

**DEFORME BAZI ASTROFİZİK ÇEKİRDEKLERİN KOLLEKTİF
MODELE GÖRE İNCELENMESİ**

Mustafa Orhan KANSU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2013

ANKARA

Mustafa Orhan KANSU tarafından hazırlanan “DEFORME BAZI ASTROFİZİK ÇEKİRDEKLERİN KOLLEKTİF MODELE GÖRE İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Şeref OKUDUCU

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR

Fizik Anabilim Dalı, G. Ü

Prof. Dr. Şeref OKUDUCU

Fizik Anabilim Dalı, G. Ü

Doç. Dr. Erhan ESER

Fizik Anabilim Dalı, G. Ü

Tez Savunma Tarihi: 16/12/2013

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış 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.

Mustafa Orhan KANSU

**DEFORME BAZI ASTROFİZİK ÇEKİRDEKLERİN KOLEKTİF
MODELE GÖRE İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mustafa Orhan KANSU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ARALIK 2013**

ÖZET

Bu çalışmada, Talys 1.4 paket programı kullanılarak bazı astrofizik çekirdeklerin ve izotoplarının enerji seviye yoğunluk parametreleri üç farklı modele (Sabit Sıcaklık Modeli, Modifiye Fermi Gaz Modeli ve Geliştirilmiş Süperakışkan Modeli) göre hesaplandı. Aynı zamanda hesaplamalar çekirdeklerin titreşim ve dönme bandlarını dikkate alan kolektif model kullanılarak yapıldı. Hesaplanan değerler literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmış ve genel olarak sonuçların birbiri ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Sonuçta bu çalışmadaki deforme astrofizik çekirdeklerin ve izotoplarının genel olarak kolektif titreşim hareketi yaptığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 202.1.108
Anahtar Kelimeler : Astrofizik çekirdekler, deforme çekirdekler,
kolektif model, nükleer enerji seviye yoğunluğu
Sayfa Adedi : 62
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Şeref OKUDUCU

**INVESTIGATION OF DEFORMED SOME ASTROPHYSIC NUCLEI
USING COLLECTIVE MODEL**

(M.Sc. Thesis)

Mustafa Orhan KANSU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DECEMBER 2013

ABSTRACT

In this study, using Talys 1.4 package computer software, it has been calculated the energy level density parameter of some astrophysics nuclei and their isotopes with three different models (Constant Temperature Model, Back-shifted Fermi Gas Model and Generalized Superfluid Model). Also the calculations have been made by the collective model taking into account the vibration and rotation bands of nuclei. The obtained results have compared with the other studies in the literature, and it has been generally observed that the results are in agreement with each other. Finally, it has been shown that the some astrophysics nuclei and their isotopes were made the collective vibration motion.

Science Code : 202.1.108

**Key words : Astrophysic nuclei, deformed nuclei, collective model,
nuclear energy level density**

Page Number : 62

Supervisor : Prof. Dr. Şeref OKUDUCU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince engin tecrübelerinden ve bilgilerinden faydalandığım, her daim yardımlarını esirgemediğim şahsıma büyük katkılar yapan danışman hocam Prof. Dr. Şeref OKUDUCU'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım boyunca bana yardımcı olmak için vakitlerini harcayan, her türlü sorunumda hiç çekinmeden yardımına koşan Arş. Gör. Ceren TAYRAN, Arş. Gör. Mustafa Tuğfan BİLKAN ve Doktora öğrencisi Nisa Nur AKTI'ya çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana maddi manevi her zaman destek olan aileme ve değerli eşim Esra KANSU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. NÜKLEER YAPI MODELLERİ.....	3
2.1. Fermi Gaz Modeli	3
2.2. Sıvı Damla Modeli	3
2.3. Kollektif Model	4
2.3.1. Monopol titreşim ($\lambda=0$)	6
2.3.2. Dipol titreşim ($\lambda=1$).....	7
2.3.3. Kuadropol titreşim ($\lambda=2$).....	7
2.3.4. Oktupol titreşim ($\lambda=3$) ve $\lambda>3$ titreşimleri.....	9
2.4. Nükleer Dönme	9
2.5. Çekirdeğin deformasyonu	12
2.6. Nükleer Astrofizik Çekirdekler	13
3. ENERJİ SEVİYE YOĞUNLUĞU.....	15
3.1. Enerji Seviye Yoğunluğu Parametresi	17

	Sayfa
3.2. Deforme Çekirdeklerin Kollektif Band Analizi	18
3.3. Enerji Seviye Yoğunluğu Parametresinin Hesaplanması	21
4. MATERYAL ve METOT	24
5. HESAPLAMALAR ve BULGULAR	29
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	50
KAYNAKLAR	52
EKLER	57
EK-1	58
EK-2	59
EK-3	61
ÖZGEÇMİŞ	62

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. CTM – BSFGM – EGSM modelleri için evrensel parametreler	26
Çizelge 5.1. Astrofizik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre dağılımı	29
Çizelge 5.2. $^{41-45}\text{Ca}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	31
Çizelge 5.3. ^{44}Ti ve $^{47-51}\text{Ti}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	33
Çizelge 5.4. ^{55}Fe ve $^{57-60}\text{Fe}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	35
Çizelge 5.5. $^{59-65}\text{Ni}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	37
Çizelge 5.6. $^{64-65}\text{Zn}$ ve $^{67-69}\text{Zn}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	39
Çizelge 5.7. ^{68}Se , ^{75}Se , ^{77}Se , $^{78-79}\text{Se}$, ^{81}Se izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	41
Çizelge 5.8. ^{71}Ge , $^{73-75}\text{Ge}$, ^{77}Ge , ^{82}Ge izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	43
Çizelge 5.9. ^{85}Sr ve $^{87-90}\text{Sr}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	45
Çizelge 5.10. ^{96}Ru , ^{100}Ru , $^{102-103}\text{Ru}$, ^{105}Ru izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Küresel denge biçimli titreşen bir çekirdek. Zamana bağlı $R(t)$ koordinatı, θ , φ doğrultusundaki yüzey üzerinde bir noktayı gösterimi	6
Şekil 2.2. Monopol titreşim.....	6
Şekil 2.3. Dipol titreşim	7
Şekil 2.4. Kuadropol titreşim şekilleri	7
Şekil 2.5. $\lambda = 3$ ve $\lambda = 4$ titreşim şekilleri	9
Şekil 2.6. Çekirdeklerin normal hali ve kalıcı deformasyona uğradıktan sonraki halleri	10
Şekil 3.1. Deforme çekirdeğin toplam açısal momentumunun z' eksenine göre izdüşümü.....	20
Şekil 3.2. Se çekirdeğinin taban durum, pozitif ve negatif bandları.....	23
Şekil 5.1. Astrofizik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	30
Şekil 5.2. $^{41-45}\text{Ca}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	32
Şekil 5.3. ^{44}Ti ve $^{47-51}\text{Ti}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	34
Şekil 5.4. ^{55}Fe ve $^{57-60}\text{Fe}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	36
Şekil 5.5. $^{59-65}\text{Ni}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	38
Şekil 5.6. $^{64-65}\text{Zn}$ ve $^{67-69}\text{Zn}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	40
Şekil 5.7. ^{68}Se , ^{75}Se , ^{77}Se , $^{78-79}\text{Se}$ ve ^{81}Se izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	42

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. ^{71}Ge , $^{73-75}\text{Ge}$, ^{77}Ge ve ^{82}Ge izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	44
Şekil 5.9. ^{85}Sr ve $^{87-90}\text{Sr}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	46
Şekil 5.10. ^{96}Ru , ^{100}Ru , $^{102-103}\text{Ru}$ ve ^{105}Ru izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	48
Şekil 5.11. Astrofizik çekirdeklerin ve izotoplarının enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
B	Bağlanma enerjisi
E	Enerji
$E_{dön}$	Dönme enerjisi
E_{tit}	Titreşim enerjisi
I	Çekirdeğin toplam açısal momentumu
l	Açısal momentum kuantum sayısı
J	Dönen cismin eylemsizlik momenti
J_0	Eksensel simetriye sahip çekirdeğin simetri eksenine dik bir eksen etrafındaki eylemsizlik momenti
m	Çekirdeğin kütlesi
R	Ortalama yarıçap
r	Yarıçap
U	Uyarılma enerjisi
w	Açısal frekans
α	Alfa parçacığı
β	Beta
γ	Gama
σ	Spin dağılım parametresi
$\rho(U, I)$	Nükleer enerji seviye yoğunluğu
β	Deformasyon parametresi
ΔE	Enerji seviye aralığı
λ	Titreşim modu

Kısaltmalar**Açıklama**

akb

Atomik kütle birimi

fm

Femtometre

CTM

Sabit Sıcaklık Modeli

BSFGM

Modifiye Fermi Gaz Modeli

EGSM

Geliştirilmiş Süperakışkan Modeli

GS

Taban Durum

1. GİRİŞ

Enerji seviye yoğunluğu, nükleonların uyarılmış durumlarındaki belli enerji seviyeleri arasındaki aralıkların sayısı olarak tanımlanır. Çekirdeklerin enerji seviye yoğunluğu; uyarılma enerji aralığından, düşük uyarılmalarda gözlemlenen uyarılmış durumların sayılmasıyla veya deneysel değerlerin düzeltilmesi ile elde edilebilir. Değişik çekirdeklerde (p,α) , (p,n) , (α,n) , (n,γ) gibi reaksiyonlar çekirdek spektroskopisinin önemli bir konusu olan enerji seviyelerinin yoğunluğunun tayin edilmesinde ve sınıflandırılmasında büyük önem taşımaktadır. Nükleer fisyon ve füzyon reaksiyonlarında, enerji seviye yoğunluğunun bilinmesi nükleer tesir kesiti hesaplamalarında, reaktör fiziğinde, astrofizikte ve ağır iyon çarpışmalarındaki istatistiksel hesaplamaların yapılmasında önemli bir yere sahiptir [Ahmedov ve ark., 2001; Ahmedov ve ark., 2002; Okuducu ve Ahmedov, 2003].

Bethe Teorisi, enerji seviye yoğunluğu ile ilgili çalışmaların en temel basamaklarından birine öncülük etmektedir [Bethe, 1936]. Bethe, birbiri ile etkileşmeyen parçacıkların oluşturduğu Fermi gaz sisteminin, ortalama enerjisi ile entropisi arasındaki termodinamik ilişkileri dikkate alarak çekirdeklerin enerji seviyeleri yoğunluğunu hesaplamıştır. Bethe' nin teorisine göre çekirdekteki proton ve nötronlar, temel halde tek-tek düşük enerji seviyelerini doldururlar ve herhangi bir uyarılmada yukarı seviyelere çıkarlar. Daha sonra Landau [1936] ve Weisskopf [1937] termodinamik ilişkileri en genel halleri ile ele alarak enerji seviye yoğunluğu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar da [Bethe, 1936; Landau, 1936; Weisskopf, 1937] atom çekirdeğinin uyarılma enerjisi termodinamik sıcaklığın karesi ile orantılı olarak dikkate alınmış olup Bohr ve Kalckar [1937] tarafından yapılan çalışma nükleer uyarılma enerjilerinin eş aralıklı olduğu hipotezine dayanmaktadır. Yapılan bu çalışmaların tümünde Fermi gaz modeli temel alınıp, bu hesaplamalarda dikkate alınmayan ilave etkiler Hurwitz ve Bethe [1951] tarafından modele, kapalı kabuklu çekirdeklere yakın ve temel seviyelerinde bulunan çift parçacıklı sistemler için çift oluşturma enerjisine karşılık gelen Bethe-Hurwitz parametresi ilave edilerek çözülmeye çalışılmıştır. İlerleyen zamanlarda modelde eksiklikleri hissedilen tek-parçacıklı seviye yoğunluğu parametresinin proton ve nötron ortalama spinlerine bağımlılığı [Newton, 1956],

çekirdeğin uyarılma enerjisine bağımlılığı [Ignatyuk ve ark., 1975], kabuk yapısı ve nükleonların kollektif hareketi gibi etkiler ilerleyen çalışmalar da modele ilave edilmiştir [Ignatyuk ve ark., 1979; Abfalter ve ark. 2000]. İlave edilen bu etkiler ile Bethe Teorisine dayanan bu model daha karmaşık bir hal almıştır.

2002 yılında yapılan çalışmalar sonucunda modifiye edilen basit fiziksel bir modelin kullanılması ile karışıklığın kısmen ortadan kalkması sağlanmıştır [Ahmedov ve ark., 2002]. Deforme çift-çift çekirdeklerin aynı modele uygunluğu test edilmiş ve bazı deforme çekirdekler için enerji seviye yoğunluk parametreleri hesaplanmıştır. Ertesi yıl yine aynı ekibin yapmış olduğu çalışmalarda da aynı modelin deforme tek A' lı ve tek-tek çekirdekler için uygunluğu gösterilmiştir [Okuducu ve Ahmedov, 2003].

Nükleer Astrofizik çekirdeklerin nasıl oluştuğunu, nereden geldiklerini ve gözlem neticesindeki miktarlarını açıklanması ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Yıldızlarda çekirdek sentezi teorisi, element oluşumu için Büyük Patlamadan hemen sonra ^1H , ^4He ve az miktarda ^6Li gibi birkaç hafif elementin oluştuğunu ve bu hafif elementlerin daha sonraki element sentezi için kaynak oluşturduğunu kabul eder. Daha ağır elementlerin sentezi yıldız merkezindeki füzyon reaksiyonları (yanmalar) ile gerçekleşir. H-yanması, He-yanması, C-yanması, Ne-yanması, O-yanması ve Si-yanması, Fe ve Ni grubuna kadar olan elementlerin ($A < 60$) sentezi için temel aşamalarıdır [Wallerstein, 1997]. $A > 60$ çekirdekleri için füzyon reaksiyonları enerji bakımından hakim değildir. Bu çekirdekler için nötron yakalama, öncelikli üretim mekanizmasıdır. Büyük kütle numaralarına sahip çekirdeklerde nötron yakalama ve β bozunumu yaparak çekirdeklerin kararlı izotoplarının büyük çoğunluğunun oluşmasına sebep olur [Krane, 2001]. Yapılan ilk çalışmalar küçük kütle numarasına sahip elementlerle başlamış olmasına rağmen zaman içerisinde hem teorik hem de deneysel çalışmalarla ağır elementlerde yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında da ^{42}Ca [Bjerregaard ve ark, 1967], ^{44}Ti [Dufour ve ark, 2013], ^{60}Fe [Wanajo ve ark, 2013], ^{64}Ni [Truran, 1972], ^{64}Zn [Gyürky ve ark, 2012], ^{68}Se [Wöhr ve ark, 2004], ^{82}Ge [Wang ve ark, 2009], ^{90}Sr [Abromeit ve ark, 2011] ve ^{96}Ru [Lorusso ve ark, 2011] çekirdekleri ve izotopları ele alınmıştır.

2. NÜKLEER YAPI MODELLERİ

Protonlardan ve nötronlardan oluşan çekirdek karmaşık bir yapıya sahiptir. Nükleonlar arasında oldukça kuvvetli etkileşimler vardır. Fakat bu etkileşim kuvvetleri hala elektromanyetik kuvvetler kadar iyi anlaşılmadığından çekirdek yapısının teorisi tamamlanamamıştır. Nükleer kuvvetlerin doğasından kaynaklanan bir karmaşıklık söz konusudur. Bu nedenle çekirdekteki olayları anlamak için çeşitli modeller ileri sürülmüştür. Bu modellerin en temeli fermi gaz, sıvı damla ve kollektif modeldir.

2.1. Fermi Gaz Modeli

Fermi gaz modeli, çekirdeğin sahip olduğu potansiyel içindeki nükleonların belirli düzeylere göre sıralandıklarını ve bu düzeylere belirli açısal momentum öz değerlerinin karşılık geldiğini varsaymaktadır. Oluşturulan varsayımlara göre çekirdek içerisinde bulunan nükleonların bu düzeyleri sadece serbest oldukları ve çekirdek içinde çarpışma yapmadan hareket ettikleri zaman oluşturabilecekleri kabul edilir.

Fermi enerjisi, bir sistemin doldurulmuş en yüksek enerji seviyesindeki nükleonun enerjisi olarak tanımlanır. Fermi gazı parçacıkları olan nükleonlar (protonlar ve nötronlar) taban durumunda enerji seviyelerini klasik bir gazın aksine, bir atomda iki fermiyonun aynı anda tamamen aynı kuantum sayılarına sahip olamayacaklarını ifade eden Pauli dışarlama ilkesine göre minimum enerjiye sahip olacak şekilde doldururlar [Arya, 1966].

2.2. Sıvı Damla Modeli

Sıvı Damla Modeli, 1936 yılında Niels Bohr tarafından formüle edilmiş ve çekirdeği sıkıştırılmayan nükleer sıvı damlası olarak göz önüne alan bir modeldir. Bu modelde; nükleonların sıvı damlasında bulunan moleküller gibi birbirleri ile kuvvetli bir etkileşme halinde oldukları hayal edilmektedir. Çekirdek içindeki nükleonların

De Broglie dalga boyları nükleonlar arası ortalama uzaklıktan daha büyük olduğundan, çekirdekdeki durum klasik bir sıvıya değil, kuantumlu bir sıvıya benzetilir [Serway, 1995].

