

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

**BAZI GADOLİNYUM ÇEKİRDEKLERİNİN  
ELEKTROMANYETİK GEÇİŞ OLASILIKLARININ VE  
YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Hakan ALTUNTAŞ**

**Tezi Yöneten  
Doç Dr. Harun Reşit YAZAR**

**Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2012  
NEVŞEHİR**



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

**BAZI GADOLİNYUM ÇEKİRDEKLERİNİN  
ELEKTROMANYETİK GEÇİŞ OLASILIKLARININ VE  
YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Hakan ALTUNTAŞ**

**Tezi Yöneten  
Doç Dr. Harun Reşit YAZAR**

**Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2012  
NEVŞEHİR**

Doç.Dr. Harun Reşit YAZAR danışmanlığında **Hakan ALTUNTAŞ** tarafından hazırlanan "**Bazı Gadolinyum çekirdeklerinin Elektromanyetik geçiş olasılıklarının ve yapısal özelliklerinin incelenmesi**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

05./09/2012

**JÜRİ:**

Başkan: Prof. Dr. Eyyüp TEL

Üye: Doç. Dr. Harun Reşit YAZAR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitüsü Yönetim Kurulunun 07.09.2012 tarih ve 2012/58-2 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

07./09/2012

  
Prof. Dr. Selçuk KERVAN  
Enstitü Müdürü



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca beni bilimsel araştırmalar konusunda sürekli yönlendiren bir çok konuda engin bilgilerinden yararlandığım ve bu tez çalışmam boyunca her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen Tez yöneticisi hocam Sayın Doç. Dr. Harun Reşit YAZAR'a tezimin hazırlanması sırasında gösterdiği ilgi ve hoş görüsünden sabırlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanması sırasında desteğini ve fedakarlığını esirgemeyen eşime de Teşekkür ederim.

# BAZI GADOLİNYUM ÇEKİRDEKLERİNİN ELEKTROMANYETİK GEÇİŞ OLASILIKLARININ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELLENMESİ

**Hakan ALTUNTAŞ**  
Nevşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2012  
Tez Danışmanı: Doç Dr. Harun Reşit YAZAR

## ÖZET

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde Gd çekirdeğinin ( $150 \leq A \leq 190$ ) deforme bölgedeki yeri ve çalışma boyunca yararlanılan kaynakların kısa özetlerine yer verildi. Çalışmanın ikinci bölümünde ise çalışma boyunca yararlanılan materyal ve yöntemler konusu üzerinde duruldu. Tez çalışmasının 3.bölümünde ise Deforme gölgenin başlangıcında yer alan Çift Çift  $^{152-160}\text{Gd}$  çekirdeği izotopları ve Tek Çift  $^{153-157}\text{Gd}$  çekirdeği izotoplarının enerji düzeyleri ve B(E2) geçiş olasılıkları belirlenmiş, Elektromanyetik geçişler Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli (IBFM) kullanılarak incelenmiştir. Gd izotoplarının enerji düzeylerinin ve B(E2) geçiş olasılıklarının belirlenmesi Gd çekirdeğinin yapısal özelliklerinin anlaşılmasında çok önemlidir. Çalışma süresince yapılan hesaplamalar için Hamiltonyen parametreleri belirlenerek B(E2) geçiş olasılıkları ve teorik enerji düzeyleri hesaplanmıştır. Tezin son bölümünde ise hesaplamalar için gerekli olan parametreler ile hesaplanmış olduğumuz teorik enerji seviyeleri, B(E2) geçiş olasılıkları deneysel verilerle karşılaştırıldı. Yapılan teorik hesaplamalar ile deneysel verilerin uyum sağladığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Etkileşen Bozon Modeli (IBM), Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli (IBFM), Enerji Seviyeleri

# ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC PASSING POSSIBILITIES AND STRUCTURAL FEATURES OF SOME GADOLINIUM NUCLEUSES

**Hakan ALTUNTAŞ**

**Nevşehir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, August 2012**

**Thesis Supervisor: Doç. Dr. Harun Reşit YAZAR**

## ABSTRACT

The first part of the thesis is about the place of Gd nucleus in the deformed area and a short summary of the references benefited from throughout the research. In the second part of the research, the issue of the materials and the methods used through the thesis was explained. In the third part of the thesis, energy levels and B(E2) passing possibilities of Even Even  $^{152-160}\text{Gd}$  nucleus isotopes and Odd Even  $^{153-157}\text{Gd}$  nucleus isotopes were identified and Electomagnetic passes were analysed using Interacting Boson-Fermion Model (IBFM). Identification of energy levels and B(E2) passing possibilities of Gd isotopes has great importance on understanding the structural features of Gd nucleus. Throughout the research, identifying Hamiltonyen parameters for the calculations, B(E2) passing possibilities and theoretical energy levels were calculated. In the last part of the thesis, the parameters necessary for the calculations and calculated theoretical energy levels, B(E2) passing possibilities were compared with experimental evidences. It was observed that theoretical calculations were consistent with the experimental evidences.

**Keywords:** Interacting Boson Model (IBM), Interacting Boson-Fermion Model (IBFM), Energy levels

**İÇİNDEKİLER**

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xii
1.BÖLÜM	
GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak özetleri.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
2.BÖLÜM	
MATERYAL VE YÖNTEM .....	4
2.1. Etkileşen Bozon modeli ve Tarihsel Süreci.....	4
2.2. Etkileşen Bozon Modeli.....	5
2.2.1. Elektromanyetik Geçiş Operatörleri.....	9
2.2.2. Etkileşen bozon modelinin diğer versiyonları.....	11
2.3. Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli ( IBFM ).....	12
2.3.1. IBFM Hamiltonyen.....	13
2.3.2. Elektromanyetik Geçiş Operatörleri.....	14
2.4. Dinamik Simetriler.....	15
2.5. Nükleer Titreşimler.....	16



2.5.1. Monopol titreşim ( $\lambda=0$ Titreşimi).....	17
2.5.2. Dipol titreşim ( $\lambda =1$ Titreşimi).....	17
2.5.3. Kuadropol titreşim ( $\lambda=2$ Titreşimi).....	18
2.5.4. Oktopul titreşim ( $\lambda\geq 3$ Titreşimi).....	18
2.6. Nükleer dönmeler.....	19
2.7. Elektromanyetik geçiş işlemleri.....	21
3.BÖLÜM	
ARAŞTIRMA BULGULARI .....	23
3.1. $^{152}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	23
3.1.1. $^{152}\text{Gd}$ ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	24
3.2. $^{154}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	30
3.2.1. $^{154}\text{Gd}$ İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri.....	30
3.3. $^{156}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	36
3.3.1. $^{156}\text{Gd}$ İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri.....	36
3.4. $^{158}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	42
3.4.1. $^{158}\text{Gd}$ ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	42
3.5. $^{160}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	49
3.5.1. $^{160}\text{Gd}$ ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	49
3.6. $^{153}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	54
3.6.1. $^{153}\text{Gd}$ ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	54
3.7. $^{155}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	59
3.7.1. $^{155}\text{Gd}$ ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	59
3.8. $^{157}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi.....	65
3.8.1. $^{157}\text{Gd}$ ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	65
3.9.1. $^{152-160}\text{Gd}$ izotoplarının IBM-1 Hamilton parametreleri.....	70

3.9.2.	$^{153-157}\text{Gd}$ izotoplarının seviye hesaplamaları için BCS parametreleri.....	71
3.9.3.	$^{152-160}\text{Gd}$ izotoplarının temel bant değerleri.....	72
3.9.4.	$^{153-157}\text{Gd}$ izotopları için deneysel ve hesaplanan değerler.....	73
4.BÖLÜM		
	TARTIŞMA VE SONUÇ .....	74
	KAYNAKLAR .....	75

**TABLULAR LİSTESİ**

Tablo 3.9.1.	$^{152-160}\text{Gd}$ izotoplarının IBM-1 Hamiltonyen parametreleri (tüm değerleri MeV olarak bulunmaktadır.).....	70
Tablo 3.9.2.	$^{153-157}\text{Gd}$ izotoplarının seviye hesaplamaları için BCS parametreleri.....	71
Tablo 3.9.3.	$^{152-160}\text{Gd}$ izotoplarının B(E2) temel bant değerleri.....	72
Tablo 3.9.4.	$^{153-157}\text{Gd}$ izotopları için B(E2) geçiş olasılıklarının deneysel ve hesaplanan değerleri.....	73

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Gd izotopunun faz üçgenindeki yeri.....	15
Şekil 2.2.	Nükleer yüzey üzerindeki bir noktanın koordinatlarını küresel Harmonikler cinsinden gösterimi.....	16
Şekil 2.3.	Monopol titreşimi.....	17
Şekil 2.4.	Dipol titreşimi.....	17
Şekil 2.5.	Kuadrapol titreşimi.....	18
Şekil 2.6.	Oktopul titreşimi .....	18
Şekil 2.7.	Geometrik yapı ve eksenler.....	19
Şekil 2.8.	Deforme çekirdeklerin geometrik yapıları.....	20
Şekil 3.1.	$^{152}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	27
Şekil 3.1.1.	$^{152}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	28
Şekil 3.1.2.	$^{152}\text{Gd}$ İzotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	29
Şekil 3.2.	$^{154}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	33
Şekil 3.2.1.	$^{154}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	34
Şekil 3.2.2.	$^{154}\text{Gd}$ İzotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 3.3.	$^{156}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	39
Şekil 3.3.1.	$^{156}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	40
Şekil 3.3.2.	$^{156}\text{Gd}$ İzotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	41
Şekil 3.4.	$^{158}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	46
Şekil 3.4.1.	$^{158}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	47

Şekil 3.4.2.	$^{158}\text{Gd}$ İzotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 3.5.	$^{160}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	51
Şekil 3.5.1.	$^{160}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	52
Şekil 3.5.2.	$^{160}\text{Gd}$ İzotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 3.6.	$^{153}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	56
Şekil 3.6.1.	$^{153}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	57
Şekil 3.6.2.	$^{153}\text{Gd}$ İzotopunun IBFM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 3.7.	$^{155}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	62
Şekil 3.7.1.	$^{155}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	63
Şekil 3.7.2.	$^{155}\text{Gd}$ İzotopunun IBFM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 3.8.	$^{157}\text{Gd}$ izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	67
Şekil 3.8.1.	$^{157}\text{Gd}$ izotopunun enerji band yapısı.....	68
Şekil 3.8.2.	$^{157}\text{Gd}$ İzotopunun IBFM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	69

**KISALTMALAR LİSTESİ**

Gd	Gadolinyum
IBM	Etkileşen Bozon Modeli
IBFM	Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli
B(E2)	E2 elektriksel kuadrupol geçiş olasılığı.

**SEMBOLLER LİSTESİ**

A	Kütle Numarası
Z	Atom Numarası
N	Nötron Sayısı
E2	Elektriksel Kuadrupol
M1	Manyetik Dipol

## 1.BÖLÜM

### GİRİŞ

Gadolinium çekirdeği, deforme bölgenin başlangıcında bulunur. Bütün deforme çekirdeklerde olduğu gibi Gd çekirdeğinde de kuadrupol ve çiftlenim kuvvetleri önemlidir. Bu kuvvetler özellikle doldurulmamış durumlardaki parçacıkları etkiler. İki nükleon arasında meydana gelen ve çekirdeğin şeklini belirlemede önemli rol oynayan kısa menzilli olan kuadrupol kuvvetidir. Çekirdeği küresel bir simetri içinde tutan ise çiftlenim kuvvetidir. Kuadrupol kuvveti kuadrupol yük dağılımından kaynaklanır. Bu kuvvet, çekirdeği deforme duruma götürür. Çiftlenim ve kuadrupol kuvvetler arasındaki ilişki, çekirdeğin şeklini belirler. Deforme bölgede yer alan Gd izotoplarının yapısındaki deformasyon çekirdekte nükleer dönmeler ve titreşimler meydana getirir. Dolayısı ile Çekirdeğin yapısını açıklamak için, çekirdeğin bağlanma enerjisi, enerji düzeyleri arasındaki geçiş olasılıkları, elektrik ve manyetik çok kutupluluk ve diğer gözlemlenebilir özelliklerinin bilinmesi gerekir. Çift-çift Gd çekirdeklerinin enerji düzeyleri ve B(E2) geçiş olasılıkları PHINT kodu kullanılarak yapılmıştır. Tek-tek Gd çekirdeğinin enerji düzeyleri ve B(E2) geçiş olasılıkları ise, ODDA kodu kullanılarak hesaplanmıştır.



## 1.1. Kaynak Özetleri

Scholten ve arkadaşları (1980)[1] IBM modeli çerçevesinde çeşitli çekirdeklerin elektromanyetik geçiş olasılıkları ve enerji düzey hesaplamalarında kullanılan PHINT kodunu ortaya koymuşlardır.

Arıma ve Lachello (1974)[2] s ve d bozonlarını içeren etkileşen bozon modelini (IBM) ortaya koyarak deforme bölgede bulunan çift-çift çekirdeklerdeki E2/M1 kutupsal karışım oranları ve çeşitli yapısal özelliklerinin belirlenmesine ilişkin çalışmalar yapmışlardır.

Bohr ve arkadaşları(1975)[3-4] kolektif model çerçevesinde çekirdek içerisinde bulunan parçacıkların hareketlerini dikkate alarak oluşan çekirdek deformasyonunu incelemişlerdir.

Isacker ve arkadaşları (1991)[5] IBFM ve IBM modeli çerçevesinde çift-çift ve çift-tek çekirdeklerin yapısal özelliklerini incelemişlerdir.

H. R. Yazar, İ. Uluer, V. Ünaloglu ve S. Yaşar (2010)[28] Gd izotoplarının enerji seviyelerini ve Elektromanyetik geçiş olasılıklarını araştırmışlardır. Tek-çift <sup>153</sup>Gd izotopunun enerji seviyelerini IBFM-1 ile hesaplamışlar ve deneysel verilerle uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca yine aynı çalışma içerisinde çift-çift Gd izotoplarının da enerji seviye hesaplamaları yapmışlardır.

V. Ünaloglu (2009)[43] tez çalışmasında Gd ve Eu çekirdeklerinin Elektromanyetik geçiş olasılıklarını hesaplamış çok kutuplu karışım oranlarını ve enerji seviyelerini incelemiştir.

E. Sayın (2008)[45] tez çalışmasında deforme bölge de bulunan çift çift Gd ve Sm izotoplarının enerji seviyeleri, elektromanyetik geçişlerini ve taban durum bandı için B(E2) geçiş olasılıklarını Etkileşen Bozon Modeli 2 (IBM-2) ile incelemiştir.

Ü. Erdem (2007)[46] Gadolinyum İzotoplarının Elektromanyetik özellikleri ve 0<sup>+</sup> enerji düzeylerinin etkileşen bozon modeli ile incelemesini yapmışlardır.

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada ( $150 \leq A \leq 190$ ) deforme bölgesinin başlangıcında yer alan çift çift  $^{152-160}\text{Gd}$  izotoplarının bazı enerji seviyeleri incelenerek Etkileşen bozon modeli (IBM-1) ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ve deneysel enerji seviyelerinin bir karşılaştırmasını yaparak bu çalışmanın geçerliliğini test etmek. Aynı çalışmaların paralelinde daha önce çok az incelenen tek çift  $^{153-157}\text{Gd}$  izotoplarının elektromanyetik geçişlerinin özelliklerinin etkileşen bozon modeli ve etkileşen bozon-fermiyon modeli IBFM-1 ile incelenmesi ve enerji düzeyleri ile  $B(E2)$  geçiş olasılıklarının belirlenip, elektromanyetik geçişlerine ait değerleri hesaplamak ve deneysel verilerle karşılaştırıp çalışmanın başarısını belirlemektir.

## 2.BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. Etkileşen Bozon Modeli Ve Tarihsel Süreci

Atom çekirdeklerinin yapısı ve özellikleri hep merak konusu olmuştur. Çekirdeğin yapısını ve özelliklerini açıklayabilmek için bir çok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmasına rağmen çekirdeğin yapısı bütün özellikleri ile anlaşılmaş olmayıp yapılan araştırmalar ışığında çekirdeğin yapısını ve değişik özelliklerini açıklayabilmek için çeşitli çekirdek modelleri geliştirilmiştir. Bu çekirdek modelleri sayesinde çekirdeklerin tam anlamıyla olmasa da birçok özelliği hakkında fikir edinmemizi sağlamaktadır. Bu modellerden ilki Niels Bohr' un 1930 yılında ileri sürdüğü sıvı damlası modelidir. Model sihirli sayıda nükleona sahip çekirdeklerin komşu çekirdeklere göre gösterdikleri daha kararlı durumları açıklayamadığı için ömrü az olmuştur. Model çekirdek kararlılığı ve fisyon olayını açıklayabilmektedir. Sıvı damlası modelindeki eksiklikleri gidermek için bu modelinin ardından 1934 yılında Elsass ve Guggenheimer kabuk modelini önerdiler. Kabuk modeline göre, nükleonlar, sihirli sayıda değerler aldıklarında çekirdeklere proton ve nötronlara ait kabukların dolduğu ve diğer çekirdeklere göre özel bir kararlılık gösterdikleri gözlenmiştir. Bunun yanında proton ve nötron sayıları sihirli sayılara eşit olan çekirdeklerin kuadrupol momentlerinin sıfıra yakın olması da, bu çekirdeklere, küresel simetriye yakın kapalı kabukların varlığını desteklemektedir. Kabuk modelin eksikliği ise deforme bölgedeki büyük kuadrupol momentlerini açıklayamamasıdır. Ayrıca elektromanyetik geçiş olasılıkları ve düşük enerjili uyarma spektrumları da kabuk modeliyle açıklanamaz. 1950 li yıllarda de Rainwater, Bohr ve Mottelson kolektif modeli ortaya koydular. İleri sürülen bu modelde çekirdek içerisinde bulunan parçacıkların hareketleri dikkate alınarak oluşan çekirdek deformasyonu incelenir. Kabuk modelinde olduğu gibi bu modelde de nükleonlar gerçek bir potansiyel içinde hareket eder. Ancak bu modelde potansiyel kapalı kabuk içindeki özün etrafında bulunan nükleonların hareketi sonucu

deforme olabilir. Bu da küresel simetrik olan yapının kaybolmasına neden olur. Ardından 1970'li yıllarda Arima ve Lachello s ve d bozonlarını içeren etkileşen bozon modelini ortaya koydular. Bu modelde Çift-çift çekirdeklerin düşük enerjili kolektif durumları N tane etkileşen bozonlar sistemi olarak tanımlıdır. Bu modelde toplam N bozon sayısı en yakın kapalı kabuğa (2, 8, 20, 28, 50, 82 ve 126 bilinen sihirli sayılar) göre hesaplanır. Etkileşen bozon modelinde proton ve nötron bozonu olarak iki çeşit bozonun varlığı kabul eldir. Bu bozonlar L=0 durumunda bulunan s-bozonları ve L=2 durumunda bulunan d-bozonlarıdır.

