochodzalla, 2012 Buyukcizmeci ve ark., 2013b, Hell ve Weise, 2014).

1.1. Hiperon nedir?

Temel parçacıklar kuarklardan oluşur ve bir araya gelerek hadronları oluştururlar. En kararlı hadronlar proton ve nötronlardır. Altı farklı türde kuark vardır. Bunlar Şekil1.1'deki gibi sınıflandırılmaktadır. Nükleonlar ve hiperonların her ikisine birden baryon denir. Şekil 1.1.'de gösterilen kuarklardan proton içinde iki yukarı kuark ve bir aşağı kuark bulunurken, nötron içinde bir yukarı kuark ve iki aşağı kuark olmak üzere 3 kuark bulunur. Lambda ve sigma sıfır hiperonunda ise bir yukarı, bir aşağı ve bir acayip kuark bulunur. Omega hiperonunda üç acayip kuark ve çağlayan sıfır hiperonunda ise bir yukarı iki acayip kuark bulunur. Her bir baryonun anti-parçacığı yani anti-baryonu vardır. Anti-baryonlar içerisinde kuarklarda artık anti-kuarklardır.



aşağı yukarı tılsımlı acayip üst alt

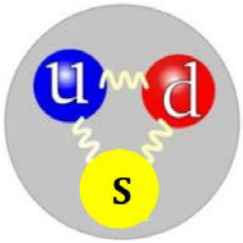
Kuark	Sembol	Yük (e)	Acayiplik (s)
YUKARI	u	2/3	0
AŞAĞI	d	-1/3	0
ACAYİP	s	-1/3	-1
TILSIM	c	2/3	0
ALT	b	-1/3	0
ÜST	t	2/3	

Şekil 1.1 Kuark çeşitleri

Atom çekirdeğindeki nükleonlar (N) ve hiperonlar (Y) arasındaki baryon-baryon etkileşmesi önem taşımaktadır. Nükleer sistemlerde acaip kuarklı hiperçekirdekleri inceleyerek hiperon-nükleon (NY) veya hiperon-hiperon (YY) etkileşmelerinin incelenmesi, deneysel olarak bir bombardıman parçacığı ve hedef üzerinde meydana gelen reaksiyonları ile çalışılabilmektedir. Böyle deneysel çalışmalar bize yalnızca nükleonlar arasında meydana gelen etkileşmeler hakkında bilgi vermektedir. Serbest hiperonların yarı ömürleri 200 ps gibi çok kısa olup, şu anki mevcut teknoloji ile deneysel olarak bir veya iki hiperon içeren (Y=Λ, Σ, Ξ, Ω) bir sistemin kullanılması ile YN ve YY arasındaki etkileşmeler analiz edilmeye çalışılmaktadır.

1.1.1. Hiperonlar: Acayip Baryonlar

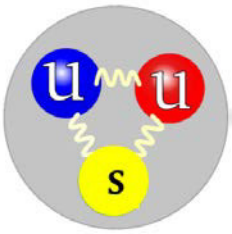
Şekil 1.2'de hiperonların şematik olarak kuark içeriklerini, yaklaşık kütle değerlerini ve acayiplik sayılarını gösterdik.



Lambda Λ = (uds)

m(Λ) = 1116 MeV

S= -1

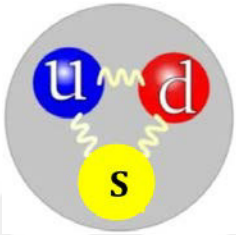


Sigma+

Σ^+=(uus)

$m(\Sigma^+)$ =1189.37+/-0.07 MeV

S = -1

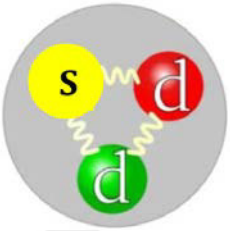


Sigma0

Σ^0= (uds)

$m(\Sigma^0)$=1192.642+/- 0.024MeV

S= -1

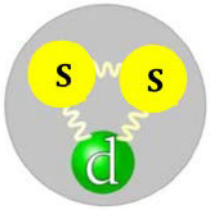


Sigma-

Σ^-= (dds)

$m(\Sigma^-)$= 1197.449+/-0.030MeV

S= -1

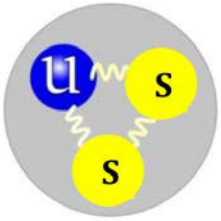


Çağlayan-

Ξ^-= dss

$m(\Xi^-)$= 1321.71 + / - 0.07 MeV

S= -2

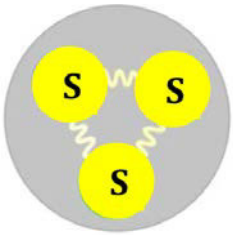


Çağlayan0

Ξ^0= uss

$m(\Xi^0) = 1314.86 +/-0.2MeV$

S= -2



Omega-

Ω^- = (sss)

$m(\Omega)^- = 1672.45 +/-0.29MeV$

S= -3

Şekil 1.2. Lambda, Sigma, Çağlayan ve Omega hiperonların kuark içeriklerinin şematik gösterimi.

CERN veya Dubna'daki gibi ağır iyon hızlandırıcılarındaki deneylerde gerçekleştirilebilen reaksiyonlarda Lambda hiperonunun üretildiği örnek bir reaksiyon aşağıdaki gibidir. Reaksiyona giren ve çıkan parçacıkların acayiplik sayıları korunmak zorundadır. Aşağıda iki reaksiyon örneği verilmiştir. İlk reaksiyonda yük ve acayiplik sayısı korunmaktadır.

$\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Lambda^0 + \pi^-$ (tesir kesiti milibarn mertebesindedir.)

$(\bar{u}d) + (uud) \rightarrow (u\bar{s}) + (uds) + (\bar{u}d)$ Acayiplik sayısı korunmak zorundadır.

Aşağıdaki reaksiyon ise asla OLUŞAMAZ. Çünkü reaksiyonda yük korunuyor fakat acayiplik sayısı korunumu yoktur.

$\pi^- + p \neq K^- + \Lambda^0 + \pi^+$ (Böyle bir reaksiyon OLUŞAMAZ!)

$(\bar{u}d)$+(uud) = $(\bar{u}s) + (uds) + (u\bar{d})$

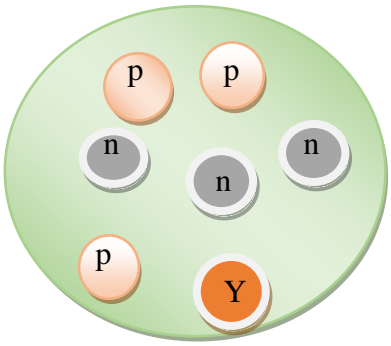
Bu tip etkileşmelerde acayipliğin korunması gerekir. Ama aşağıda gösterilen zayıf etkileşmelerde acayiplik korunmaz. Zayıf etkileşme yapan parçacıkların yarı ömürleri yaklaşık 10^{-10} sn'dir.

$\Lambda^\circ(uds) \rightarrow \pi^-(ud) + p(uud)$

$K^0(uds) \rightarrow \pi^+(u\bar{d}) + \pi^-(\bar{u}d)$

1.2. Hiperçekirdeklerin tanımlanması

Bir çekirdek içerisinde nükleonların (n, p) yanı sıra hiperon içeren çekirdeklere hiperçekirdekler denir. Yani hiperçekirdekler, nükleon ve en az bir hiperon (Λ, Ω, Ξ, Σ) içeren parçacıklardır. Hiperçekirdekler, yüksek enerjili hadron-çekirdek veya çekirdek-çekirdek reaksiyonları sonucu açığa çıkabilir.



Gösterim:

${}^{A}_{Y}Z$

Y=Hiperon

$A = N_n + N_p + N_y$

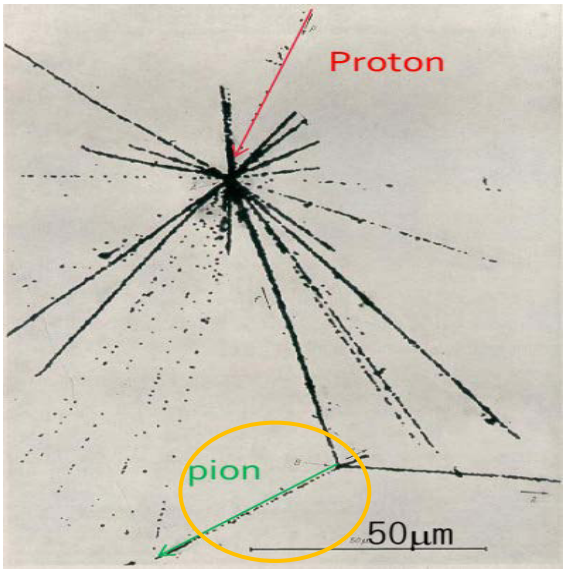
$Z = Z_p + (N_y \cdot q_y)$

Şekil 2.1. Bir hiperçekirdeğin içeriğinin şematik tasviri.

Şekil 2.1'de Z atom numarasını, A baryon numarasını ve Y hiperon sayısını gösterir. Örneğin ${}^{15}_{\Lambda}N$ hiper çekirdeği; 7 tane proton, 7 tane nötron ve bir Λ parçacığından oluştuğunu ifade eder. Hiperçekirdeklerin incelenmesi nükleer fizik ve hadron fiziği alanında çalışmalar yapılmasını sağlar, Hiperçekirdekler yüksek yoğunlukta oluştuğu için astrofizikte incelenen yıldızsı maddeler ve nötron yıldızlarında bulunabilmektedir ve hiperçekirdekler için elde edilebilecek her yeni bilgi devasa gök cisimlerinin yaşam süreçlerini anlayabilip inceleyebilmemize yardımcı olacaktır.

1.3. Hiperçekirdeklerin keşfi

İlk hiperçekirdek yeryüzünde kozmik ışınların çarptığı fotoğrafik emülsiyon şekilde gözlenen reaksiyonda ortaya çıkmıştır. 1953 yılındaki Marian Danysz ve Jerzy Pniewski (Danysz, 1953b; 1953a) bu keşifleriyle Nobel ödülü almışlardır.



$\Lambda \rightarrow p+\pi^{-}+38$ MeV (%64)

$\Lambda \rightarrow n+\pi^{0}+41$ MeV (%36)

Şekil 2.2. Hiperçekirdeğin ilk gözlendiği reaksiyonun fotoğraf emülsiyonunun şematik gösterimi.

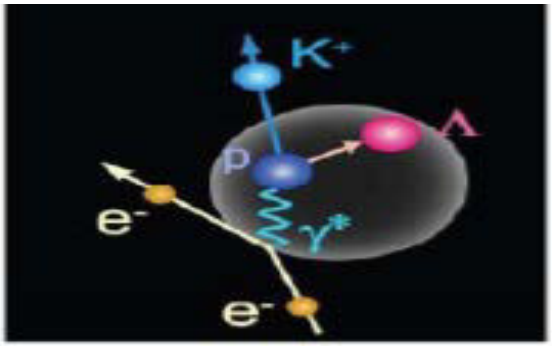
Şekil 2.2'de kırmızı okla gösterilen ışın kozmik ışınlardan gelen yüksek enerjili protonu temsil etmektedir. Bu yüksek enerjili proton fotoğraf emülsiyonundaki bir çekirdeğe çarpıp bu çekirdeği birçok parçacığa parçalıyor. Sarı halka içerisindeki yıldız şeklinde görülen çizgiler, açığa çıkan parçaların fotoğraf filminde oluşturdukları çizgileri gösteriyor. Kısa bir yol kat ettikten sonra parçacıklar enerjilerini yitirerek yok olurlar. Bu reaksiyon sonucu açığa çıkan parçacıklardan birisi ilk kez gözlenmiş ve çok kısa bir sürede yok olmuştur. Bunun gibi nükleer parçacıklara hiperçekirdek ya da hiper parçacıklar denir.

Günümüze kadar 62 tane hiperçekirdek gözlenmiştir. Hiperonları içeren hiper çekirdeklerden Λ^0 içeren 50 civarı, anti-lambda içeren bir tane, iki lambda içeren çekirdekten de beş tane, sigma+ bir kez, çağlayan beş kez deneysel olarak gözlemlenmiştir.

Bir hiperçekirdeği üretebilmek için geleneksel yöntem nükleonun hiperona dönüşmesidir.

$$e^{-} + p \rightarrow e^{-} + \Lambda + K^{+}$$

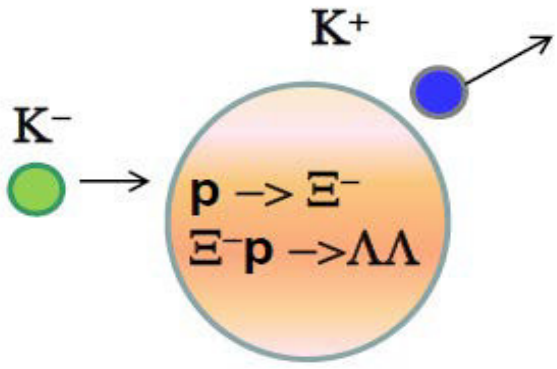
Böyle bir reaksiyonu oluşturabilmek için hadron ya da elektron ışınları kullanılır. Şekil 2.3 de bu reaksiyonun oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Lambda üretimi için örnek reaksiyonun şematik gösterimi

Bu tür reaksiyonların avantajlarından birisi nükleer yapı çalışmaları için iyi bir deneysel kaynak olmasıdır. Oluşan parçacıkların kütleleri spektroskopik olarak belirlenebilir. Bu tür reaksiyonların dezavantajından biri ise; sınırlı aralıktaki kütle ve yükteki çekirdekler için araştırmalar yapılabilir. Bu nedenle parçacıkların üretilebilme olasılığı düşüktür. Çoklu acayip çekirdekleri üretmek deneylerde çok zordur.