Sıvı damla modeli bir sıvı damlası ile benzer olup kolektif yapıya sahip çekirdeğin özelliklerinin incelenmesinde kullanılan bir modeldir. Çekirdeğin kütesini, bağlanma enerjisini ve çekirdeğin nasıl deforme olduğunu açıklayan kaba bir modeldir. Çekirdeği bir küre olarak kabul eden sıvı damla modeli ile çekirdeğin bağlanma enerjisi arasında aşağıdaki gibi ilişkiler vardır.

- Çekirdek hacmi, nükleon sayısı A ile orantılıdır.
- Çekirdekdeki protonlar arasındaki Coulomb itme kuvveti çekirdeğin daha zayıf bağlanmasına neden olur.
- Kütle yoğunluğu çekirdek içinde sabittir, bununla birlikte yüzey üzerinde hızla sıfıra gider.
- Her bir nükleon için bağlanma enerjisi yaklaşık olarak sabittir (nükleer kuvvetlerin doyumu).
- Nükleer kuvvet bir nükleon için aynıdır, özel olarak nükleonun proton veya nötron olup olmamasına bağlı değildir (nükleer kuvvetin yük bağımsızlığı).

2.3. Kolektif Model

Deforme (küresel simetriğe sahip olmayan) çekirdekler özellikle çekirdek yapısının incelenmesinde ve nükleon – nükleon arasındaki etkileşmelerin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Ayrıca deforme çekirdeklerde yapılan incelemeler, uygulanan modellerin ve ortalama alan potansiyellerinin başarısı ile nükleon-nükleon etkileşme parametrelerinin fit edilmesi açısından da çok önemlidir. Deforme çekirdeklerin varlığı, deneysel olarak hesaplanan kuadropol moment değerlerinin, çekirdek korunum dikkate alınmadığı shell modeli kullanılarak hesaplanan değerlerden 1-2 merteye daha büyük olması sonucu ortaya çıkmıştır [Davidson, 1968; Mottelson, 1957]. Bu nedenle, deformasyona uğramış çekirdeklerin

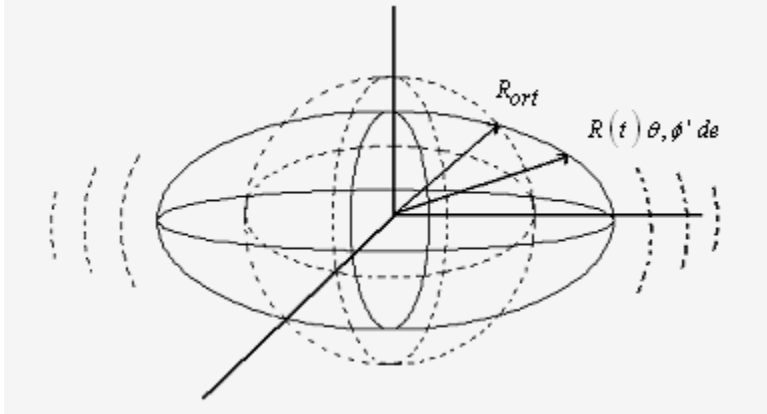
nükleonlarının kollektif hareketini inceleyen bir model geliştirilmiştir. İlk olarak, Rainwater [1950] tarafından ileri sürülen bu model, Bohr ve Mottelson [1969;1975] tarafından geliştirilmiştir. Kollektif model, uyarılmış durum, manyetik ve kuadropol momentler gibi çekirdek özelliklerini sadece kapalı kabuk dışında kalan çiftlenmemiş nükleonların değil, kor ve kor etrafındaki nükleonların belirlediği fikrine dayanmaktadır. Ayrıca bu model, deforme ve çift-çift nükleona sahip çekirdeklerin özellikleri ile bu çekirdeklerin küresel yük dağılımından sapmalarının bir ölçüsü olan kuadropol momentlerini de çok iyi açıklamaktadır [Sönmezoğlu, 2006].

Kollektif modele göre, shell modelinde olduğu gibi çekirdekte bulunan bütün nükleonlar, gerçek bir $V(r)$ potansiyelinde bağımsız olarak hareket ederler. Fakat Shell modeli potansiyelinin aksine kollektif modelde potansiyel statik küresel simetrik potansiyel değildir. Bu potansiyel, kor etrafındaki nükleon veya nükleonların hareketi sonucunda deformasyona ve korun küresel simetrisini kaybetmesine neden olmaktadır [Arya, 1966; Stephane ve ark., 2009]. Ayrıca bu potansiyel korun elipsoid şekil denilen, yörüngedeki nükleonlar yönünde uzamasına da neden olur.

Yüksek frekansla titreşen bir sıvı damlasını gözümüzde canlandırarak nükleer titreşimlerin fiziği hakkında iyi bir fikir edinebiliriz. Ortalama şekil küresel olmakla birlikte herhangi bir andaki şekil küresel değildir. Şekil 2.1' den görüldüğü gibi nükleer yüzey üzerindeki bir (θ, φ) noktasının $R(t)$ koordinatını, $Y_{\lambda\mu}(\theta, \varphi)$ küresel harmonikler cinsinden belirtmek kolaylık sağlar. Her küresel harmonik bileşeni, $a_{\lambda\mu}(t)$ genliğine sahiptir:

$$R(t) = R_{ort} + \sum_{\lambda \geq 1} \sum_{\mu = -\lambda}^{+\lambda} a_{\lambda\mu}(t) Y_{\lambda\mu}(\theta, \varphi) \quad (2.1)$$

$a_{\lambda\mu}$ ' lar tamamen keyfi olmayıp; yansıma simetrisi, $a_{\lambda\mu} = a_{\lambda-\mu}$ eşitliğinin olmasını gerektirir.

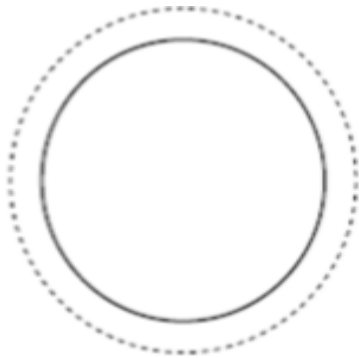


Şekil 2.1. Küresel denge biçimli titreşen bir çekirdek. Zamana bağlı $R(t)$ koordinatı, θ , ϕ doğrultusundaki yüzey üzerinde bir noktayı gösterimi [Krane, 2001].

Kollektif titreşim güçlü bağlanmalardan dolayı $^{124}_{52}\text{Te}$ ve $^{40}_{20}\text{Ca}$ gibi sihirli çekirdeklerde mevcut değildir. Küresel çekirdeklerde kollektif titreşim durumlarının tayini, tek parçacık geçiş terimlerindeki çekirdeklerin enerjisine, açısal momentumuna ve radyoaktif gücüne bağlıdır [Krane, 2001].

2.3.1. Monopol Titreşim ($\lambda=0$)

$$R(t) = R_{ort} + a_{00}Y_{00} \quad (2.2)$$



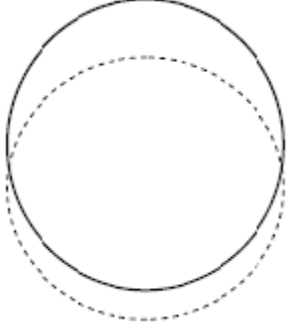
Şekil 2.2. Monopol titreşim

$\lambda=0$ titreşimi, sıkıştırılmış bir çekirdekte şeklini değiştirmeden yapılan radyal bir salınım hareketidir. Taban durumunda, $J^\pi = 0^+$ kuantum sayısını taşıyan çift-çift

çekirdeklerde bu tip en düşük uyarılma olduğu deneysel olarak gözlenir. $E_0 \approx 80 A^{-1/3}$ MeV civarındadır.

2.3.2. Dipol titreşim ($\lambda=1$)

$$R(t) = R_{ort} + \sum_{\mu=-1}^1 a_{1\mu} Y_{1\mu}(\theta, \phi) \quad (2.3)$$



Şekil 2.3. Dipol titreşim

Monopol titreşimden farklı olarak Şekil 2.3 te görüldüğü gibi nükleer sıvının tam bir dönmesine karşılık gelir. Çekirdeğe bağlı olarak 10 – 25 MeV civarında çok yüksek enerjilerde meydana gelir. Çift-çift çekirdeklerde $J^\pi = 1^-$ kuantum sayısına sahiptir ve monopol rezonans için kapalı olan taban durumu üstünde $E_1 \approx 77 A^{-1/3}$ MeV civarında bir enerjide ortaya çıkar. Kabuk modeline göre daha büyük bir enerji değerine sahiptir. Kıyaslama yapmak gerekirse $E_1 \approx 77 A^{-1/3}$ MeV ve $E_{kabuk} \approx 40 A^{-1/3}$ MeV değerlerine sahiptir.

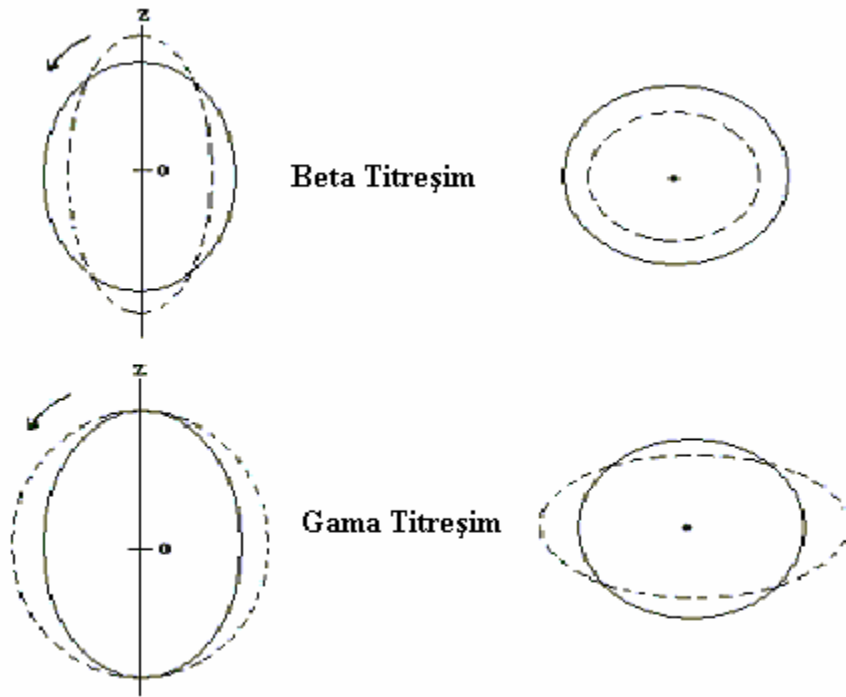
2.3.3. Kuadropol titreşim ($\lambda=2$)

$$R(t) = R_{ort} + \sum_{\mu=-2}^2 a_{2\mu} Y_{2\mu}(\theta, \phi) \quad (2.4)$$

$$= R_{ort} + a_{22}Y_{22} + a_{21}Y_{21} + a_{20}Y_{20} + a_{21}Y_{21} + a_{2-2}Y_{2-2} \quad (2.5)$$

$$= R_{ort} + a_{20}Y_{20} \quad \mu \neq 0 \text{ için } a_{2\mu} = 0 \text{ (elipsel biçim)} \quad (2.6)$$

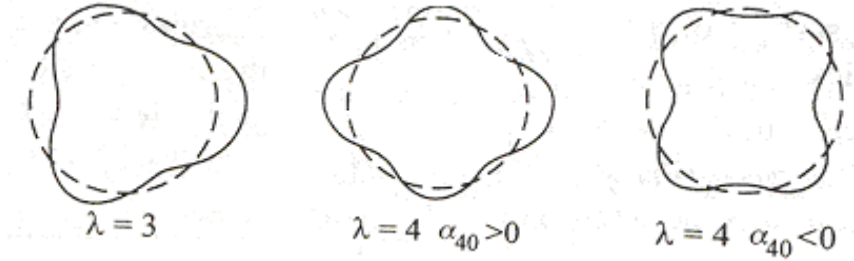
$$= R_{ort} + a_{20} \frac{1}{4} \left(\frac{5}{\pi} \right)^{1/2} (3 \cos^2 \theta - 1) \quad (2.7)$$



Şekil 2.4. Kuadropol titreşim şekilleri

Genel bir durum için yüzeyin şekli, Y_{2m} , $m=\pm 2, \pm 1, 0$ ile tanımlanabilir. Ancak R, θ' nin bir fonksiyonu olduğu için $m=0$ ' dır. Şekil 2.4' deki gibi, çekirdeğin şekli küresel ve elipsel biçim arasında değişir. $\lambda=2$ nükleer titreşiminin birimi bir kuadropol fonondur. En düşük titreşim durumu sadece $J^\pi = 2^+$ e sahip bir fonon tarafından oluşturulur. Kuadropol biçimleri, hemen hemen tüm çekirdeklere baskın titreşimsel özelliklerdir. Kuadropol rezonans, $E \approx 63 A^{-1/3}$ MeV büyüklüğünde bir enerjide bulunur.

2.3.4. Oktupol titreşimi ($\lambda=3$) ve $\lambda > 3$ titreşimleri



Şekil 2.5. $\lambda=3$ ve $\lambda=4$ titreşim şekilleri

$\lambda=3$ oktupol biçimleri $J^\pi = 3^-$ paritesinde pek çok çekirdekte görülebilir. Çok yüksek sıcaklıklarda meydana gelen kuadropol biçimlerinin olduğu kabuk yapıları çekirdeklere, oktupol durumu genellikle en düşük uyarılmış durumdur.

2.4. Nükleer Dönme

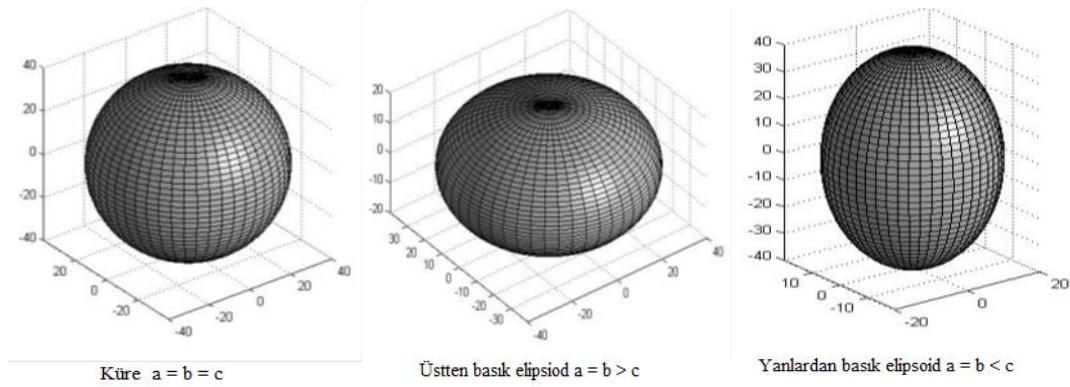
Nükleer dönme hareketi yalnızca denge konumundaki şekli küresel olmaktan çıkmış çekirdeklere gözlenir. Küresellikten çıkmış olan bu çekirdekler önemli ölçüde sapmalara maruz kalırlar ve deforme çekirdekler olarak adlandırılırlar. Bunlar, $150 < A < 190$ ve $A > 220$ (nadir toprak elementleri ve aktinitler) kütle aralıklarında bulunurlar. Şekil 2.5' de görüldüğü gibi bu çekirdeklerin ortak şekilleri dönen bir elipsoittir ve bu elipsoitlerin yüzeyi

$$R(\theta, \phi) = R_{ort} [1 + \beta Y_{20}(\theta, \phi)] \quad (2.8)$$

ile belirlenir. ϕ ifadesinden bağımsız olan çekirdek yüzeyi silindirik bir simetriye sahiptir. Elipsin merkez dışından etkilenen moment değerine bağlı β deformasyon parametresi,

$$\beta = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\pi}{5}} \frac{\Delta R}{R_{ort}} \quad (2.9)$$

ifadesi ile tanımlanır. Burada ΔR elipsin büyük yarı eksenini ile küçük yarı eksenini arasındaki fark olup ve $R_{ort} = R_0 A^{1/3}$, a eşittir. Ancak bu yaklaşım çekirdek hacminin tam olarak $\frac{4}{3}\pi R_{ort}^3$ e eşit olmamasından dolayı doğru değildir. Eş.2.8' deki θ değeri simetri ekseninde tanımlanan referans eksenidir. Şekil 2.6' dan görüleceği üzere β değeri çekirdeğin deformasyon türünü belirlememize yardımcı olmaktadır. $\beta > 0$ ise çekirdek prolate, $\beta < 0$ olduğunda ise oblate şekil almaktadır.