## 2.2. Etkileşen Bozon Modeli

Son yıllarda orta ve ağır çekirdeklerin pek çok kollektif özelliklerini açıklayabilen Etkileşen Bozon Modeli'de bir çift-çift çekirdek N tane etkileşen bozonlar sistemi olarak betimlenmektedir. Başlangıçta biri nötron bozonu diğeri proton bozonu olmak üzere iki çeşit bozonun varlığı kabul edilmiştir. Bozonlar iki durumda bulunabilirler. Bu iki durum , J=0 durumunda olan bozonlar s bozonu ve J=2 açısai momentum durumunda olan bozon ise d bozonu olarak tanımlanır[36].

$$\begin{aligned} s^\dagger, d_\mu^\dagger & \quad (\mu=0, \pm 1, \pm 2) \\ s, d_\mu & \quad (\mu=0, \pm 1, \pm 2) \end{aligned} \quad (2.1a)$$

olur. Bu işlemciler aşağıdaki sıra-değişim bağıntılarını sağlarlar.

$$\begin{aligned} [s, s^\dagger] &= 1 & [s, s] &= 0 & [s^\dagger, s^\dagger] &= 0 \\ [d_\mu, d_\mu^\dagger] &= \delta_{\mu\mu'} & [d_\mu, d_{\mu'}] &= 0 & [d_\mu^\dagger, d_{\mu'}^\dagger] &= 0 \\ [s, d_\mu^\dagger] &= 0 & [s^\dagger, d_\mu] &= 0 & & \\ [s, d_\mu] &= 0 & [s^\dagger, d_\mu] &= 0 & \mu &= 0, \pm 1, \pm 2 \end{aligned} \quad (2.1b)$$

bu bozon operatörleri için

$$b_\alpha^\dagger, b_\alpha; \quad (\alpha=1, \dots, 6)$$

$$b_1=s, b_2=d_{+2}, b_3=d_{+1}, b_4=d_0, b_5=d_{-1}, b_6=d_{-2} \quad (2.2)$$

gösterimlerini kullanabiliriz. Buna göre (2.2) sıra-değişim bağıntıları

$$[b_\alpha, b_\alpha^\dagger] = \delta_{\alpha\alpha}, \quad [b_\alpha, b_{\alpha'}] = [b_\alpha^\dagger, b_{\alpha'}^\dagger] = 0 \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir.

Çift-çift çekirdeklerin özelliklerini hesaplayabilmek için ilk olarak uygun işlemciler bulmak gerekir. Bütün bu işlemciler de bozon işlemcileri cinsinden tanımlanmalıdır. Burada enerji düzeylerini bulabilmek için Hamilton işlemcisine gerek duyulur. Bozon topluluğunun öz durumlarını bulmak için uygun hamiltonyen oluşturulur. En basit olarak hamiltonyenin tek-parçacık bozon enerjilerini ve bozon-bozon etkileşimlerini içerdiği kabul edilir. Böyle bir Hamiltonyeni oluşturmak için bozon yaratıcı ve yok edici işlemcileri kullanılır. Toplam bozon sayısı  $N$ 'in korunumlu olduğu kabul edilirse, hamiltonyen işlemcisi bozon işlemcileri cinsinden

$$H = \epsilon_0 + \sum \epsilon_{\alpha\beta} b_\alpha^\dagger b_\beta + \sum 1/2 U_{\alpha\beta\delta\gamma} b_\alpha^\dagger b_\beta^\dagger b_\gamma b_\delta + \dots \quad (2.4)$$

Olarak yazılabilir. Burada  $\epsilon_0$  sabit sayıdır.  $b^\dagger b$  terimi tek-parçacık katkılarını ve ondan sonraki terim de iki-cisim katkılarını temsil ederler. Etkileşme terimlerinin varlığı, modelin bu tipine “Etkileşen Bozon Modeli” adının verilmesine neden olmuştur. Etkileşen bozon modelinin temel kabullenimi (2.4) eşitliğindeki etkileşmelerde bozon sayısının korunumlu olmasıdır. IBA-1 Hamiltonyenini bozon işlemcileri cinsinden yazmak istediğimiz takdirde ikinci kuantize formu kullanmamız daha uygun olur. Böylece  $d_\mu^\dagger$  ve  $s^\dagger$  işlemcileri oluşturulur. İlki  $J_Z = \mu$ 'lü durumda bir d bozonu ve ikincisi de bir tane s bozonu oluşmaktadır. Bu işlemciler kullanılarak

$$d_\mu^\dagger d_\mu, d_\mu^\dagger s, s^\dagger d_\mu, s^\dagger s \quad (2.5)$$

gibi tek-parçacık bozon işlemcileri yazılabilir. 36 tane birbirinden bağımsız böyle işlemciler vardır. Hamiltonyenin dönmeler altında değişmez olması gerektiğinden (2.5) eşitliğindeki işlemcilerin belirli çizgisel karışımlarını kullanmak çok daha uygun olur. Yaratıcı  $d_\mu^\dagger$  işlemcileri, dönmeler altında rankı 2 olan indirgenemez küresel tensör bileşenleri gibi davranırlar.  $d_\mu$  yok etme işlemcileri böyle dönüşüm özellikleri sağlamadıkları için bu özelliği sağlayan

$$d_{\mu} = (-)^{2\mu} d_{-\mu} = (-)^{\mu} d_{\mu} \quad (2.6)$$

tanımlaması kullanılır. Şimdi k ranklı indirgenemez tensör olan

$$(d^{\dagger}d)^q = \sum_{\mu} \langle 2\mu | 2\mu' | 2kq \rangle d_{\mu}^{\dagger} d_{\mu}, \quad k=0,1,2,3,4 \quad (2.7)$$

işlemcileri ve rankı 2 olan

$$d_{\mu}^{\dagger} s, s^{\dagger} d_{\mu} \quad (2.8)$$

kuadropol işlemcileri ve (rankı 0) olan  $s^{\dagger} s$  işlemcilerinden oluşan tam bir set tanımlanabilir. Bu işlemcilerin toplam sayısı yine 36 dır.

En genel Hamiltonyen tek-parçacık bozon terimleri ve bozon-bozon etkileşme terimlerini içerir ve dönmeler altında değişmez olmalıdır (J ile sıra değişimli). Böylece Hamiltonyen (2.7) ve (2.8) eşitliklerindeki rankı sıfırdan farklı indirgenemez tensörlerin bütün mümkün skaler çarpımlarının çizgisel karışımları olur. Ayrıca iki tane de bir-bozon skaleri eklenebilir. Bunlar açıkça (2.7) ve (2.8) eşitliklerindeki  $k=0$  tensörleridir. Bütün tek-parçacık bozon işlemcileri s ve d bozonlarının sayısını değiştirmeyeceği için Hamiltonyende toplam bozon sayısını değiştirmeyecektir. Diğer bir deyişle Hamiltonyen ile sayı işlemcisi

$$N = s^{\dagger} s + \sum_{\mu} d_{\mu}^{\dagger} d_{\mu} = s^{\dagger} s + (d^{\dagger} d) \quad (2.9)$$

sıra-değişimlidir. Bu sayı işlemcisinin N özdeğeri Hamiltonyenin öz durumları için uygun kuantum sayısıdır.

Bozon Hamiltonyeninin hermityen olma koşulu (2.8) eşitliğindeki iki kuadropol işlemcisinin yalnızca belirli karışımlarında içerilecektir. Terimlerin sayısı yine de fazladır. İki tane tek-parçacık bozon terimine ek olarak dokuz mümkün skaler çarpım vardır. Fakat skaler çarpımların tümü birbirinden bağımsız değildir. Bozon durumlarının simetrisinden dolayı yalnızca  $L=0,2,4$  değerine sahip iki d bozonlu durumlara izin verilir. L'nin tek değerli durumları antisimetriktir. Böylece herhangi iki d bozonu etkileşmeleri en fazla üç bağımsız terime sahip olabilir. Böylece (2.7) eşitliğindeki beş

skaler çarpımın yalnızca üç bağımsız karışımı kullanılabilir. Bunun için çiftlenim sırasını değiştirerek skaler çarpımları oluşturmak mümkündür. Sıra-değişim bağıntılarından dolayı bozon-bozon etkileşmesine ek olarak tek-parçacık bozon terimleri de ortaya çıkar. Elde edilen Hamiltonyen aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned}
H = & \varepsilon_s (s^+ s) + \varepsilon_d (d^+ d) + \sum_{L=0,2,4} 1/2(2L+1)^{1/2} c_L [(d^+ x d^+)^{(L)} (d x d)^{(L)}]^{(0)} \\
& + 1/\sqrt{2} v_2 [(d^+ x d^+)^{(2)} (d x s)^{(2)} + (d^+ x s^+)^{(2)} (d x d)^{(2)}]^{(0)} \\
& + 1/\sqrt{2} v_0 [(d^+ x d^+)^{(0)} (s x s)^{(0)} + (s^+ x s^+)^{(0)} (d x d)^{(0)}]^{(0)} \\
& + u_2 [(d^+ x s^+)^{(2)} (d x s)^{(2)}]^{[0]} + 1/2 u_0 [(s^+ x s^+)^{(0)} (s x s)^{(0)}]
\end{aligned} \tag{2.10}$$

burada  $\varepsilon_s$  ve  $\varepsilon_d$ , sırasıyla s ve d bozonlarının bağlanma enerjilerini,  $s^+ s$  ve  $(d^+ d)$  ise sırasıyla s ve d bozonları için sayı işlemcilerini ve  $d_\mu = (-1)^\mu d_{-\mu}$  küresel tensörü tanımlar.  $c_0$ ,  $c_2$  ve  $c_4$  kat sayıları d-bozonları,  $u_0$  kat sayısı da s-bozonları arasındaki,  $v_2, v_0$  ve  $u_2$  kat sayılarıyla da s-bozonları ile d-bozonları arasındaki etkileşmelerin şiddetini belirtilir. Ayrıca burada  $\mu=0, \pm 1, \pm 2$  şeklindedir[37].

IBM-1 Etkileşen bozon modelinin orijinal formulasyonunda, proton ve nötronun serbestlik dereceleri arasında bir ayırım yapılamaz. Çift-çift çekirdekler düşük enerji kolektif durumları N tane etkileşen, açısal momentum ve parite  $L^P = 0^+$  monopole ve  $L^P = 2^+$  kuadropol ile birlikte, bozonlar sistemi olarak tanımlanabilir. Kuadropol ve monopole bozonun beş bileşeninden dolayı U(6) grup yapısı altı boyutlu bir uzaya kısaltılabilir. Bütün durumlar simetrik azaltılmama gösterimi ile [N] U(6) tanımlanabilir.

IBM de Hamiltonyen ikinci kuantizasyon olarak ifade edilir. Bozonlar için yaratılma operatörleri  $s^+$  ve  $d_m^+$ , yok olma operatörleri ise  $s$  ve  $d_m$  dir. Bütün hepsi  $b_{lm}^+$  ve  $b_{lm}$  olarak tanımlanabilir.

Burada  $l = 0, 2$  ve  $m = -l, -l+1, \dots, l$

$$b_{00}^+ \equiv s^+, \quad b_{2m}^+ \equiv d_m^+ \tag{2.11}$$

$b_{lm}^+$  ve  $b_{lm}$  operatörleri bozon komitasyon bağıntısını sağlar.

$$[b_{11m1}, b_{12m2}^+] = ?_{1112} ?_{m1m2}$$

$$[b_{11m1}^+, b_{12m2}^+] = [b_{11m1}, b_{12m2}] = 0 \quad (2.12)$$

ikinci kuantize formu daha genel olarak bir ve iki cisim rotasyonel invariyan Hamiltonyen verilen bozon sayılarını korur;

$$H = H_0 + \sum_l \epsilon_l \sum_m b_{lm}^+ b_{lm} + \sum_L \sum_{l_1 l_2 l_3 l_4} v_{l_1 l_2 l_3 l_4}^{(L)} (b_{l_1}^+ x b_{l_2}^+)^{(L)} \cdot (\tilde{b}_{l_3} x \tilde{b}_{l_4})^{(L)} \quad (2.19)$$

$\tilde{b}_{lm} = (-1)^{l-m} b_{l,-m}$  nokta skaler çarpım ve x tensör çarpımını göstermektedir. Valans monopole ve kuadropol bozonlar nükleon çiftleri ile belirlenmesinden dolayı toplam N bozon sayısı aktif proton ve nötron çiftlerinin toplamıyla en yakın kapalı kabuğa göre belirlenmektedir. Örnek olarak,  ${}^{154}_{62}Sm_{92}$  çekirdeğini göz önüne alalım. 12 adet proton 50-82 proton kabuğunu işgal etmekte ve 10 tane nötron 82-126 nötron kabuğunu işgal etmektedir. Buna (IBM) göre etkileşen bozon sayısı  $N = 6+5 = 11$  olacaktır. Açısal momentum ve pariteleri  $L^P = 0^+, 2^+$  ve  $4^+$  olan durumların sayısı kabuk modelindeki  $10^{12}-10^{13}$  daha aza indirilmiş olur. Bu azaltma, diyagonal Hamiltonyen matrisinin çok küçük boyutlarda olması gerektiğinden çekirdeğin düşük enerji kolektif durumlarının üzerinde çalışmaya olanak sağlamaktadır.

### 2.2.1. Elektromanyetik Geçiş Operatörleri

Etkileşen bozon modelinde, uygun operatörler kullanılarak bazı gözlemlenebilir nicelikler hesaplanabilir. Elektromanyetik geçiş olasılıkları için, bozon serbestlik dereceleri cinsinden ifade edilen tek-bozon operatörünün ilk kuantizasyonu,

$$\hat{T}^{(1)} = \sum_{i=1}^N t_i^{(1)} \quad (2.13)$$



ifadesi ile verilir ve buradaki  $t_1$  tek-parçacık geçiş operatörüdür. Bu ifadeye eğer gerekirse yüksek mertebeli (iki-cisim...) bozon terimleri eklenebilir. Yukarıdaki ifadenin ikinci kuantizasyon formu ;

$$\hat{T}^{(1)} = \alpha_2 \delta_{12} (d^+ s + s^+ d)_m^{(2)} + \beta_1 (d^+ d)_m^{(1)} + \tau_0 \delta_{m0} \delta_{10} (s^+ s)_0^{(0)} \quad (2.14)$$

şeklindedir.

Bu ifade açılırsa aşağıdaki elektromanyetik geçiş operatörleri elde edilir [37,38].

$$\hat{T}_0(E0) = \gamma_0 + \beta_0 (d^+ x d)_0^{(0)} + \alpha_0 (s^+ x s)_0^{(0)}$$

$$\hat{T}_m(M1) = \beta_1 (d^+ x d)_m^{(1)}$$

$$\hat{T}_m(E2) = \alpha_2 (d^+ x s + s^+ x d)_m^{(2)} + \beta_2 (d^+ x d)_m^{(2)} \quad (2.15)$$

$$\hat{T}_m(M3) = \beta_3 (d^+ x d)_m^{(3)}$$

$$\hat{T}_m(E4) = \beta_4 (d^+ x d)_m^{(4)}$$

Yukarıdaki denklemlerin ilkinde yani E0 elektrik monopol geçiş operatöründe  $N = n_s + n_d$  tanımı kullanılırsa

$$\begin{aligned} T_0(E0) &= \tau_0 N + \beta_0 n_d \\ \beta_0 &= \frac{\beta_0}{\sqrt{5}} - \tau_0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemdeki  $\tau_0 N$  terimi sadece diagonal matris elemanlarına sahiptir. Bundan dolayı E0 geçişlerine katkıda bulunmaz[37]. Ayrıca M1 operatörü şu şekilde yazılabilir.

$$\hat{T}_m(M1) = (10)^{-1/2} \beta_0 \hat{L}_m \quad (2.17)$$

burada  $L$  açısal momentum operatörüdür. Bu son ifade sadece manyetik momentlere katkıda bulunur, bunun için IBM yaklaşımında  $M1$  geçişleri gözlenebilmektedir[38]. Yukarıdaki  $E2$  geçiş operatörünün rankı 2 olan hermityen bir tensördür ve bu ifadedeki  $\alpha_2$  kat sayısı etkin bozon yükü olarak adlandırılır.