ΛΛ iki aşamalı olarak üretilebilir. Şematik olarak ΛΛ'nın nasıl üretileceği şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bir Kaon- bir protonla reaksiyona girerse Ksi- ve Kaon+ açığa çıkar. Bu reaksiyonu takiben Sigma- eğer başka bir proton ile reaksiyona girerse 2 lambda oluşabilir. Böyle bir reaksiyonu tespit etmek çok zordur ve hassas ölçüm sistemleri gerektirmektedir. Bu nedenle 2 lambda içeren hiperçekirdek 5 kez deneysel olarak gözlenebilmiştir. ΛΛΛ ise henüz deneysel olarak belirlenememiştir.



Şekil 3.3. 2 lambda üretimi için örnek reaksiyonun şematik gösterimi

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Nükleer fiziğin kapsamı günümüzde temel parçacıklar, kuark ve gluonlardan süpernova patlamaları gibi en devasa kozmik olaylara kadar uzanır. Kozmik patlamaların kalıntıları nötron yıldızlarıdır. Çok yüksek nükleer yoğunluklu bir çekirdeğe veya düşük nükleer yoğunluklarda bir kabuksu yapıya sahip olabilen böyle yıldızsı maddeler nükleer fiziğin tüm özelliklerini içerir. İki güneş kütlesi nötron yıldızlarının son gözlemleri (Antoniadis, 2013, Demorest ve ark., 2010) yüksek yoğunluklarda hadronik maddenin hal denkleminin geçerliliğini sınırlamaktadır. Fakat böyle dikkate değer gözlemler bile nötron yıldızlarının içerik oluşumları hakkında kesin bir açıklama getirmemektedir. Bu sınırlı bilgi, baryonik sistemlerdeki baryon-baryon ve çoklu cisim etkileşimlerinin, çoklu karışımlar gibi temel kuark-gluon dinamikleri ile ilişkilerine değinilmediğini ve eksikliği yansıtır. Üç çeşitli (three-flavor) nükleer hal denkleminin detaylı çalışmaları nötron yıldızlarının yapısını anlamak ve temel Kuantum Kromodinamik (KKD) teorileri geliştirmek için zorunlu olacaktır.

Hiperçekirdek fiziği, nükleer astrofizik ve parçacık fiziği çalışmalarında yeni ufuklar vadeden ve geleneksel nükleer çalışmaları geliştirmek için tamamlayıcı metotlar sağlayan nükleer fiziğin hızla gelişen alanlarından biridir (Bando ve ark., 1990, Schaffner ve ark., 1993b, Greiner ve Schaffner, 1996, Hashimoto ve Tamura, 2006 , Schaffner-Bielich, 2008, Buyukcizmeci ve ark., 2013a).

Yüksek yoğunluk ve düşük sıcaklıklarda nükleer hal denklemi için temel düzeltmeler üçlü baryon etkileşimlerinin özelliklerinden elde edilebilir (Lonardoni ve ark., 2013, Yamamoto, 2013, Hell ve Weise, 2014). Nükleer ortamlarda bulunan acaip baryonlar olan hiperonlar üç farklı türden parçacığın kuvvetli etkileşiminin çoklu parçacık yönüne yaklaşım için kullanılabilir.

Kuantum kromodinamiğin temel ilkelerine dayanan hassas yapı hesaplamaları ile örtüşen hafif hiperçekirdeklerin hassas deneysel çalışmaları, aynı zamanda çekirdeklerdeki baskın iki baryon etkileşimini ve yok olmasını (üç baryon kuvvetler ve yük simetri kırılma etkileri gibi) keşfetmek için yardımcı olacaktır. İzospin ve acaiplik uzayında kararlılık sınırlarının araştırılması da güncel hiperçekirdek çalışmaları arasındadır.

Şu anda, hiper nükleer fizikteki çalışmalar sınırlı sayıda reaksiyonun incelenmesi ve hala spektroskopik bilgi edinilmesi üzerine odaklıdır. Kaonları da içeren

birkaç parçacığın oluşumuna neden olan yüksek enerjili hadronlar ve leptonlarla uyarılmış böyle reaksiyonlarla taban ve düşük uyarılmış durumlardaki hiperçekirdekler incelenebilmektedir. Bu durumda, $\rho_0 \approx 0.15$ fm^{-3} nükleer doyma yoğunluğu civarında baryon yoğunluklu hiper sistemler oluşur. Bu nedenle daha önceki teorik çalışmaların çoğunluğu soğuk hiperçekirdeklerin yapısının hesaplanması üzerine odaklanmıştır.

Ancak yine de, PANDA (The PANDA işbirliği), FAIR için FOPI/CBM ve Super-FRS(Rappold ve ark., 2013b), RHIC'de STAR (The STAR işbirliği 2010), LHC'de ALICE (Donigus ve Collaboration, 2013), BMN ve NICA'da MPD (NICA white paper) gibi pek çok deneysel işbirliği grupları hadron ve ağır iyon reaksiyonlarında hiperçekirdeklerin özelliklerini araştırmayı planlıyor veya çalışmaya başladılar. İzospin uzayındaki sınırlar, parçacık kararsız haller, çoklu acaip çekirdekler ve yarı ömür belirleme ölçümleri böyle parçalanma reaksiyonlarının araştırma konularıdır.

Bu çalışma mevcut ve gelecek deneysel çalışmalarla yakından ilişkilidir. Teorik ve deneysel bilgileri birleştirerek, böyle reaksiyonlarda uyarılmış hiper maddenin oluşmasıyla, hiper nükleer çalışmaların önemli ölçüde genişletilebilir.

Hiper maddenin bozunması ile yeni egzotik hiperçekirdekler oluşabileceğini ve hiperonlar için geliştirilen istatistiksel çok katlı parçalanma modelini hiper- SMM ile ilk kez gösterilmiştir (Botvina ve ark., 2016). Böylece hiperçekirdeklerin üretimi ve böyle reaksiyonları tanımlamak için uyarlanan iyi bilinen teorik metotları (Buyukcizmeci ve ark., 2013b, Botvina ve Pochodzalla, 2007) uygulanabilir.

Hiperçekirdeğin ilk deneysel gözlemi Danysz ve Pniewski tarafından 1950 lerde kozmik ışınlarla uyarılan nükleer parçalanma reaksiyonlarında elde edilmiştir. Son zamanlarda göreceli hızlardaki ağır iyon çarpışmalarıyla ilişkili çok katlı parçalanma reaksiyonlarının araştırılmasında önemli ilerleme kaydedilmiştir (Bondorf ve ark., 1995, Xi ve ark., 1997, Scharenberg ve ark., 2001,Ogul ve ark., 2011).

Hiperçekirdekler, acaiplik bölgesindeki nükleer tablonun genişletilmesiyle çekirdeklerin yapısını araştırmada bize yardımcı olabilir. İkiden fazla hiperon içeren karmaşık çoklu hiper nükleer sistemler, FAIR'deki CBM ve NUSTAR, RHIC'deki STAR işbirliği ile yapılan veya CERN'deki ALICE (Donigus ve ark., 2013) deneyleri gibi yüksek enerjili çekirdek çekirdek çarpışmalarında oluşturulabilir. Aslında ağır iyon çarpışmaları s=-2 acaiplik sayısının ötesine gitmek için bile en makul yöntem olabilir. Bu türde hiperon (lambda) içeren hiperçekirdekler için egzotik parçacıklar hesaplanmıştır. Ağır hiper sistemler nötron ve proton kararlılık çizgilerinin ötesinde

acaip olmayan çekirdekleri de üretebilmek için bir açık kapı olduğu gösterildi (Botvina ve ark., 2016) .

Hiperçekirdeklerin oluşum süreçleri merkezcil ve yanal iyon çarpışmalarından oldukça farklıdır. Çok yüksek enerjili merkezcil çarpışmalarda birleşme (coalesence) mekanizması, üretilen hiperon ve nükleonlardan (anti baryonlar dahil) hafif hiper parçacıkları birleştiren oluşumun baskın olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. (Donigus ve ark., 2013),(Ma ve Scott, 2013). Termal modeller de sıcak birleşik çekirdeğin çok yüksek sıcaklığı nedeniyle (T≈160 MeV) yalnızca A≤4 kütle numaralı hafif parçacıkların oluşabileceğini desteklemektedirler. Ayrıca, yanal (peripheral) nükleer çarpışmalardan sonra seyirci (spectator) bölgelerdeki hiperonların soğurulmasının hiperçekirdeklerin oluşumu için alternatif bir yol olduğu da ortaya çıkarılmıştır (Wakai ve ark., 1988, Rudy ve ark., 1995, Gaitanos ve ark., 2011, Botvina ve ark., 2011). Yanal çarpışmalarda oluşan nükleer madde ortalama hızlı (midrapidity) nükleer maddeye nazaran çok farklı özellikler gösterir. Orta derecede uyarılmış seyirci artık çekirdekler (T ≤ 5-6 MeV) için böyle reaksiyonlar (Bondorf ve ark., 1995, Xi ve ark., 1997, Scharenberg ve ark., 2001, Pochodzalla, 1997) referansları tarafından oldukça iyi biçimde incelenmişlerdir. Artık çekirdekler için hiperon soğurulması hiperon-nükleon kuvvetleri nükleon-nükleon kuvvetleri ile aynı mertebede olduğu için olayı etkilememelidir.

Daha önce normal parçacık oluşumu için başarı ile uygulanan (Bondorf ve ark., 1995, Scharenberg ve ark., 2001, Ogul ve ark., 2011, Buyukcizmeci ve ark., 2019, Buyukcizmeci ve ark., 2011; Buyukcizmeci ve ark., 2012; Buyukcizmeci ve ark., 2013a; Buyukcizmeci ve ark., 2013b; Buyukcizmeci ve ark., 2014; Buyukcizmeci ve ark., 2015; Buyukcizmeci ve ark., 2016; Buyukcizmeci ve ark., 2017; Kaya ve ark., 2018) İstatistik Çok Katlı parçalanma Modelinin (SMM) hiper parçacıklar için tasarlanan versiyonu hiper-SMM hiper artık çekirdeklerin hiper parçacıklara ayrışmasının genel özelliklerini araştırmak için kullanılabilir. Hiper-SMM kullanarak başka reaksiyonlarda elde edilmesi çok zor olan kararlılık çizgisi ötesindeki hiper parçacıkları ve egzotik hiperçekirdekleri tahmin edebilmekteyiz. Alternatif yöntem ise uyarılmış artık çekirdeklerin bozunması için önce SMM'i kullanıp sonra hiper parçacıkların son ürünleri için birleştirme (coalesence) modelini uygulamaktır (Gaitanos ve ark., 2009).

Ağır fisyona uğrayabilir hiperçekirdeklerin eşik enerjileri civarında protonlarla uyarılan reaksiyonlarla yüksek olasılıkla belirlenebilir (Ohm ve ark., 1997). Daha önce

de belirttiğimiz gibi hafif hiperçekirdeklerle ilgili umut verici deneysel sonuçlar vardır. İyi bilinen hiperçekirdekler (Saito ve ark., 2012), iki nötronlu Λ hiperon gibi beklenmedik egzotik hiper nükleer durumlar için bulgular (Rappold ve ark., 2013a; Rappold ve ark., 2013b) yayınlamıştır. Yeni egzotik durumların oluşumu uyarılmış hiper nükleer sistemlerin ayrışması ile doğal olarak açıklanabilir (Botvina ve ark., 2012; Saito ve ark., 2012).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Atom çekirdeğinin parçalanması için çeşitli parçalanma modelleri ve mekanizmalar vardır. Modellerdeki çok çeşitlilik, çalışılan konunun ne kadar karmaşık olduğunu yansıtır. Son kırk yıldır yapılan çalışmalarda önerilen değişik modeller orta ve yüksek enerjideki bir reaksiyonda çok uyarılmış nükleer sistemlerin bozunma, oluşum ve gelişiminin yeterliliğini tarifini tek başına açıklayamamaktadır. Çekirdek reaksiyonun seçilen bazı özelliklerini araştırmak için başka teorik modelin sonuçları ile deneysel sonuçlar sistematik olarak karşılaştırmak en sık uygulanan yöntemlerden birisidir.

İstatistiksel yaklaşımla termodinamik dengede bulunan nükleer maddenin sıvı-gaz faz geçiş bölgesinde bulunan yüksek sıcaklık ve basınç altındaki düşük yoğunluklu nükleer maddenin özelliklerini inceleyebiliriz. İstatistiksel çok katlı parçalanma modeli (SMM) ağır iyon çarpışmaları sonucunda ya da çekirdeğin yüksek enerjili hafif parçacıklarla bombardıman edilmesi sonucunda bir çekirdeğin parçalanmasını en iyi açıklayan modeldir (Bondorf ve ark., 1995).

Geçmişte Copenhagen Modeli olarak adlandırılan SMM modeli, analitik ifadeleri ve fortran kaynak kodları 1985'li yıllarda yazılmaya başlanmıştır, nükleer parçacıkların mikrokanonik, kanonik ve makrokanonik toplulukları için istatistik modelin genel formülasyonu yapılmıştır. Nükleer madde içindeki sıvı-gaz faz geçişi ile parçalanmanın ilişkisi gösterilerek parçalanan sistemin termodinamik özellikleri çalışılmıştır. Coulomb yayılması ve sıcak parçacıkların yeniden uyarılmaları (de-excitation) gibi süreçler sayısal çözümle gerçekleştirilmiştir. Sonlu nükleer sistemler için uygun olan istatistiksel parçalanma modelleri, geliştirilmiştir. Modelin böyle versiyonları; sayısal hesaplama metotları, bireysel parçacıkların tanımı ve istatistiksel topluluğun seçiminde farklılık gösterir ve halen kaynak kodları geliştirilmeye devam etmektedir.