Şekil 2.6. Çekirdeklerin normal hali ve kalıcı deformasyona uğradıktan sonraki halleri [Stephane ve ark., 2009]

Deforme bir çekirdekteki nükleonların hareketi, kollektif dönme veya titreşim olabilir. Çift-çift çekirdekler için uyarılmış durumlar, bir nükleon çiftinin bozunumu ile meydana gelir. Bu çok fazla eşleşme enerjisi gerektirir ve çok düşük uyarılmış durumlar için karışık uyarılmalar meydana getirir. Bu karışık uyarılmalar, çekirdeğin dinamik hareketleri, yani titreşim ve dönme kavramları ile açıklanabilir [Meyerof, 1989]. Çift-çift çekirdeklere dönme durumlarının meydana gelmesi, titreşim durumlarının meydana gelmesinden daha kolaydır [Hornyak, 1975].

Titreşim ve dönme hareketinin enerji değerleri farklılık göstermektedir. Hareketlerin enerji seviyelerinde meydana gelen farklılıklar, spektrumları incelendiğinde hareketlerin birbirini etkilemediği görülmektedir. Örneğin titreşim hareketine karşılık gelen uygun enerji seviyesi 2-3 MeV civarındadır. Dönme hareketi ise titreşim hareketine nazaran çok daha düşük enerji seviyelerine karşılık gelen 400-600 eV civarındadır. Klasik olarak dönen bir cismin kinetik enerjisi,

$$E_{dön} = \frac{1}{2}J\omega^2 \quad (2.10)$$

ile ifade edilir. Eşitliğe baktığımızda J değeri eylemsizlik momentine karşılık gelir ve açısal momentumun değeri $I = J\omega$ dan hesaplanır. Açısal momentum cinsinden enerjisi $I^2/2J$ dir. Dönen bir cismin kuantum mekaniğindeki enerjisi;

$$E = \frac{\hbar^2}{2J}I(I + 1), \quad I = 0,1,2,3, \dots \quad (2.11)$$

bağıntısından bulunur. I kuantum sayısının artışı, çekirdeğe dönme enerjisi ilave edilmesine karşılık gelir ve nükleer uyarılmış durumlar dönme bandı olarak bilinen bir dizi oluşturur. Bir çift- Z ve çift- N ' li çekirdeğin taban durumu daima $I = 0^+$ dır ve birinci uyarılma durumu genellikle $I = 2^+$ dır. Çekirdeğin nükleer eksene dik bir düzlem etrafındaki simetrisi (ayna simetrisi) bu özel durumdaki dönme düzeyleri dizisini I ' nin çift değerlerine sınırlar. Bu durumda Eş.2.10 aşağıdaki gibi çift açısal momentum değerlerini alır.

$$E = \frac{\hbar^2}{2J}I(I + 1), \quad I = 0,2,4,6, \dots \quad (2.12)$$

Bu denklem, çift-çift büyük deforme çekirdeklerin gözlemlenen düşük enerji seviyelerini göstermektedir ve çekirdek açısal momentumunun $I = 0,2,4,6, \dots$ değerleri için geçerlidir. Bu enerji seviye artışı pozitif pariteye sahiptir ve taban durumu dönme bandı olarak adlandırılır. E_2 , birinci uyarılmış durumun enerjisini gösterir. E_2 bilinirse, birinci uyarılmış durum cinsinden daha yüksek enerji seviyeleri aşağıdaki gibi elde edilebilir [Krane, 2001].

$$E_0 = 0 \quad (2.13)$$

$$E_2 = \frac{h^2}{2J} 2(2 + 1) = 6 \frac{h^2}{2J} \quad (2.14)$$

$$E_4 = 20 \frac{h^2}{2J} \quad (2.15)$$

2.5. Çekirdeğin Deformasyonu

Çekirdekleri bir arada tutan nükleonlar arası çekirdek kuvvetlerinin, bazı araştırmalar neticesinde doyum karakteri sergileyen kısa menzilli ve çok şiddetli çekici özelliğe sahip olduğu, aynı zamanda nükleonların yükünden bağımsız ancak nükleonların yüklerinin ve spin doğrultularının değiş tokuş neticesinde, değiş tokuş kuvveti şeklinde ortaya çıkabildikleri görülmüştür. Ayrıca çekirdek davranışlarında etkin olan kuvvetler arasında eşleşme ve kuadropol kuvvetlerinin önemli yeri vardır [Kumar ve Baranger, 1968].

Eşleşme kuvveti, çekirdekte aynı enerji seviyesinde bulunan iki nükleonun spin alışverişi neticesinde meydana gelen kısa menzilli kuvvet olup çekirdeklerin dolmamış kabuklarındaki parçacıklar üzerinde tesirlidir. Eşleşme kuvveti çekirdekte mevcut olan küresel simetriyi koruma eğilimindedir. Kuadropol kuvveti ise çekirdekte kuadropol yük dağılımı neticesinde oluşup çekirdeği deforme şekle götürmeye meyillidir. Çekirdeği deformasyona karşı koruyan eşleşme kuvveti çekirdekteki valans nükleonları arttıkça azalır ve çekirdeği dönme spektrumuna götüren kuvvetler hâkim duruma geçerek deforme çekirdek yapısı oluşmuş olur [Kumar ve Baranger, 1968].

Çekirdekteki eşleşme gücü için, Dudex ve ark. [1980]

$$G = \frac{G_0 + G_1(N - Z)}{A} \quad (2.16)$$

ifadesini elde etmişlerdir. Burada G_0 ve G_1 parametrelerinin proton ve nötron değerlerini yerine yazıldığında nadir toprak çekirdekleri için proton ve nötronlara ait eşleşme gücü G_p ve G_n ;

$$G_p = \frac{17,9 + 0,176 (N - Z)}{A} \quad (2.17)$$

$$G_n = \frac{18,95 - 0,078 (N - Z)}{A} \quad (2.18)$$

gibi ifade edilir. Marshalek ve Rasmussen [1963] bu değerleri $G_p = 23,5/A$ ve $G_n = 28/A$ olarak tespit etmişlerdir. Deformasyonun potansiyel enerjisinin şekline bağlı olarak, Hamiltonyenin küresel şekli etrafında titreşim hareketi ve katı deforme çekirdek etrafında dönme hareketi olduğu açıktır [Marselak ve Tasmussen, 1963; Gupta, 1983].

2.6. Nükleer Astrofizik Çekirdekler

Nükleer astrofizik, temelinde yıldızlarda meydana gelen bir dizi füzyon ve bozunma reaksiyon süreçleri ile birlikte hidrojen (1H) ve helyumdan (4He) sonra ağır elementler sınıfında olan karbon (^{12}C), azot (^{14}N) ve oksijen (^{16}O) gibi elementlerin oluşumunu inceleyen bir bilim alanıdır. Oksijenden (^{16}O) başlayarak demir (^{56}Fe) elementine kadar olan grup ile daha ağır elementlerin yer aldığı süreçler de bu araştırma alanının önemli konularındandır.

Mevcut astrofizik teorileri yıldızların, kozmik bulut ve hidrojen gazının yoğunlaşmasıyla oluşumundan sonra hayatlarında birkaç safhadan geçtiklerini söylemektedir. Bu safhalardan ilki “hidrojen yanması”dır. Bu safhadaki bir yıldız, hidrojenin helyuma dönüştüğü bir dizi ekzotermik füzyon reaksiyonundan ortaya çıkan enerjii etrafına yayar. Astrofizikçiler yıldızlarda hidrojen yanmasını açıklamak için birkaç değişik mekanizma önermişlerdir [Audouze, 1980]. Daha sonraki safhalarda ise, yıldızın büyüklüğüne bağlı olarak helyum yanması, karbon

yanması, azot ve oksijen yanması gibi reaksiyon süreçleri söz konusudur [Kocabaş, 2013].

Ağır çekirdeklerin sentezi yavaş nötron yakalama prosesi (s-proses), hızlı nötron yakalama (r-proses) ve proton bakımından zengin kararsız çekirdeklerin sentezi (p-proses) olarak birbirinden farklı üç çekirdek sentez mekanizması ile gerçekleşir. Bunlardan s-prosesi çekirdek nötron yakaladığında, bir nötron yakalanmadan önce β bozunumuna karşı kararsız hale gelir. Bu yolla üretilen çekirdeklere s-çekirdekleri denir. S-proses hesaplamaları, gözlemsel güneş sistemi element bollukları ile uyum içerisindedir [Kaeppeler ve ark., 1990]. $A > 60$ olan çekirdeklerin yaklaşık yarısının sentezinden sorumlu, S-prosesle üretilemeyen nötron bakımından zengin çekirdekler r-proses ile üretilir. Bu proseste, nötron yakalama β bozunumundan çok daha hızlı olmasından dolayı, bu proses ile kararlılık eğrisi altındaki ^{209}Bi ' den daha ağır elementler üretilir. P-proses çekirdeklerinin güneş sistemindeki miktarı diğer çekirdeklerinkinden 10-100 kez daha azdır. Proton bakımından zengin kararsız çekirdekler olması sebebi ile deneysel p- çekirdekleri ile ilgili çalışmalar daha azdır. Çalışmaların azlığından dolayı p-prosesi diğer proseslere göre en az bilinendir [Cowan ve ark., 1991; Woosley ve ark., 1978].

3. ENERJİ SEVİYE YOĞUNLUĞU

Her çekirdek tıpkı atom da olduğu gibi kuantum sayıları ile belirlenen enerji seviyelerine sahiptir. Çekirdeklerde uyarılmış durumların yeri her çekirdek için farklıdır. Bu uyarılmış durumların her biri kuantum sayıları ile tanımlanır. Her bir uyarılmış durum için bu kuantum sayıları J , P , T işaretleri ile gösterilir. Açıl momentum ve izdüşümü kuantum sayıları tamsayı veya kesirli değerler alır. Bir nükleer enerji seviyesinin paritesi P , tüm nükleonların uzaysal koordinatlarının tersi alındığında nükleer durumların yapısının nasıl görüneceği hakkında bilgi veren bir ifadedir. Bu kuantum sayıları, çekirdekteki nükleon bağlanmalarını açıklayan temel kuvvet kanunlarının simetrisinin sonuçlarıdır. Aynı zamanda bu kuantum sayıları, aynı çekirdekteki uyarılmış bir durumun diğer bir duruma (gama bozunumu) veya farklı bir çekirdekteki özel bir duruma (beta, alfa bozunumu) nasıl bozunacağını belirler [Eser, 2006].

Enerji seviye yoğunlukları ile ilgili ilk çalışmalar Bethe [1936] teorisine dayanmaktadır. Bethe, birbiri ile etkileşmeyen parçacıkların oluşturduğu Fermi gaz sisteminin, ortalama enerjisi ile entropisi arasındaki termodinamik ilişkileri dikkate alarak çekirdek enerji seviyeleri yoğunluğunu hesaplamıştır. Bu teoriye göre çekirdekteki protonlar ve nötronlar, temel halde tek-tek düşük enerji seviyelerini doldururlar ve herhangi bir uyarılma halinde yukarı seviyelere çıkarlar. Daha sonra Landau [1936] ve Weisskopf [1937] bu termodinamik ilişkileri genelleştirerek enerji seviyeleri yoğunluğu ile ilgili hesaplamalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda, atom çekirdeğinin uyarılma enerjisi termodinamik sıcaklığın karesi olarak dikkate alınmış olup, Bohr ve Kalckar [1937] tarafından nükleer uyarılma enerjilerinin eş aralıklı olduğu fikri temel alınmıştır. Bütün bu hesaplama metotları temelde Fermi-Gaz modeline dayanmakta olup, bu hesaplamalarda dikkate alınmayan ilave etkiler Hurwitz ve Bethe tarafından, kapalı kabuklu çekirdeklere yakın ve temel seviyelerinde bulunan çift parçacıklı sistemler için çiftlenim enerjisine karşılık gelen karakteristik Bethe-Hurwitz parametresi ilave edilerek çözülmeye çalışılmıştır [Hurwitz ve Bethe, 1951]. Daha sonra eksiklikleri hissedilen tek-parçacıklı seviye

yoğunluğu parametresinin proton ve nötron ortalama spinlerine bağımlılığı, çekirdeğin uyarılma enerjisine bağımlılığı, nükleer maddenin uyarılmasında rol oynayan kollektif etkiler gibi parametreler modele dahil edilmeye çalışılmış, ancak mevcut model daha karmaşık bir hal almıştır [Newton, 1956; Ignatyuk ve ark., 1975; 1979].

Son olarak Ahmedov tarafından modifiye edilen basit fiziksel bir modelin kullanılması ile karışıklığın kısmen ortadan kalkması sağlanmıştır. Bu çalışmada nadir toprak ve aktinitler bölgesindeki deforme ağır çift-çift çekirdeklerin modifiye edilen modele uygunluğu test edilmiş ve bazı deforme ağır çekirdeklerin 2^+ durumları için enerji seviye yoğunluk parametreleri hesaplanmıştır. Daha sonra aynı model Okuducu ve Ahmedov tarafından nadir toprak ve aktinitler bölgesindeki deforme ağır tek A' lı ve tek-tek çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin hesaplanmasında kullanılmış ve derlenen s-dalgalı rezonans verileri ile de uyum içinde olduğu gösterilmiştir [Ahmedov ve ark., 2002; Okuducu ve Ahmedov, 2003].

Deforme çekirdeklerin enerji spektrumları kollektif modlarla tanımlanır. Bu nedenle, bu çekirdeklerin enerji spektrumları temel ve çeşitli uyarılma bandları ile karakterize edilmektedir. Tek-tek ve tek- A' lı çekirdeklerin temel ve çeşitli uyarılma bandları da çift-çift çekirdekler gibi benzer özellikler taşımakta olup, bu çekirdeklerde tek parçacığın uyarılma enerjisi kollektif uyarılma bandlarının temelini oluşturur. Enerji seviye yoğunluğu, uyarılma enerjisi ile birlikte hızlı bir şekilde artış göstermekte olup, uyarılma enerjisi MeV bölgesine çıktığında (yüksek uyarılmış durumlar) nükleer yörüngenin karmaşıklığının arttığı bilinmektedir. Bu bölgedeki seviyeler arasındaki aralıklar, taban durumuna yakın olan bölgelerdeki aralıklara göre önemli ölçüde azalmaktadır. Bu azalma, yaklaşık olarak üstel bir azalmaya yada uyarılma enerjisinin oldukça yüksek bir değeriyle ters orantılı bir azalmaya sahiptir [Arya, 1966].

Enerji seviyeleri yoğunluğunun incelenmesinde, uyarılma enerjisi ile birlikte enerji seviye yoğunluk parametre terimlerinin de dikkate alınması gerekir. Bu parametrenin

kendisi, kabuk etkisine bağı olarak uyarılma enerjisi ile birlikte değişiklik gösterir. Çekirdek seviyeleri yoğunluğu ile ilgili enerji seviye yoğunluk parametresi, nötron bağlanma enerjisine yakın enerji değerlerinde gözlenen enerji seviyeleri aralığı dikkate alınarak hesaplanmakta ve çekirdek seviyeleri aralığına uygun olarak düzenlenmektedir. Bu nedenle seviye aralık verileri, s-dalgalı nötron rezonans verileri olarak adlandırılır. Bu verilerin değerlendirilmesi, çekirdek içi parçacıkların eşaralıklı tek-parçacık olduklarını varsayan Bethe teorisine ve bu teoride yapılan düzeltmelere dayanmaktadır [Bethe, 1936; Newton, 1956; Gilbert ve Cameron, 1965].

3.1. Enerji Seviye Yoğunluğu Parametresi

Çekirdeğin uyarılma enerjisine U ve toplam açısai momentumuna I bağı olarak; enerji seviyeleri yoğunluğu aşığıdaki gibi ifade edilir [Bethe, 1936; Gilbert ve Cameron, 1965].

$$\rho(U, I) = \frac{\sqrt{\pi} \exp(2\sqrt{aU}) (2I + 1) \exp[-(2I + 1)^2 / 2\sigma^2]}{12 a^{1/4} U^{5/4} 2\sqrt{2\pi}\sigma^3} \quad (3.1)$$

Burada; a : enerji seviye yoğunluk parametresi ve σ : spin dağılım parametresi olup,

$$a = \frac{\pi^2}{\sigma} g(\varepsilon_f), \quad \sigma^2 = g \langle m^2 \rangle t \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. Burada $g(\varepsilon_f)$: Fermi enerji seviyesindeki tek parçacıkların yoğunluğu, $\langle m^2 \rangle$: magnetik kuantum sayısının karesinin ortalaması, t : Fermi gaz modelindeki çekirdeklerin termodinamiksel sıcaklık olup aşığıdaki gibi tanımlanır ;

$$g(\varepsilon_f) = \frac{3A}{2\varepsilon_f}, \quad \langle m^2 \rangle = 0,146A^{2/3}, \quad t = \sqrt{U/a} \quad (3.3)$$

Bu denklemde A ifadesi çekirdeğin kütle numarasıdır. Deneysel gözlemler,

çekirdeğin açısal momentumu I ' nın farklı yönelmelerini belirleyemediği için, enerji seviyelerinin gözlemlenen yoğunluğu daha kullanışlı olup aşağıdaki biçimde ifade edilir.

$$\sum \rho(U, I) = \frac{\pi^2 \exp(2\sqrt{aU})}{12} \frac{1}{a^{1/4} U^{5/4}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \quad (3.4)$$

Eş. 3.2 ve 3.3 deki ifadeler yerlerine yazılırsa,

$$\rho(U) = \frac{a}{12\sqrt{2}(0,298A^{1/3})(aU)^{3/2}} \exp(2\sqrt{aU}) \quad (3.5)$$

elde edilir.