IBM kullanılarak hesaplanan diğer nükleer özellikler ; izomer ve izotop değişimleri , iki nükleon ayrılma enerjileri ve iki nükleon transfer reaksiyonlarının şiddetleridir. Bütün bu özellikler nötron ve proton serbestlik derecelerine açıkça bağlı olmasından dolayı IBM yaklaşımı kullanılarak oldukça iyi hesaplamalar yapılabilir[36,39].

### 2.2.2. Etkileşen Bozon Modelinin Diğer Versiyonları

Etkileşen Bozon Modeli'nin (IBM-1) ilk versiyonunda proton ve nötron bozonları özdeş kabul edilerek ele alınır. Modelin bundan sonraki versiyonu olan IBM-2 de ise proton ve nötron bozonları birbirinden ayrı çiftler halinde ele alınır. Tek çekirdekler ile çift çekirdekleri tek şemada ele alan süper simetrik durumlarda, yine bu modelin ayrı bir türü olan Etkileşen Bozon- Fermiyon Modeli (IBFM) kullanılır. Bu model ise tek kütleli çekirdekleri tanımlamada kullanılan bir model dir.

Etkileşen bozon modelinin ilk versiyonu olan IBA-1 çift çift çekirdeklerin düşük kolektif durumlarına uygulanmak üzere düşünülmüştür. Yani proton ve nötron farkı gözetmeksizin nükleonlar basit çiftlerin lineer kombinasyonu olarak alınırlar. Daha üst yarı kabukta ise boşluklar, parçacıklarla yer değiştirmiş durumdadır. Bu kısımda parçacıklar yerine boşluklar alınır. Bu çiftlerin her birisine bozon demiştik. Bozonlar iki durumda bulunulabilir. Bunlar  $l=0$  durumunda bulunan s-bozonları ve  $l=2$  durumunda bulunan d bozonlarıdır.

Etkileşen bozon modelinin ikinci versiyonu IBA-2 de ise proton bozonları olan  $s_\pi, d_\pi$  ile nötron bozonları olan  $s_\nu, d_\nu$  'dir ve bunlar birbirinden farklıdır. IBM-2 Hamiltonyeni [1],

$$H = \varepsilon_\pi n_{d_\pi} + \varepsilon_\nu n_{d_\nu} + \kappa Q_\pi Q_\nu + M_{\pi\nu} + V_{\nu\pi} \quad (2.18)$$

dir. Burada,

$$M_{\pi\nu} = \frac{1}{2} \xi_2 \left( s_\nu^+ x d_\pi^+ - d_\nu^+ x s_\pi^+ \right)^{(2)} \left( s_\nu x d_\pi^- - d_\nu^- x s_\pi \right)^{(2)} \quad (2.19)$$

$$= \sum_{k=1,3} \xi_k (d_v^+ x d_\pi^+)^{(k)} (d_\pi^- x d_v^-)^{(k)}$$

ve

$$V_{\rho\rho} = \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2} C_L^\rho (d_\rho^+ \times d_\rho^+)^{(L)} (d_\rho^- \times d_\rho^-)^{(L)} ; \rho = \pi, \nu \quad (2.20)$$

şeklindedir.

Etkileşen bozon modelinin diğer versiyonlarındaysa nükleon çiftlerinin farklı yapıları dikkate alınarak belli bir yoruma gidilmeye çalışılır. Bu yapıda bozonlar, bir proton ve bir nötrondan oluşan çiftler halinde ele alınır.

Burada son versiyonların IBM-2 'den farkı, IBM-2 'de alınan iki ayrı tür bozona ( $\pi$  ve  $\nu$  bozonları) karşılık IBM-3 'de üç tip bozon ( $\pi$ ,  $\delta$  ve  $\nu$  bozonları) alınır. Çünkü IBM-3 'de  $T = 1$  ve  $M_T = 1, 0, -1$  değerlerine sahip eş spin üçlüsü üzerindeki s ve d bozonlarının her ikisi birden göz önüne alınır. Böylece çekirdek kabuk modelindeki aynı değerlik yörünge setini dolduran protonlara ve nötronlara sahiptir. Dolayısı ile IBM-3, iyi derecede eş spinlerin varlığını gerektirir. IBM-3 versiyonu, bozonların dolaylı olarak  $T=1$  eşspinini taşıdığını farz eder. IBM-4 versiyonu ise, bozonların yine dolaylı olarak  $T=1$  eşspinine ek olarak  $T=0$  eşspinini de taşıdığını kabul eder. Böylece IBM-3 ve IBM-4 versiyonları; hafif çekirdekleri incelemekten çok, eşspini ele alarak Etkileşen bozon modeli ve kabuk modeli arasında bir ilişki kurmaktadır.

### 2.3. Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli ( IBFM )

Bundan önceki kısımlarda, etkileşen bozon modelinin geliştirilmiş formunda tek sayıdaki proton veya nötronlar için bir anlatım yoktur. Etkileşen bozon Fermiyon modelde (IBFM) tek kütleli çekirdekleri tanımlamada kullanılan bir modeldir. Nükleon çiftleri için yaratma ve yok olma operatörleri Hamiltonyen denklemi için geleneksel bir formda daha önce ortaya konulmuştur. Bu formdan yararlanarak ilgili Hamiltonyen genişletilecek ve yeni form tek-çift çekirdeklere uygulanabilir hale getirilecektir.

### 2.3.1. IBFM Hamiltonyen

Daha önceki kısımlarda nükleer model çift proton ve çift nötron sayıları ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte , bir çok çekirdek tek-çift (even-odd) veya tek-tek (odd-odd) nükleonlardan meydana gelmiştir. Bu çekirdekleri de içerecek şekilde, etkileşen boson modeli bozon konfigürasyonuna bir tek nükleon eklemekle genişletilebilir. Örneğin tek-tek çekirdek için, bir tek proton ve nötron eklemek gerekmektedir. Böylece bozon sayısı bir önceki kısımda da anlatıldığı gibi sabitlenmiş olacaktır. Eğer aktif bozonlar deşikler ise , nükleon deşik durumu olarak ele alınmak zorundadır. Etkileşen bozon modeline benzer şekilde etkileşen bozon Fermiyon Hamiltonyen ,

$$H = H_B + H_{F_b} + V_{BF} \quad (2.21)$$

Şeklinde yazılır.

Bozon kısmı IBM-I Hamiltonyen ile ifade edilir .

$H_F$  aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir[4],

$$H_F = E_0 + \sum J \varepsilon_j \sqrt{2j+1} [a^+_{j_1} x a^-_{j_2}]^{(0)} + \sum J j j_1 j_2 c^{(j)} j_1 j_2 \left[ [a^+_{j_1} x a^+_{j_2}]^{(j)} x [a^-_{j_1} x a^-_{j_2}]^{(j)} \right] \quad (2.22)$$

$Q_B$  kuadropol operatör terimi de eklenerek bozon-fermiyon etkileşim ifadesi Hamiltonyen denkleminde yerini alacak şekilde elde edilmiş olur. Böylece,

$$V_{BF} = \sum j c^{(0)}_{00 j j} N n_j - \sum j A_j n_d n_j / \sqrt{5(2j+1)} + \sum j_1 j_2 \Gamma_{j_1 j_2} \left[ Q_B(x_{j_1 j_2}) \times [a^+_{j_1} \times a^-_{j_2}]^{(2)} \right]^{(0)} + \sum j j_1 j_2 \Lambda^{(j)} j_2 j_1 : \left[ [d^+ \times a^-_{j_2}]^{(j)} \times [a^+_{j_1} \times d^-]^{(j)} \right]^{(0)} \quad (2.23)$$

biçiminde yazılır. Burada sağ taraftan ikinci terim monopol terimidir. Daha sonra sırasıyla kuadropol ve değişim terimleri gelmektedir.

$V_{BF}$  operatöründeki terimleri indirgemek üzere aşağıdaki eşitlikler yazılabilir,

$$\begin{aligned}
A_j &= -\sqrt{5(2j+1)}A_0 \\
\Gamma_{j_1 j_2} &= \sqrt{5}\gamma_{j_1 j_2}\Gamma_0 \quad , \quad \gamma_{j_1 j_2} = (u_{j_1}u_{j_2} - v_{j_1}v_{j_2})Q_{j_1 j_2} \\
\Lambda_{j_1 j_2}^j &= -2\sqrt{5/(2j+1)}\wp_{j_1 j_2}\Lambda_0 \quad , \quad \wp_{j_1 j_2} = (u_{j_1}u_{j_2} - v_{j_1}v_{j_2})Q_{j_1 j_2}
\end{aligned} \tag{2.24}$$

yukarıdaki ifadeler yardımı ile VBF sadece üç parametreye bağlı hale gelmiş durumdadır. Bunlar sırasıyla  $A_0$  ,  $\Gamma_0$  ve  $\Lambda_0$  parametreleridir.

### 2.3.2. Elektromanyetik Geçiş Operatörleri

Etkileşen bozon fermiyon yaklaşımında E2 geçiş operatörü için kullanılan operatörler,

$$T^{(2)} = e_B T_B^{(2)} + e_F T_F^{(2)}$$

şeklinindedir. Burada bozonik operatör[42],

$$T_B^{(2)} = (s^+ x \tilde{d} + d^+ x s)^{(2)} + \chi (d^+ x \tilde{d})^{(2)}$$

Şeklinde verilir.İlgili dinamik simetri değeri  $\chi = -\frac{\sqrt{7}}{2}$  olup fermiyonik operatör,

$$T_F^{(2)} = \sum_{ij} T_{ij}^{(2)} (a_i^+ x \tilde{a}_j)^{(2)}$$

şeklinindedir. Hesap edilen B(E2) değerlerinde, E2 geçiş oranlarının hesabında bozon ve fermiyon etkin yükler sırasıyla  $e_B = 0.13eb$  ve  $e_F = -0.15eb$  olarak seçilmiştir[41]. Gözlemlenen B(E2) değerleri oldukça sınırlı olması nedeni ile bazı değerler için deneysel veriler mevcut değildir.

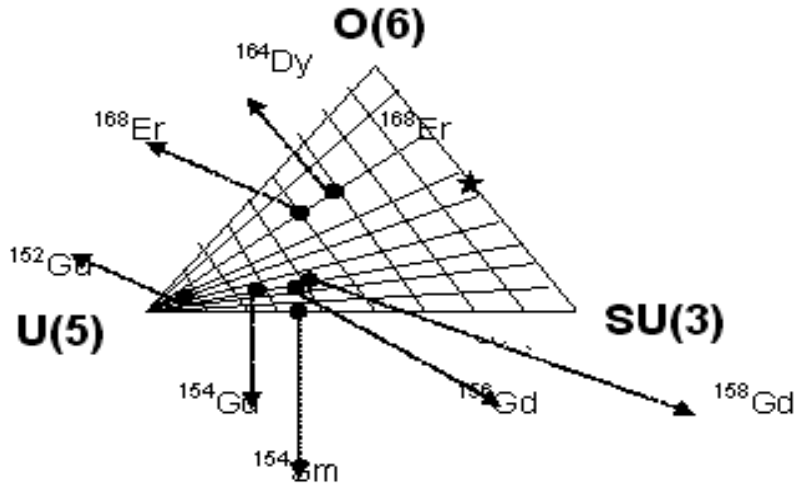
İyi deforme olmuş erbiyum izotopları için IBFM 'de yüksek spin düzeyler için hesaplamalar yapılabilmektedir[40-42]. Bu cebirsel model bütün Kolektif serbestlik derecesine sahip durumlara uygulanabilmektedir. Etkileşen parametrelerin küçük değişimleri ile çekirdeklerin kollektif özelliklerini hesaplamak bu modelle mümkün olabilmektedir.

## 2.4. Dinamik Simetriler

Etkileşen bozon modeli , problemin çözümünü analitik olarak üç özel bozon etkileşimi veya limiti olarak sunabilmektedir. Bu limitler; ya bir küre, ya iki eşit eksenli bir elipsoid veya gamma-yayıcı olarak adlandırılan enerji kaybı yapmaksızın sıkıştırılmış bir elipsoid şeklinde ifade edilebilen görünümleri içerir. Bu limitler bir nükleer şekilden diğerine sürekli bir geçişi tanımlamaktadır[2].

$$U(6) \supset \begin{cases} U(5) \supset SO(5) \supset SO(3) \\ SU(3) \supset SO(3) \\ SO(6) \supset SO(5) \supset SO(3) \end{cases}$$

Hamiltonyen matris nümerik olarak enerji özdeğerlerini elde etmek için köşegenleştirilir. Bu özel durumlar dinamik simetrilerle ilgilidir. Nükleer durumlar iyi açılal momentuma sahip olduklarından, üç boyuttaki  $SO(3)$  rotasyonel grup bütün alt grup zincirlerini içermektedir. Bu kısıtlamalar altında üç muhtemel zincir bulunmaktadır. İlgili dinamik simetriler  $U(5)$ ,  $SU(3)$  ve  $SO(6)$  olarak gösterilir.



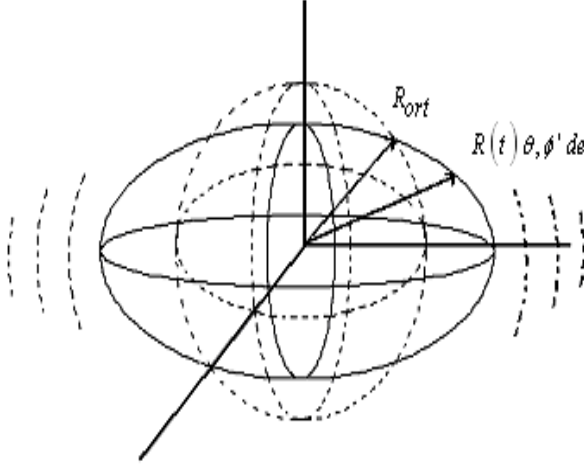
Şekil 2.1. Gd izotopunun faz üçgeninde ki yeri[44]

Bu analize göre[3];

- \* U(5) vibrasyonel limit (anharmonik titreştirici)
  - \*\* SU(3) rotasyonel limit (prolate ve oblatte deformasyon-eksenel rotor)
  - \*\*\* O(6) limiti  $\gamma$  kararsız rotor (deforme-osilatör) durumlarına karşılık gelmektedir.
- Gd çekirdeği U(5) vibrasyonel limite yerleşiktir.

## 2.5. Nükleer Titreşimler

Yüksek frekansla titreşen bir sıvı damlasını gözümüzde canlandırarak nükleer titreşimlerin fiziği hakkında iyi bir fikir edinebiliriz. Nükleer titreşimlerde ortalama şekil küresel olmakla birlikte herhangi bir andaki şekil küresel değildir. Şekil 2.2' de görüldüğü gibi nükleer yüzey üzerinde ki bir noktanın koordinatlarını küresel harmonikler cinsinden belirtmek kolaylık sağlar.



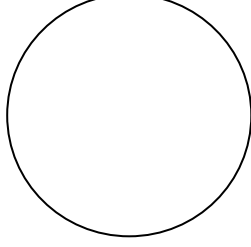
Şekil 2.2. Nükleer yüzey üzerinde ki bir noktanın koordinatlarını küresel harmonikler cinsinden gösterimi[4]

Her küresel harmonik bileşeni  $\alpha_{\lambda\mu}(t)$  genliğine sahiptir.

$$R(t) = R_{ort} + \sum_{\lambda \geq 1} \sum_{\mu = -\lambda}^{+\lambda} \alpha_{\lambda\mu}(t) Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi) \quad (2.25)$$

Sırasıyla titreşim türlerine bakılırsa[4];

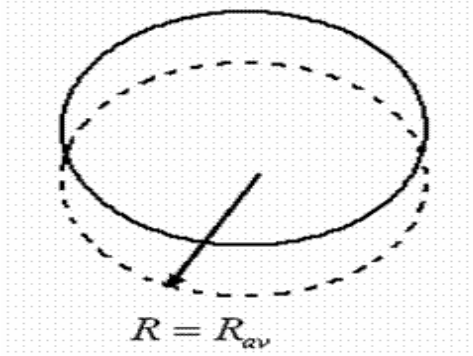
### 2.5.1. Monopol titreşim ( $\lambda = 0$ Titreşimi)



Şekil 2.3. Monopol titreşimi

$\lambda=0$  titreşimi yani monopol titreşimde çekirdeğin şekli değişmeden kalır ve radyal bir salınım görülür. Taban durumu için  $J=0$  kuantum sayısını taşıyan çift-çift çekirdeklere bu tip en düşük uyarılma olduğu deneysel olarak gözlenir.

### 2.5.2. Dipol titreşim ( $\lambda = 1$ Titreşimi)

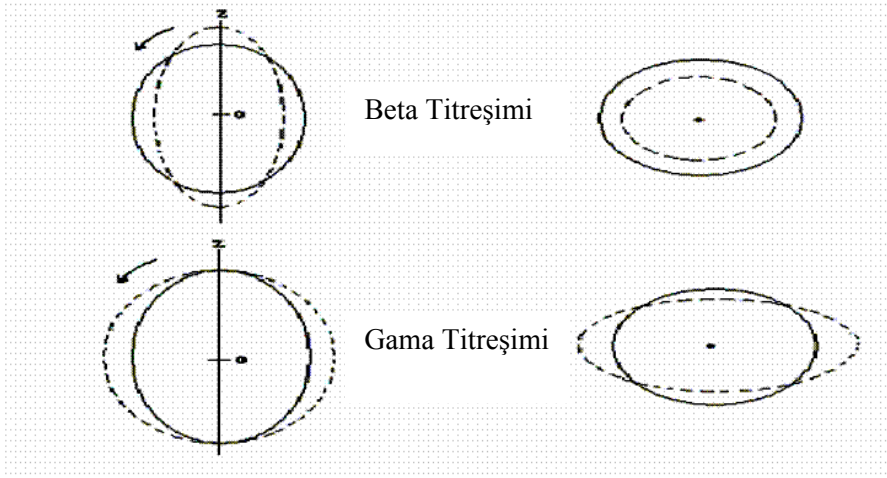


Şekil 2.4. Dipol titreşimi

$\lambda = 1$  Titreşimi yani Dipol titreşim biçimi şekilde de gösterildiği gibi nükleer sıvının merkezinin tam bir dönmesine karşılık gelir. Çekirdeğe bağlı olarak 10-25 MeV gibi çok yüksek enerjilerde meydana gelir.