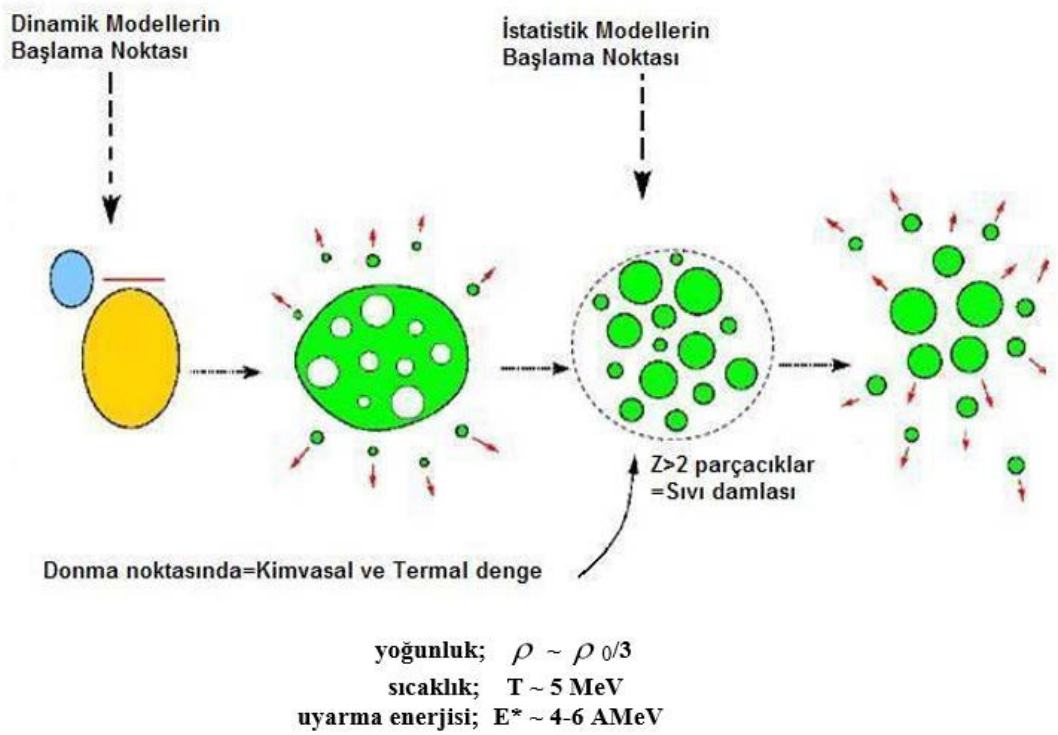
Uyarılmış bir çekirdek elde edebilmek için iki çekirdeği çarpıştırmak veya bir hadron ile bir çekirdeği bombardıman etmek gerekir. Bu etkileşimler sonucunda uyarılmış kararsız, sıcak ve yoğun bir atom çekirdeği yani nükleer madde oluşur. Oluşan madde kısa menzilli itici nükleon-nükleon etkileşmeleri sonucunda genişler ve nükleer madde belirli bir noktada termodinamik dengeye ulaşır ve uyarma enerjisiyle ilişkili olarak parçalanarak sıvı ve gaz fazındaki kütle numarası 4' den büyük nükleer damlacıkları ve $A \leq 4$ olan kabarcıklar oluşturur. Yüksek sıcaklık ve basınç altındaki

böyle bir nükleer maddenin davranışı sıvı-gaz faz geçişlerine benzetilerek nükleer maddenin hal denklemi belirlenerek olası sıvı-gaz faz geçişleri araştırılabilir. Böyle reaksiyonlar orta ve yüksek dereceli nükleer reaksiyonlardaki çok katlı parçalanma ile benzerlik gösterir.

Nükleer parçacıkların oluşum süreci üç ana aşamada incelenecek olursa, birinci aşama orta derecede uyarılmış sistem oluşumu, ikinci aşama bireysel parçacıkların ayrışması ve sistemin genişlemesi ve üçüncü aşama birincil parçacıkların yeniden uyarılması olarak tanımlanabilir.

Orta enerjili iki çekirdeğin çarpışması, yüksek enerjili bir hadron-çekirdek etkileşimi veya çekirdek içinde bir anti-nükleonun yok olması sonucunda sıcak ve sıkışmış bir nükleer madde oluşur. V hacmi, E_0 uyarma enerjisi, A_0 nükleon sayısı ve toplam yükü Z_0 ile karakterize edilen uyarılmış nükleer maddenin yalnızca bazı dinamik süreçler sonucunda oluştuğunu varsayarız. Yüksek uyarılma enerjisinin neden olduğu yüksek iç basınçtan dolayı ve muhtemelen bir sıkıştırma ile nükleer madde genişleyecek ve soğuyacaktır. Bu genişleme sırasında nükleon yoğunluğunun dalgalanmaları büyür, hesaplamalara göre, $\rho < \rho_0/2$ iken nükleonlarla sarılmış ‘‘damlacıkfazı’’ gerçekleşirken $\rho_0/2 < \rho < \rho_0$ aralığında ‘‘baloncuk fazı’’ enerji bakımından daha tercih edilir. Damlacıklar, yaygın olarak isimlendirildiği gibi olağan uyarılmış çekirdek veya nükleer parçacıklardan başka bir şey değildir. Eğer iç basınç yeterince büyük değilse sistem “çatlama noktasına” gelmeyecek ve biraz genişledikten sonra (muhtemelen “kabarcık faz”ına kadar) tersine sıkışacaktır. Bu tür sönümlü titreşimler sistemin, buharlaşma ve fisyon gibi, yavaş bozunma modları tarafından uyarılmışlığını kaybetmesinden önce oluşabilir.

Genişleme sırasında sistemin farklı bölümleri arasında yoğun kütle, yük ve enerji değişiminin gerçekleştiğini düşünmek doğaldır. Bozunmadan hemen önce en azından kısmi termodinamik dengenin kurulduğunun varsayılması bu yüzdendir. Parçacık oluşum süreci kararsız bir ortamda gerçekleşir, bu nedenle kaotik bir karakteri vardır. Olaydan olaya parçacık bileşiminde büyük dalgalanmalar beklenebilir. Bu yüzden, tek bir olay içinde çeşitli tiplerdeki parçacıklar üzerinden kimyasal denge kabul edilmez.



Şekil 3.1. Nükleer çok katlı parçalanma şematik gösterimi

Her bir parçacık türünün ortalama çeşitliliği kimyasal denge şartına göre belirlenir. Nükleer madde damlacık yüzeyleri, her bir damlacık birbirinden ortalama nükleer kuvvet menzili mertebesinde, 2-3 fm, ayrıldığında bozunma oluşur. Bozunmadan sonra damlacıklar arasındaki güçlü nükleer etkileşme sona erer ve sıcak parçacıklar haline gelirler. $(1/2–1/10)\,\rho_0$ aralığındaki ρ_b ortalama nükleon yoğunluğunda donma geçişi beklenir. $\rho_0 \approx 0.15\,fm^{-3}$ denge nükleon yoğunluğudur.

3.1. Hiperçekirdekler için istatistiksel yaklaşım

Hesaplamalarımızı aşağıda kısaca açıklanan istatistiksel yaklaşımla yaptık. Hiper maddenin ayrışmasını tasvir etmek için tasarlanan hiper SMM ile hiper çekirdekler için kütle formülü olarak Botvina ve Pochodzalla, 2007 tarafından önerilen yaklaşımla Tablo 1'de gösterilen büyük kanonik, kanonik ve mikro kanonik istatistiksel topluluklar için geliştirmiş modeli kullandık. SMM içinde parçacıkların bağlanma enerjileri sıvı damlası yaklaşımı ile hesaplanır. A<4 olan hafif nükleer parçacıklar literatürdeki deneysel bağlanma enerjileri ve spinleri dikkate alınarak gaz parçacıklar

kabul edilir. A=4 olan parçacıklar da gaz parçacıklar kabul edilir. Ancak; $E_x=AT^2/\varepsilon_0$ (ε_0 seviye yoğunluk parametresi) ile hesaplanan ^{4}He, $^4_\Lambda$H, $^4_\Lambda$He gibi bazı uyarılmış durumlar dikkate alınır. A>4 parçacıklar sıcak sıvı damlaları olarak kabul edilir. Donma hacminde hiper maddenin nükleer sıvı-gaz fazın aynı anda varoluşunu dikkate alabiliriz. Botvina ve Pochodzalla tarafından böyle parçacıkların iç serbest enerjileri, hacim F^{hacim}, yüzey $F^{yüzey}$, simetri $F^{Simetri}$, Coulomb $F^{Coulomb}$ ve hiper F^{hiper} enerji terimlerinin toplamı

$$F_{AZH}(T,V) = F_A^{hacim} + F_A^{yüzey} + F_{AZH}^{simetri} + F_{AZ}^{C} + F_{AH}^{hiper} \qquad 3.\ (1)$$

olarak ifade edilmiştir. H Lambda sayısını göstermektedir. İlk üç terim standart sıvı damlası yaklaşımından yazılmıştır (Bondorf ve ark., 1995).

$$F_A^{hacim} = \left(-\omega_0 - \frac{T^2}{\varepsilon_0} \right) \qquad 3.(2)$$

$$F_A^{yüzey} = \beta_0 \left(\frac{T_c^2 - T^2}{T_c^2 + T^2} \right)^{5/4} A^{2/3} \qquad 3.(3)$$

$$F_{AZH}^{simetri} = \gamma \frac{(A-H-2Z)^2}{(A-H)} \qquad 3.(4)$$

Tablo 3.1. SMM modelinde kullanılan istatiksel topluluklar.

Mikrokanonik topluluk N_{AZH}, $1 \le A \le A_0$, $0 \le Z \le Z_0$, $0 \le H \le H_0$.
$\sum AN_{AZH} = A_0$ $\sum ZN_{AZH} = Z_0$ $\sum HN_{AZH} = H_0$ $E_f(N_{AZH}, T_f, V) = E_0$ $W_f^{mik} \approx \exp S_f(E_0, V, A_0, Z_0, H_0)$
Kanonik topluluk N_{AZH}, $1 \le A \le A_0$, $0 \le Z \le Z_0$, $0 \le H \le H_0$.
$\sum AN_{AZH} = A_0$ $\sum ZN_{AZH} = Z_0$ $\sum HN_{AZH} = H_0$ $\left\langle E_f(N_{AZH}, T_f, V) \right\rangle = E_0$ $W_f^{kan} \approx \exp\left(-\frac{F_f(T, V, A_0, Z_0, H_0)}{T} \right)$
Büyük kanonik topluluk $\langle N_{AZH} \rangle$, $1 \le A \le A_0$, $0 \le Z \le Z_0$, $0 \le H \le H_0$.
$\sum A < N_{AZH} >= A_0$ $\sum Z < N_{AZH} >= Z_0$ $\sum H < N_{AZH} >= H_0$ $\left\langle E_f(< N_{AZH} >, T_f, V) \right\rangle = E_0$ $W_f^{büy} \approx exp\left(-\frac{F_f(T, V, A_0, Z_0, H_0) - \mu \sum A - \nu \sum Z - \xi \sum H}{T} \right)$

Burada, ω_0=16 MeV, $\beta 0$ = 18 MeV, Tc = 18 MeV and γ = 25 MeV deneylerden çıkarılmış model parametreleri olup nükleer çok katlı parçalanma için iyi bir şekilde tanımlamaktadır. Denklem 1'deki dördüncü terim Wigner-Seitz yaklaşımına göre parçacıkların Coulomb etkileşimini ifade eder (Bondorf ve ark., 1995). Hiper parçacıkların serbest enerjisi ise:

$$F_{AH}^{hiper} = \left(H \diagup A\right)(-10.68A + 21.27A^{2/3}) \qquad 3.(5)$$

ile tanımlanmıştır. (Samanta ve ark., 2006) tarafından ise:

$$F_{AH}^{hiper} = H.(-10.68A + 48.7/(A^{2/3})) \qquad 3.(6)$$

ile tanımlanmıştır. Bu serbest enerji eşitlikleri, tek tip (lambda veya sigma) hiperon içeren sistemler için geçerli olan sonuçları gösterebilir. Hiper maddenin ayrışması sonucu oluşan hiperçekirdekler ve onların bağıl ürünleri arasındaki ilişki madde içinde hiperon etkileşimi hakkında bilgi edinmemizi sağlayacaktır. Maddenin hal denklemi parçacıklar arasındaki etkileşime ve ayrışmalarına da bağlıdır. Hiper maddenin ayrışmasında parçacıkların kütle, yük, izotop ürünleri gibi özelliklerini detaylı olarak inceleyerek hiper parçacıkların dağılımları hakkında bilgi edindik (Botvina ve Pochodzalla, 2007; Buyukcizmeci ve ark., 2013a; Buyukcizmeci ve ark., 2013b; Botvina ve ark., 2016; Buyukcizmeci ve ark., 2019). Ayrışma sonlu sistemlerde faz geçişleri gibi de düşünülebilir. Faz geçişlerinde kiritik üstel çarpanlar gibi (Scharenberg ve ark., 2001) bazı parametreleri incelenmesiyle maddenin hiperon içeriğinin süresi nasıl etkilediğini ve nötron yıldızları için gerçek sonsuz madde durumuyla bağlantının nasıl kurulabileceği gösterilebilir. Proton ve nötron kararsızlık eğrilerinin ötesindeki hiper parçacıklar bu araştırılması çok önem taşımaktadır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde araştırmalarımız için yaptığımız hesaplama sonuçlarımızı tartışacağız. Her bir hesaplama için standart olarak 1.000.000 olay üzerinden hesaplamalar yaparak çalışmalarımıza başladık. Ancak ^{235}U fisyon veren bir çekirdek olduğu için 1.000.000 olay için hesaplamalarımızı tekrarladık. H_0=0 hiperonsuz SMM hesaplamalarına karşılık gelmektedir. H_0>0 durumunda SMM modelini hiper çekirdekler için genelleştirmiş yani hiper SMM modelini kullanmış olacağız. Fortran programı ile yazılmış hiper-SMM koduyla T=3, 4 ve 5 MeV sıcaklıklarında ve A0=100 ve 200, Z0=40 ve 80 ve ^{235}U çekirdekleri için H0=0, 2 ve 4 hiperonlu (Lambda) durumları 1.000.000 olay üzerinden bilgisayar hesaplamaları yaptık. Hiper-SMM Monte Carlo kodu ile gelecekte yapılması planlanan deneylerin verileri ile karşılaştırılabilmesi için her bir olay için ayrışma olayı tasvir edilmiştir.