Bethe teorisi, çekirdeğin uyarılmasında çekirdek parçacıklarının kolektif hareketlerini dikkate almamaktadır. Oysa, çekirdek hareketlerinde kolektif doğaya sahip enerji seviyelerinin varlığı ihmal edilemez bir gerçektir. Enerji seviyeleri yoğunluğunun hesaplanmasında çekirdeğin kolektif hareketlerini dikkate alan bazı çalışmalar yapılmıştır [Ignatyuk ve ark., 1979; Davydov ve Filippov, 1958; Rohr, 1984]. Fakat karmaşık içeriklerinden dolayı bu denklemlerin kullanımı kolay değildir.

3.2. Deforme Çekirdeklerin Kolektif Band Analizi

Mikroskopik özellikleri tam belirlenemeyen fiziksel sistemlerin incelenmesinde termodinamik kuramların uygulanmasının özellikle yararlı olduğu bilinmektedir. Deforme ağır çekirdeklerin, nadir toprak ve aktinit elementlerin enerji seviyeleri kolektif modlar ile ifade edilmektedir. Bu nedenle bu çekirdeklerin enerji seviyeleri ve diğer özellikleri termodinamik kuramlarla incelenebilir. Söz konusu çift-çift çekirdeklerin temel bandlarında enerji özdeğerleri Bohr ve Mottelson [1969;1975] tarafından verilen dönme enerjisi şeklinde ifade edilmektedir. Bohr ve Mottelson tarafından çift-çift çekirdeklerin uyarılmış durumdaki dönme enerjisi,

$$E_{dön}(I, K) = \frac{\hbar^2}{2} \left[\frac{I(I+1)}{J_0} + \left(\frac{1}{J_3} - \frac{1}{J_0} \right) K^2 \right] \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir. Burada I ve K , sırasıyla bir çekirdeğin toplam açılal momentumu ve açılal momentumun simetri eksenini üzerindeki izdüşümüdür. J_0 eksensel simetriye sahip çekirdeğin simetri eksenine dik bir eksen etrafındaki eylemsizlik momenti, J_3 ise simetri eksenine göre olan eylemsizlik momentini karakterize etmektedir. Çekirdek yüzeyinin kuadropol titreşim yapması göz önüne alınırsa, K açılal momentumunun sıfır olması gerekir. Bu nedenle $J_3=0$ alınırsa, dönme kinetik enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_{dön} = \frac{\hbar^2}{2J_0} I(I+1), \quad I = 0, 1, 2, 3, 4, \dots \quad (3.7)$$

Eş. 3.7 bize dönen bir cismin kuantum mekaniğindeki enerjisini verir. I kuantum sayısının artışı, çekirdeğe dönme enerjisi ilave edilmesine karşılık gelir. Bu enerji seviye artışı pozitif pariteye sahiptir ve taban durumu dönme bandı olarak adlandırılan bir dizi oluşturur. Bir çift- Z ve çift- N 'li çekirdeğin taban durumu daima 0^+ durumudur ve bu çekirdekler için $K=0$ 'dir. Çekirdeğin ayna simetrisi, bu özel durumdaki enerji öz değerlerinin $0^+, 2^+, 4^+, 6^+, \dots$ şeklinde olmasını, yani I 'nin çift değerler almasını sağlar. Bu durumda, Eş. 3.7 aşağıdaki şekilde çift açılal momentum değerlerini alır.

$$E_{dön} = \frac{\hbar^2}{2J_0} I(I+1), \quad I = 0, 2, 4, 6, 8 \dots \quad (3.8)$$

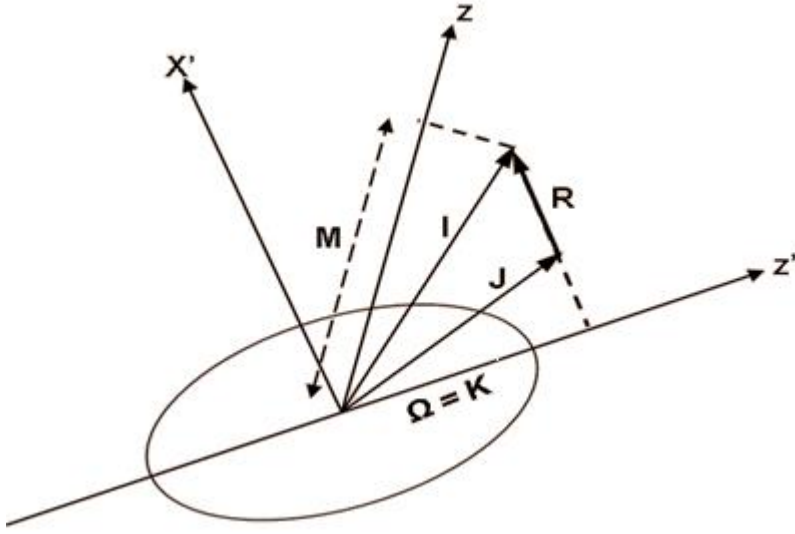
Küresel olmayan çift-çift çekirdeklerin β ve γ olarak adlandırılan uyarılmış bandlarında gözlenen enerji değerleri kolektif doğaya sahiptir [Bohr ve Mottelson, 1969-1975]. β bandı çekirdeğin simetri eksenini koruyan ve $K=0$ olan titreşimler ile tanımlanmaktadır. β -titreşim bandı pozitif pariteye sahiptir ve enerji seviyeleri $0^+, 2^+, 4^+, 6^+, \dots$ şeklinde düzenlenmiş olup başlangıcı w_β titreşim frekansı ile oluşan $\hbar w_\beta$ enerjili 0^+ seviyesidir.

γ -titreşim bandı ise, oldukça düşük uyarılmalar olup, bu titreşim sırasında deformasyon parametresi sabit kalır ve çekirdek gama simetri eksenini etrafında titreşir. Kuantum sayısı $K = 2^+$ olan kollektif titreşimlerle tanımlanmaktadır. Bu titreşim bandının enerji seviyeleri $I = 2^+, 3^+, 4^+, 5^+, \dots$ şeklinde yazılabilir.

Tek A' lı deforme çekirdeklerde gözlemlenen enerji seviyelerinin basit olarak ifade edilmesi eksensel simetrik çift-çift deforme bir kor' daki tek nükleonun çiftlenimine bağlıdır. Verilen bir K değeri için dönme bandının açıl momentum değerleri, $I = K = \Omega, K + 1, K + 2, \dots$ olarak ifade edilir. K ve Ω sırasıyla, toplam açıl momentumun z' simetri eksenindeki izdüşümü ve tek nükleonun açıl momentumunun z' simetri eksenindeki yansıması olup, aşağıdaki enerji seviye aralıklarına sahiptir.

$$\Delta E(I, K) = \frac{\hbar^2}{2J_0} [I(I + 1) - K(K + 1)] \quad (3.9)$$

Deforme hafif tek-tek çekirdeklerin enerji bandları birçok durumda dönme band yapısı ile tanımlanmaktadır [Al-Qurashi ve ark., 2003; Gadioli ve Zetta, 1968]. Bu çekirdeklerdeki kuantum sayısı $K, K = |\Omega_p \pm \Omega_n|$ olarak yazılır. Ω_p ve Ω_n , sırasıyla proton ve nötronun simetri eksenindeki açıl momentumlarının yansımasıdır. K' sı belli olan her bir band, Nilsson [1955] modelinin proton ve nötronunun iç yapısı üzerine kurulmuştur.



Şekil 3.1. Deforme çekirdeğin toplam açısal momentumunun z' eksenine göre izdüşümü

3.3. Enerji Seviye Yoğunluğu Parametresinin Hesaplanması

Enerji seviyeleri yoğunluğu uyarılma enerjisine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\rho(U) = \sum a_i \rho_i(U) \quad (3.10)$$

Burada $\rho(U)$, i . uyarılma enerjisine bağlı kısmi enerji seviyeleri yoğunluğu. a_i ağırlık katsayısıdır ve $\sum_i a_i$ şartına uymaktadır. Burada, enerji seviye yoğunluk parametre hesaplamalarında, kolektif uyarılma yöntemlerini dikkate alan bir ifadeyi kullanmak için, çekirdeklerin önemli bir özelliği olan “uyarılmış enerji seviyelerinin eş aralıklı” olma özelliğinden yararlanılmıştır. Çift-çift çekirdeklerin uyarılmış bandlarının simetri özelliğini tanımlamak için $E_1(I_1^\pi) - E_0(I_0^\pi)$ “birim enerjisi” seçilebilir. Burada $E_0(I_0^\pi)$, spini I_0 ve paritesi π olan en düşük seviyenin enerjisi, $E_1(I_1^\pi)$ ise uygun kuantum sayıları I_1 ve π olan ve $E_0(I_0^\pi)$ seviyesi üzerinde bulunan birinci uyarılmış seviyenin enerjisidir. Uyarılmış enerji bandlarındaki enerji oranlarının hesaplanmasında, temel bandlar için verilen oranların yerine,

$$R_n \equiv \frac{E_n(I_n^\pi) - E_0(I_0^\pi)}{E_1(I_1^\pi) - E_0(I_0^\pi)} \quad (3.11)$$

oranı yazılabilir ve burada $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ' dir. Bu oran deneysel veriler dikkate alındığında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_1 : R_2 : R_3 : R_4 : \dots = r : 2r : 3r : \dots \quad (3.12)$$

Burada, $R_1 : R_2 : R_3 : R_4 : \dots$ uygun bir bandın ayrılma enerji birimine göre ardışık seviye enerjilerinin oranıdır. Eş. 3.12 deki r ;

$$r \equiv R_2 = \frac{E_2(I_2^\pi) - E_0(I_0^\pi)}{E_1(I_1^\pi) - E_0(I_0^\pi)} \quad (3.13)$$

ile tanımlanmakta olup, değişik enerji bandları için bu oranın değeri 2 ile 3.3 arasındadır. Buna bağlı olarak herhangi bir i ' inci bandın enerji seviye yoğunluğu;

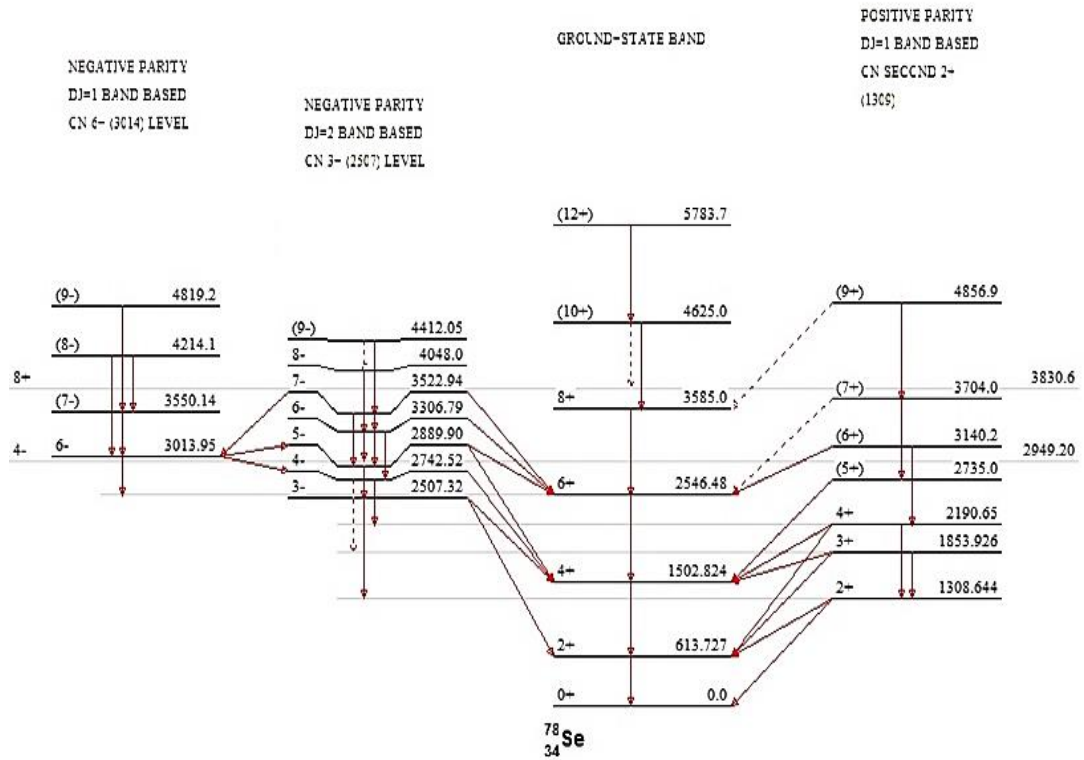
$$\rho_i(U, \varepsilon_{0i}) \cong \frac{\pi^2 a_{0i}}{24\sqrt{3}(a_{0i}U)^{3/2}} \exp(2\sqrt{a_{0i}U}) \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilir [Ahmedov ve ark., 2002; Okuducu ve Ahmedov, 2003; Okuducu ve ark., 2006]. Burada;

$$a_{0i} = \frac{\pi^2}{6\varepsilon_{0i}} \quad (3.15)$$

a_{0i} ; ε_{0i} birim enerji ile birlikte i ' inci banda karşılık gelen kolektif seviye yoğunluk parametresidir ve bu parametre birim enerji aralığına ε_{0i} düşen enerji seviyelerinin sayısını verir. Astrofizik Se çekirdeği için elde edilen spektrum Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Tek- A' lı ve tek-tek çekirdeklere birim enerji, ilk uyarılmış durum enerjisi veya verilen K kuantum sayısı ile birlikte birinci ve ikinci uyarılmış

durumlara karşılık gelen bandları ayırma enerjisidir. Bu band enerjileri yaklaşık olarak Eş. 3.13' ü sağlamaktadır. Eş. 3.3 ve Eş. 3.5 farklı yaklaşımlardan elde edildiği halde, iki eşitlik de benzer enerji bağılılığı göstermektedir [Ahmedov ve ark., 2002; Okuducu ve Ahmedov, 2003; Okuducu ve ark., 2006]. Bu çalışmada da, bazı deforme çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametre değerlerinin hesaplanmasında kollektif uyarılma modlarının dikkate alınmasıyla elde edilen Eş. 3.15 kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Se çekirdeğinin taban durum, pozitif ve negatif bandları

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, $40 < A < 100$ aralığındaki astrofizik çekirdekler tercih edilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli makalelerde ve deneysel verilerden elde edilen çekirdeklerin (^{42}Ca , ^{44}Ti , ^{60}Fe , ^{64}Ni , ^{64}Zn , ^{68}Se , ^{82}Ge , ^{90}Sr , ^{96}Ru) ve izotoplarının uyarılma enerjilerinin değişimleri de göz önüne alınarak nükleer enerji seviye yoğunluğu parametreleri incelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda enerji seviyelerinin eş aralıklı olduğunu ve nükleonların kolektif hareketlerini esas alan model kullanılmaktadır. Ayrıca TALYS 1.4 paket programı kullanılarak her bir astrofizik çekirdek ve izotoplarının enerji seviye yoğunluk parametreleri üç farklı modele göre (CTM – BSFGM - EGSM) hesaplandı. Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer teorik ve deneysel verilerle karşılaştırıldı ve uyum içinde olduğu görüldü.

Talys, Linux işletim sisteminde çalışan ve fortran programlama diline sahip, nükleer reaksiyonların analizi ve tahmini için oluşturulmuş bir bilgisayar kod programıdır. Simülasyon reaksiyonlarda, nötron, proton, döteryum, trityum, ^3He , α parçacıkları ve γ ışınları 1 keV – 250 MeV enerji bölgesinde çalışılabilir. Hedef çekirdek kütleleri için 12 ve daha ağır kütleli olma şartı vardır [Koning ve Duijvestijn, 2007]. Çalışmada kullanılan Talys 1.4 sürümü $5 < A \leq 339$ aralığındaki çekirdekler için geliştirilmiştir. Nükleer model ve süreçlerin veri tabanı ile kombinasyonlarında, optik model, birleşik çekirdek istatistiksel teori, doğrudan reaksiyonlar (elastik ve elastik olmayan saçılmalar) ve denge öncesi süreçler teorik analiz tabanında yapılabilmektedir [Koning ve Duijvestijn, 2006].

Talys 1.4 sürümünün 1.2' deki farklarından biri seviye yoğunluk hesaplamalarında 5 farklı seviye yoğunluk modelini çıktılarda ayrı ayrı hesaplayabilmesidir. Program hesaplamalarında en büyük kolaylık olan anahtar kelimeler arasına "lmodel" ifadesi yerleştirilmiştir. Bu sayede her bir farklı model için hesaplama elde edilebilmektedir. Çıktı dosyalarında her bir seviye yoğunluk parametresi, farklı bir dosya ismi ile kaydedilebilir. Oluşturulan input dosyasına yerleştirilen anahtar kelime sayesinde

farklı hesaplama sonuçlarını output dosyasında oluşturulabiliyor. EK-1 ve EK-2 de bir input ve output dosyası örneği bulunmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan üç modelde (CTM – BSFGM - EGSM) kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir.