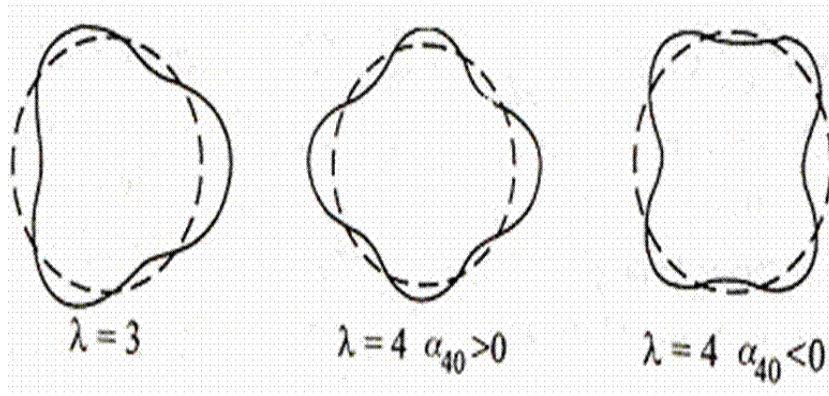
### 2.5.3. Kuadropol titreşim ( $\lambda=2$ Titreşimi)



Şekil 2.5. Kuadropol titreşim şekilleri

Kuadropol titreşimler ile Atom çekirdeğinin şekli şekil 2.5.de görüldüğü gibi küresel ve elipsoidal biçimde değişir. Kuadropol titreşim  $K\pi = 0^+$  kuantum sayısına sahip çekirdekte beta titreşim,  $K\pi=2^+$  kuantum sayısına sahip çekirdekte ise gama titreşim olarak tanımlanmaktadır. Deforme çekirdeklerin genelinde kuadropol titreşimleri baskındır.

### 2.5.4. Oktopul titreşim ( $\lambda \geq 3$ Titreşimi)

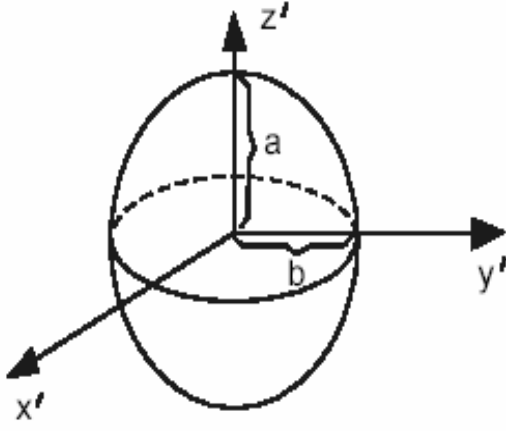


Şekil 2.6. Oktopul titreşim şekilleri

$\lambda=3$  Oktopul biçimleri pek çok çekirdekte görülebilir. Tek A'lı çekirdekte genellikle Oktopul durumu çoğunlukla en düşük uyarılmış durumdur.

## 2.6. Nükleer Dönmeler

Nükleer dönme hareketi sadece denge şekli küresel olmayan çekirdekte gözlemlenebilir. Bu çekirdekler, küresel şekilden önemli ölçüde sapmalara sahip olabilirler ve deforme çekirdekler olarak adlandırılırlar. Bu çekirdeklerin ortak şekilleri Şekil 2.7. deki gibi dönen bir elipsoittir ve bu elipsoitlerin yüzeyi aşağıdaki gibi tanımlanır.



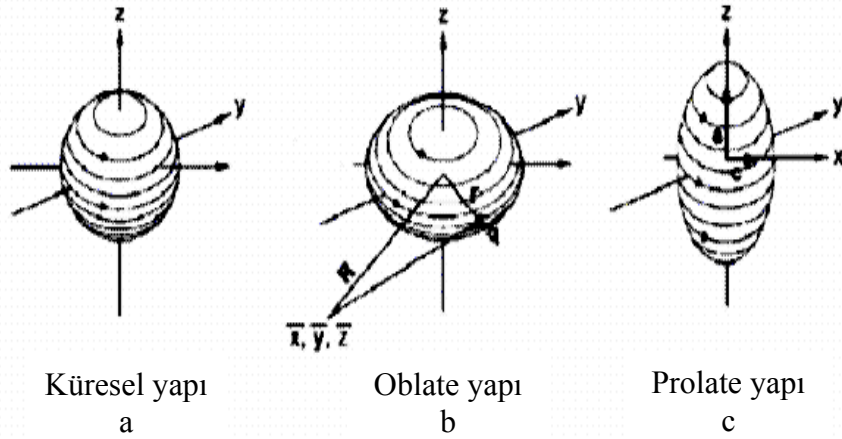
Şekil 2.7. Geometrik yapı ve eksenler

$$Q = \frac{2}{5} \cdot Z \cdot e \cdot (a^2 - b^2) \quad (2.26)$$

Yük küresel olur ancak z yönünde hesaplanınca küresellik ortadan kalkar.

Deformasyon:  $Q/ZR^2$

Bu çekirdeklerin ortak şekilleri Şekil'deki gibi dönen bir elipsoittir ve bu elipsoitlerin yüzeyi aşağıdaki gibi tanımlanır[4].



Şekil 2.8. Kalıcı Deformasyona sahip çekirdeklerin geometrik yapıları

Yüzey  $\phi$  den bağımsız olduğu için çekirdek silindirik simetriye sahiptir.

$$\beta = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\pi}{5}} \frac{\Delta R}{R_{ort}} \quad (2.27)$$

B Deformasyon katsayısı olup çekirdeklerin şeklini belirler ne kadar büyük olursa çekirdek o kadar deforme demektir. Kabuk modelinde kor hareketsizdir ve kor etrafında valans nükleonları döner. Kolektif modelde eğer çekirdek deforme ise kor ve valans nükleonları birlikte döner.

Kolektif model; deforme (küresel simetriye sahip olmayan) ve çift-N ve çift-Z'li çekirdeklerin özelliklerini açıklamaktadır. Kor ve kor dışındaki (valans) nükleonlar arasındaki etkileşim potansiyelin sürekli deformasyonuna yol açar. Kapalı kabuk dışında valans nükleonlar arttıkça potansiyel, nötron deformasyonu biçimi nedeniyle kabuk modelindeki yapıdan ayrılır. Çekirdek özellikleri, kor + valans nükleonu tarafından belirlenir. Kor'dan kaynaklanan net bir nükleer potansiyel vardır ve kor dışında bulunan tek kalmış nükleonlar (valans) bu potansiyelde bağımsız olarak hareket eder.

Kolektif modelde; çekirdeklerin öz uyarılma durumları, sihirli çekirdekler için kabuk modelinin aynıdır. Sihirli sayıda nötron ve protona sahip olan çekirdekler küreseldir. Sihirli çekirdeklere komşu çekirdeklerde çiftlenim etkisiyle küresel öz bozulmaz ve nükleonların sıfır açısız momentumlu çiftler meydana getirdikleri görülür. Çekirdeğin küresel denge biçimi etrafındaki kolektif hareketi bir vibrasyon hareketidir.

Kapalı kabuk dışına ilave olan valans nükleonların sayısı arttıkça, uzun menzilli kuadropol kuvvetleri küresel yapının bozulmasına neden olur. Bu bozulma küresel özde de kendini göstererek çekirdeğe elipsoidal bir şekil kazandırır. Bu durumdaki kollektif hareket, denge biçimi etrafındaki vibrasyon hareketiyle, deforme olmuş çekirdeğin yönelme doğrultusunun rotasyonundan meydana gelir.  $\beta_0$ , z eksenine göre dik düzlemdeki titreşimleri gösterir.

## 2.7. Elektromanyetik Geçiş İşlemleri

B(E2) değerleri, dinamik simetri sınırlarını belirlenmek için belirli geçişlerin oranlanmasında kullanılır. Çalışmalarda en çok kullanılan E2 geçişleri elektromanyetik geçişler için çok önemlidir. E2 operatörü kullanılarak B(E2) geçiş olasılığı değerleri hesaplanmıştır. Bozon sayısının korunması için kullanılan E2 operatörü rankı iki olan hermitik bir operatör olmalıdır. Bu kısıtlamalarla genel E2 operatörü, şu şekilde yazılabilir[5].

$$T_m(E2) = e_\pi Q_\pi + e_\nu Q_\nu \quad (2.28)$$

$$Q_\rho = \left[ d_\rho^+ s_\rho + s_\rho^+ \tilde{d}_\rho \right]^{(2)} + x_\rho \left[ d_\rho^+ \tilde{d}_\rho \right]^{(2)} \quad (2.29)$$

Burada  $\rho$ ,  $\pi$  (proton) veya  $\nu$  (nötron) bozonlarına karşılık gelmekte ve  $x_\rho$ , kuadropol operatörünün yapısını belirlemekte ve ampirik olarak hesaplanmaktadır.  $Q_\rho$ ,  $Q_\pi$  ve  $Q_\nu$  bozon kuadropol operatörleri,  $e_\pi$  ve  $e_\nu$  de proton bozonları ve nötron bozonlarının etkin yükleridir. Hesaplamalarda eşit etkin yükleri eşit olarak alınmıştır. E2 geçişleri için B(E2) geçişi şu şekilde verilebilir;

$$B(E2; L_i \rightarrow L_f) = 1/(2L_i + 1)^{1/2} \left| \langle L_f \| T(E2) \| L_i \rangle \right|^2 \quad (2.30)$$

Kuadropol kısmı operatör  $Q_\rho$  Hamiltoniyen eşitliği ile aynı açıklamaya sahiptir ve uygunluk için Hamiltoniyen' deki gibi aynı değer seçilir.

$$T(M1) = \left[ \frac{3}{4} \right]^{1/2} (g_{\pi} L_{\pi} + g_{\nu} L_{\nu}) \quad (2.31)$$

Şeklindeki, proton(nötron) g faktörü  $\mu_N$  birimi ile ve  $L_{\rho}$  proton(nötron) için açısal momentum operatörüdür.  $2_1^+$  seviyesinin deneysel g değerleri  $g_{\pi}$   $g_{\nu}$  ye sabit bir orantı ile bağlıdır. Çekirdek bir  $I_1$  spin seviyesine  $I_2$  seviyesine bağlayan bir gama ışını için, L açısal momentumu  $I_1+I_2$  ve  $I_1-I_2$  arasında herhangi bir değer alabilir. Çok-kutuplu geçiş olasılıklarının oranı, nükleer durumların araştırılmasında ve çeşitli nükleer modellerin bulunduğu değerleri test etmede kullanılabilir.

## 3.BÖLÜM

### ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. <sup>152</sup>Gd İzotopunun incelenmesi

<sup>152</sup>Gd çekirdeği 150<A<190 deforme bölge girişinde başka bir ifadeyle N=88 nötron sayısına sahip bu izotop küresel simetrik yapıdaki çekirdeklerin bulunduğu bölgeyle deforme yapıya sahip çekirdeklerin bulunduğu bölge arasında yer alır ve geçiş çekirdeği olarak adlandırılır. Geçiş çekirdeklerinin enerji seviyeleri ve gama geçişlerinin anlaşılması geçiş bölgesinin yapısı hakkında oldukça önemli bilgiler verir. Bu nedenle bu izotop birçok bilim adamı tarafından deneysel ve teorik metotlarla incelendi.

<sup>152</sup>Gd izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan deforme Gadolinyum çekirdeklerinden ilkidir. Bozunum şemasından görüleceği üzere temel hal bandının seviyeleri: 0<sup>+</sup>[0]keV, 2<sup>+</sup>[344,282]keV, 4<sup>+</sup>[755,397]keV, 6<sup>+</sup>[1227,3]keV, 8<sup>+</sup>[1746,7]keV, 10<sup>+</sup>[2300,4]keV, seviyelerindedir.

Beta bandının seviyeleri ise: 0<sup>+</sup>[615,416]keV, 2<sup>+</sup>[930,582]keV, 4<sup>+</sup>[1282,276]keV, 6<sup>+</sup>[1668,1]keV, 8<sup>+</sup>[2138,7]keV, 10<sup>+</sup>[2691,1]keV seviyelerindedir.

Gama bandının seviyeleri ise; 2<sup>+</sup>[1109,18]keV, 3<sup>+</sup>[1433,98]keV, 4<sup>+</sup>[1550,18]keV, 5<sup>+</sup>[1861,52]keV, 6<sup>+</sup>[1997,79]keV, 7<sup>+</sup>[2301,73]keV seviyelerindedir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır.

<sup>152</sup>Gd çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.1. de görülmektedir. <sup>152</sup>Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Tablo 3.9.1. ve Tablo 3.9.3. de gösterilmiştir. <sup>152</sup>Gd izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.1.1. de gösterilmiştir.

### 3.1.1. $^{152}\text{Gd}$ 'deki Bazı Enerji Seviyeleri

**344,282 keV seviyesi:**  $K^\pi = 0^+$  temel hal bandının ilk uyarılmış seviyesidir. Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+ [0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu 344,282keV olan bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**755,397keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[344,282]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 411,115 keV değerindedir.

**1227,3 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[755,397]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 471,9 keV değerindedir.

**1746,7 keV seviyesi:** Spin paritesi  $8^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $6^+[1227,3]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 519.4 keV değerindedir.

**615,416 keV seviyesi:** Spin paritesi  $0^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[344,282]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 271,135 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**930,582 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[615,416]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 315.173 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[755,397]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 175 keV değerindedir.  $0^+[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 930,584 keV değerindedir.

**1282,276 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[930,582]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu

geçişte 351,67 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[755,397]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 526,886 keV değerindedir.

**1668,1 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[1282,276]$ keV seviyesine bir E2 geçişi vardır. Bu geçişte 385.9 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $6^+[1227,3]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 440.3 keV değerindedir.

**1109,18 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[615,416]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 493.5 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[344.282]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 764.905 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1109.180 keV değerindedir.

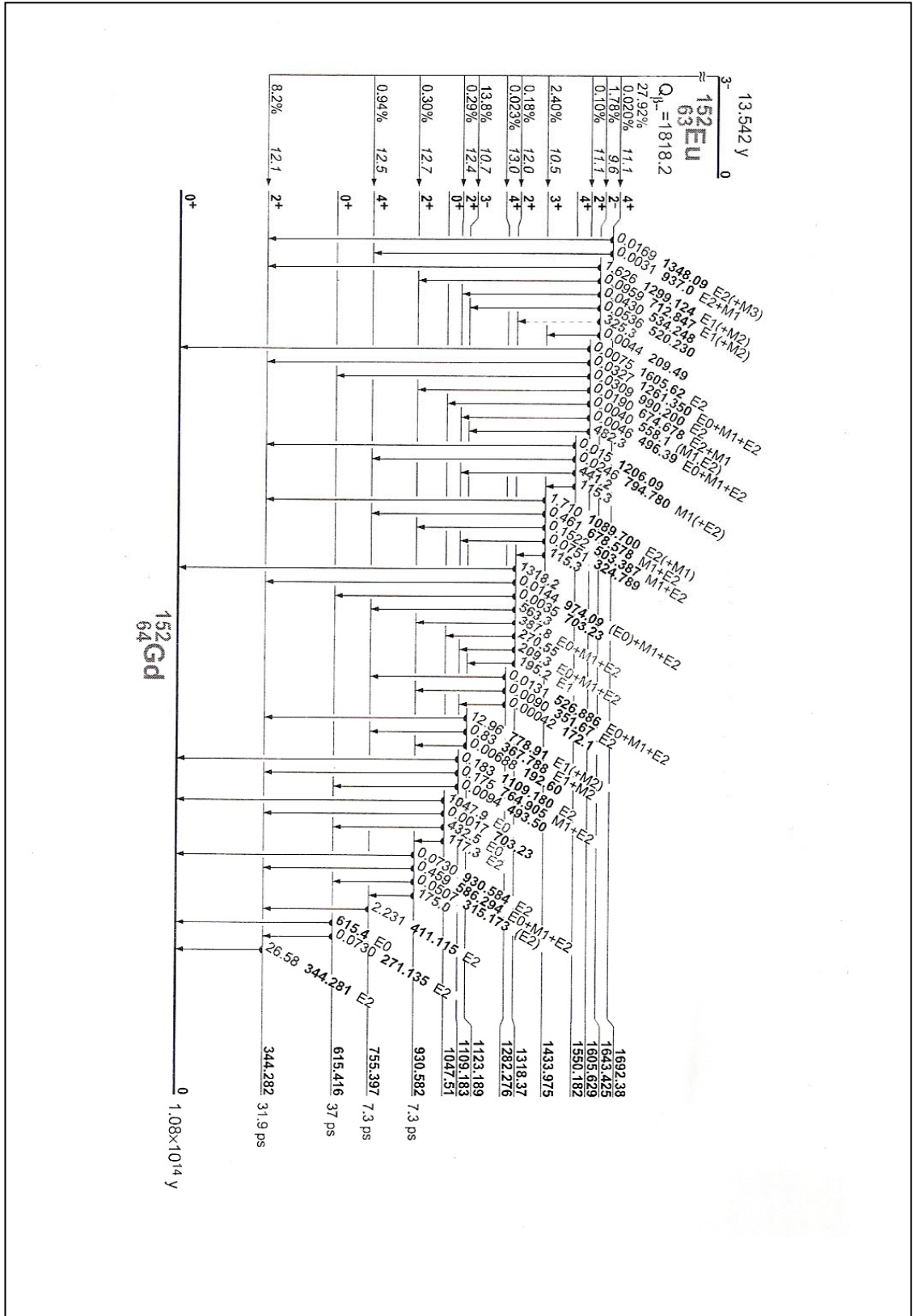
**1433,98 keV seviyesi:** Spin paritesi  $3^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[755.397]$ keV seviyesine çok kutuplu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 678.578 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[930.582]$ keV seviyesine çok kutuplu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 503.387 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[344.282]$ keV seviyesine E2(+M1) olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1089.700keV değerindedir.  $2^+[1109.183]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 324.789 keV