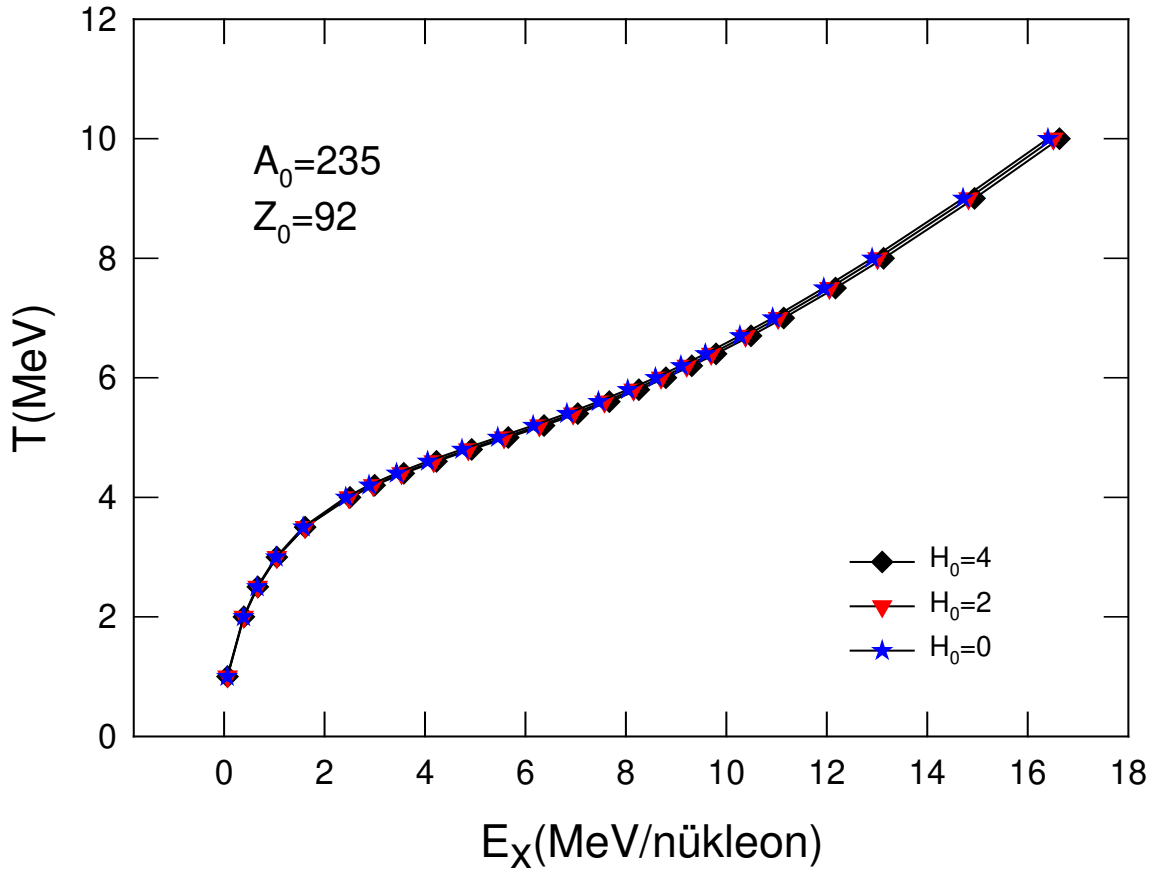
4.1. Hiperçekirdekler için sıcaklık ve uyarma enerjisinin ilişkisi

Başlangıç olarak, kütle numarası A_0=235 ve atom numarası Z_0=92 ve içerdiği lambda hiperon sayısı H_0=0, 2 ve 4 olan atom çekirdeklerini seçtik. Bu normal (H_0=0) ve hiper (H_0=2 ve 4) Uranyum çekirdeklerin normal nükleer madde yoğunluğunun üçte biri yoğunluktayken parçalanmasını 1.000.000 olay üzerinden dikkate alarak hiper-SMM koduyla kalorik eğri grafiğini Şekil 4.1'de gösterdik. Sıcaklığın nükleon başına uyarma enerjisi artıkça nasıl değiştiği normal Uranyum çekirdeğinin parçalanması, 2 lambda hiperonu içeren Uranyum çekirdeği ve 4 lambda hiperonu içeren Uranyum çekirdeği için hafif bir biçimde nasıl değişim sergilediğini gösterdik. Her durumda oluşan eğri standart orta enerjili çekirdek çekirdek çarpışmaları sonucu elde edilen eğriye örneğin (Pochodzalla ve ark., 1995a; Pochodzalla ve ark., 1995b) tarafından altın çekirdeğinin reaksiyonu sonucu elde edilen kalorik eğriye çok benzerdir. Daha sonra, ağır ve hafif kütleli normal ve hiperçekirdeklerin bir arada bulunduğu bölgeyi keşfetmek için, sonlu sistemlerde sıvı-gaz faz geçişini tanımlayan ve çoklu parçalanma reaksiyonlarında da gözlemlenen T=3-5 MeV gibi sıcaklık aralığında bulunan T=4 MeV sıcaklığı için hesaplamalar yaptık. Nötron kararlılık çizgisine yakın sistemlerden örnek vermek istediğimiz için, büyük, kararlı ve izospin içeriği 0.4 olan A_0=200, Z_0=80 olan

bir çekirdeği ele aldık. Ayrıca daha orta kütleli fakat aynı N/Z oranı 0.4 olan A_0=100, Z_0=40 bir örnek seçerek hesaplamalarımız tekrarladık, benzer sonuçlar bulduk.

Kalorik eğri hesaplarımızı ^{235}U (H_0=0) , ^{235}U (H_0=2) ve ^{235}U (H_0=4) olan üç farklı çekirdek için gerçekleştirdik. Normal, 2Λ ve 4Λ içeren uranyum çekirdeğinin kalorik eğrisinin birbirlerine benzer sonuçlar verdiğini gördük.

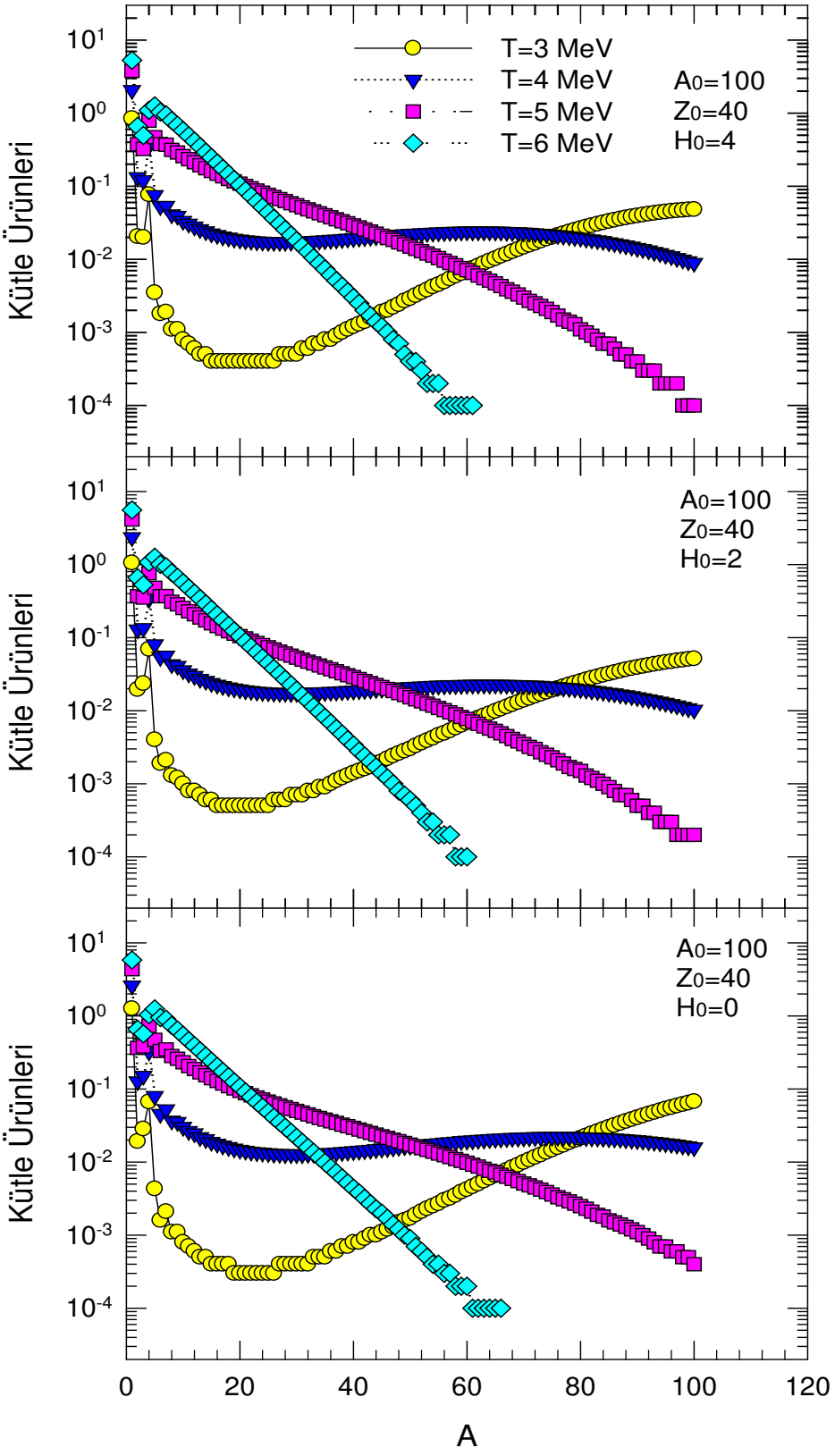
Astrofizikte, yıldızsı maddelerde bulunabilecek olan hiperonların nasıl davranış sergileyebileceklerini, hiperon-nükleon etkileşimleri hakkında genel bir bilgi sahibi olabilmek için yaptığımız araştırmalar önem taşımaktadır. Normal çekirdeklerin kütle dağılımları, hiperçekirdeklerin kütle dağılımlarına benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.1. Uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan parçacıklar, başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=235, atom numarası Z_0=92 ve T=1-10 MeV sıcaklık aralığında dört Λ hiperon (H_0=4) içeren bir sistem, iki Λ hiperon (H_0=2) içeren bir sistem (H_0=0) hiperon içermeyen bir sistemin kalorik eğri değişim grafiği

4.2. Normal ve hiperçekirdeklerin kütle dağılımları

Şekil 4.2.'de T=3, 4, 5 ve 6 MeV sıcaklıklarda A_0=100, Z_0=40 ve H_0=4, 2 ve 0 olan başlangıç çekirdeklerin çok katlı parçalanması sonucu açığa çıkan sıcak hiper çekirdek ve toplam çekirdek ürünleri için ürün sayısının kütle numarası A'ya göre değişimi görülebilir. Sürekli çizgi parçalanma sonucunda açığa çıkan normal ve hiper çekirdeklerin dağılımını göstermektedir. Sarı daireler T=3 MeV sıcaklıkta çok katlı parçalanma sonucunda açığa çıkan hiper çekirdeklerin dağılımı U şekline benzemekte, ağır çekirdekler halen varlığını sürdürmekte ve orta kütleli çekirdeklerin sayısının çok az olduğu görülmektedir. T=4 MeV mavi üçgen sembollerle görülen dağılım oldukça düz bir dağılımdır ve orta kütleli parçacıkların sayıları artarken ağır çekirdeklerin sayıları azalmaya başlamıştır. T=5 MeV de pembe kare sembollerle görülen dağılımda çekirdeklerin büyüklüklerinde üstel bir azalma başladığı görülürken bu azalma T=6 MeV sıcaklıkta mavi dörtgen ile görülen üstel dağılımın daha da keskinleştiği açıkça görülmektedir. Yani T=3 MeV sıcaklıkta sıvı faz (ağır çekirdekler ve çok hafif çekirdekler) baskın iken 4-5 MeV sıcaklıklarda sıvı-gaz fazı (orta kütleli irili ufaklı çekirdekler) ve sıcaklığın 6 MeV den daha yüksek olduğu durumlarda gaz fazı açığa çıkmaktadır. Hiperçekirdeklerin ortaya çıkma olasılığı normal çekirdeklerin oluşma olasılığına göre çok daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak biz şekillerde açığa çıkan normal ve hiperçekirdeklerin toplam sayılarını gösterdik. Bütün orta kütleli parçacıkların sayısındaki değişimden, normal bir çekirdeğin parçalanması sonucu ortaya çıkan orta kütleli parçacık sayısının hiperçekirdek parçalanması sonucu açığa çıkanlardan fazla olduğu görülmektedir. Yani, bu parçacık ürünleri, çekirdeklerin bilinmeyen özellikleri hakkında bilgi edinmek için kullanılabilir.