Fermi Gaz Modelinde durum yoğunluğu;

$$\rho_F^{top}(E_x) = \frac{w_F^{top}(E_x)}{\sqrt{2\pi\sigma}} \quad (4.1)$$

gibi ifade edilir. $w_F^{top}(E_x)$ iki fermiyon sistemine göre toplam Fermi Gaz durum yoğunluğu enerjisi, σ ise spin dağılım parametresidir. Buradan;

$$w_F^{top}(E_x) = \frac{\sqrt{\pi} \exp[2\sqrt{aU}]}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad \text{ve} \quad U = E_x - \Delta \quad (4.2)$$

genel ifadeleri ortaya çıkar. U etkin uyarılma enerjisi, E_x gerçek uyarılma enerjisi ve Δ ise çiftlenim (enerjiler arasındaki etkileşim oranı) parametresidir. Eş. 4.2' deki a ifadesi enerji seviye yoğunluk parametresi,

$$a = a(E_x) = \tilde{a} \left(1 + \delta W \frac{1 - \exp[-\gamma U]}{U} \right) \quad (4.3)$$

ile ifade edilir. Burada γ sönmüleme parametresi ve δW ifadesi kabuk düzeltme enerjisidir. Kollektif modele göre \tilde{a} ifadesi aşağıdaki tablo yardımı ile Eş. 4.4' den hesaplanabilir.

$$\tilde{a} = \alpha A + \beta A^{2/3} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.1 CTM – BSFGM - EGSM modelleri için genel parametreler

Model	α	β	γ	δ_{genel}
CTM	0,02073	0,22953	0,47362	-
BSFGM	0,03815	0,10537	0,54647	0,74322
EGSM	0,03577	0,13530	0,69966	-0,14910

Burada fark oluşturan parametrelerden en önemlisi ise çiftlenim parametresidir. Her bir model için çiftlenim parametresi aşağıda verilmektedir. CTM modeli için çiftlenim parametresi,

$$\Delta^{CTM} = X \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (4.5)$$

olup bu ifadedeki düzeltme yardımı ile sabit sıcaklık değerlerinde proton-nötron sayılarının tek-tek, tek-çift ve çift-çift değerine göre azaltma parametresi X 0,1 veya 2 değerlerinden birini alır.

BSFGM modeli için çiftlenim parametresi ifadesi;

$$\Delta^{BSFGM} = X \frac{12}{\sqrt{A}} + \delta \quad (4.6)$$

EGSM modeli için ise çiftlenim parametresi ifadesi ise;

$$\Delta_0 = \frac{12}{\sqrt{A}} \quad \text{ve} \quad \Delta^{EGSM} = E_x - X \frac{12}{\sqrt{A}} - \delta \quad (4.7)$$

olup Eş. 4.5 – 4.7’ deki azaltma parametresi X , Çizelge 4.1’ deki δ parametresi kullanılarak proton-nötron sayılarının tek-tek, tek-çift ve çift-çift ifadesine göre 0,1 veya 2 değerlerinden birini alır.

Son olarak δW kabuk düzeltme enerjisi Eş. 4.8 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\delta W = M_{deneysel} - M_{SDM} \quad (4.8)$$

Burada $M_{deneysel}$ çekirdeğin deneysel kütlesi , M_{SDM} ise küresel sıvı damla modeli kütlesini ifade etmektedir. İki kütle arasında fark ise kabuk düzeltme enerjisini vermektedir.

Çeşitli paket programlar yardımı ile nükleer fizik reaksiyonlarının hesaplanması mümkündür. Bu modeller arasından istenilenin seçilmesi programın benzetim yapabilme becerisine bağlıdır. Talys 1.4 benzetim programı, seviye yoğunluk hesaplamalarında başarılıdır.

Bunlara ek olarak astrofizik çekirdeklerin ve izotoplarının nükleer enerji seviye yoğunluğunu hesaplayabilmek için enerji spektrumları dikkate alınmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan çekirdek spektrumları, taban durum ve uyarılmış seviyelerin enerji değerleri, bilgisayar-internet destekli deneysel çalışmalar yapan bir program yardımı ile elde edilmiştir [NUDAT, 2001]. Bu spektrumdan elde edilen nükleer enerji seviye yoğunluk parametrelerini çeşitli makalelerdeki diğer hesaplama yöntemleri ile karşılaştırma imkânı vardır. EK-3' de taban durum için örnek bir spektrum hesaplaması bulunmaktadır.

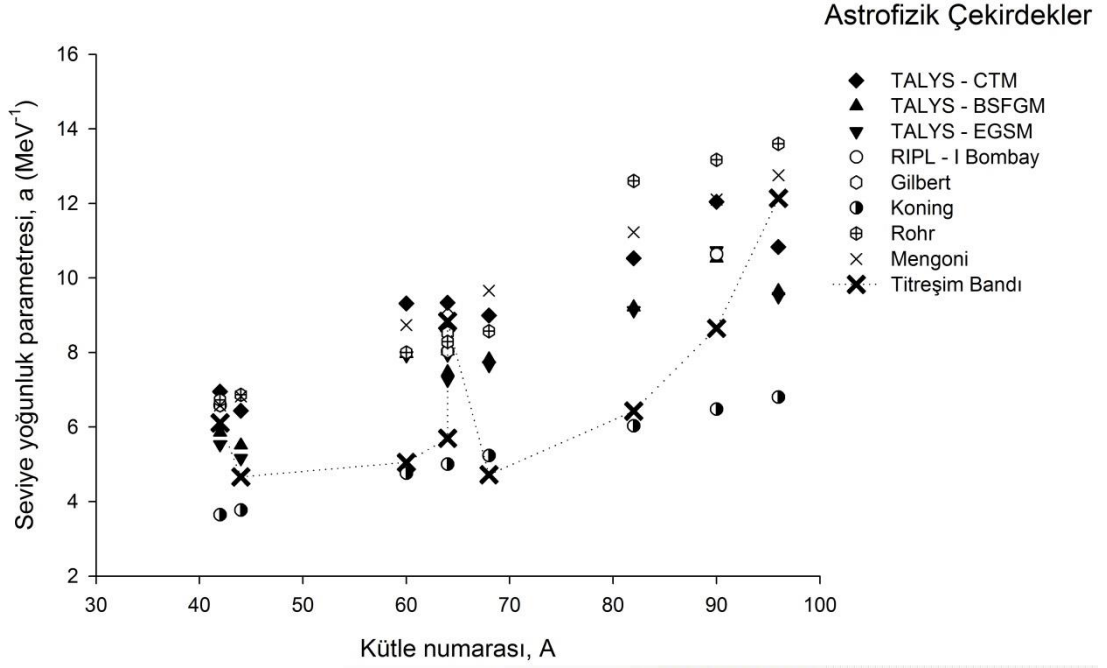
5. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

Bu çalışmada kütle numarası $40 < A < 100$ bölgesinde bulunan deforme astrofizik çekirdeklerin ve bunların izotoplarının nükleer enerji seviye yoğunluk parametreleri farklı yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada öncelikle ilgili çekirdeklerin parametreleri TALYS 1.4 paket programda yer alan üç farklı model ile (CTM – BSFGM - EGSM) hesaplanmıştır. Sonra Isotope Explorer 2.23 spektrum programı ile titreşim ve dönme bandlarını dikkate alan kolektif model kullanılarak hesaplanmıştır. Bu farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar başka deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Çalışılan bütün astrofizik ve izotoplarının parametre sonuçları ve derlenen sonuçlar Çizelge 5.1-5.10' da gösterilmiştir. Aynı zamanda bu çekirdeklerin elde edilen parametre sonuçlarının kütle numaralarına göre değişim grafiği Şekil 5.1-5.11' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Astrofizik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre dağılımı

Çekirdek	TALYS CTM	TALYS BSFGM	TALYS EGSM	RIPL – I Bombay	Gilbert	Koning	Rohr	Mengoni	Hesaplan n Titreşim Bandı
$^{42}_{20}\text{Ca}$	6,95	5,85	5,53	6,58	6,58	3,64	6,72	6,57	6,11
$^{44}_{22}\text{Ti}$	6,43	5,51	5,15	-	-	3,77	6,86	6,82	4,66
$^{60}_{26}\text{Fe}$	9,31	7,96	7,92	-	-	4,76	8,00	8,73	5,04
$^{64}_{28}\text{Ni}$	9,33	8,03	7,94	-	8,52	4,99	8,28	9,19	5,69
$^{64}_{30}\text{Zn}$	8,58	7,47	7,25	8,03	8,03	4,99	8,28	9,19	8,83
$^{68}_{34}\text{Se}$	8,99	7,82	7,65	-	-	5,23	8,56	9,65	4,71
$^{82}_{32}\text{Ge}$	10,52	9,21	9,12	10,63	-	6,03	12,60	11,22	6,42
$^{90}_{38}\text{Sr}$	12,04	10,52	10,72	-	-	6,47	13,17	12,10	8,64
$^{96}_{44}\text{Ru}$	10,82	9,64	9,50	-	-	6,80	13,59	12,75	12,13

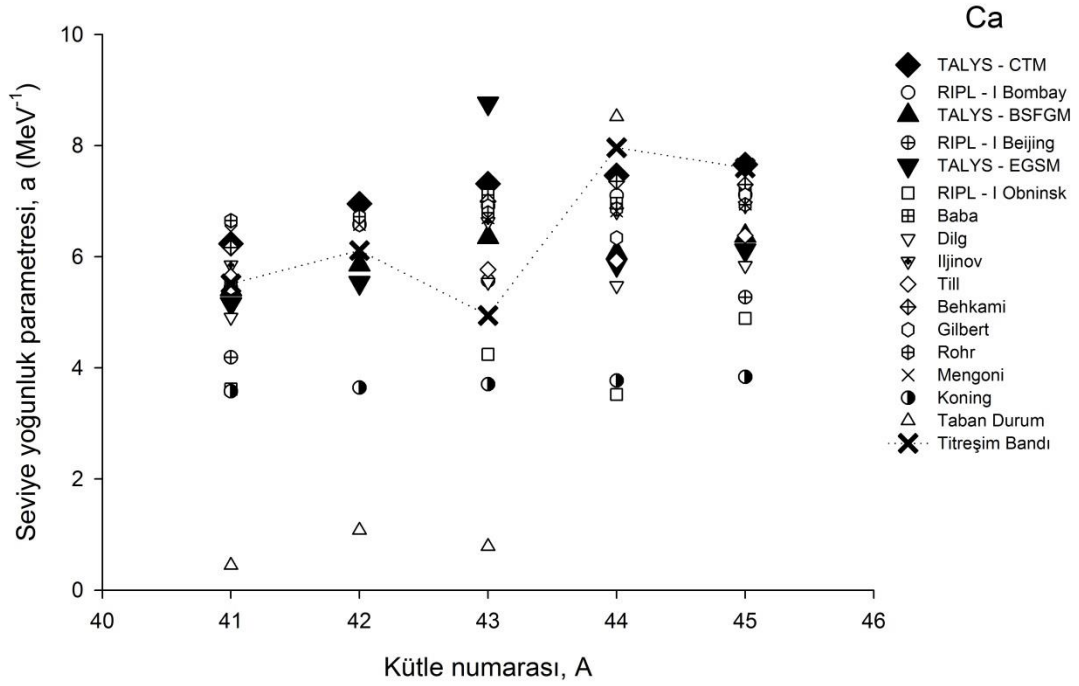


Şekil 5.1. Astrofizik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

^{42}Ca , ^{44}Ti , ^{60}Fe , ^{64}Ni , ^{64}Zn , ^{68}Se , ^{82}Ge , ^{90}Sr ve ^{96}Ru astrofizik çekirdekler için hesaplamalarda titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) dikkate alınmıştır. Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1' e göre titreşim bandından elden edilen sonuçlar, TALYS 1.4 programından hesaplanan parametre sonuçları genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.2. $^{41-45}\text{Ca}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – I Bombay	TALYS BSFGM	RIPL – I Beijing	TALYS EGSM	RIPL – I Obninsk	Baba	Dilg	Iljinov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{41}_{20}\text{Ca}$	6,23	5,44	5,41	4,19	5,15	3,62	5,49	4,91	5,85	5,65	6,17	5,44	6,65	6,45	3,58	0,45	5,51
$^{42}_{20}\text{Ca}$	6,95	6,58	5,86	-	5,53	-	-	-	-	-	-	6,58	6,72	6,58	3,64	1,08	6,11
$^{43}_{20}\text{Ca}$	7,31	6,91	6,35	5,57	8,76	4,24	7,11	5,54	6,63	5,77	7,00	6,91	6,79	6,70	3,71	0,78	4,94
$^{44}_{20}\text{Ca}$	7,47	7,10	6,07	5,90	5,85	3,52	6,96	5,48	6,81	5,93	7,36	6,34	6,86	6,82	3,77	8,52	7,96
$^{45}_{20}\text{Ca}$	7,66	7,12	6,37	5,27	6,12	4,89	7,20	5,84	6,92	6,38	7,30	7,11	6,94	6,95	3,84	-	7,60

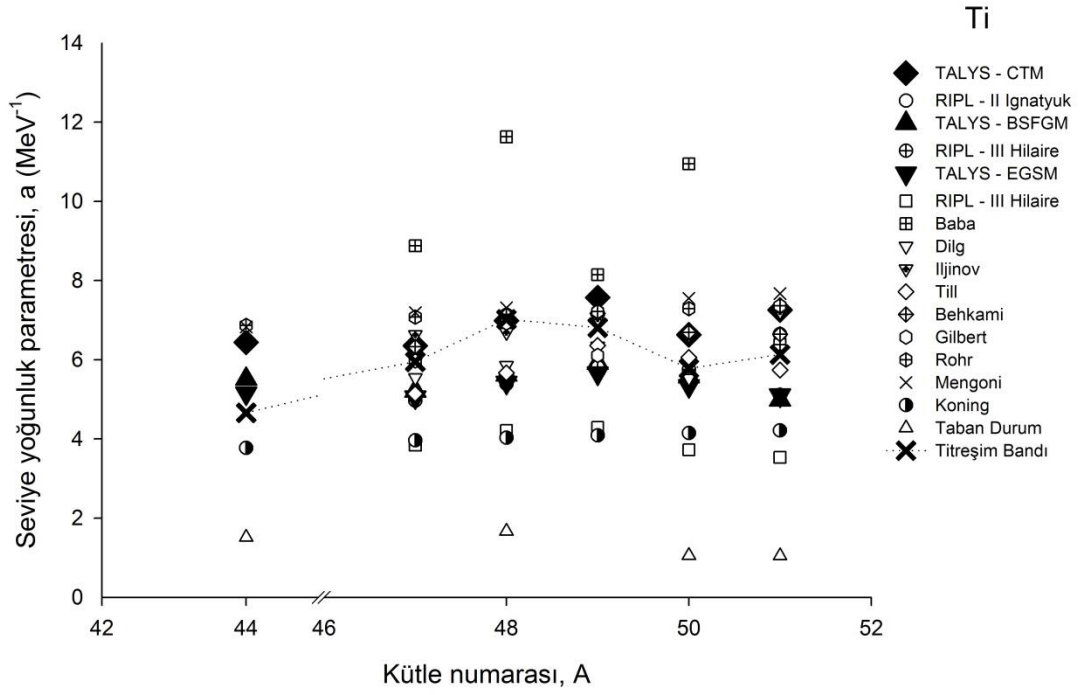


Şekil 5.2. $^{41-45}\text{Ca}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ^{42}Ca çekirdeği ve bazı izotopları ^{41}Ca , ^{43}Ca ve ^{44}Ca için hesaplamalarda titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Ancak ^{45}Ca çekirdeği için taban durum bandı hesaplanamamıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2' de gösterilmiş olup, titreşim bandının taban durum bandına göre daha etkin olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.3. ^{44}Ti ve $^{47-51}\text{Ti}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS BSFGM	RIPL – III Hilaire	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Iljinov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{44}_{22}\text{Ti}$	6,44	-	5,51	-	5,15	-	-	-	-	-	-	-	6,86	6,82	3,77	1,52	4,66
$^{47}_{22}\text{Ti}$	6,35	6,33	5,21	4,96	5,05	3,84	8,88	5,54	6,63	5,14	6,33	5,97	7,08	7,19	3,96	-	5,95
$^{48}_{22}\text{Ti}$	6,99	6,92	5,62	5,39	5,42	4,21	11,63	5,85	6,69	5,67	6,92	6,93	7,15	7,31	4,03	1,67	7,02
$^{49}_{22}\text{Ti}$	7,57	7,17	5,92	5,81	5,66	4,29	8,15	6,34	7,03	6,36	7,17	6,11	7,22	7,43	4,09	-	6,81
$^{50}_{22}\text{Ti}$	6,63	6,69	5,57	5,75	5,34	3,73	10,94	5,53	6,62	6,06	6,69	-	7,29	7,55	4,15	1,06	5,78
$^{51}_{22}\text{Ti}$	7,26	6,64	4,99	5,11	5,10	3,54	6,38	-	7,21	5,74	6,64	-	7,36	7,67	4,21	1,05	6,13