**1550,18 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[344.282]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 1206.09 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[755.397]$ keV seviyesine M1(+E2) olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 794.780 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[1109.183]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 441.2 keV değerindedir.  $3^+[1433.975]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 115.3 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

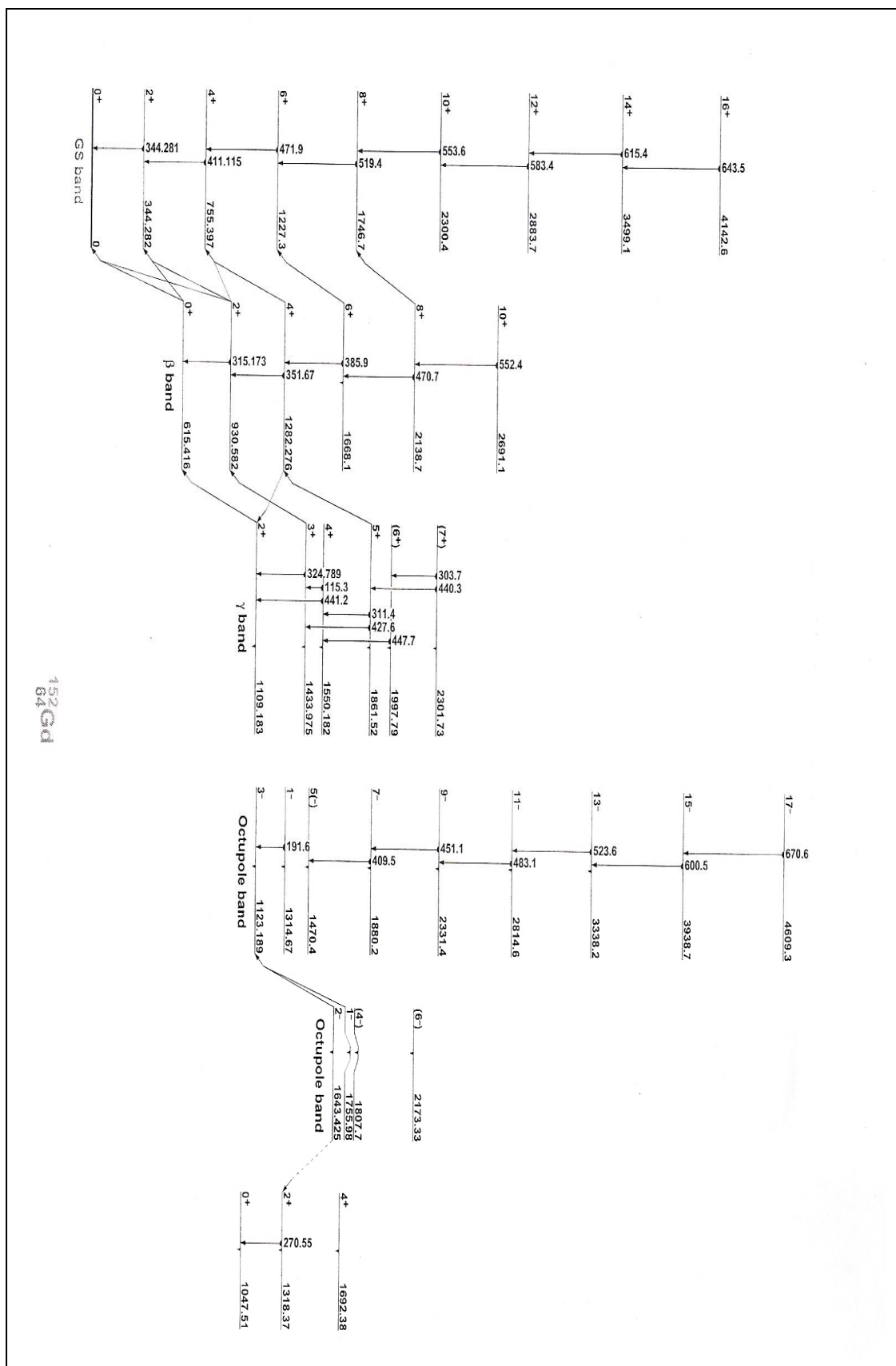


**1861,52 keV seviyesi:** Spin paritesi  $5^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[1282.276]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 579.2 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar. $6^+[1227.3]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 634.2 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[755.397]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1106.2 keV değerindedir.  $3^+[1433.975]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 427.6 keV değerindedir.  $4^+[1550.182]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 311.4 keV değerindedir.

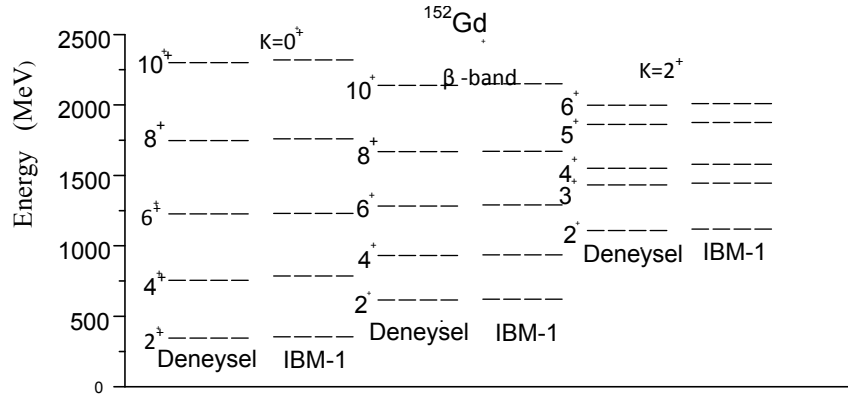
**1997.79 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $6^+[1227.3]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 770.4 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[755.397]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1242.6 keV değerindedir.



Şekil 3.1.  $^{152}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması[10]



Şekil 3.1.1.  $^{152}\text{Gd}$  izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.1.2.  $^{152}\text{Gd}$  izotopunun IBM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması[6]

### 3.2. $^{154}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi

$^{154}\text{Gd}$  izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan deforme Gadolinyum çekirdeklerinden ilkidir. Bozunum şemasından görüleceği üzere temel hal bandının seviyeleri:  $0^+[0]\text{keV}$ ,  $2^+[123,0714]\text{keV}$ ,  $4^+[371,005]\text{keV}$ ,  $6^+[717,661]\text{keV}$ ,  $8^+[1144,47]\text{keV}$ ,  $10^+[1637,07]\text{keV}$ , seviyelerindedir.

Beta bandının seviyeleri ise:  $0^+[680,7]\text{keV}$ ,  $2^+[815,49]\text{keV}$ ,  $4^+[1047,589]\text{keV}$ ,  $6^+[1365,9]\text{keV}$ ,  $8^+[1756,5]\text{keV}$ ,  $10^+[2194,2]\text{keV}$  seviyelerindedir.

Gama bandının seviyeleri ise;  $2^+[996,2]\text{keV}$ ,  $3^+[1127,8]\text{keV}$ ,  $4^+[1263,8]\text{keV}$ ,  $5^+[1432,5]\text{keV}$ ,  $6^+[1606,7]\text{keV}$ ,  $7^+[1810,4]\text{keV}$  seviyelerindedir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır.

$^{154}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.2. de görülmektedir.  $^{154}\text{Gd}$  çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Tablo 3.9.1. ve Tablo 3.9.3. de gösterilmiştir.  $^{154}\text{Gd}$  izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.2.1. de gösterilmiştir.

#### 3.2.1. $^{154}\text{Gd}$ 'deki Bazı Enerji Seviyeleri

**123,0714 keV seviyesi:**  $K^\pi = 0^+$  temel hal bandının ilk uyarılmış seviyesidir. Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu 123,071 keV olan bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**371,005keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[123,0714]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 247,925 keV değerindedir.

**717,661 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[371,005]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 346,643 keV değerindedir.

**1144,47 keV seviyesi:** Spin paritesi  $8^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $6^+[717,661]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 426,78 keV değerindedir.

**680,663 keV seviyesi:** Spin paritesi  $0^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 557,581 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**815,487 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[680,663]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 134,8235 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 444,484 keV değerindedir.  $0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 815,507 keV değerindedir.

**1047,589 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[815,487]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 232,101 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $6^+[717,661]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 329,920keV değerindedir.  $2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 924,55 keV değerindedir.

**1365,896 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[1047,589]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 318,306 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[371,005]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 994,9 keV değerindedir.

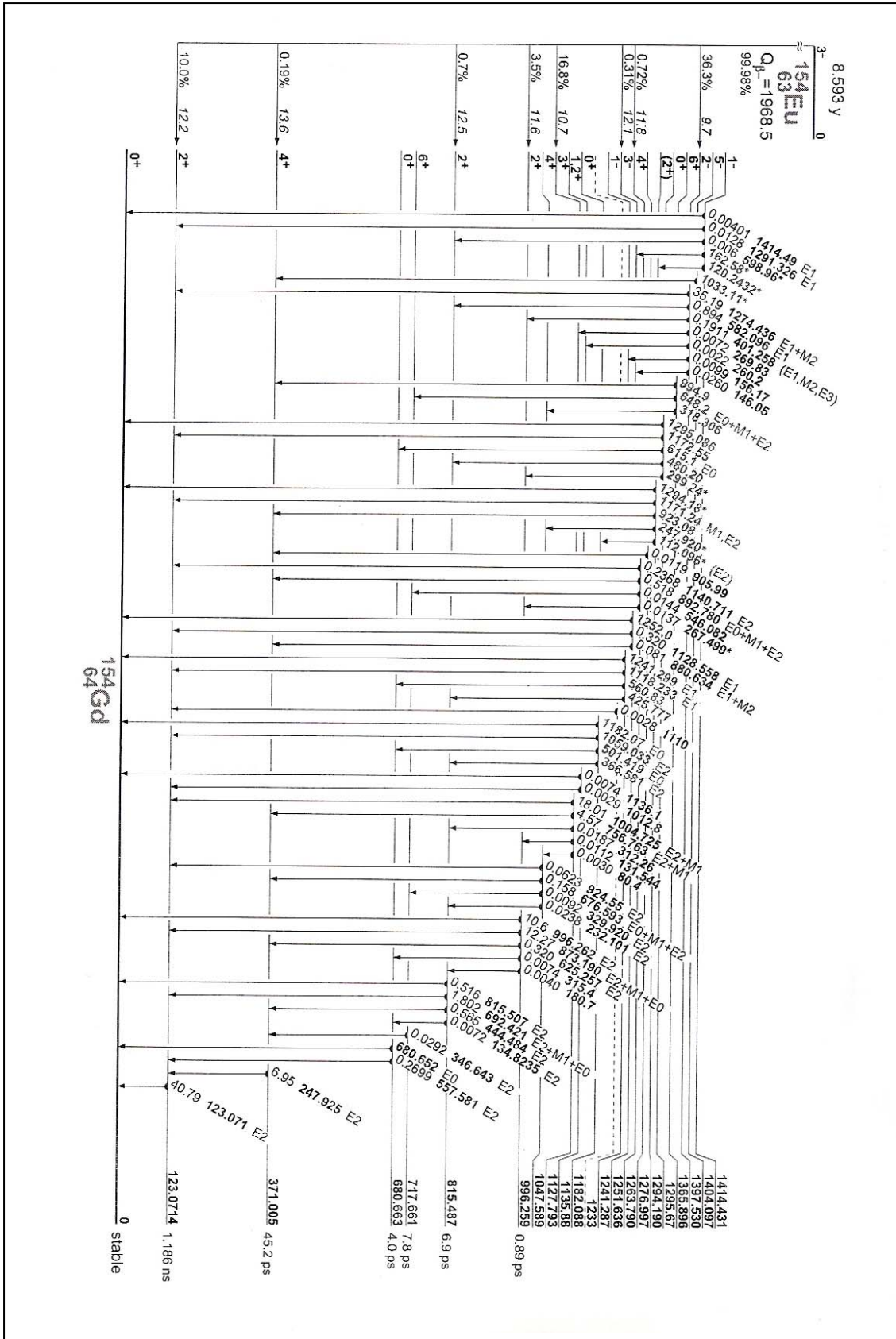
**996,259 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[815,487]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 180,70 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $0^+[680,663]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 315,40 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 625,257 keV değerindedir.  $2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 873,190 keV değerindedir.  $0^+[0]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 996,262 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**1127,973 keV seviyesi:** Spin paritesi  $3^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[1047,589]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 80,40 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[996,259]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 131,544 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[815,487]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 312,26 keV değerindedir.  $4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 756,763 keV değerindedir.  $2^+[123,00714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1004,725 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**1263,790 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[996,259]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 267,499 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $6^+[717,661]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 546,082 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1140,711 keV değerindedir.  $2^+[123,00714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1004,725 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

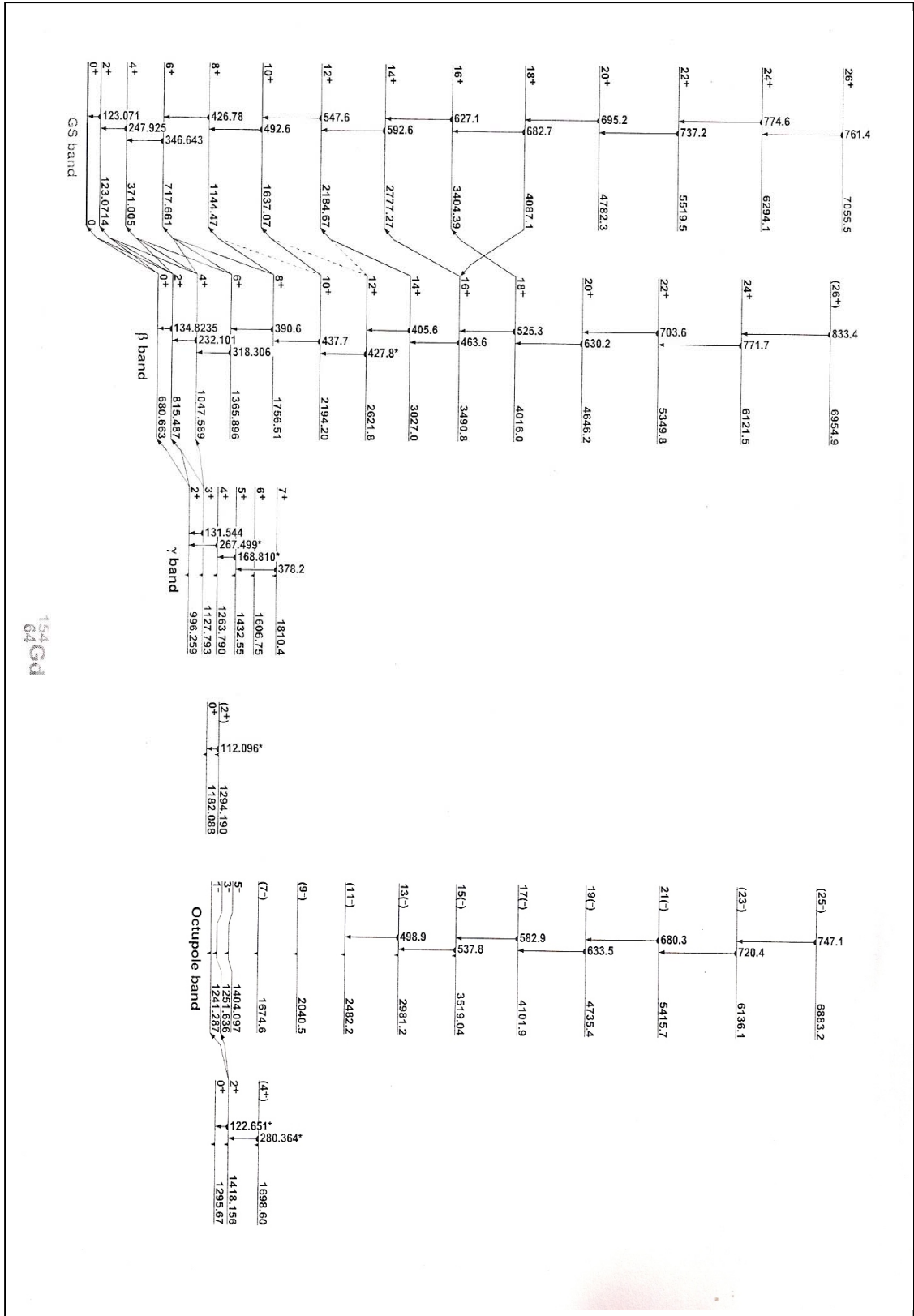
**1432,55 keV seviyesi:** Spin paritesi  $5^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[1263,790]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 168,810 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $6^+[717,661]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2,M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 714,94 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1061,39 keV değerindedir.

**1606,75 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $6^+[717,661]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 888,8 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[371,005]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1235,60 keV değerindedir.