Şekil 4.2. Başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=100, atom numarası Z_0=40, T=3, 4, 5 ve 6 MeV sıcaklıklarda uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan bütün parçacıkların kütle ürünlerinin dağılımı. Üst panel, dört Λ hiperon (H_0=4) içeren bir sistem için parçacık ürünlerini, orta panel iki Λ hiperon (H_0=2) içeren bir sistem için parçacık ürünlerini ve alt panel, (H_0=0) hiperon içermeyen bir sistem için elementlerin kütle ürünlerini göstermektedir.

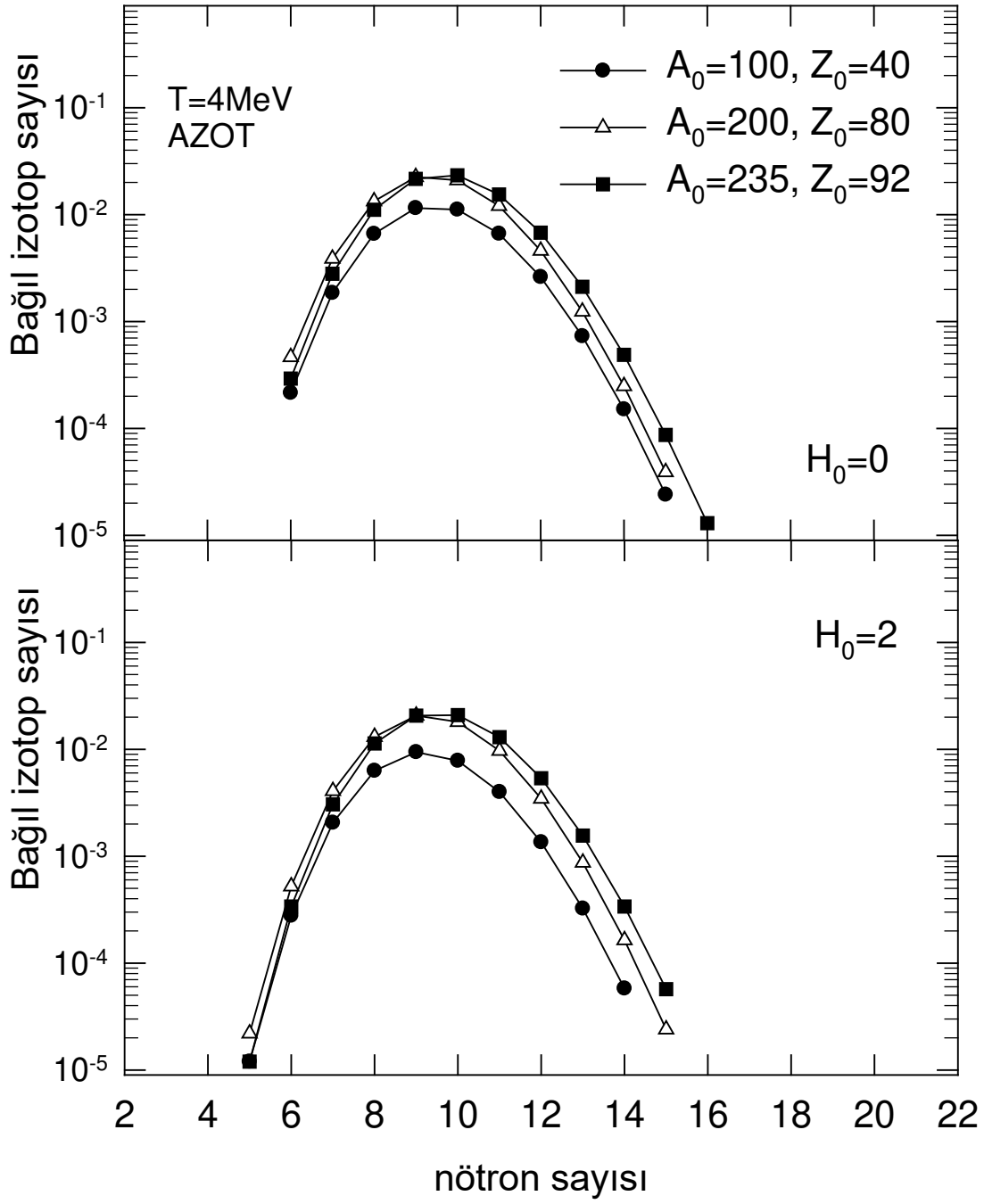
4.3. Normal ve hiperçekirdeklerin izotop dağılımları

Şekil 4.3'de A0=100, 200 ve 235, Z0=40, 80 ve 92 olan normal (H0=0) ve hiper çekirdeklerin (H0=2) parçalanması sonucu açığa çıkan Azot çekirdeklerinin izotop dağılımlarını T=4 MeV sıcaklıkta hiper SMM kodumuzla hesaplanmış ve karşılaştırmak için grafikte gösterilmiştir. Hiper azot çekirdeklerinin dağılımlarının normal çekirdeklerin dağılımına benzer ancak ürün sayılarının daha az olduğu görüldü. Hiper çekirdeklerin açığa çıkma olasılığının normal çekirdeklere göre çok daha az olduğu görülmektedir. Çünkü hiperçekirdeklerin bağlanma enerjileri normal çekirdeklere göre daha fazladır bu nedenle açığa çıkabilmeleri için daha çok enerji gerekmektedir. Şekil 4.1'deki kalorik eğriden de görülebileceği gibi T=4 MeV sıcaklık nükleer maddenin sıvı-gaz faz geçiş bölgesindedir, sisteme daha çok enerji verilse bile fazla enerji sistemin sıcaklığını artırmak yerine yeni çekirdeklerin oluşumu için harcanır, normal çekirdeklerin bağlanma enerjisi de hiperçekirdeklere göre daha düşük olduğu için sistemde hiperçekirdeklerden daha fazla normal çekirdek açığa çıkar. Böylece yapmış olduğumuz hesaplamalar sonucunda hiperçekirdeklerin izotop ürün değerlerinin daha düşük değerlerde olmasının başlıca nedeni bu şekilde açıklanabilir.

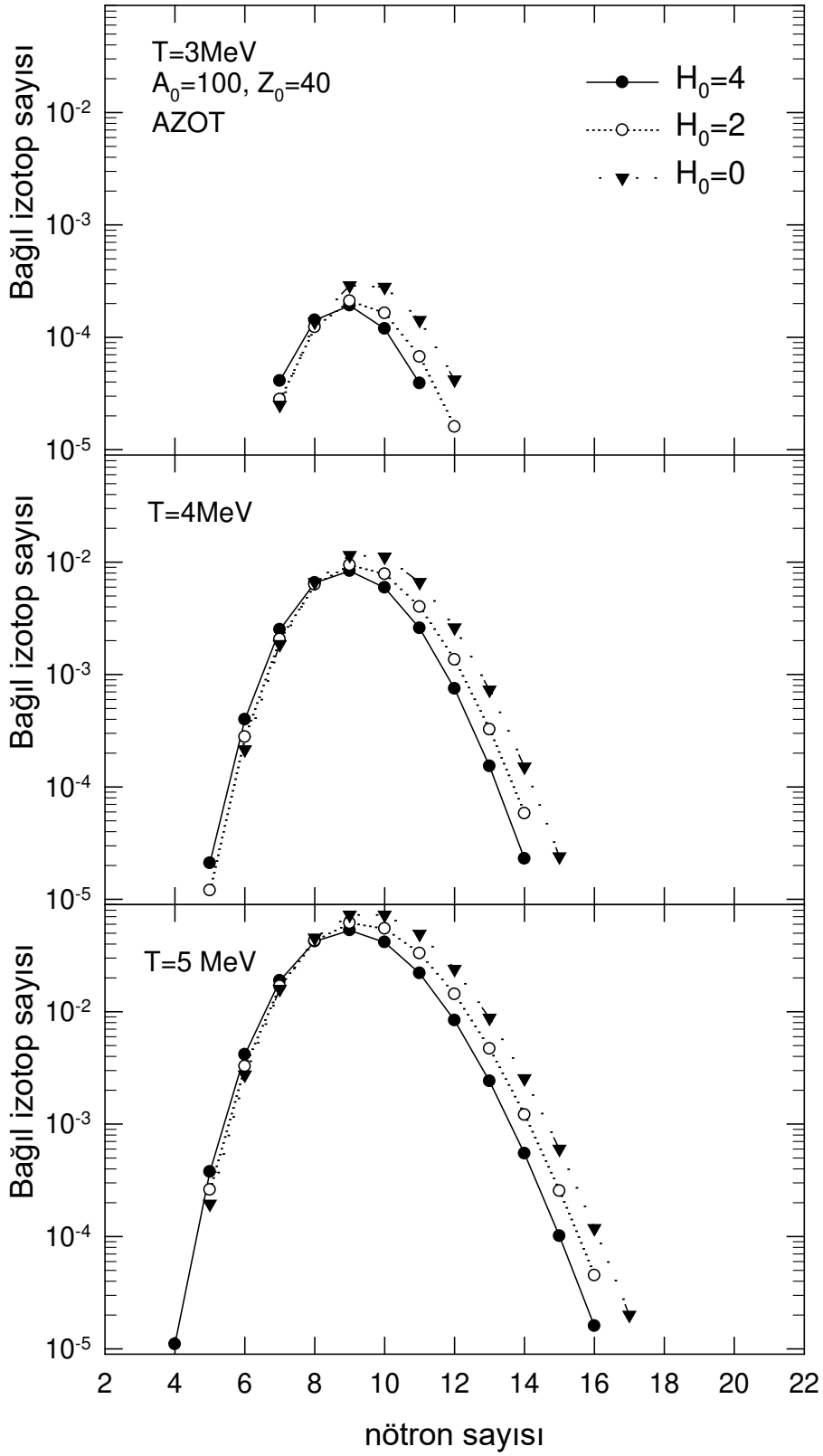
Şekil 4.4'de A0=100, Z0=40 olan normal (H0=0) ve hiperçekirdeklerin (H0=2 ve 4) parçalanması sonucu açığa çıkan Azot çekirdeklerinin izotop dağılımlarını T=3, 4 ve 5 MeV sıcaklıkta hiper SMM kodumuzla hesaplayarak karşılaştırmak için grafikte gösterdik. Şekil 4.5'de aynı çekirdek ve parametreler için açığa çıkan oksijen izotop dağılımı grafikte gösterilmiştir.

Hesaplamalarımızı sistematik olarak yapabilmek için A0=200, Z0=80 olan normal (H0=0) ve hiperçekirdeklerin (H0=2 ve 4) parçalanması sonucu açığa çıkan azot çekirdekleri şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.7' de de oksijen izotop dağılımları T=3, 4 ve 5 MeV sıcaklıkta hiper SMM kodu ile hesaplanmış ve karşılaştırmak için grafikte gösterilmiştir.

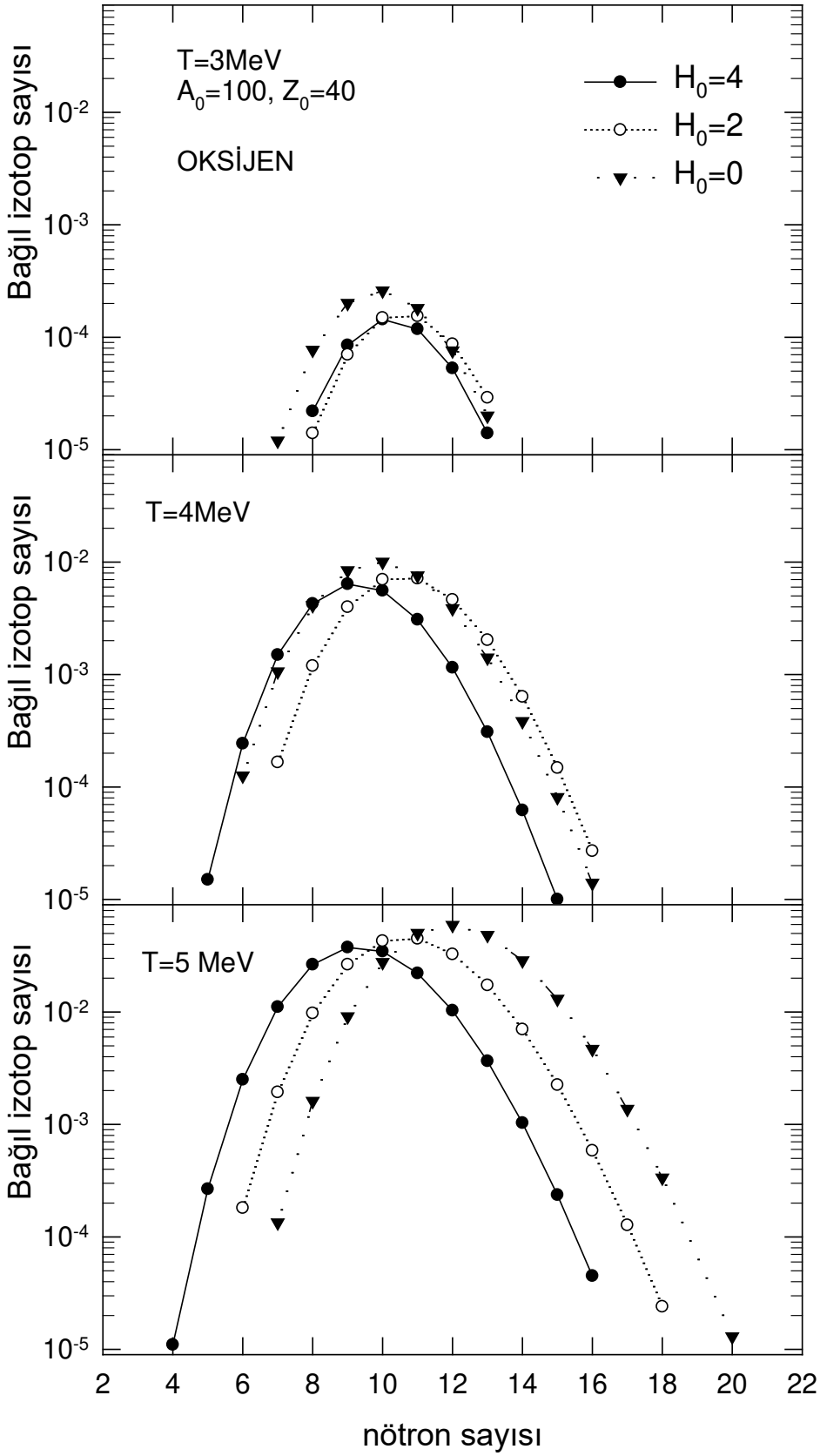
A0=235, Z0=92 olan normal (H0=0) ve hiperçekirdeklerin (H0=2 ve 4) parçalanması sonucu açığa çıkan azot çekirdekleri Şekil 4.8' de gösterilmiştir. Şekil 4.9 da da oksijen izotop dağılımlarını T=3, 4 ve 5 MeV sıcaklıklarında hiper SMM kodu ile hesaplanmış ve karşılaştırmak için grafikte gösterilmiştir.