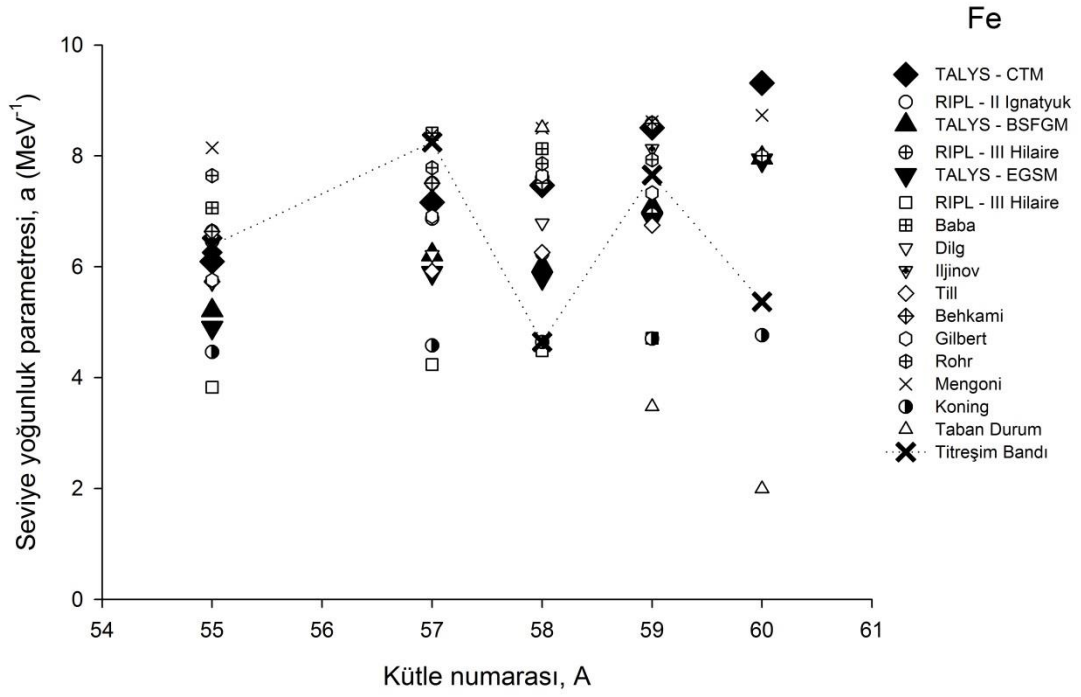


Şekil 5.3. ^{44}Ti ve $^{47-51}\text{Ti}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ^{44}Ti çekirdeğinin ve bazı izotopları ^{44}Ti , ^{48}Ti , ^{50}Ti ve ^{51}Ti için hesaplamalarda titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı, ^{47}Ti ve ^{49}Ti izotoplarında ise sadece titreşim bandları dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3' de gösterilmiştir. TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre sonuçlarının genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.4. ^{55}Fe ve $^{57-60}\text{Fe}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS BSFGM	RIPL – III Hilaire	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Iljinov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{55}_{26}\text{Fe}$	6,10	6,64	5,21	6,46	4,90	3,83	7,06	5,70	6,50	5,73	6,64	5,76	7,65	8,15	4,46	-	6,39
$^{57}_{26}\text{Fe}$	7,16	7,51	6,22	6,87	5,89	4,24	8,41	6,22	7,47	5,92	7,51	6,91	7,79	8,38	4,58	-	8,25
$^{58}_{26}\text{Fe}$	7,47	7,61	6,02	6,24	5,80	4,49	8,13	6,79	7,55	6,26	7,51	7,65	7,86	8,50	4,64	8,51	4,64
$^{59}_{26}\text{Fe}$	8,51	8,59	7,09	6,94	6,85	4,71	-	-	8,13	6,75	8,59	7,33	7,93	8,62	4,70	3,48	7,66
$^{60}_{26}\text{Fe}$	9,32	-	7,97	-	7,92	-	-	-	-	-	-	-	8,00	8,73	4,76	2,00	5,37

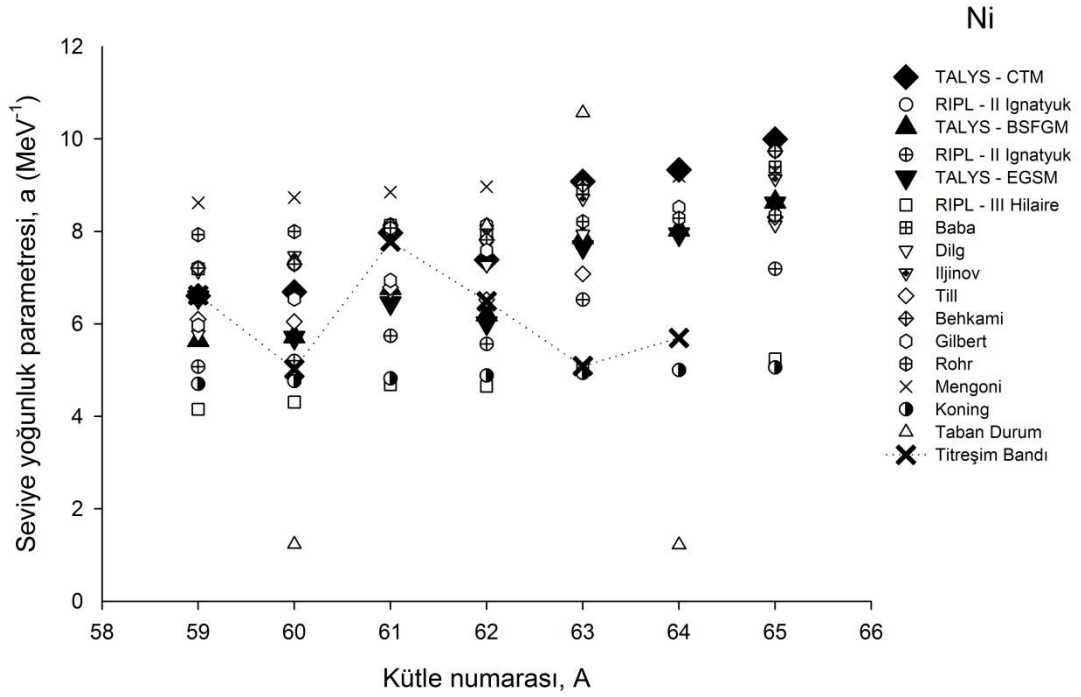


Şekil 5.4. ^{55}Fe ve $^{57-60}\text{Fe}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ^{60}Fe çekirdeği ve $^{58-59}\text{Fe}$ izotopları için hesaplamalarda titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Ancak ^{55}Fe ve ^{57}Fe izotoplarının enerji spektrumundan taban durum bandları elde edilememiştir. Bu nedenle bu izotopların sadece titreşim bandları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4 ve Şekil 5.4' de gösterilmiştir. TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre sonuçları genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.5. $^{59-65}\text{Ni}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS BSFGM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Ijnov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{59}_{28}\text{Ni}$	6.60	7.20	5.64	5.07	6.57	4.15	7.19	5.77	7.14	6.10	7.20	5.97	7.92	8.61	4.70	-	6.62
$^{60}_{28}\text{Ni}$	6.69	7.29	5.72	5.20	5.70	4.30	-	-	7.47	6.05	7.29	6.54	8.00	8.73	4.76	1.23	5.02
$^{61}_{28}\text{Ni}$	7.97	8.13	6.76	5.73	6.44	4.68	8.13	6.69	7.91	6.79	8.13	6.94	8.07	8.84	4.82	-	7.78
$^{62}_{28}\text{Ni}$	7.38	7.81	6.19	5.56	6.01	4.64	8.02	7.27	8.05	6.52	7.81	7.59	8.14	8.96	4.88	8.13	6.48
$^{63}_{28}\text{Ni}$	9.08	9.00	7.87	6.52	7.66	5.02	8.93	7.94	8.71	7.08	9.00	--	8.21	9.08	4.94	10.56	5.08
$^{64}_{28}\text{Ni}$	9.33	-	8.03	-	7.94	-	-	-	-	-	-	8.52	8.28	9.19	4.99	1.22	5.69
$^{65}_{28}\text{Ni}$	9.99	9.73	8.63	7.19	8.60	5.24	9.39	8.14	9.14	8.31	9.73		8.35	9.31	5.05	-	-

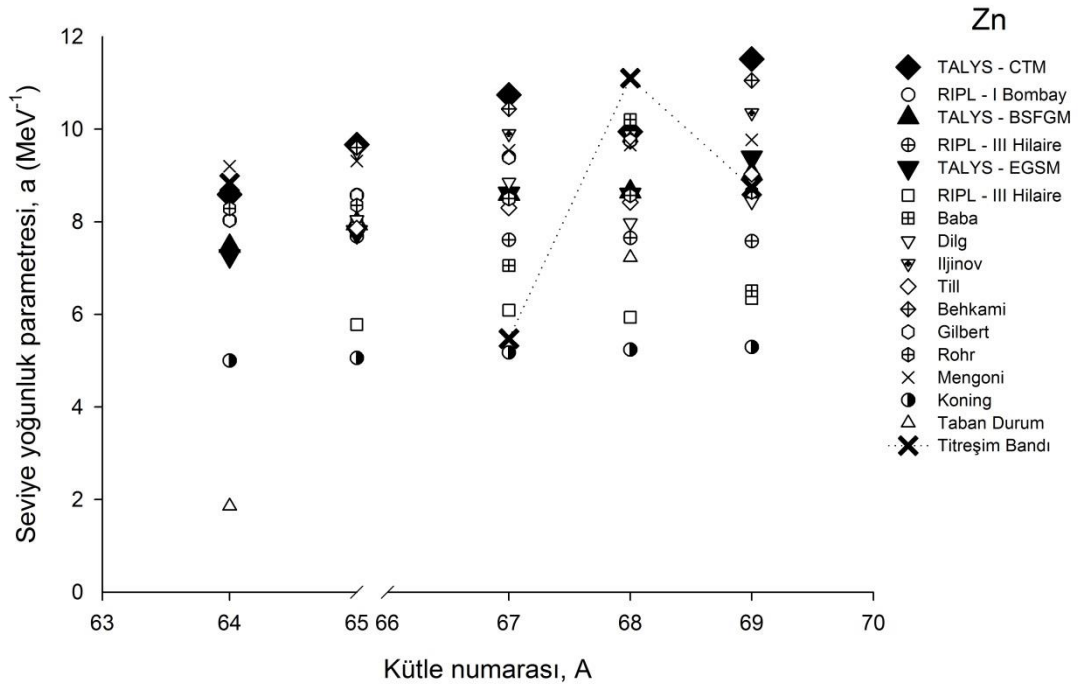


Şekil 5.5. ⁵⁹⁻⁶⁵Ni izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ⁶⁴Ni çekirdeği ve ⁶⁰Ni, ⁶²Ni, ⁶³Ni ve ⁶⁴Ni izotopları için hesaplanan titreşim bantları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Ancak ⁵⁹Ni, ⁶¹Ni ve ⁶⁵Ni izotoplarının enerji spektrumundan taban durum bantları elde edilememiştir. Bu nedenle bu izotopların sadece titreşim bantları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5 ve Şekil 5.5' de gösterilmiştir. TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre sonuçları genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.6. $^{64-65}\text{Zn}$ ve $^{67-69}\text{Zn}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – I Bombay	TALYS BSFGM	RIPL – III Hilaire	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Ijginov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mergoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{64}_{30}\text{Zn}$	8,59	8,03	7,47	-	7,26	-	-	-	-	-	-	8,03	8,28	9,20	5,00	1,86	8,84
$^{65}_{30}\text{Zn}$	9,67	8,57	7,96	7,68	7,78	5,78	7,99	8,04	9,51	7,86	9,60	8,57	8,36	9,31	5,06	-	-
$^{67}_{30}\text{Zn}$	10,74	9,39	8,60	7,61	8,61	6,09	7,05	8,85	9,90	8,30	10,43	9,39	8,50	9,54	5,18	-	5,47
$^{68}_{30}\text{Zn}$	9,95	9,75	8,65	7,65	8,59	5,94	10,20	7,97	9,88	8,42	9,74	9,75	8,57	9,65	5,23	7,23	11,10
$^{69}_{30}\text{Zn}$	11,51	-	9,04	7,58	9,39	6,34	6,50	8,43	10,35	9,03	11,05	-	8,64	9,77	5,29	-	8,74

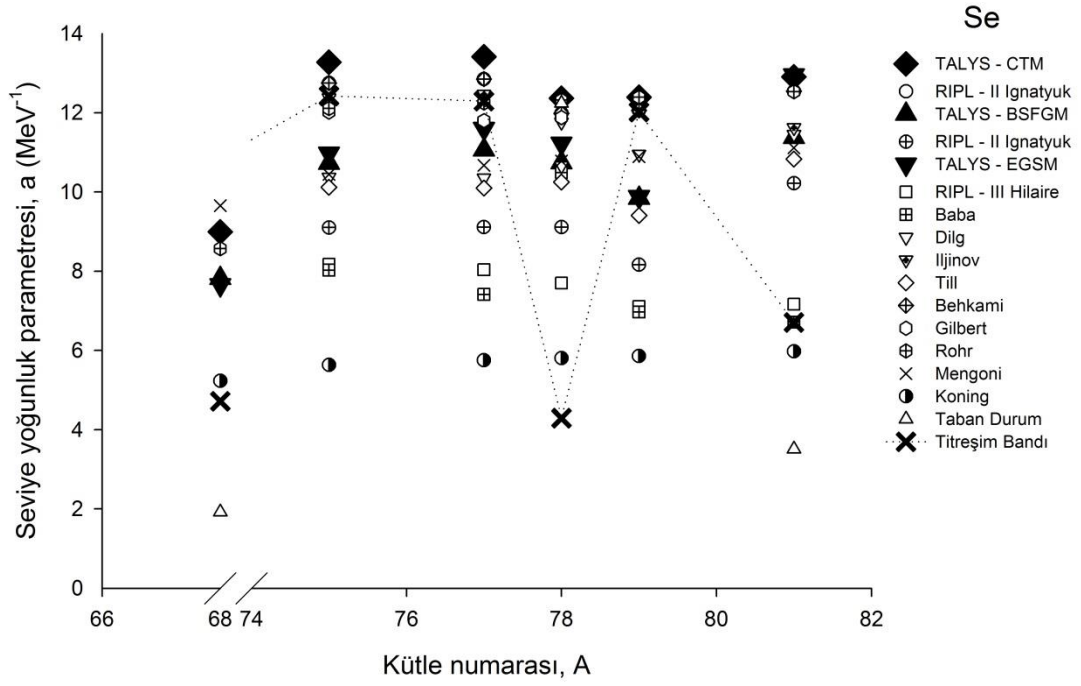


Şekil 5.6. $^{64-65}\text{Zn}$ ve $^{67-69}\text{Zn}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ^{64}Zn çekirdeği ve ^{68}Zn izotopu için hesaplanan titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandları dikkate alınmıştır. Ancak ^{65}Zn , ^{67}Zn ve ^{69}Zn izotoplarının enerji spektrumundan taban durum bandları elde edilememiştir. Bu nedenle bu izotopların sadece titreşim bandları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6 ve Şekil 5.6' da gösterilmiştir. TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre sonuçları genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.7. ^{68}Se , ^{75}Se , ^{77}Se , $^{78-79}\text{Se}$ ve ^{81}Se izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS BSFGM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Ijginov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{68}_{34}\text{Se}$	8,99	-	7,82	-	7,65	-	-	-	-	-	-	-	8,57	9,65	5,23	1,92	4,72
$^{75}_{34}\text{Se}$	13,28	12,75	10,73	9,10	10,97	8,17	8,03	10,37	12,37	10,12	12,75	12,02	12,11	10,45	5,64	-	12,42
$^{77}_{34}\text{Se}$	13,41	12,85	11,06	9,11	11,60	8,04	7,42	10,35	12,46	10,10	12,85	11,80	12,25	10,67	5,75	-	12,29
$^{78}_{34}\text{Se}$	12,37	11,98	10,74	9,12	11,22	7,70	10,49	10,66	11,76	10,25	11,98	11,88	12,32	10,78	5,81	12,24	4,30
$^{79}_{34}\text{Se}$	12,39	12,06	9,84	8,17	9,88	7,11	6,97	10,95	12,10	9,41	12,06	-	12,39	10,89	5,86	-	12,02
$^{81}_{34}\text{Se}$	12,90	12,54	11,38	10,22	12,95	7,17	6,72	11,45	11,62	10,83	12,54	-	12,53	11,12	5,98	3,51	6,71