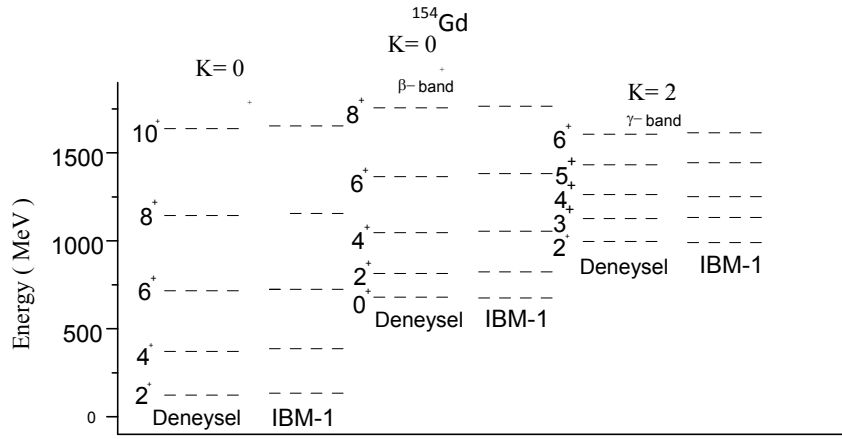


Şekil 3.2.  $^{154}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması[10]





Şekil 3.2.1.  $^{154}\text{Gd}$  izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.2.2.  $^{154}\text{Gd}$  izotopunun IBM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması[6]

### 3.3. $^{156}\text{Gd}$ İzotopunun İncelenmesi

$^{156}\text{Gd}$  izotopu deforme bölge başlangıcında yer alan U(5) limitine yerleşik rotor bir çekirdektir.  $^{156}\text{Gd}$  çekirdeğinin gama ve beta bandlarının  $2^+$  seviyeleri arasında 25 keV luk bir fark olması nedeniyle bandlar arasında kuvvetli bir karışım oluşur. Bozunum şemasından görüleceği üzere temel hal bandının üyeleri;  $0^+[0]$  keV,  $2^+[88,9]$ keV,  $4^+[288,17]$ keV,  $6^+[584,706]$ keV seviyeleridir.

Beta bandının üyeleri;  $0^+[1049,5]$ keV,  $2^+[1129,41]$ keV,  $4^+[1297,79]$ keV seviyeleridir. Gama bandının üyeleri;  $2^+[1154,11]$ keV,  $3^+[1247,96]$ keV,  $4^+[1355,37]$ keV seviyeleridir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır.

$^{156}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.3. de görülmektedir.  $^{156}\text{Gd}$  çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri tablo 3.9.1. ve Tablo 3.9.3. de gösterilmiştir.  $^{156}\text{Gd}$  izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.3.1. de gösterilmiştir.

#### 3.3.1. $^{156}\text{Gd}$ İzotopunda ki Bazı Enerji Seviyeleri

**88,9 keV seviyesi:**  $K\pi = 0^+$  temel hal bandının ilk uyarılmış seviyesidir. Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 88,9 keV dur. Bu seviyenin yarı ömrü ise 2,21 ns düzeyindedir.

**288,2 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 199,3 keV dur. Bu seviyenin yarı ömrü ise 111,9 ps düzeyindedir.

**584,7 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 296,5 keV dur.

**1049,5 keV:** Spin paritesi  $0^+$  olan bu seviye beta bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[0]$ keV seviyesine zayıf şiddette bir E0 geçişi gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1049,5 keV dur. Bu seviyenin yarı ömrü 1,57 ps düzeyindedir.

**1129,4 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye beta bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan bir geçiş yapar. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1040,43keV dur.  $4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş yapar. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 841,2 keV dur.

**1297,7 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye beta bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[88,9]$  seviyesine geçiş yapar. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1208,8 keV dur.

**1540,3 keV seviyesi:** spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye beta bandının bir üyesi olup bu seviyeden  $[1540,3]$  keV,  $4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1252,1 keV dur.  $6^+[584,7]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 955,6 keV dur.

**1848,2 keV seviyesi:** spin paritesi  $8^+$  olan bu seviye beta bandının bir üyesi olup bu seviyeden;  $6^+[584,7]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1263,5 keV dur.  $8^+[965,1]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 883,1 keV dur.

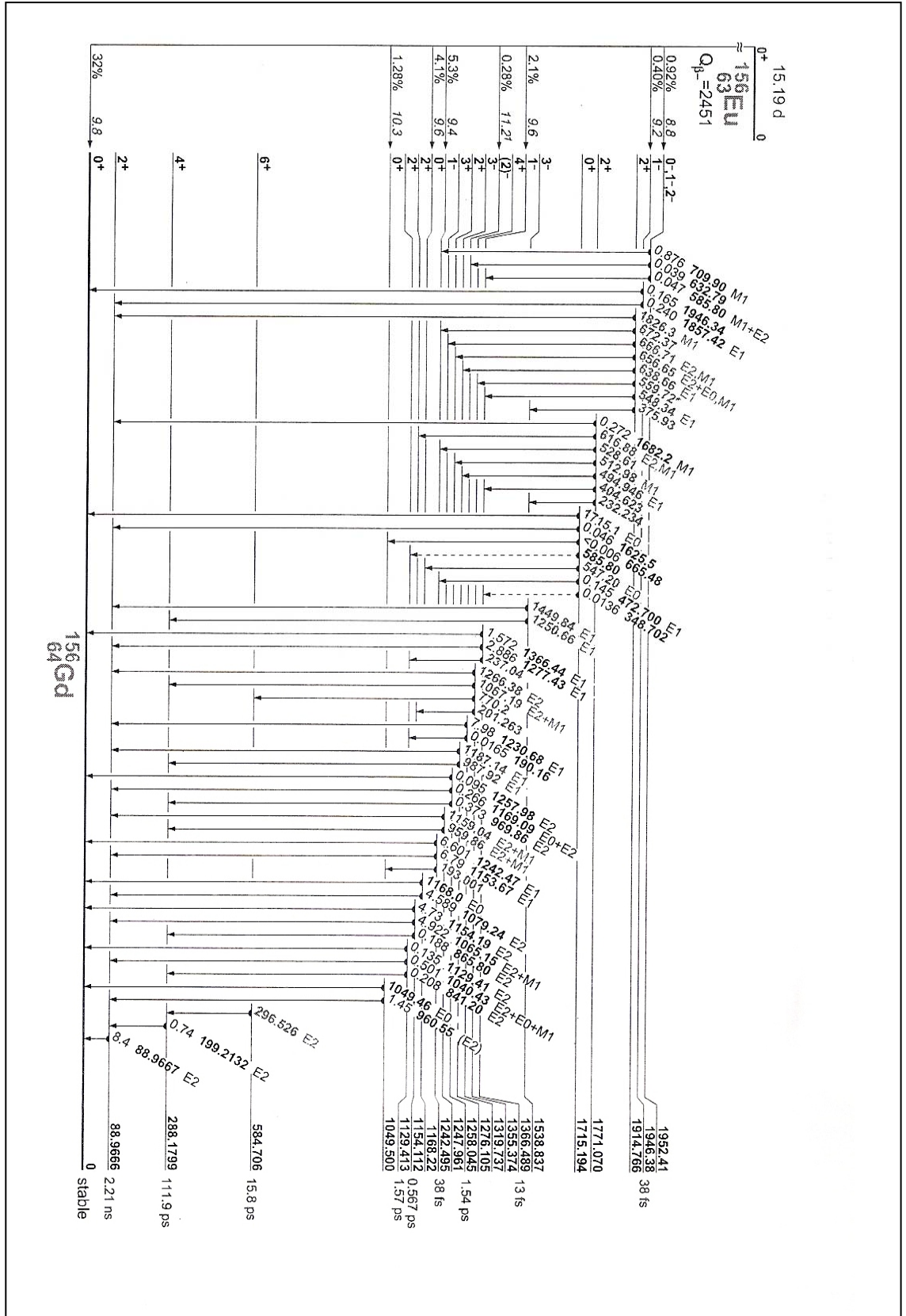
**2219,2 keV seviyesi:** spin paritesi  $10^+$  olan bu seviye beta bandının bir üyesi olup bu seviyeden;  $8^+[965,1]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1254,1 keV dur.  $10^+[1416]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 803,2 keV dur.

**1154,1 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1154,1 keV dur.  $2^+[88,9]$  keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1065,2 keV dur. Daha zayıf şiddette

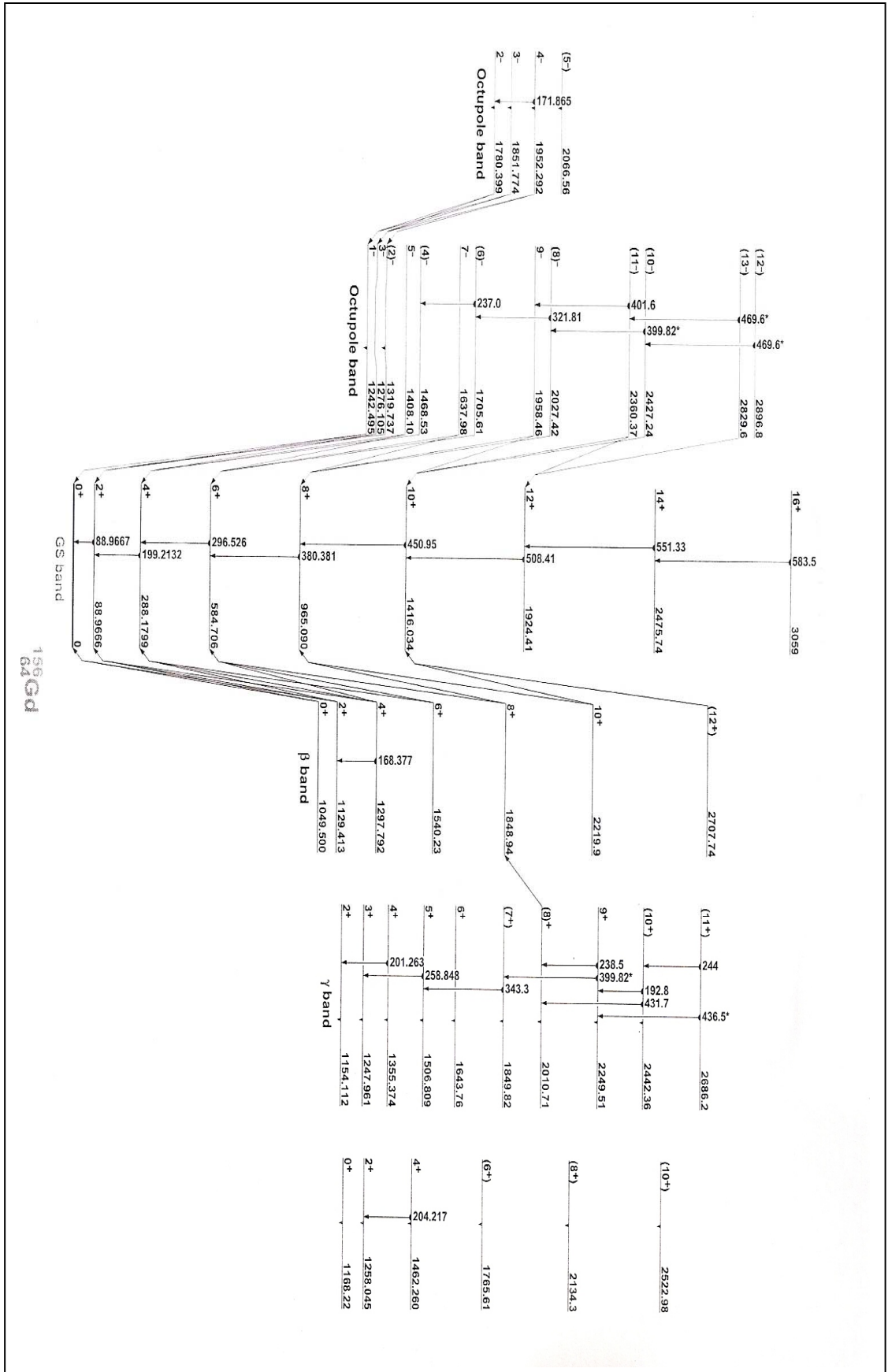
$4^+[288,2]$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Burada açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 865,9 keV dur.

**1247,9 keV seviyesi:** Spin paritesi  $3^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan geçişi vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1159 keV dur.  $4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 959,7 keV dur.

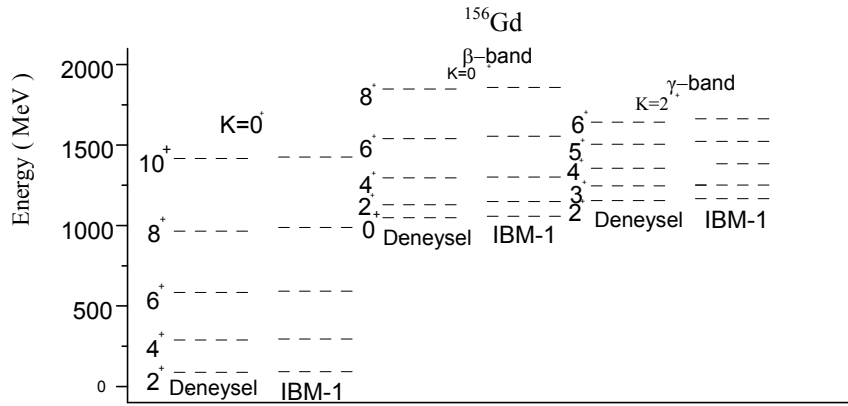
**1355,5 keV seviyesi:** spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden;  $4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 1067,3 keV dur.  $2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 126keV dur.



Şekil 3.3.  $^{156}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması[10]



Şekil 3.3.1. <sup>156</sup>Gd izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.3.2.  $^{156}\text{Gd}$  izotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması[6]



### 3.4. <sup>158</sup>Gd İzotopunun incelenmesi

<sup>158</sup>Gd izotopunun temel hal bandı,  $\beta$  bandı,  $\gamma$  bandı, octupol bandı üyelerini band yapısı, spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri şekil 3.4.1 de gösterilmiştir. Burada spin-paritede kullanılan alt indisler band yapısını görülmektedir. Deneysel uyarılma seviyeleri ve hesaplanan IBFM-1 değerleri şekil 3.4.2 dedir. <sup>158</sup>Gd izotopunda K=2 temel bandının 79,51 keV enerji seviyesinden K=0 taban durum bandına 0 keV enerji seviyesine geçişi ( $2_1^+ \rightarrow 0^+$ ) ile 79,51 keV luk bir enerji açığa çıkar.

<sup>158</sup>Gd çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.4. de görülmektedir. <sup>158</sup>Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Tablo 3.9.1. ve Tablo 3.9.3. de gösterilmiştir. <sup>158</sup>Gd izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.4.2. de gösterilmiştir.

#### 3.4.1. <sup>158</sup>Gd İzotopunun bazı enerji seviyeleri

**79,510 keV seviyesi:**  $K\pi = 0^+$  temel hal bandının ilk uyarılmış seviyesidir. Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden [79,510]keV,  $0^+$  [0]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu 79,5104 keV olan bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar. Bu seviyenin yarı ömrü ise 2,52 ns düzeyindedir.

**261,440 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden [261,440]keV,  $2^+$ [79,510]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 181,930 keV değerindedir. Bu seviyenin yarı ömrü ise 0,148 ns düzeyindedir.

**538,983 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden [538,983]keV,  $4^+$ [261,440]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 277,544 keV değerindedir.

**904,60 keV seviyesi:** Spin paritesi  $8^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden  $[904,60]\text{keV}$ ,  $6^+[538,983]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını  $365,40\text{ keV}$  değerindedir. Bu seviyenin yarı ömrü  $5,10\text{ ps}$  düzeyindedir.

**1187,10 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden  $[1187,10]\text{keV}$   $1^-[977,089]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte  $210,70\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[261,440]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte  $925,620\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[79,510]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını  $1107,630\text{ keV}$  değerindedir.  $0^+[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını  $1187,13\text{ keV}$  değerindedir.

**1265,480 keV seviyesi:** Spin paritesi  $3^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden  $[1265,480]\text{keV}$ ,  $4^+[261,440]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2,M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte  $1004,00\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[79,510]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte  $1185,99\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**1358,420 keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden  $[1358,420]\text{keV}$ ,  $2^+[1187,10]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte  $171,322\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $6^+[538,983]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte  $819,53\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$4^+[261,440]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını  $1097,01\text{ keV}$  değerindedir.  $2^+[79,510]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını  $1278,920\text{ keV}$  değerindedir.

**1481,370 keV seviyesi:** Spin paritesi  $5^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden  $[1481,55]\text{keV}$ ,  $4^+[1380,570]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte  $100,783\text{ keV}$  luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$4^+[1358,420]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 122,939 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$3^+[1265,480]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 215,890 keV değerindedir.

$6^+[538,983]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 942,310 keV değerindedir.

$4^+[261,440]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1219,87 keV değerindedir.

**1623,00 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1623,00]keV,

$6^+[538,983]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 1096 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[261,440]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1374 keV değerindedir.

**1196,10 keV seviyesi:** Spin paritesi  $0^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1196,10]keV,

$1^- [977,089]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 219,015 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$2^+[79,510]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1116,48 keV değerindedir.

**1259,810 keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1259,810]keV,

$3^+[1041,59]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 218,213 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$2^+[1023,650]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 236,168 keV değerindedir.