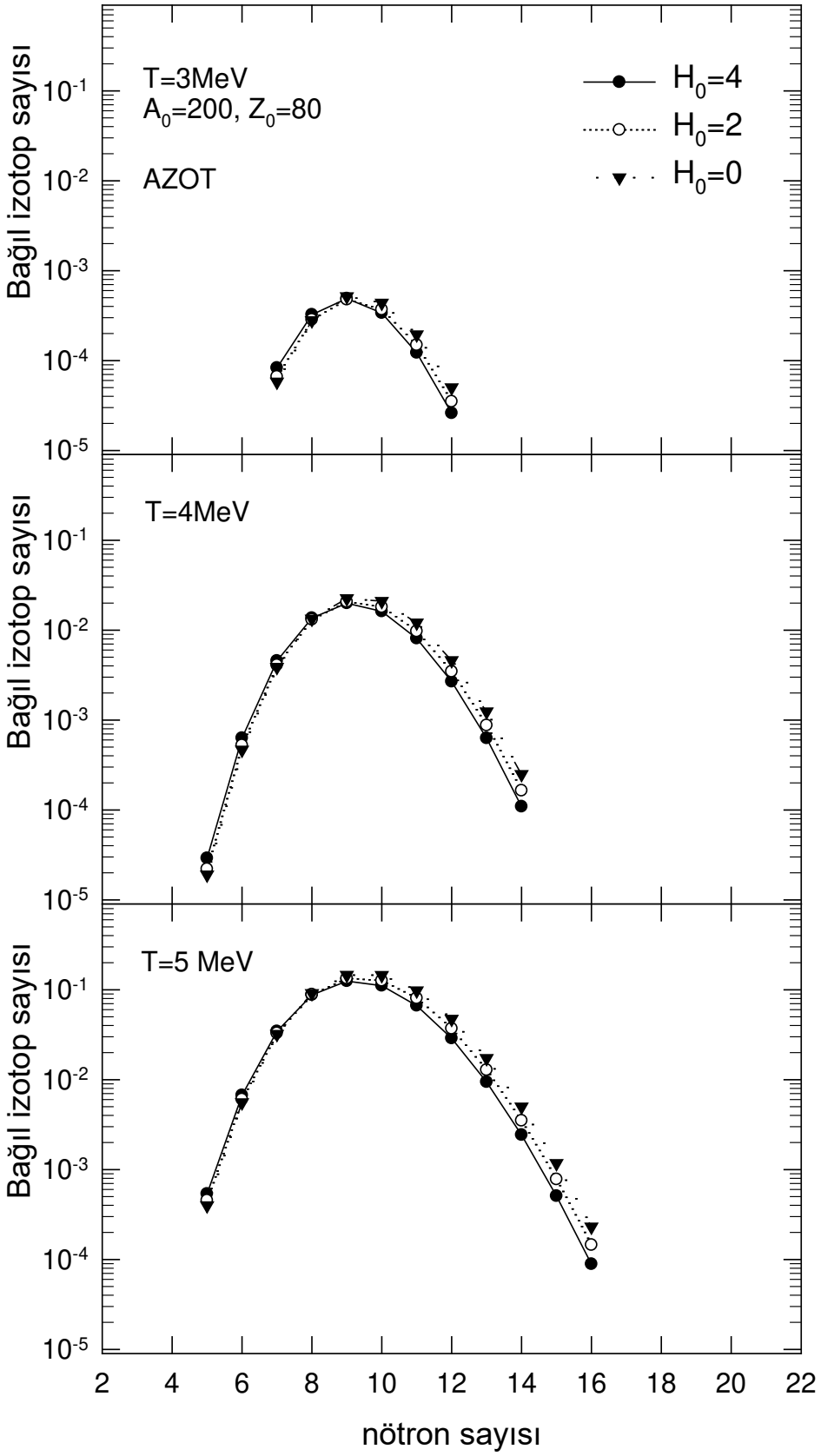
Şekil 4.3. Başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=235, 200 ve100, atom numarası Z_0=92, 80 ve 40 ve T=4 MeV sıcaklıkta uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Azot çekirdeklerinin dağılımı. Üst panel (H_0=0) hiperon içermeyen bir sistem için nötron numaralarına karşılık parçacık ürünlerini, alt panel iki Λ hiperonu (H_0=2) içeren bir sistem için nötron numaralarına karşılık azot (N) (Z=7) elementinin izotop ürünlerini göstermektedir.



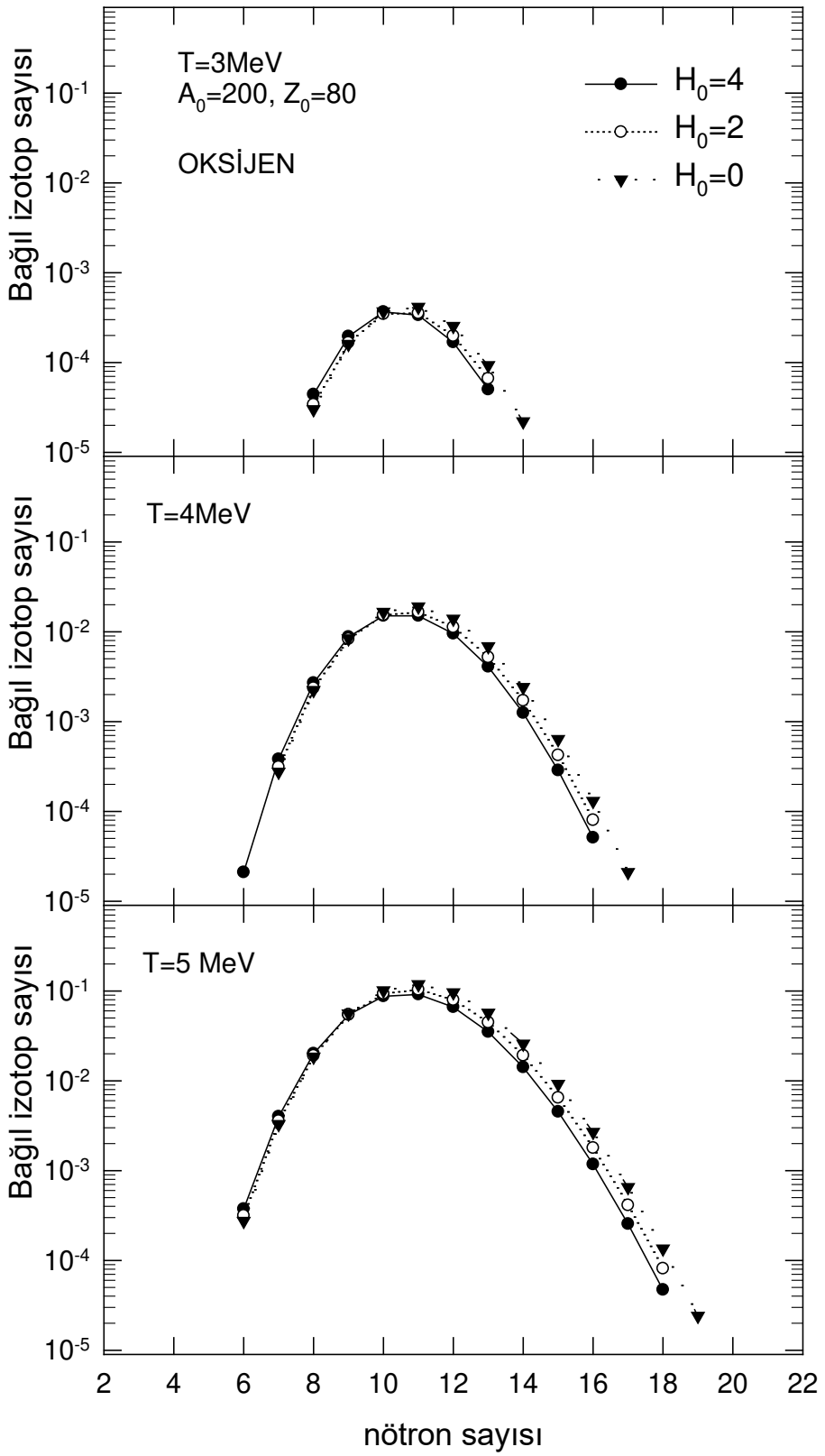
Şekil 4.4. Uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Azot çekirdeğinin izotop ürün çekirdek değerlerinin içindeki Lambda hiperon sayısına göre dağılım grafiği, başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=100, yük Z_0=40, sıcaklık T=3 MeV, 4MeV ve 5MeV, hiperon sayısı 4Λ (H_0=4), 2Λ içeren ve hiperon içermeyen Λ=0 bir sistem için gösterilmiştir.



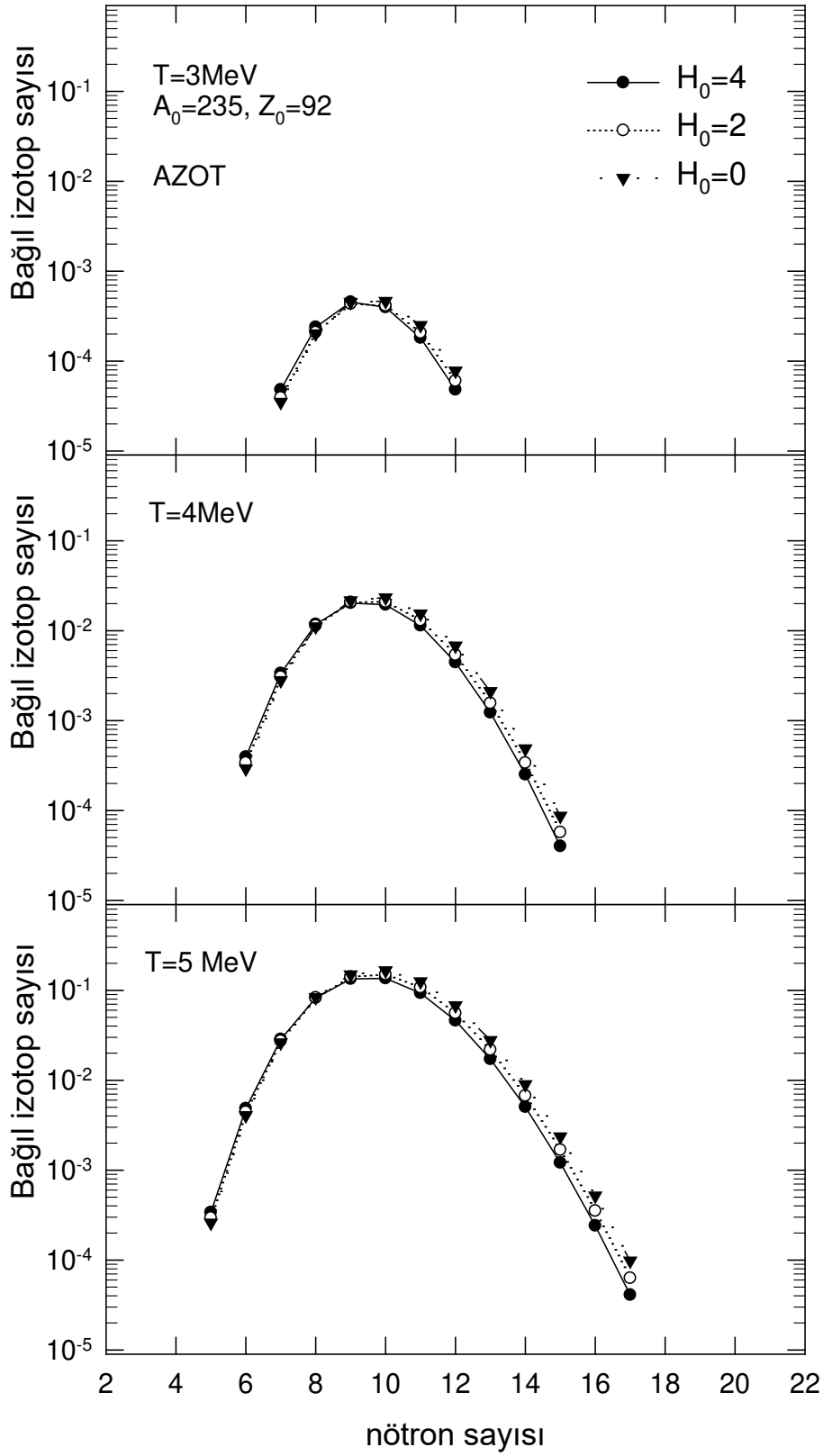
Şekil 4.5. Uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Oksijen çekirdeğinin izotop ürün çekirdek değerlerinin içindeki lambda hiperon sayısına göre dağılım grafiği başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=100, atom numarası Z_0=40, sıcaklık T=3, 4 ve 5 MeV iken Hiperon sayısı 4Λ (H_0=4), 2 Λ içeren ve hiperon sayısı içermeyen Λ=0 bir sistem için gösterilmiştir.