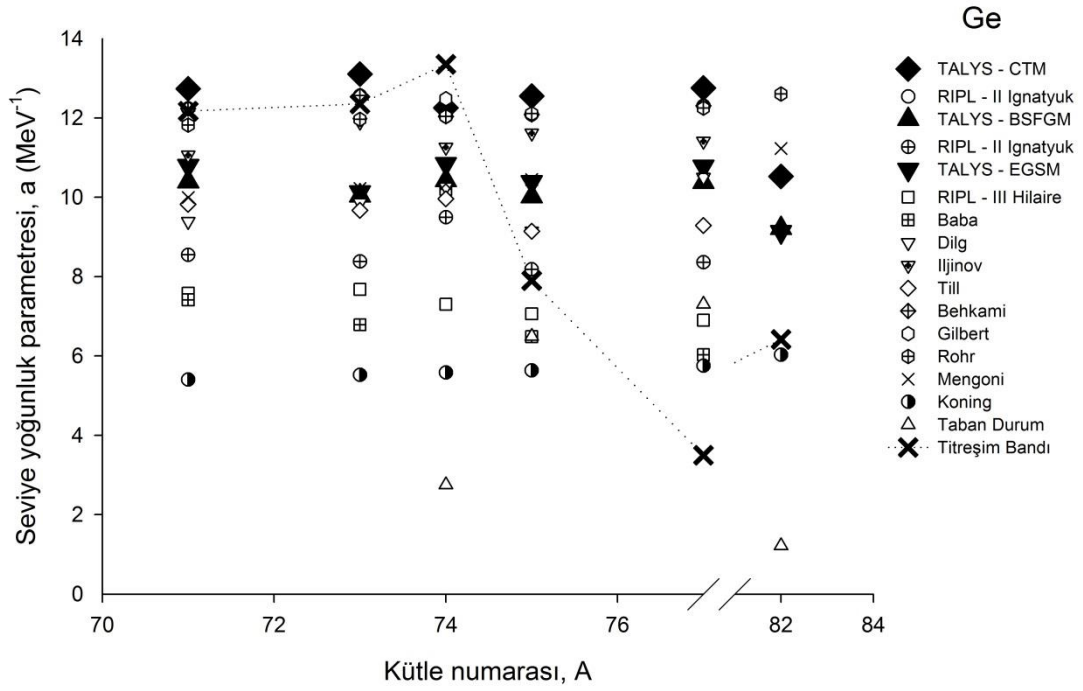


Şekil 5.7. ^{68}Se , ^{75}Se , ^{77}Se , $^{78-79}\text{Se}$ ve ^{81}Se izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ^{81}Se çekirdeği ve ^{68}Se , ^{78}Se ve ^{81}Se izotopları için hesaplanan titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Ancak ^{75}Se , ^{77}Se ve ^{79}Se izotoplarının enerji spektrumundan taban durum bandları elde edilememiştir. Bu nedenle bu izotopların sadece titreşim bandları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7 ve Şekil 5.7' de gösterilmiştir. TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre sonuçları genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.8. ^{71}Ge , $^{73-75}\text{Ge}$, ^{77}Ge ve ^{82}Ge izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS BSFGM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Iljinov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{71}_{32}\text{Ge}$	12,73	12,23	10,39	8,55	10,79	7,59	7,42	9,39	11,06	9,82	12,23	-	11,82	10,00	5,41	-	12,17
$^{73}_{32}\text{Ge}$	13,10	12,56	10,04	8,38	10,13	7,68	6,79	9,86	11,89	9,67	12,56	-	11,96	10,22	5,52	-	12,35
$^{74}_{32}\text{Ge}$	12,25	12,04	10,43	9,50	10,84	7,31	10,20	10,26	11,26	9,96	12,04	12,48	12,03	10,33	5,58	2,76	13,35
$^{75}_{32}\text{Ge}$	12,55	12,09	10,02	8,18	10,39	7,06	6,49	9,14	11,61	9,14	12,09	-	12,11	10,45	5,64	6,49	7,90
$^{77}_{32}\text{Ge}$	12,75	12,30	10,38	8,36	10,78	6,90	6,03	10,50	11,41	9,29	12,30	-	12,25	10,67	5,75	7,31	3,50
$^{82}_{32}\text{Ge}$	10,52	-	9,22	-	9,13	-	-	-	-	-	-	-	12,60	11,23	6,03	1,22	6,42

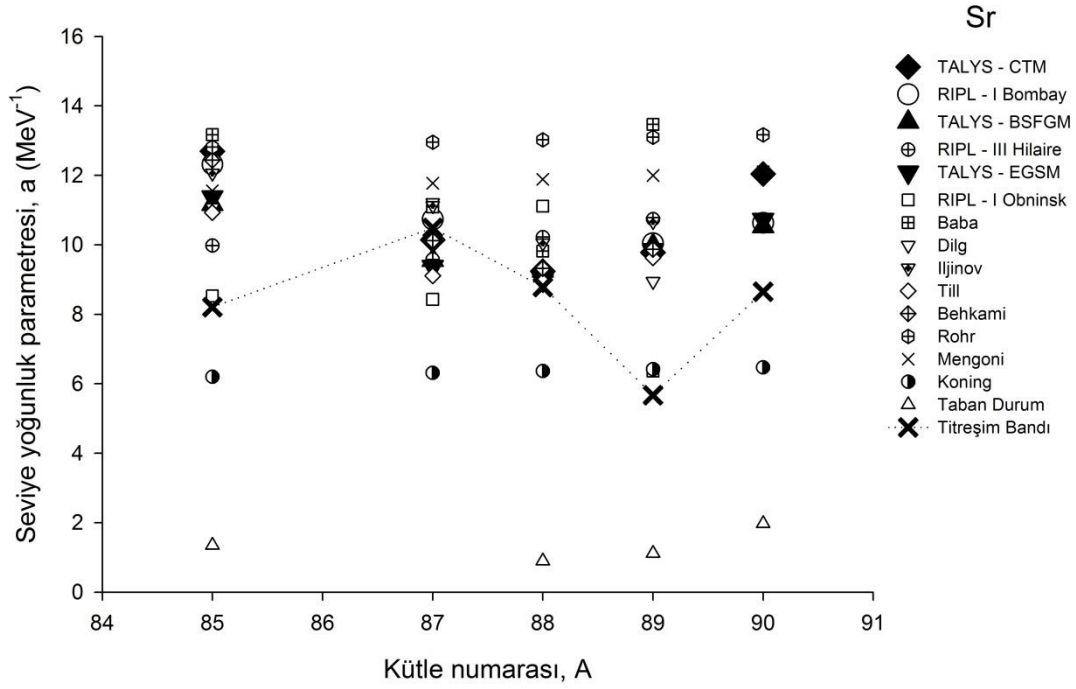


Şekil 5.8. ^{71}Ge , $^{73-75}\text{Ge}$, ^{77}Ge ve ^{82}Ge izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi.

Astrofizik ^{82}Ge çekirdeği ve $^{74-75}\text{Ge}$, ^{77}Ge ve ^{82}Ge izotopları için hesaplanan titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Ancak ^{71}Ge ve ^{73}Ge izotoplarının enerji spektrumundan taban durum bandları elde edilememiştir. Bu nedenle bu izotopların sadece titreşim bandları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Ancak ^{77}Ge çekirdeğinde taban durum bandının titreşim bandından daha etkin olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8 ve Şekil 5.8' de gösterilmiştir. TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre sonuçları genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde (^{77}Ge hariç) olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.9. ^{85}Sr ve $^{87-90}\text{Sr}$ izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – I Bombay	TALYS BSFGM	RIPL – III Hilaire	TALYS EGSM	RIPL – I Obninsk	Baba	Dilg	Ijnov	Till	Behkami	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{85}_{38}\text{Sr}$	12,70	12,31	11,17	9,98	11,37	8,53	13,17	11,07	12,06	10,93	12,44	12,82	11,56	6,20	1,35	8,21
$^{87}_{38}\text{Sr}$	10,14	10,73	9,56	9,57	9,37	8,43	11,09	11,21	11,13	9,11	10,12	12,96	11,78	6,31	-	10,49
$^{88}_{38}\text{Sr}$	9,24	-	9,25	10,22	8,98	11,11	9,82	9,25	10,05	8,95	9,32	13,03	11,89	6,37	0,89	8,79
$^{89}_{38}\text{Sr}$	9,78	10,04	9,98	10,74	9,86	6,37	13,47	8,95	10,67	9,63	9,88	13,10	12,00	6,42	1,12	5,67
$^{90}_{38}\text{Sr}$	12,04	10,63	10,53	-	10,73	-	-	-	-	-	-	13,17	12,10	6,48	1,98	8,65

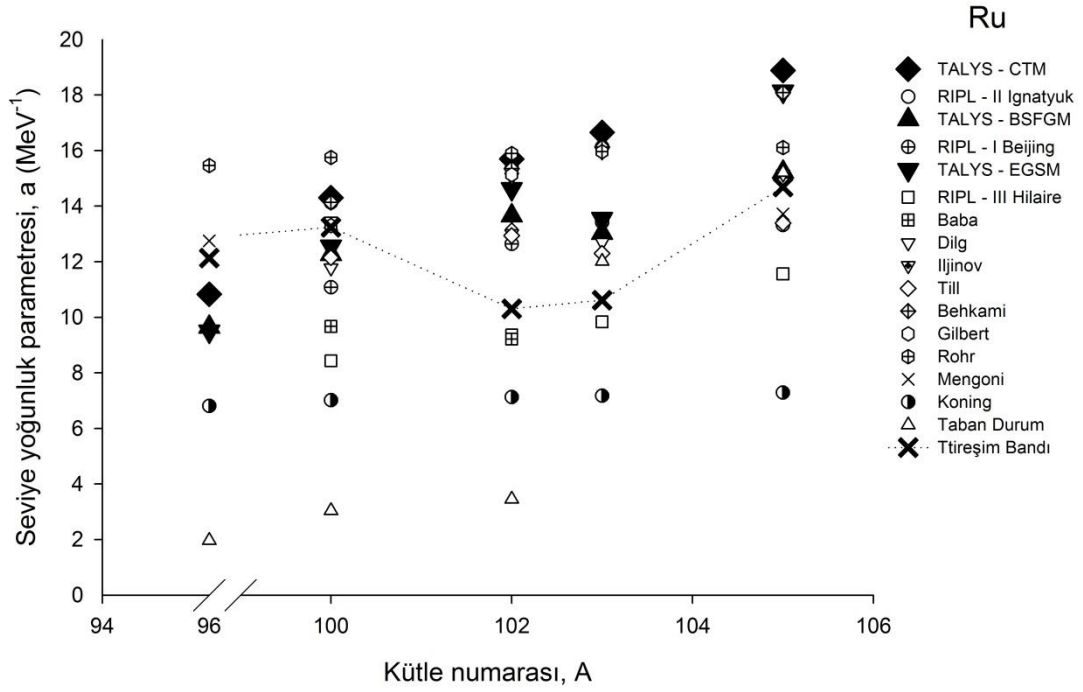


Şekil 5.9. ⁸⁵Sr ve ⁸⁷⁻⁹⁰Sr izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ⁹⁰Sr çekirdeği ve ⁸⁵Sr ve ⁸⁸⁻⁹⁰Sr izotopları için hesaplanan titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Ancak ⁸⁷Sr izotopunun taban durum bandı enerji spektrumundan gözlenememiştir. Bu nedenle bu izotopun sadece titreşim bandları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9 ve Şekil 5.9' da gösterilmiştir. Taban durum bandından elde edilen sonuçlar da, titreşim bandından elde edilen değerlere göre büyük sapmalar vardır. Bu nedenle TALYS 1.4 programından ve titreşim bandından hesaplanan parametre değerleri genel olarak diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

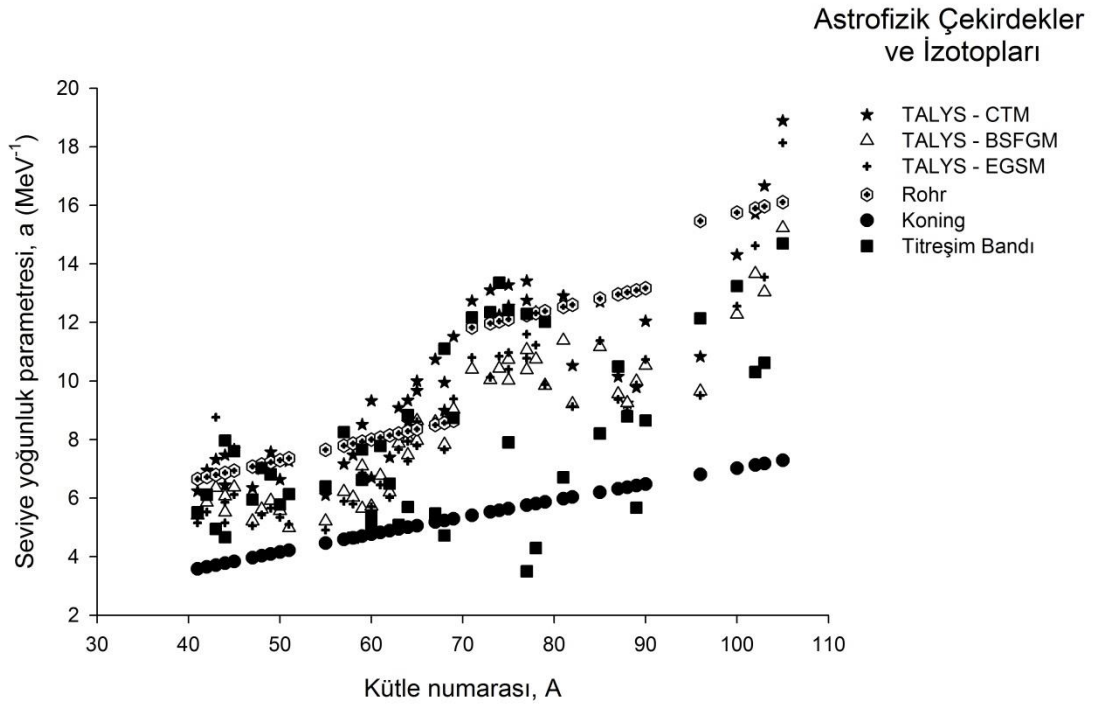
Çizelge 5.10. ^{96}Ru , ^{100}Ru , $^{102-103}\text{Ru}$ ve ^{105}Ru izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırılması

Çekirdek	TALYS CTM	RIPL – II Ignatyuk	TALYS BSFGM	RIPL – I Beijing	TALYS EGSM	RIPL – III Hilaire	Baba	Dilg	Iljinov	Till	Behkami	Gilbert	Rohr	Mengoni	Koning	Hesaplanan Taban Durum	Hesaplanan Titreşim Bandı
$^{96}_{44}\text{Ru}$	10,83	-	9,65	-	9,50	-	-	-	-	-	-	-	15,47	12,76	6,80	1,97	12,14
$^{100}_{44}\text{Ru}$	14,31	14,13	12,27	11,08	12,55	8,43	9,67	11,77	13,46	12,15	14,13	13,30	15,75	13,19	7,02	3,05	13,24
$^{102}_{44}\text{Ru}$	15,70	15,35	13,66	12,64	14,62	9,37	9,22	13,01	15,05	12,94	15,35	15,13	15,89	13,40	7,13	3,46	10,31
$^{103}_{44}\text{Ru}$	16,66	16,13	13,03	13,42	13,54	9,84	-	12,69	15,95	12,30	16,13	-	15,96	13,51	7,18	12,01	10,62
$^{105}_{44}\text{Ru}$	18,88	18,10	15,23	13,32	18,13	11,56	-	15,15	-	13,39	18,09	-	16,11	13,72	7,29	15,22	14,69



Şekil 5.10. ^{96}Ru , ^{100}Ru , $^{102-103}\text{Ru}$ ve ^{105}Ru izotopik çekirdeklerin enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi

Astrofizik ^{96}Ru çekirdeği ve ^{96}Ru , ^{100}Ru , $^{102-103}\text{Ru}$ ve ^{105}Ru izotopları için hesaplanan titreşim bandları (oktupol, beta ve gama) ve taban durum bandı dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.10 ve Şekil 5.10' da gösterilmiştir. Buna göre, ^{103}Ru ve ^{105}Ru çekirdekleri için taban durum ve titreşim bandlarından elde edilen parametre değerleri, diğer çalışmaların sonuçları ile uyum içindedir. Ancak ^{96}Ru , ^{100}Ru ve ^{102}Ru izotopları için titreşim bandının taban durum bandından daha etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11. Astrofizik çekirdeklerin ve bazı izotoplarının enerji seviye yoğunluk parametresinin kütle numaralarına göre değişimi.