$1^+[977,089]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 282,716 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$4^+[261,440]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 998,36 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$2^+[79,510]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1180,310 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1259,830 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**1635,00 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\beta$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1635,00]keV,

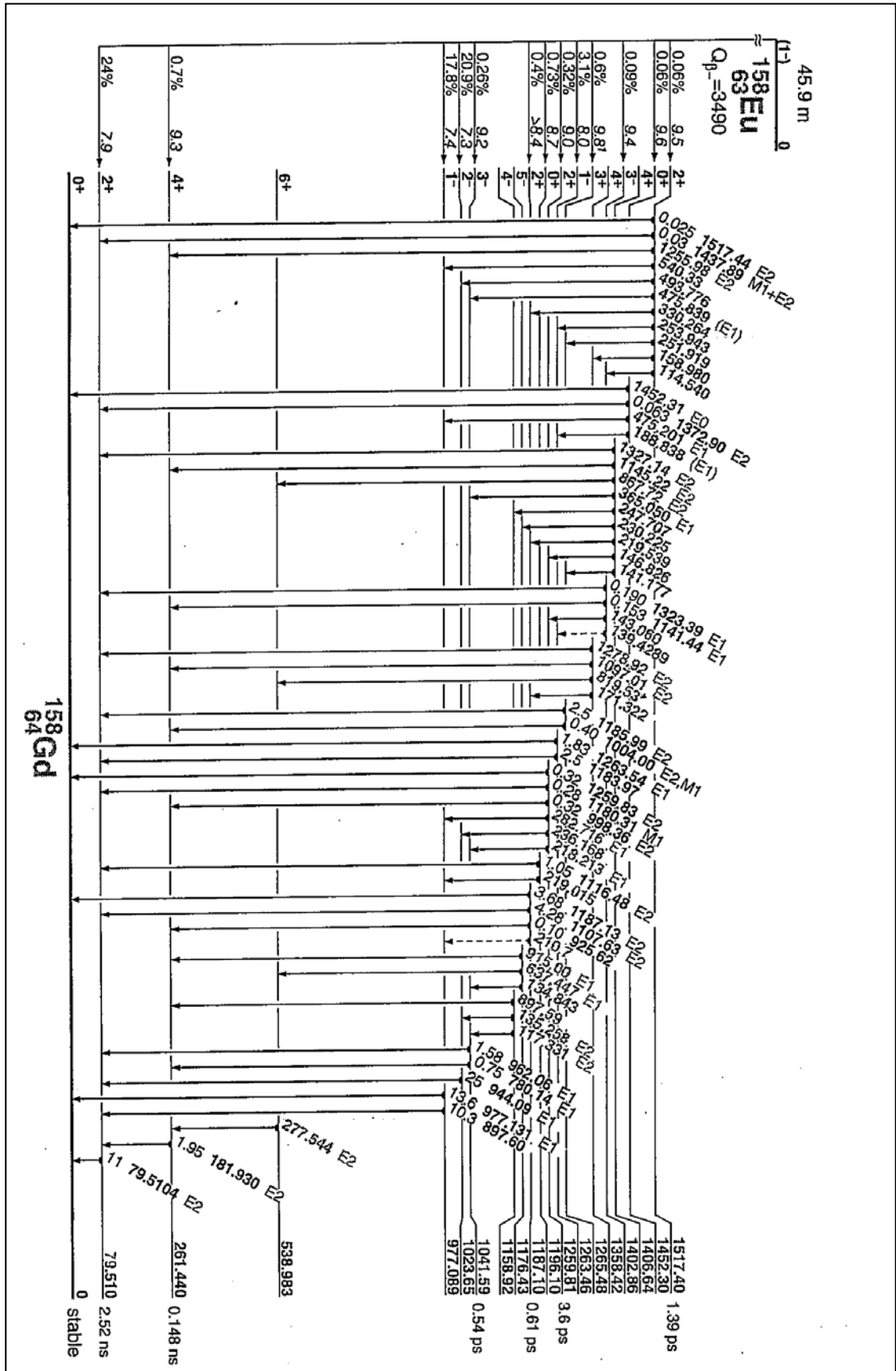
$6^+[538,983]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte 1096,0 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

$4^+[261,440]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1374 keV değerindedir.

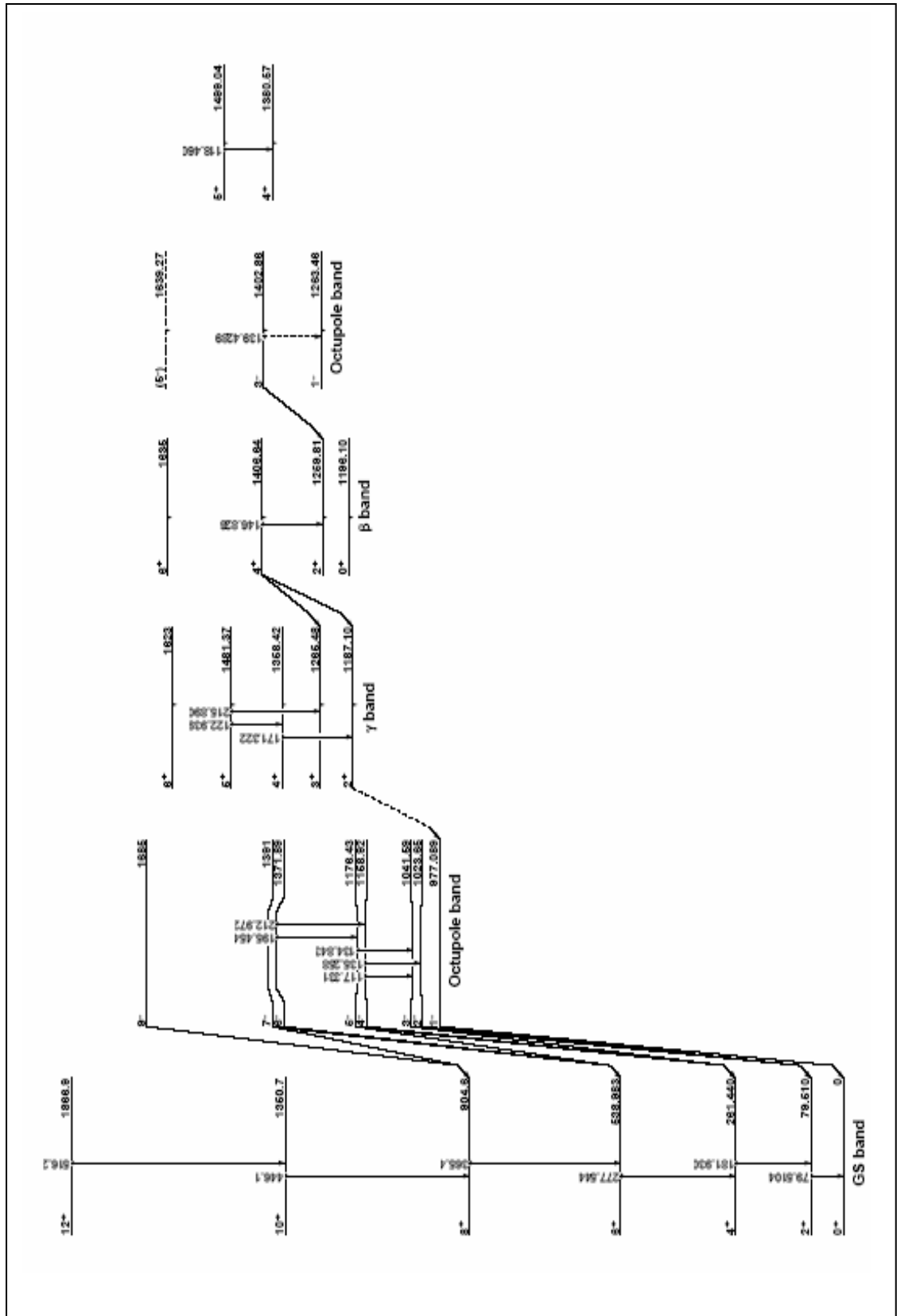
**263,46 keV seviyesi:** Spin paritesi  $1^-$  olan bu seviye octupole bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1263,46]keV,

$2^+[79,510]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte 1183,97 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

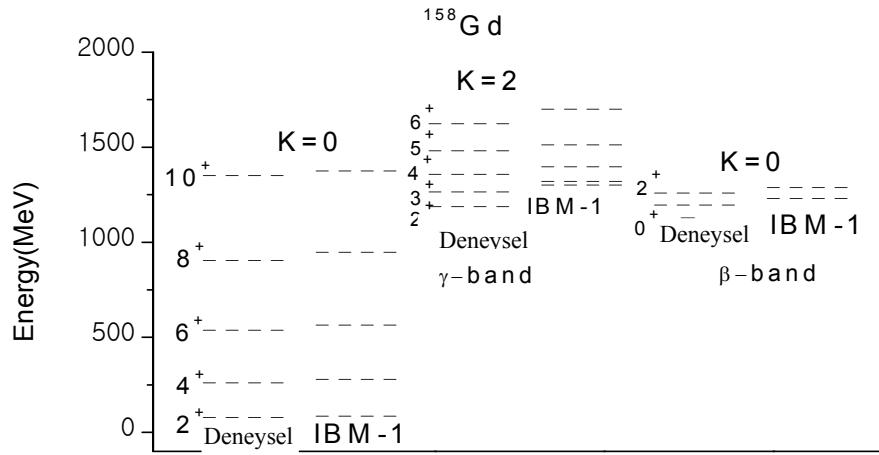
$0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1263,54 keV değerindedir.



Şekil 3.4.  $^{158}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması [10]



Şekil 3.4.1. <sup>158</sup>Gd izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.4.2.  $^{158}\text{Gd}$  izotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması

### 3.5. $^{160}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi

$^{160}\text{Gd}$  izotopu deforme bölgede bulunan deforme Gadolinyum çekirdeklerinden ilkidir. Bozunum şemasından görüleceği üzere temel hal bandının seviyeleri:  $0+[0]\text{keV}$ ,  $2+[75.26]\text{keV}$ ,  $4+[248.45]\text{keV}$ ,  $6+[514.76]\text{keV}$ ,  $8+[870.84]\text{keV}$  seviyelerindedir. Gama bandının seviyeleri ise;  $2+[988.51]\text{keV}$ ,  $3+[1057.42]\text{keV}$ ,  $4+[1147.81]\text{keV}$ ,  $5+[1260.98]\text{keV}$ ,  $6+[1392.5]\text{keV}$ ,  $7+[1548.4]\text{keV}$  seviyelerindedir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır.

$^{160}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.5. de görülmektedir.  $^{160}\text{Gd}$  çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Tablo 3.9.1. ve Tablo 3.9.3. de gösterilmiştir.  $^{160}\text{Gd}$  izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.5.2. de gösterilmiştir.

#### 3.5.1. $^{160}\text{Gd}$ 'deki Bazı Enerji Seviyeleri

**75.26 keV seviyesi:**  $K^\pi = 0^+$  temel hal bandının ilk uyarılmış seviyesidir. Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $0^+ [0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu 75.26keV olan bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**248.45keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $2^+[75.26]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 173.19 keV değerindedir.

**514.76 keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[248.45]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 266.31 keV değerindedir.

**[870.84]keV seviyesi:** Spin paritesi  $8^+$  olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $6^+[514.76]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 356.08 keV değerindedir.



**988.51keV seviyesi:** Spin paritesi  $2^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[248.45]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 740.05 keV değerindedir.  $2^+[75.26]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2(+M1) olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 913.25 keV değerindedir.  $0^+[0]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 988.52 keV değerindedir.

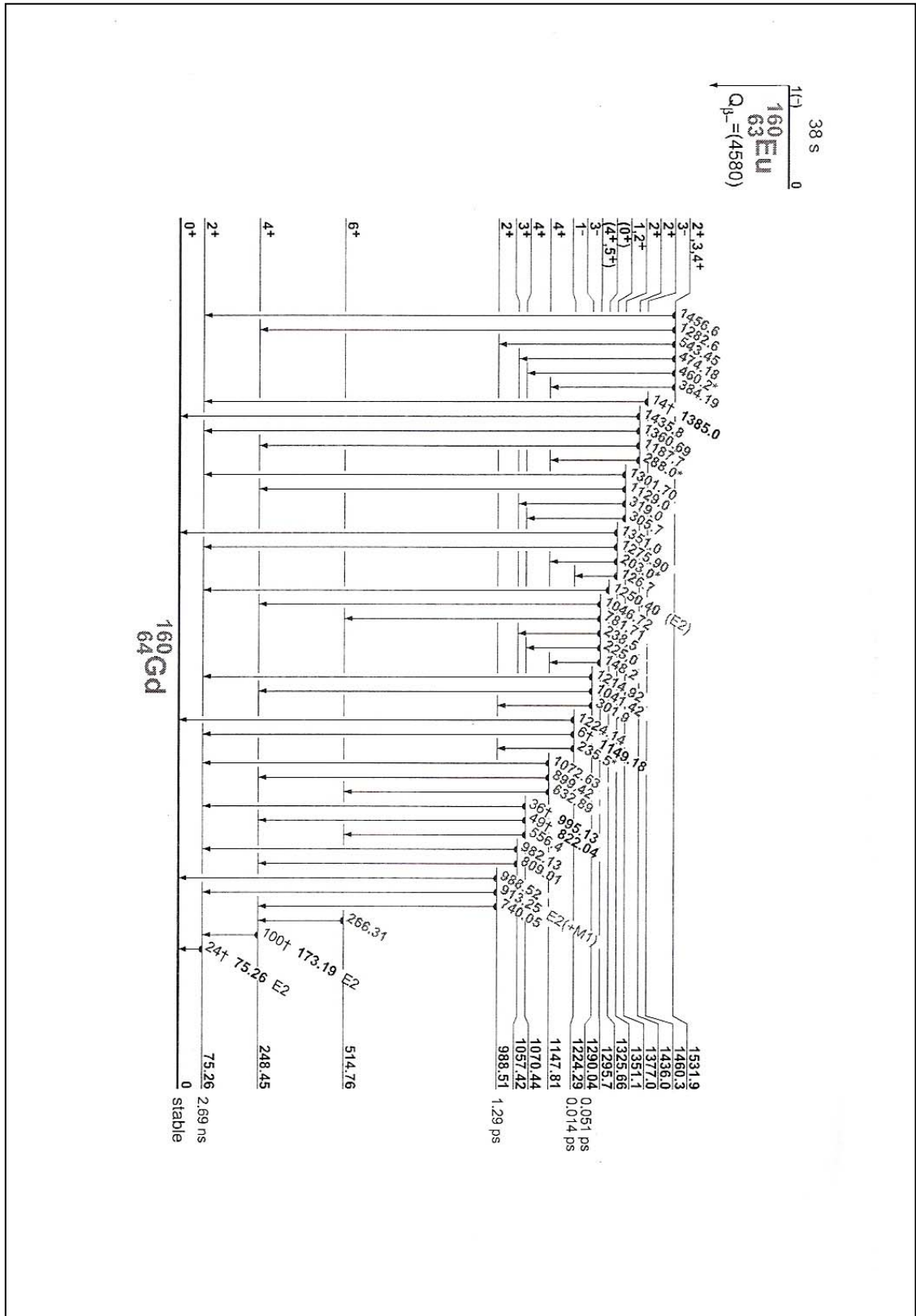
**1057.42 keV seviyesi:** Spin paritesi  $3^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[248.45]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 809.01 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $2^+[75.26]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 982.13 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**[1147.81]keV seviyesi:** Spin paritesi  $4^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $6^+[514.76]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 632.89 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.  $4^+[248.45]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 899.42 keV değerindedir.  $2^+[75.26]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan  $\gamma$  ışını 1072.63 keV değerindedir.

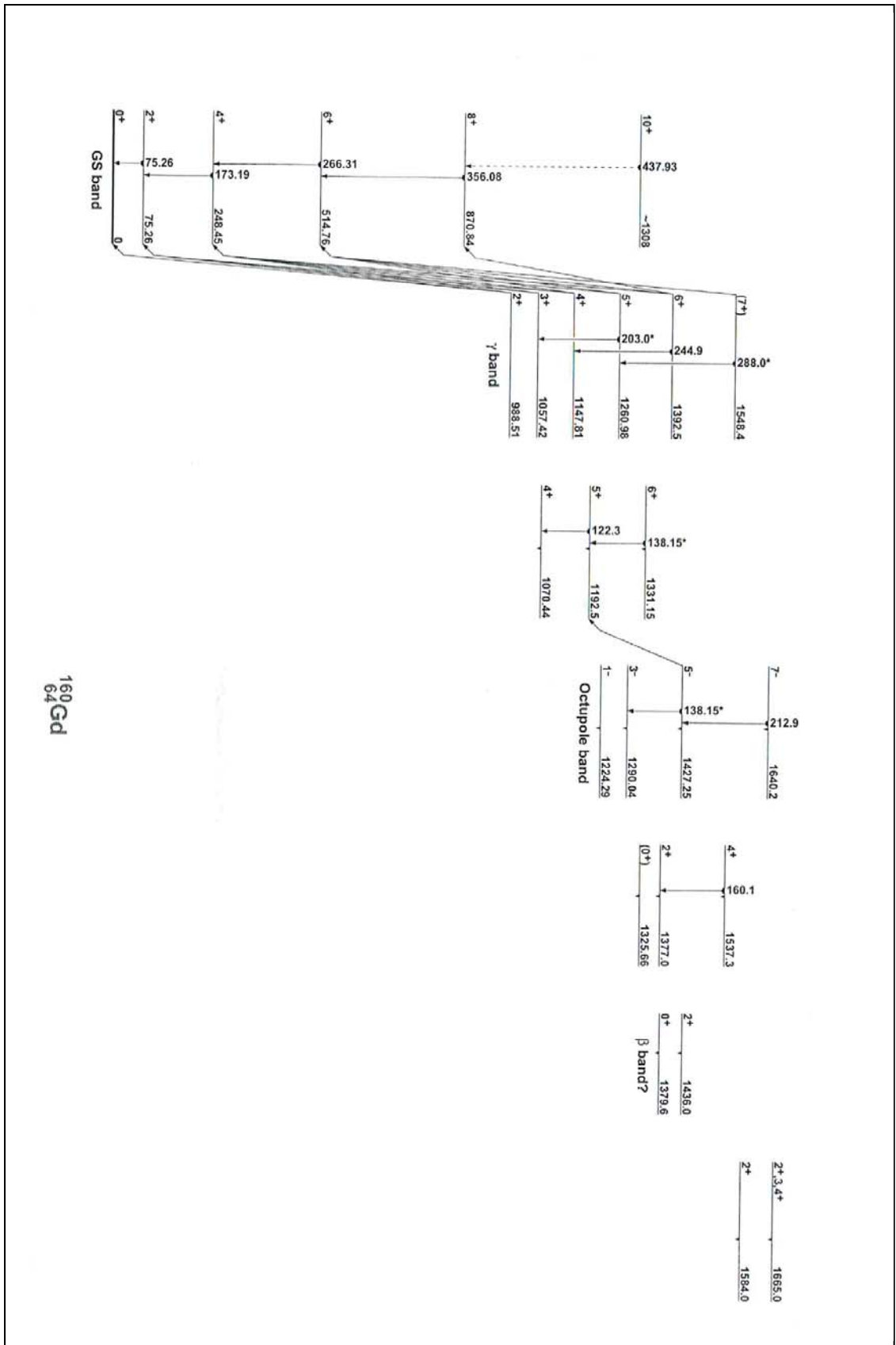
**[1260.98]keV seviyesi:** Spin paritesi  $5^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $3^+[1057.42]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 203.0 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

**[1392.5]keV seviyesi:** Spin paritesi  $6^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $4^+[1147.81]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 244.9 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.