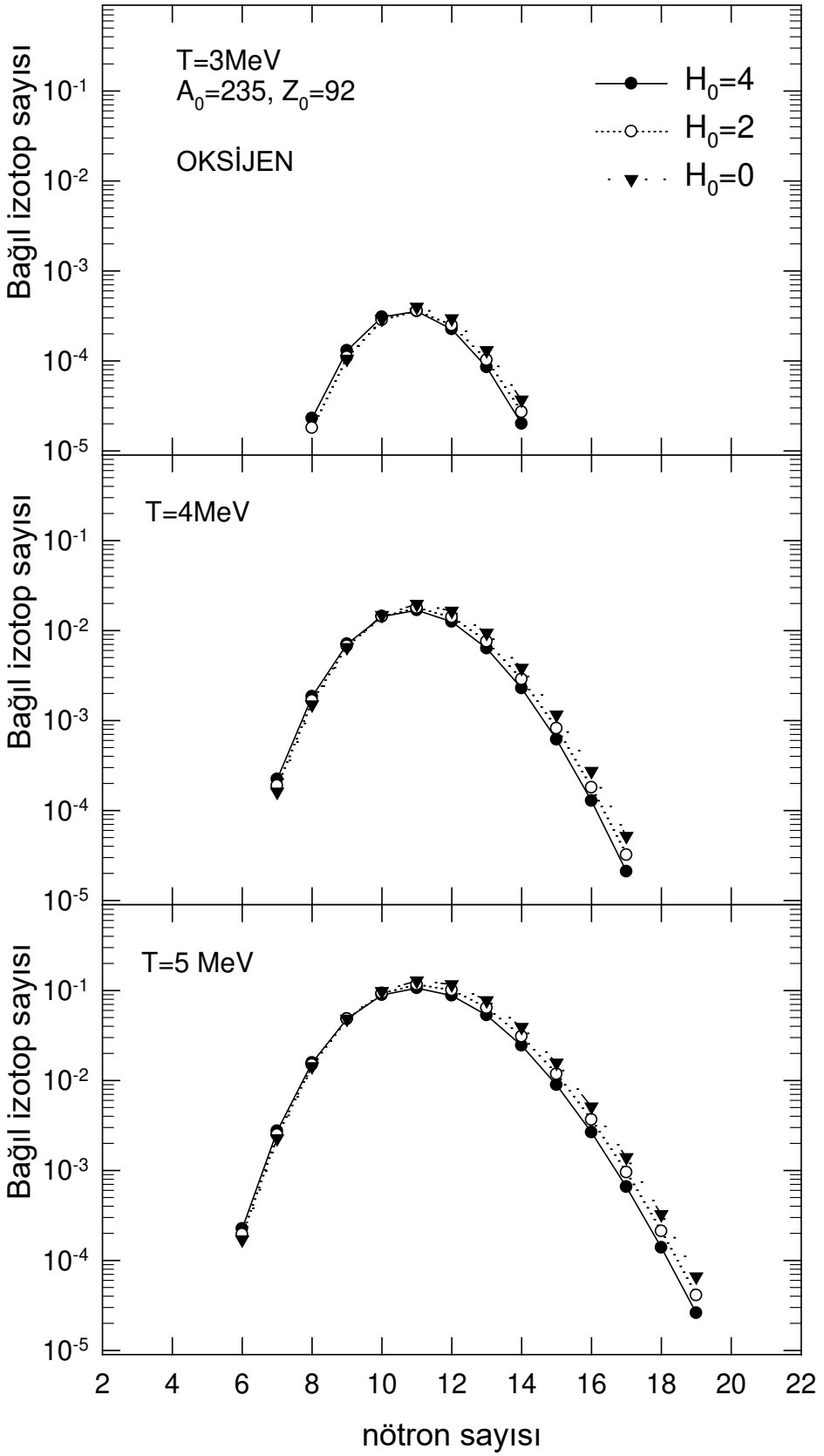
Şekil 4.6. Uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Azot çekirdeğinin izotop ürün çekirdek değerlerinin içindeki lambda hiperon sayısına göre dağılım grafiği başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=200, atom numarası Z_0=80, sıcaklık T=3, 4 ve 5 MeV, hiperon sayısı 4Λ (H_0=4), 2Λ içeren ve hiperon içermeyen Λ=0 bir sistem için gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Uyarılmış bir hipernükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Oksijen çekirdeğinin izotop ürün çekirdek değerlerinin içindeki lambda hiperon sayısına göre dağılım grafiği, başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=200, atom numarası Z_0=80, sıcaklık T=3, 4 ve 5 MeV, hiperon sayısı 4Λ (H_0=4), 2Λ içeren ve hiperon içermeyen Λ=0 bir sistemin grafiğidir.



Şekil 4.8. Uyarılmış bir hipernükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Azot çekirdeğinin izotop ürün çekirdek değerlerinin içindeki lambda hiperon sayısına göre dağılım grafiği başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=235, atom numarası Z_0=92, T=3, 4 ve 5 MeV sıcaklıkta hiperon sayısı 4Λ (H_0=4), 2Λ içeren ve hiperon içermeyen Λ=0 bir sistem için gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Uyarılmış bir hiper nükleer sistemin parçalanmasından sonra oluşan Oksijen çekirdeğinin izotop ürün çekirdek değerlerinin içindeki lambda hiperon sayısına göre dağılım grafiği, başlangıç kütle (baryon) numarası A_0=235, atom numarası Z_0=92, sıcaklık T=3, 4 ve 5 MeV, hiperon sayısı 4Λ (H_0=4), 2Λ içeren ve hiperon içermeyen Λ=0 bir sistem için gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son altmış yılda, keşfedilen hiperçekirdek sayısında sürekli bir artış olmuştur. Bununla birlikte bu ilerleme, geleneksel nükleer yöntemlerin hadron ve lepton kaynaklı reaksiyonlardaki hedef çekirdeklere yönelik özel gereksinimleri nedeniyle sadece az sayıda izotopu ele alabildiğinden yavaş olmaktadır. Ayrıca, üretilen tüm parçacıkları kinetik enerjileriyle birlikte ölçmek için dedektör geliştirmek çok pahalıdır ve her zaman kullanışlı değildir, bu durum çalışmaların istenilen ölçüde hızlanmasına engel olmaktadır.

Tam esnek olmayan reaksiyonlar, relativistik iyon-iyon ve hadron-iyon çarpışmalarında hiperçekirdeklerin tanımlanması gerekir ve son iyon deneylerinde gösterildiği gibi, bunu gerçekleştirmenin etkili yolları vardır. Üretilen izotoplar ve parçacıklar arasındaki kolerasyon ile ilgili bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, hiperçekirdeklerin kütle ve izotop dağılımlarını değişik sıcaklıklarda (T=3, 4, 5, 6 MeV) hesaplayarak dağılımlara etkisini inceledik.

Hiperçekirdeğin ve normal çekirdeklerin parçalanmasını incelerken, sıcaklık arttıkça oluşan izotopların dağılımlarında açığa çıkan çekirdeklerin bağıl ürün değerlerinin arttığını bulduk. Sıcaklığın arttırılması özellikle oksijen azot gibi çekirdeklerin izotop dağılımlarını ürün sayısını arttırmaktadır.

Geleneksel hiper nükleer deneylerde egzotik (nötron-zengin ve nötron-fakir) nükleer türlerin hiperon bağlanma enerjilerini ölçmek çok zordur. Öte yandan, olağan dışı izospinli hiperçekirdekler relativistik parçalanma reaksiyonlarından kolaylıkla elde edilebilir. Maddedeki hiperon etkileşimleri üzerindeki izospin etkisinin hiperon bağlanma enerjilerinin açığa çıkması ile doğrudan deneysel verilerden elde edilmesi mümkün olacaktır. Bu durum özellikle, çoklu-tuhaf nükleer sistemler için ilginç olacaktır. Çünkü tuhaflığa bağlı olarak hiperon-hiperon etkileşimi hakkında bilgi verebilirler. Bu ölçümler astrofiziksel açıdan hiperon içerebilen yıldızsı maddelerin yapısını anlamak için de önemlidir.

Çalışmalarımızda, yüksek enerjili iyon-çekirdek veya iyon-iyon çarpışmalarında açığa çıkabilecek normal ve hiperçekirdeklerin (A_0=238, 200 ve 100; Z_0=92, 80 ve 40 ve H_0=0, 2 ve 4) çok katlı parçalanması sonucu oluşan azot ve oksijen çekirdeklerinin izotop dağılımlarını inceledik. Hiperon içeren çekirdeklerin oluşturduğu azot ve oksijen

izotop dağılımlarının ürün sayıları normal çekirdeğin oluşturduğu dağılıma göre daha düşük olduğunu bulduk. Bunun sebebi, hiperçekirdeklerin bağlanma enerjisi daha yüksek olduğu için parçalanması sonucu daha az ürün verdiğini göstermiş olduk.

Gelecekte hiperçekirdeklerin parçalanma ürünlerinin deneysel olarak gerçekleştirilebileceği araştırmalar, FAIR (Darmstadt), NICA (Dubna) ve diğerleri gibi yeni nesil orta-seviye enerjili iyon hızlandırıcı tesislerinde mümkün olabilir. Yakında yeni hiperçekirdek ölçümleri için gelişmiş deneysel düzeneklerin hazır olacağını umut ediyoruz. Böylece elde ettiğimiz kütle ve izotop dağılımları deneysel verilerle karşılaştırılabilecektir.

KAYNAKLAR

Antoniadis, I., 2013, Mass hierarchy and string phenomenology in the LHC era, *Discrete 2012 - Third Symposium on Prospects in the Physics of Discrete Symmetries*, 447.

Bando, H., Motoba, T. ve Zofka, J., 1990, Production, Structure and Decay of Hypernuclei, *International Journal of Modern Physics A*, 5 (21), 4021-4198.

Bondorf, J. P., Botvina, A. S., Iljinov, A. S., Mishustin, I. N. ve Sneppen, K., 1995, Statistical Multifragmentation of Nuclei, *Physics Reports-Review Section of Physics Letters*, 257 (3), 133-221.

Botvina, A. S. ve Pochodzalla, J., 2007, Production of hypernuclei in multifragmentation of nuclear spectator matter, *Physical Review C*, 76 (2).

Botvina, A. S., Gudima, K. K., Steinheimer, J., Bleicher, M. ve Mishustin, I. N., 2011, Production of spectator hypermatter in relativistic heavy-ion collisions, *Physical Review C*, 84 (6).

Botvina, A. S., Mishustin, I. N. ve Pochodzalla, J., 2012, Production of exotic hypernuclei from excited nuclear systems, *Physical Review C*, 86 (1).

Botvina, A. S., Buyukcizmeci, N., Ergun, A., Ogul, R., Bleicher, M. ve Pochodzalla, J., 2016, Formation of hypernuclei in evaporation and fission processes, *Physical Review C*, 94 (5).

Buyukcizmeci, N., Bulut, F., Erdogan, M., Imal, H., Ogul, R., Botvina, A. S., Mishustin, I. N. ve Trautmann, W., 2011, Investigating the Isotopic Effects in Nuclear Fragmentation, *Acta Physica Polonica B*, 42 (3-4), 697-700.

Buyukcizmeci, N., Imal, H., Ogul, R., Botvina, A. S. ve Mishustin, I. N., 2012, Isotopic yields and symmetry energy in nuclear multifragmentation reactions, *Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics*, 39 (11).

Buyukcizmeci, N., Botvina, A. S., Mishustin, I. N., Ogul, R., Hempel, M., Schaffner-Bielich, J., Thielemann, F. K., Furusawa, S., Sumiyoshi, K., Yamada, S. ve Suzuki, H., 2013a, A comparative study of statistical models for nuclear equation of state of stellar matter, *Nuclear Physics A*, 907, 13-54.

Buyukcizmeci, N., Botvina, A. S., Pochodzalla, J. ve Bleicher, M., 2013b, Mechanisms for the production of hypernuclei beyond the neutron and proton drip lines, *Physical Review C*, 88 (1).

Buyukcizmeci, N., Botvina, A. S. ve Mishustin, I. N., 2014, Tabulated Equation of State for Supernova Matter Including Full Nuclear Ensemble, *Astrophysical Journal*, 789 (1).