Bu çalışmamızda dikkate aldığımız bütün Astrofizik çekirdeklerinin ve bazı izotoplarının nükleer enerji seviye yoğunluk parametrelerinin kütle numaralarına göre değişim grafiği Şekil 5.11’ de görülmektedir. Şekil 5.11’ e göre enerji spektrumdan (titreşim bandı) hesaplanan ve TALYS 1.4 paket programından elde edilen parametre değerleri Rohr [1984] ve Koning [2006] tarafından derlenen değerlerle kıyaslanmıştır. Genel olarak sonuçların uyum içinde olduğunu söylenebilir.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada birçok uygulamada önemli bir yere sahip olan Astrofizik çekirdeklerinden kütle numaraları $40 < A < 100$ aralığındaki bazı deforme astrofizik çekirdeklerin ve izotoplarının nükleer seviye yoğunluk parametreleri TALYS 1.4 paket programında yer alan üç farklı model (CTM - BSFGM - EGSM) ve Isotope Explorer 2.23 programından elde edilen nükleer enerji spektrumu kullanılarak hesaplanmıştır. İncelenen çekirdeklerin uyarılma enerjilerine bağlı olarak enerji seviye yoğunluk parametrelerinin hesaplanmasında, çekirdeklerin enerji seviyelerinin eş-aralıklı ve nükleonların kollektif hareketlerini dikkate alan bir model kullanılmıştır. Çalışmada uyarılmış durumdaki çekirdek nötron bağlanma enerjisi yakınlarında kollektif titreşim veya kollektif dönme bandları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

TALYS 1.4 programından ve enerji spektrumundan hesaplanan parametre değerleri, diğer araştırmacıların [Baba, 1970; Rohr, 1984] deneysel veya teorik olarak elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırılmış ve genel olarak sonuçların birbiri ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Astrofizik çekirdeklerinde enerji seviye programdan yeterli sayıda kollektif dönme ve titreşim bandları gözlenememiştir. Bu nedenle bu çekirdeklerin yoğunluk parametre hesaplamalarında sadece titreşim bandları dikkate alınmış, taban durum bandı dikkate alınamamıştır. Fakat bu çekirdeklerin izotopları ile ilgili hesaplamalarda, titreşim bandları ile birlikte spektrumdan gözlenebilen bazı taban durum bandları da dikkate alınmıştır. Ancak kollektif dönmeden kaynaklanan taban durum bandı ile yapılan hesaplamalar genel olarak çekirdeklerin bütün izotoplarında iyi sonuç vermemektedir. Diğer yandan, kollektif titreşim hareketinden kaynaklanan değişik titreşim modları (oktupol, beta, gama) dikkate alındığında, Çizelge 5.1-5.10 ve Şekil 5.1-5.11' de görüldüğü gibi elde edilen hesaplamaların diğer sonuçlarla çok iyi uyum içinde olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmadaki ilgili deforme astrofizik çekirdeklerin ve izotoplarının genel olarak kolektif titreşim hareketi yaptığını söyleyebiliriz. Diğer bir ifadeyle, incelenen çekirdeklerin kolektif uyarılmış bandlarının oluşmasında taban durumu dönme bandının etkin olmadığı, diğer uyarılmış titreşim modlarının (oktupol, β , γ titreşim bandları) daha baskın olduğu görülmüştür. Aynı zamanda çekirdeklerin nükleer seviye yoğunluk parametrelerinin belirlenmesinde sadece tek bir bandın etkin olmadığını da söyleyebiliriz. Bu yüzden, nükleer seviye yoğunluk parametreleri hesaplanırken mümkün olan bütün uyarılma modlarının dikkate alınması gerekir.

KAYNAKLAR

- Abfalter, W.P., Finlay, R.W., Grimes, S.M., “Level widths and level densities of nuclei in the $32 < A < 60$ mass region inferred from fluctuation analysis of total neutron cross sections”, *Phys. Rev. C*, 62: 064312 (2000).
- Abromeit, B., Liddick, S., Suchyta, S., Larson, N., Bolla, M. “Beta Decay Q value Measurements for Astrophysics” *A. P. Society, Fall Meeting of the APS Division of Nuclear Physics, October*, 26-29 (2011).
- Ahmedov, H., Zorba I., Yılmaz, M., Gönül, B., “Atom çekirdeklerinin enerji seviyelerinin yoğunluğu”, *I.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, TAEK*, Ankara, (2001).
- Ahmedov, H., Zorba, I., Yılmaz, M., Gönül, B., “On the level density of even–even nuclei in the regions of rare-earth and actinide elements”, *Nucl. Phys. A*, 706: 313-321 (2002).
- Al-Qurashi, S.I., Grimes, S.M., Massey, T.N., Resler, D.A., “Level Densities for $20 \leq A \leq 110$ ” *Phys. Rev. C*, 67: 015803 (2003).
- Arya, A.P., “Fundamental of Nuclear Physics”, *Allyn & Bacon*, Boston, USA, 646 (1966).
- Audouze J.,Vauclair S., “An introduction to nuclear astrophysics”, *Dordrecht, D. Reidel Publishing Co.*,18: 187 (1980).
- Baba, H., “A Shell – Model Nuclear Level Density” *Nucl. Phys. A*, 159: 625 (1970).
- Behkami, A. N., Soltani, M., “ Spin Cut-Off Parameter of Nuclear Level Density and Effective Moment of Inertia” *Commun. Theor. Phys. (Beijing, China)*, 43: 709 (2005).
- Bethe, H., “An attempt to calculate the number of energy levels of a heavy nucleus”, *Phys. Rev.*, 50: 332 (1936).
- Bjerregaard, J. H., Hansen, O., Nathan, O., Chapman, R., Hinds, S., Middleton, R. “The (t, p) reaction with the even isotopes of Ca” *Nucl. Phys. A*,103: 33 (1967).
- Bohr, N., Kalckar, F., “On the transmutation of atomic nuclei by impact of material particles”, *Matematisk Fysiske Meddelelser, Danish Academy of Sciences*, 14: 1 (1937).
- Bohr, A., Mottelson, B.R., “Nuclear Structure, Volume I and II”, *New York; Benjamin*, (1969;1975).

- Cowan, J., Thielemann, F., Truran, W., “The R-process and nucleochronology”, *Phys. Rep.*, 208: 267 (1991)
- Davidson, J. P., “Collective Models of The Nucleus”, *Academic Press*, (1968).
- Davydov, A.S., Filippov, G.F., “Rotational States in Even Atomic Nuclei”, *Nucl. Phys.*, 8: 237 (1958).
- Dilg, W., Schantl, W., Vonach, H., Uhl, M., “Level Density Parameters for the Back-Shifted Fermi Gas Model in the Mass Range $40 < A < 250$ ”, *Nucl. Phys. A*, 217: 269 (1973).
- Dudex, J. Majhovec, A., Skalski, J., “Adjustment Of The Pairing Force Strength to the Experimental Data and the Optimised Woods Saxon Potential Spectrum Comparison with the Nilsson Model”, *Jou. Phys. G.*, 6: 447 (1980).
- Dufour, F., Kaspi, V. M., "Limits on the number of Galactic Young Supernova Remnants Emitting in the Decay Lines of ^{44}Ti ", *The Astrophysical Jou.*, 775: 52 (2013).
- Eser E., “Bazı Deforme Ağır Çekirdeklerin Enerji Seviye Yoğunluk Parametresinin İncelenmesi”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tezi* (2006).
- Egidy, T., Bucurescu, D., “Systematics of nuclear level density parameters”, *Phys. Rev.*, 72: 1-21 (2005).
- Gadioli, E., Zetta, L., “Level Density of Light Nuclei”, *Phys. Rev.*, 167: 1016 (1968).
- Gilbert, A., Cameron, A.G.W., “A Composite Nuclear-Level Density Formula with Shell Corrections”, *Canada Jou. Phys.*, 43, 1446 (1965).
- Gupta, J. B., “Nuclear Structure $^{146-154}\text{Sm}$ in the Dinamic Pairing- Plus-Quadrupol Model”, *Phys. Rev. C*, 28: 1829 (1983).
- Gyürky, Gy., Farkas, J., Halasz, Zs., Somorjai, E., Szücs, T., Mohr, P., Wallner, A., “Experimental study of α - induced reactions on ^{64}Zn for the astrophysical γ -process” *Jou. of Pyhsics: Conference Series*, 337: 012009 (2012).
- Hornyak, W.F., “Nuclear Structure. Academic Press”, *New York*, 525 (1975).
- Hurwitz, H., Bethe, H., “Neutron capture cross sections and level density”, *Phys. Rev.*, 81: 898 (1951).
- Ignatyuk, A.V., Simerinkin, G.N, Tishin, A.S., “Phenomenological description of the energy dependence of the level density parametres”, *Soviet Jou. Nucl. Phys.*, 21: 255 (1975).

Ignatyuk, A.V., Istekov, K.K., Simerinkin, G.N., “Collective effects in level density, and the probability of fission”, *Soviet Jou. Nucl. Phys.*, 29: 450 (1979).

Iljinoz, A.S., Mebel, M. V., Bianchi, N., De Sanctis, E., Guaraldo, C., Lucherini, V., Muccifora, V., Polli, E., Reolon, A.R., Rossi, P., “Phenomenological statistical analysis of level densities, decay widths and lifetimes of excited nuclei”, *Nucl. Phys. A*, 543: 517 (1992).

Kansu, M.E., “Astrofizikteki Nükleer Reaksiyonların Tesir Kesiti Hesaplamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tezi* (2007).

Kaeppler, F., Gallino, R., Busso, M., Picchio, G., Raiteri, C.M., “S-process nucleosynthesis - Classical approach and asymptotic giant branch models for low-mass stars”, *Astrophysical Jou.*, 354: 630 (1990)

İnternet: Kişisel Web Sayfası “Nükleer Astrofizikte Reaksiyonların ve Reaksiyon Mekanizmalarının Otomatik Formüllendirilmesi: Yeni Sonuçlar” www.sakirkocabas.com/files/astron_t.rtf (2013).

Koning, A., Duijvestijn, M., “New Nuclear Data Evaluations for Ca and Sc Isotopes”, *Jou. of Nucl. Sci. and Tech.*, 44: 823 (2007).

Koning, A. J., Duijvestijn, M. C., “New nuclear data evaluations for Ge isotopes”, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research Sec. B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 248: 197 (2006).

Krane, K. S., “Introductory Nuclear Physics”, (Çeviri Editörü: B. Şarer), *Nükleer Fizik ,Palme Yayıncılık, Ankara*, (1): (2001).

Kumar, K., Baranger, M., “Nuclear Deformations in the Pairing-Puls-Quadrupole Model(V). Energy Levels And Electromagnetic Moments of the W, Os and Pt Nuclei”, *Nucl. Phys. A*, 122 (1968).

Landau, L.,”Level Density Parameters”, *Soviet Jou. Nucl. Phys.*, 9: 533 (1936).

Lorusso, G., Becerril, A., Amthor, A., Baumann, T., Bazin, D., Berryman, J.S., Brown, B.A., Cyburt, R. H., Crawford, H. L., Estrade, A., Gade, A., Ginter, T., Guess, C. J., Hausmann, M., Hitt, G. W., Mantica, P. F., Matos, M., Meharchand, R., Minamisono, K., Montes, F., Perdikakis, G., Pereira, J., Portillo, M., Schatz, H., Smith, K., Stoker, J., Stolz, A., Zegers, R. G. T. “Half-lives of ground and isomeric states in ^{97}Cd and the astrophysical origin of ^{96}Ru ” *Phys. Let. B*, 669: 141 (2011).

Marselak, E.R., Tasmussen J.O., “Collective Vibration of Spheroidal Eu Nuclei” *Nucl. Phys.*, 43 (1963).

- Mengoni, A., Nakajima, Y., “Fermi- Gas Model Parametrization of Nuclear Level Density”, *Jou. Of Nucl. Sci. And Tech.*, 31: 151 (1994).
- Meyerof, W.E., “Elements of Nuclear Physics”, *Mc Graw Hill* (1989).
- Mottelson, B.R., “Collective Motion in the Nucleus”, *Rev. of Modern Phys.*, 29: 186 (1957).
- Newton, T., “Shell effects on the spacing of nuclear levels”, *Canada Jou.Phys.*, 34: 804 (1956).
- Nilsson, S. G., “Binding States of Individual Nucleons in Strongly Deformed Nuclei” *Matematisk-fysiske Meddelelser Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, 29: 6 (1955).
- Nuclear Structure and Decay Data, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, *ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File)*, Upton, New York (2001).
- Okuducu, Ş., Ahmedov, H., “On the estimation of nuclear level density parameters in the region of some large deformed nuclei”, *Phys. Let. B*, 565: 102 (2003).
- Okuducu, Ş., Eser, E., Sönmezoğlu, S., “Analysis of the Nuclear Level Density Parameters of Some Large Deformed odd-A and odd-odd Nuclei in the Region of Rare-Earth Elements”, *Nucl. Science and Engineering*, 154: 374 (2006).
- Rainwater, J., “Nuclear energy level argument for a spheroidal nuclear model”, *Phys. Rev.*, 79: 432 (1950).
- Rohr, G., “New Perspectives on the Level Density of Compound Resonances”, *Z. Phys. A*, 318: 299 (1984).
- Serway, R.A., Beichner R.J., Çev. Editörü: K. Çolakoğlu, “Fen ve Mühendislik için Fizik” *Palme Yayıncılık*, Ankara (1995).
- Sönmezoğlu, S., “Bazı deforme hafif çekirdeklerin ($A \sim 60$) enerji seviye yoğunluk parametrelerinin belirlenmesinde kollektif band analizi”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tezi*, (2006).
- Stéphane R., Guillaume D., Jean-Yves N., Laurent L., “Laser-induced damage of KDP crystals by 100 nanosecond pulses: influence of crystal orientation”, *Optical Society of America* (2009).
- Truran, J. W., “On the Synthesis of Neutron-Rich Iron-Peak Nuclei”, *Astrophysical Jou.*, 177: 453 (1972).

- Wallerstein, G., “Synthesis of the elements in stars: forty years of progress”, *Rev. Mod. Phys.*, 69: 995 (1997).
- Wanajo, S., Janka, H. T., Müller, B., “Electron-capture Supernovae as Sources of ^{60}Fe ”, *The Astrophysical Jou. Let.*, 774: L6 (2013).
- Wang, M., Chen, Y.S., Li, Z.H., Shu, N.C., “Calculation of astrophysical reaction rate of $^{82}\text{Ge}(n,\gamma)^{83}\text{Ge}$ ”, *Chinese Pyhs. C*, 33: 79 (2009).
- Weisskopf, V., “Statistics and nuclear reactions”, *Phys. Rev.*, 52: 295 (1937).
- Woosley, S.E., Howard, W.M., “The p-process in supernovae”, *Astrophysical Jou. Sup. Series*, 36: 285 (1978)
- Wöhr, A., Aprahamian, A., Boutachkov, P., Galache, J. L., Görres, J., Shawcross, M., Teymurazyan, A., Wiescher, M. C., Brenner, D. S., Davids, C. N., Fischer, S. M., Heinz, A. M., Janssens, R. V. F., Seweryniak, D., “The N=Z rp-process waiting-point nucleus ^{68}Se and its astrophysical implications”, *Nucl. Phys. A*, 742: 349 (2004).

EKLER

EK-1. Input dosyası

```
#  
# general  
#  
projectile n  
element ca  
mass 42  
energy energies  
outdensity y  
#  
# parameters  
#  
#  
# output  
#  
  
ldmodel 2
```

Şekil 1.1. Input dosyası örneği

EK-2. Output dosyası

```

TALYS-1.4 Version: December 28, 2011)

  Copyright (C) 2011  A.J. Koning, S. Hilaire and S. Goriely
NRG                CEA                ULB

  Dimensions - Cross sections: mb, Energies: MeV, Angles: degrees

##### USER INPUT #####

USER INPUT FILE

#
# general
#
projectile n
element ca
mass 42
energy energies
outdensity y
#
# parameters
#
#
# output
#

ldmodel 2

##### BASIC REACTION PARAMETERS #####

Projectile          : neutron      Mass in a.m.u.      :   1.008665
Target              : 42Ca         Mass in a.m.u.      :  41.958618

  Included channels:
gamma
                    neutron
proton
                    deuteron
triton
                    helium-3
                    alpha

  26 incident energies (LAB):

    1.000
    3.000

```

Şekil 2.1. Output dosyası örneği

EK-2. (Devam) Output dosyası

5.000
 7.000
 9.000
 11.000
 13.000
 15.000
 17.000
 19.000
 21.000
 23.000
 25.000
 27.000
 29.000
 31.000
 33.000
 35.000
 37.000
 39.000
 41.000
 43.000
 45.000
 47.000
 49.000
 51.000

Level density parameters for Z= 20 N= 22 (^{42}Ca)

Model: Back-shifted Fermi Gas

a(Sn) : 5.85767
 Experimental D0 : 0.00 eV +- 0.00000
 Theoretical D0 : 1890.35 eV
 Asymptotic a : 5.39343
 Damping gamma : 0.11803
 Pairing energy : 1.85164
 Shell correction: 1.24252
 Last disc. level: 20
 Nlow : 8
 Ntop : 16
 Adj. pair shift : -0.37330
 Discrete sigma : 2.23240
 Sigma (Sn) : 3.16388

Şekil 2.1. (Devam) Output dosyası örneği

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KANSU Mustafa Orhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.09.1986 -ERZURUM
Medeni hali : Evli
Telefon : (312) 202 38 80
e-mail : kansuorhan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik Böl.	2010
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik ABD	2014

Yabancı Dil

İngilizce

İş Deneyimi

Araştırma Görevlisi	Çankırı Karatekin Üniversitesi	2010-2011
Araştırma Görevlisi	Gazi Üniversitesi	2012-