Buyukcizmeci, N., Ergun, A., Imal, H., Ogul, R. ve Botvina, A. S., 2015, Investigation of isotope composition of nuclear fragments with angular momentum and Coulomb effects in peripheral Kr-84+Sn-112,Sn-124 collisons at 35 A MeV, *Nuclear Science and Techniques*, 26 (2).

Buyukcizmeci, N., Ogul, R. ve Botvina, A. S., 2016, Theoretical analyses of FAZIA data with a statistical approach, *Nuovo Cimento C-Colloquia and Communications in Physics*, 39 (6).

Buyukcizmeci, N., Botvina, A. S. ve Ogul, R., 2017, Influence of the hyper-terms in mass formulae on yield of hypernuclei in nuclear reactions, *Proceedings of the Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress (Tps32)*, 1815.

Buyukcizmeci, N., Botvina, A. S., Ogul, R., Ergun, A. ve Bleicher, M., 2019, Production of -hypernuclei and evaluation of their binding energies via the double yield ratio, *European Physical Journal A*, 55 (1).

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

Danysz, M., Pniewski J., , 1953b, Delayed Disintegration of a Heavy Fragment Emitted in Nuclear Explosion, *Bull. Acad. Pol. Science*, 1, 41.

Demorest, P. B., Pennucci, T., Ransom, S. M., Roberts, M. S. E. ve Hessels, J. W. T., 2010, A two-solar-mass neutron star measured using Shapiro delay, *Nature*, 467 (7319), 1081-1083.

Donigus, B. ve ark., 2013, (Anti-)matter and hyper-matter production at the LHC with ALICE, *Nuclear Physics A*, 904, 547c-550c.

Gaitanos, T., Lenske, H. ve Mosel, U., 2009, Formation of hypernuclei in high energy reactions within a covariant transport model, *Physics Letters B*, 675 (3-4), 297-304.

Gaitanos, T., Kaskulov, M. ve Lenske, H., 2011, How deep is the antinucleon optical potential at FAIR energies, *Physics Letters B*, 703 (2), 193-198.

Gal, A. ve Pochodzalla, J., 2012, Special Issue on PROGRESS IN STRANGENESS NUCLEAR PHYSICS Foreword, *Nuclear Physics A*, 881, 1-2.

Greiner, C. ve Schaffner, J., 1996, Physics of strange matter for relativistic heavy-ion collisions, *International Journal of Modern Physics E-Nuclear Physics*, 5 (2), 239-300.

Hashimoto, O. ve Tamura, H., 2006, Spectroscopy of Lambda hypernuclei, *Progress in Particle and Nuclear Physics, Vol 57, No 2*, 57 (2), 564-653.

Hell, T. ve Weise, W., 2014, Dense baryonic matter: Constraints from recent neutron star observations, *Physical Review C*, 90 (4).

Kaya, A., Buyukcizmeci, N. ve Ogul, R., 2018, Isotopic distribution in projectile fragments above the Coulomb barrier, *Turkish Journal of Physics*, 42 (6), 659-667.

Lonardoni, D., Gandolfi, S. ve Pederiva, F., 2013, Effects of the two-body and three-body hyperon-nucleon interactions in Lambda hypernuclei, *Physical Review C*, 87 (4).

Ma, Y. Z. ve Scott, D., 2013, Cosmic bulk flows on 50 h(-1) Mpc scales: a Bayesian hyper-parameter method and multishell likelihood analysis, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428 (3), 2017-2028.

Ogul, R., Botvina, A. S., Atav, U., Buyukcizmeci, N., Mishustin, I. N., Adrich, P., Aumann, T., Bacri, C. O., Barczyk, T., Bassini, R., Bianchin, S., Boiano, C., Boudard, A., Brzychczyk, J., Chbihi, A., Cibor, J., Czech, B., De Napoli, M., Ducret, J. E., Emling, H., Frankland, J. D., Hellstrom, M., Henzlova, D., Imme, G., Iori, I., Johansson, H., Kezzar, K., Lafriakh, A., Le Fevre, A., Le Gentil, E., Leifels, Y., Luhning, J., Lukasik, J., Lynch, W. G., Lynen, U., Majka, Z., Mocko, M., Muller, W. F. J., Mykulyak, A., Orth, H., Otte, A. N., Palit, R., Pawlowski, P., Pullia, A., Raciti, G., Rapisarda, E., Sann, H., Schwarz, C., Sfienti, C., Simon, H., Summerer, K., Trautmann, W., Tsang, M. B., Verde, G., Volant, C., Wallace, M., Weick, H., Wiechula, J., Wieloch, A. ve Zwieglinski, B., 2011, Isospin-dependent multifragmentation of relativistic projectiles, *Physical Review C*, 83 (2).

Ohm, H., Hermes, T., Borgs, W., Koch, H. R., Maier, R., Prasuhn, D., Stein, H. J., Schult, O. W. B., Pysz, K., Rudy, Z., Jarczyk, L., Kamys, B., Kulessa, P., Strzalkowski, A., Cassing, W., Uozumi, Y. ve I, Z., 1997, Lambda-hyperon

lifetime in very heavy hypernuclei produced in the p+U interaction, *Physical Review C*, 55 (6), 3062-3065.

Pochodzalla, J., Aiello, S., Begemannblaich, M., Blaich, T., Bowman, D. R., Charity, R. J., Cosmo, A., Ferrero, A., Gelbke, C. K., Hsi, W. C., Hubele, J., Imme, G., Iori, I., Kempter, J., Kreutz, P., Kunde, G. J., Kunze, W. D., Lindenstruth, V., Lisa, M. A., Lynch, W. G., Lynen, U., Mang, M., Moretto, L. G., Moroni, A., Muller, W. F. J., Neumann, M., Ocker, B., Ogilvie, C. A., Pappalardo, V., Peaslee, G. F., Raciti, G., Rosenberger, F., Rubehn, T., Sann, H., Scardaoni, R., Schuttauf, A., Seidel, W., Serfling, V., Sobotka, L. G., Stroth, J., Stuttge, L., Trautmann, W., Tsang, M. B., Tucholski, A., Williams, C. W., Worner, A., Zude, E. ve Zwieglinski, B., 1995a, Multifragmentation and Flow - Peripheral Vs Central Collisions, *Nuclear Physics A*, 583, C553-C560.

Pochodzalla, J., Mohlenkamp, T., Rubehn, T., Schuttauf, A., Worner, A., Zude, E., Begemannblaich, M., Blaich, T., Emling, H., Ferrero, A., Gross, C., Imme, G., Iori, I., Kunde, G. J., Kunze, W. D., Lindenstruth, V., Lynen, U., Moroni, A., Muller, W. F. J., Ocker, B., Raciti, G., Sann, H., Schwarz, C., Seidel, W., Serfling, V., Stroth, J., Trautmann, W., Trzcinski, A., Tucholski, A., Verde, G. ve Zwieglinski, B., 1995b, Probing the Nuclear Liquid-Gas Phase-Transition, *Physical Review Letters*, 75 (6), 1040-1043.

Pochodzalla, J., 1997, Probing phase transitions in nuclei via calorimetry, *Acta Physica Polonica B*, 28 (1-2), 355-366.

Rappold, C., Kim, E., Nakajima, D., Saito, T. R., Bertini, O., Bianchin, S., Bozkurt, V., Kavatsyuk, M., Ma, Y., Maas, F., Minami, S., Ozel-Tashenov, B., Yoshida, K., Achenbach, P., Ajimura, S., Aumann, T., Gayoso, C. A., Bhang, H. C., Caesar, C., Erturk, S., Fukuda, T., Gokuzum, B., Guliev, E., Hiraiwa, T., Hoffmann, J., Ickert, G., Ketenci, Z. S., Khaneft, D., Kim, M., Kim, S., Koch, K., Kurz, N., Le Fevre, A., Mizoi, Y., Moritsu, M., Nagae, T., Nungesser, L., Okamura, A., Ott, W., Pochodzalla, J., Sakaguchi, A., Sako, M., Schmidt, C. J., Sekimoto, M., Simon, H., Sugimura, H., Takahashi, T., Tambave, G. J., Tamura, H., Trautmann, W., Voltz, S., Yokota, N. ve Yoon, C. J., 2013a, Hypernuclear spectroscopy of products from Li-6 projectiles on a carbon target at 2 A GeV, *Nuclear Physics A*, 913, 170-184.

Rappold, C., Kim, E., Saito, T. R., Bertini, O., Bianchin, S., Bozkurt, V., Kavatsyuk, M., Ma, Y., Maas, F., Minami, S., Nakajima, D., Ozel-Tashenov, B., Yoshida, K., Achenbach, P., Ajimura, S., Aumann, T., Gayoso, C. A., Bhang, H. C., Caesar, C., Erturk, S., Fukuda, T., Gokuzum, B., Guliev, E., Hoffmann, J., Ickert, G., Ketenci, Z. S., Khaneft, D., Kim, M., Kim, S., Koch, K., Kurz, N., Le Fevre, A., Mizoi, Y., Nungesser, L., Ott, W., Pochodzalla, J., Sakaguchi, A., Schmidt, C. J., Sekimoto, M., Simon, H., Takahashi, T., Tambave, G. J., Tamura, H., Trautmann, W., Voltz, S., Yoon, C. J. ve Collaboration, H., 2013b, Search for evidence of (3)(Lambda)n by observing d + pi(-) and t + pi(-) final states in the reaction of Li-6+C-12 at 2A GeV, *Physical Review C*, 88 (4).

Rudy, Z., Cassing, W., Demski, T., Jarczyk, L., Kamys, B., Kulessa, P., Schult, O. W. B. ve Strzalkowski, A., 1995, Lambda-Hypernucleus Formation in Proton-Nucleus Reactions, *Zeitschrift Fur Physik a-Hadrons and Nuclei*, 351 (2), 217-224.

Saito, M., Karasuyama, H. ve Minegishi, Y., 2012, A Molecular Mechanism Underlying Atopic Dermatitis in Hyper-Ige Syndrome, *Journal of Clinical Immunology*, 32, 182-182.

Samanta, C., Chowdhury, P. R. ve Basu, D. N., 2006, Generalized mass formula for non-strange and hypernuclei with SU(6) symmetry breaking, *Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics*, 32 (3), 363-373.

Schaffner-Bielich, J., 2008, Hypernuclear physics for neutron stars, *Nuclear Physics A*, 804, 309-321.

Schaffner, J., Dover, C. B., Gal, A., Greiner, C. ve Stocker, H., 1993a, Strange Hadronic Matter, *Physical Review Letters*, 71 (9), 1328-1331.

Schaffner, J., Dumitru, A., Jahns, A., Winckelmann, L., Mattiello, R., Schonfeld, T., Greiner, C., Berenguer, M., Sorge, H. ve Stocker, H., 1993b, Strangelets in Heavy-Ion Physics, *Progress in Particle and Nuclear Physics, Vol 30*, 30, 327-351.

Scharenberg, R. P., Srivastava, B. K., Albergo, S., Bieser, F., Brady, F. P., Caccia, Z., Cebra, D. A., Chacon, A. D., Chance, J. L., Choi, Y., Costa, S., Elliott, J. B., Gilkes, M. L., Hauger, J. A., Hirsch, A. S., Hjort, E. L., Insolia, A., Justice, M., Keane, D., Kintner, J. C., Lindenstruth, V., Lisa, M. A., Matis, H. S., McMahan, M., McParland, C., Muller, W. F. J., Olson, D. L., Partlan, M. D., Porile, N. T., Potenza, R., Rai, G., Rasmussen, J., Ritter, H. G., Romanski, J., Romero, J. L., Russo, G. V., Sann, H., Scott, A., Shao, Y., Symons, T. J. M., Tincknell, M., Tuve, C., Wang, S., Warren, P., Wieman, H. H., Wienold, T., Wolf, K. ve Collaboration, E., 2001, Comparison of 1A GeV Au-197+C data with thermodynamics: The nature of the phase transition in nuclear multifragmentation, *Physical Review C*, 64 (5).

Wakai, M., Bando, H. ve Sano, M., 1988, Hypernucleus Formation in High-Energy Nuclear Collisions, *Physical Review C*, 38 (2), 748-759.

Xi, H. F., Huang, M. J., Lynch, W. G., Tsang, M. B., Dinius, J. D., Gaff, S. J., Gelbke, C. K., Glasmacher, T., Kunde, G. J., Martin, L., Montoya, C. P., Azzano, M., Margagliotti, G. V., Milazzo, P. M., Rui, R., Vannini, G., Celano, L., Colonna, N., Tagliente, G., D'Agostino, M., Bruno, M., Fiandri, M. L., Gramegna, F., Ferrero, A., Iori, I., Moroni, A., Petruzzelli, F. ve Mastinu, P. F., 1997, Nuclear temperature measurement and secondary decay, *Advances in Nuclear Dynamics 3*, 53-60.

Yamamoto, T., 2013, Monte Carlo method with complex-valued weights for frequency domain analyses of neutron noise, *Annals of Nuclear Energy*, 58, 72-79.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aylin NAZLI BABAOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA 01.02.1984
Telefon : 05541378157
Faks :
e-mail : Aylin_nazz_@00hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Milli Piyango Anadolu Lisesi,Isparta	2003
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği,Meram,Konya	2008
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı	2020

UZMANLIK ALANI: Teorik Nükleer Fizik, Bilgisayar programlama, Fortran programlama, Sigma plot programlama

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR Nihal Büyükçizmeci, Filiz Ayrancı ve Aylin Babaoğlu "**Calculation of binding energies of hypernuclei in nuclear reactions**", Abstract book, pg. 401, International Conference on Mathematics and Mathematics Education (ICMME 2019), Selçuk University, Konya, July 11-13, 2019, Poster olarak sunulmuştur ve özet kitapçığında basılmıştır.