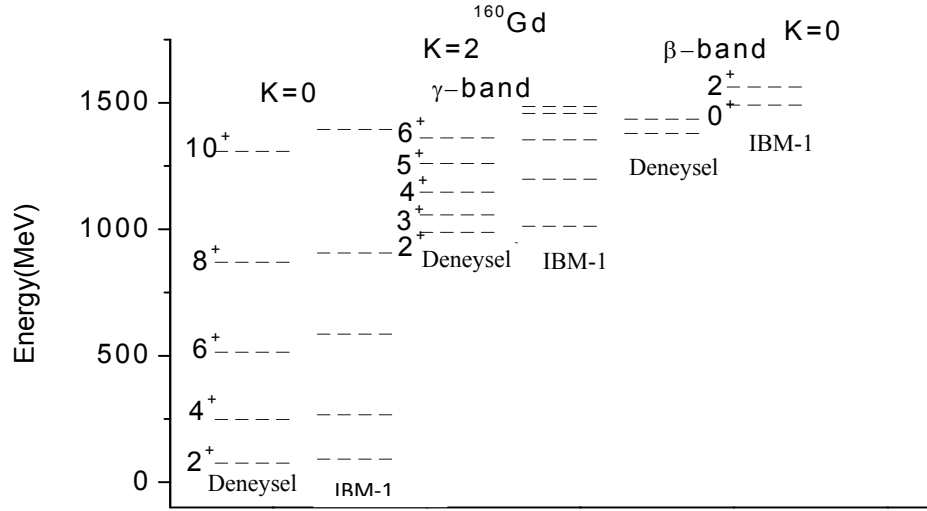
**[1548.4]keV seviyesi:** Spin paritesi  $7^+$  olan bu seviye  $\gamma$  bandının bir üyesi olup bu seviyeden,  $5^+[1260.98]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 288.0 keV luk bir  $\gamma$  ışını açığa çıkar.



Şekil 3.5.  $^{160}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması[10]



Şekil 3.5.1.  $^{160}\text{Gd}$  izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.5.2.  $^{160}\text{Gd}$  izotopunun IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.

### 3.6. $^{153}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi

$^{153}\text{Gd}$  izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan tek-çift izotopunun enerji düzeyleri ve geçiş olasılıkları hakkında teorik çalışma oldukça azdır.  $^{153}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji düzeyleri ve  $B(E2)$  geçiş olasılıkları etkileşen bozon-fermiyon modeli kullanılarak hesaplanacaktır. Yapılan hesaplamalarda fermiyonik parçacığın katılmasıyla ya da çıkarılmasıyla oluşan bozon fermiyon etkileşim teriminde ki monopol etkileşimi hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

$^{153}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.6. de görülmektedir.  $^{153}\text{Gd}$  çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Tablo 3.9.2. ve Tablo 3.9.4. de gösterilmiştir.  $^{153}\text{Gd}$  izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.6.1' de gösterilmiştir.

#### 3.6.1. $^{153}\text{Gd}$ 'deki Bazı Enerji Seviyeleri

**41,55 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^-$  olan bu seviyeden  $3/2-[0]$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 41.56 keV dur.

**93.33 keV seviyesi:** spin paritesi  $7/2^-$  olan bu seviyeden  $5/2-[41.55]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 51.80 keV dur.  $3/2-[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 93.43 keV dur.

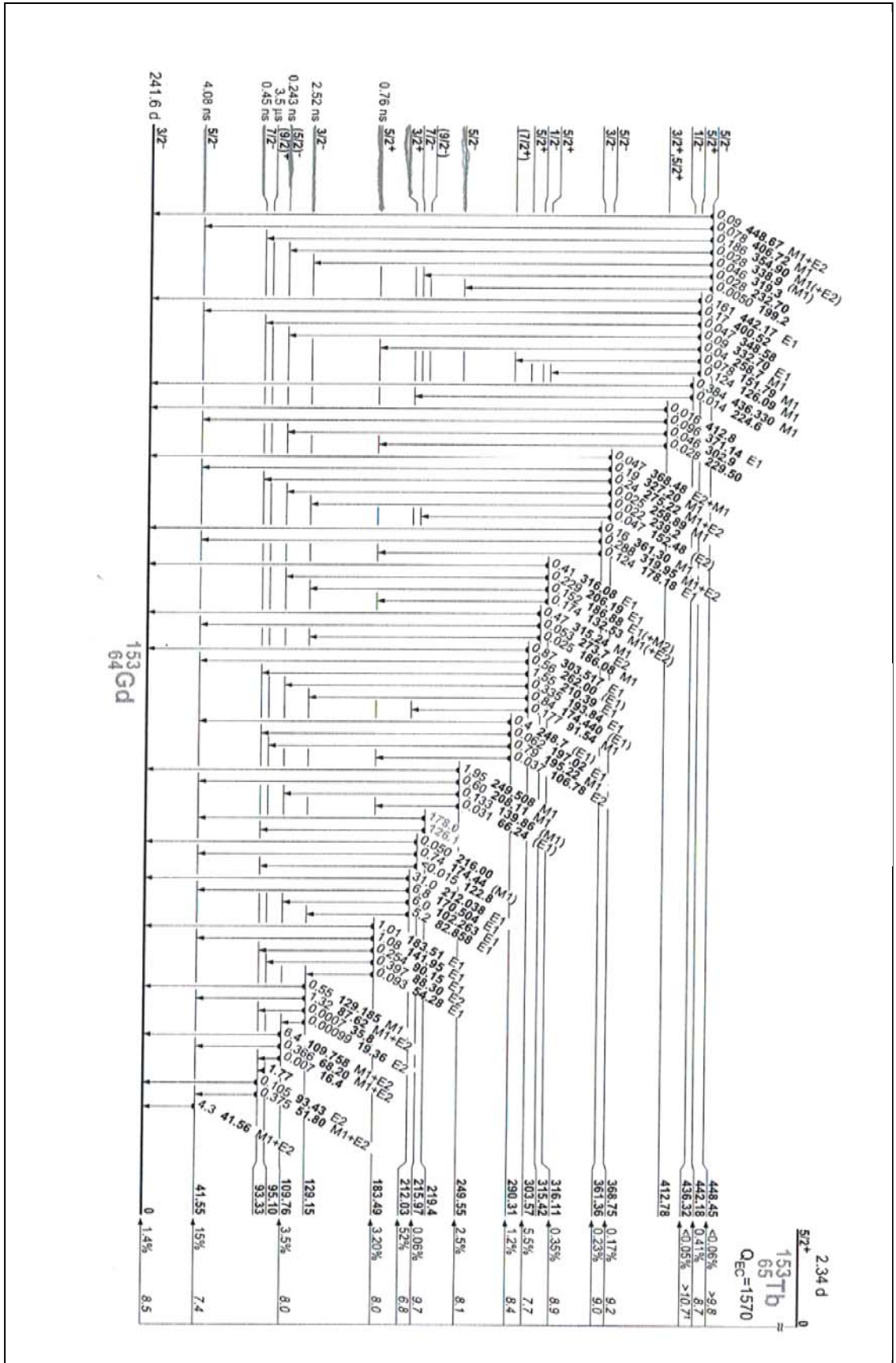
**109.76 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^-$  olan bu seviyeden;  $7/2-[93.33]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 16.4 keV dur.  $5/2-[41.55]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 68.20 keV dur.  $3/2-[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 109.758keV dur.

**129.15 keV seviyesi:** spin paritesi  $3/2^-$  olan bu seviyeden ;  $5/2-[109.76]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 19.36 keV dur.  $7/2-[93.33]\text{keV}$  seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 35.8keV dur.  $5/2-[41.55]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını

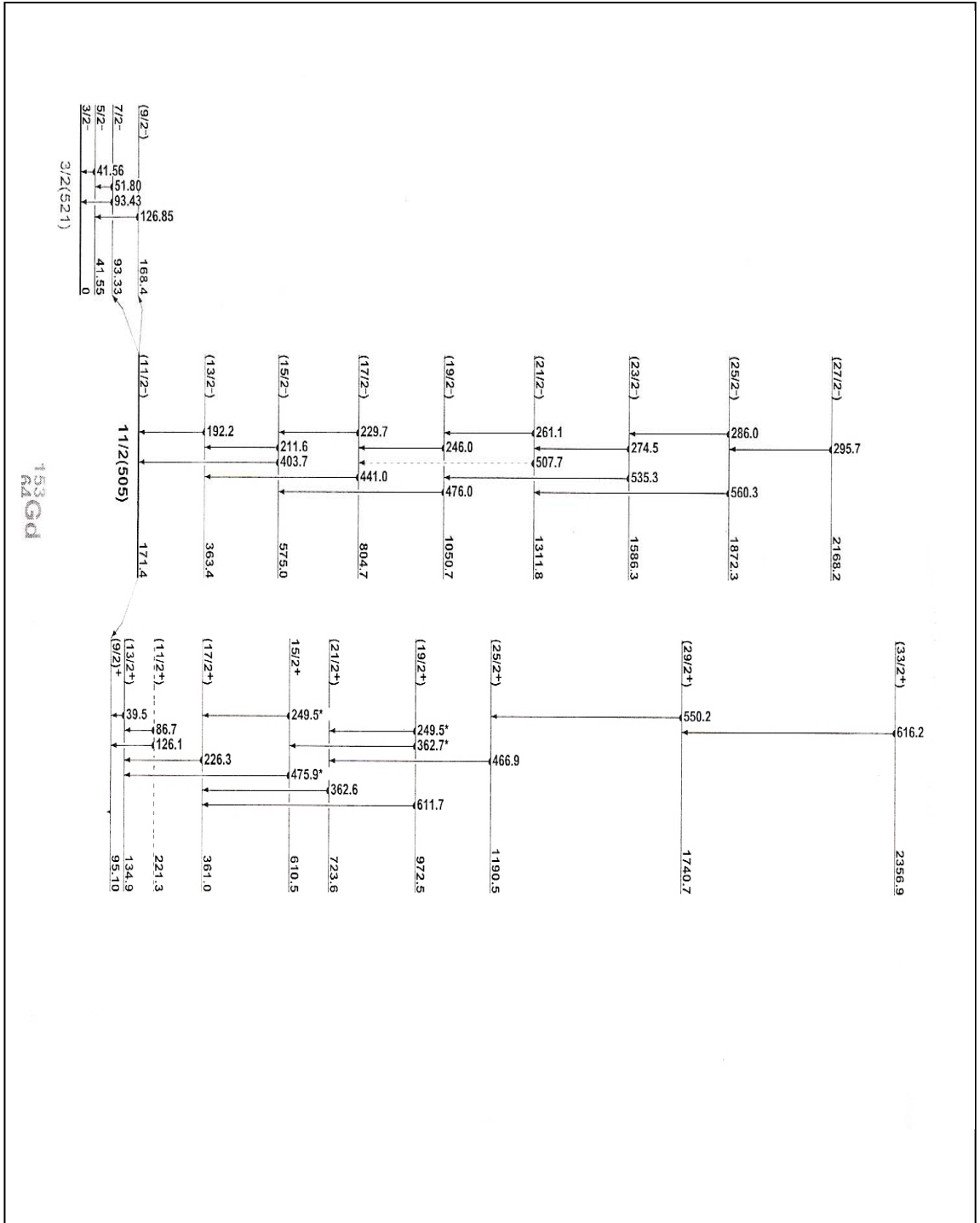
enerjisi 87.62keV dur.  $3/2-[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 129.185keV dur.

**183.49 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2+$  olan bu seviyeden ; $3/2-[129.15]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır.Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 54.28 keV dur.  $9/2+[95.10]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 88.30 keV dur.  $7/2-[93.33]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 90.15 keV dur.  $5/2-[41.55]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 141.95 keV dur.  $3/2-[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 183.51 keV dur.

**249.55 keV seviyesi:**spin paritesi  $5/2-$  olan bu seviyeden ;  $5/2+[183.49]$ keV seviyesine çok kutupluluğu (E1) olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 66.24 keV dur.  $5/2-[109.76]$ keV seviyesine çok kutupluluğu (M1) olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 139.86 keV dur.  $5/2-[41.55]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 208.11 keV dur.  $3/2-[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 249.508 keV dur.

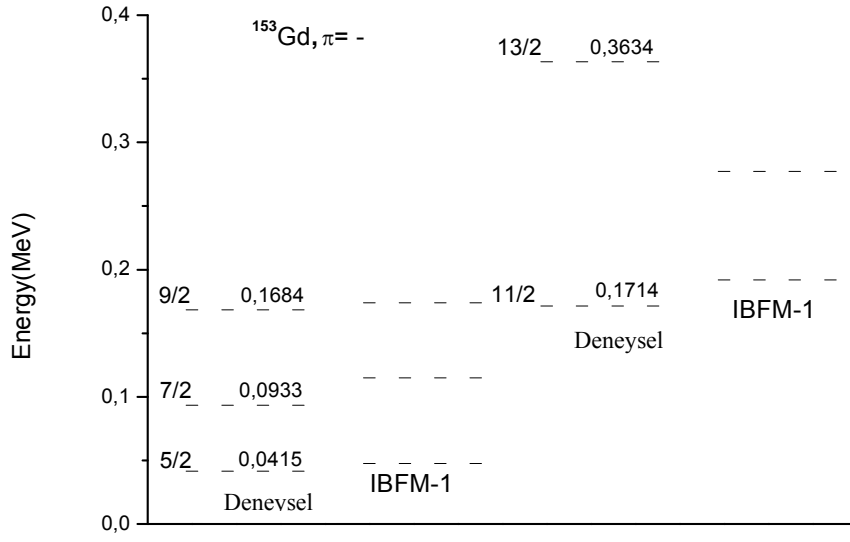


Şekil 3.6.  $^{153}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması[10]



Şekil 3.6.1. <sup>153</sup>Gd izotopunun enerji band yapısı [10]





Şekil 3.6.2.  $^{153}\text{Gd}$  izotopunun IBFM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması[14]

### 3.7. $^{155}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi

$^{155}\text{Gd}$  izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan tek-çift izotopunun enerji düzeyleri ve geçiş olasılıkları hakkında teorik çalışma oldukça azdır.  $^{155}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji düzeyleri ve  $B(E2)$  geçiş olasılıkları etkileşen bozon-fermiyon modeli kullanılarak hesaplanacaktır. Yapılan hesaplamalarda fermiyonik parçacığın katılmasıyla ya da çıkarılmasıyla oluşan boson fermiyon etkileşim teriminde ki monopol etkileşimi hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

$^{155}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.7' de görülmektedir.  $^{155}\text{Gd}$  çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Çizelge 3.9.2 ve çizelge 3.9.4' de gösterilmiştir.  $^{155}\text{Gd}$  izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.7.1' de gösterilmiştir.

#### 3.7.1. $^{155}\text{Gd}$ 'deki Bazı Enerji Seviyeleri

**60.01 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^-$  olan bu seviyeden  $3/2^-[0]$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 60.01 keV dur.

**86.540 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^+$  olan bu seviyeden  $5/2^-[60.01]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E1$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 26.533keV dur.  $3/2^-[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E1$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 86.545keV dur.

**105.3109 keV seviyesi:** spin paritesi  $3/2^+$  olan bu seviyeden;  $5/2^+[86.540]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu ( $M1+E2$ ) olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 18.764 keV dur.  $5/2^-[60.01]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E1$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 45.2972 keV dur.  $3/2^-[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E1$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 105.305keV dur.

**146.071keV seviyesi:** spin paritesi  $7/2^-$  olan bu seviyeden ;  $5/2^-[60.01]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 86.059 keV dur.  $3/2^-[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 146.071keV dur.

**107.5803keV seviyesi:** spin paritesi  $9/2^+$  olan bu seviyeden ;  $5/2^+[86.5460]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 21.036 keV dur.

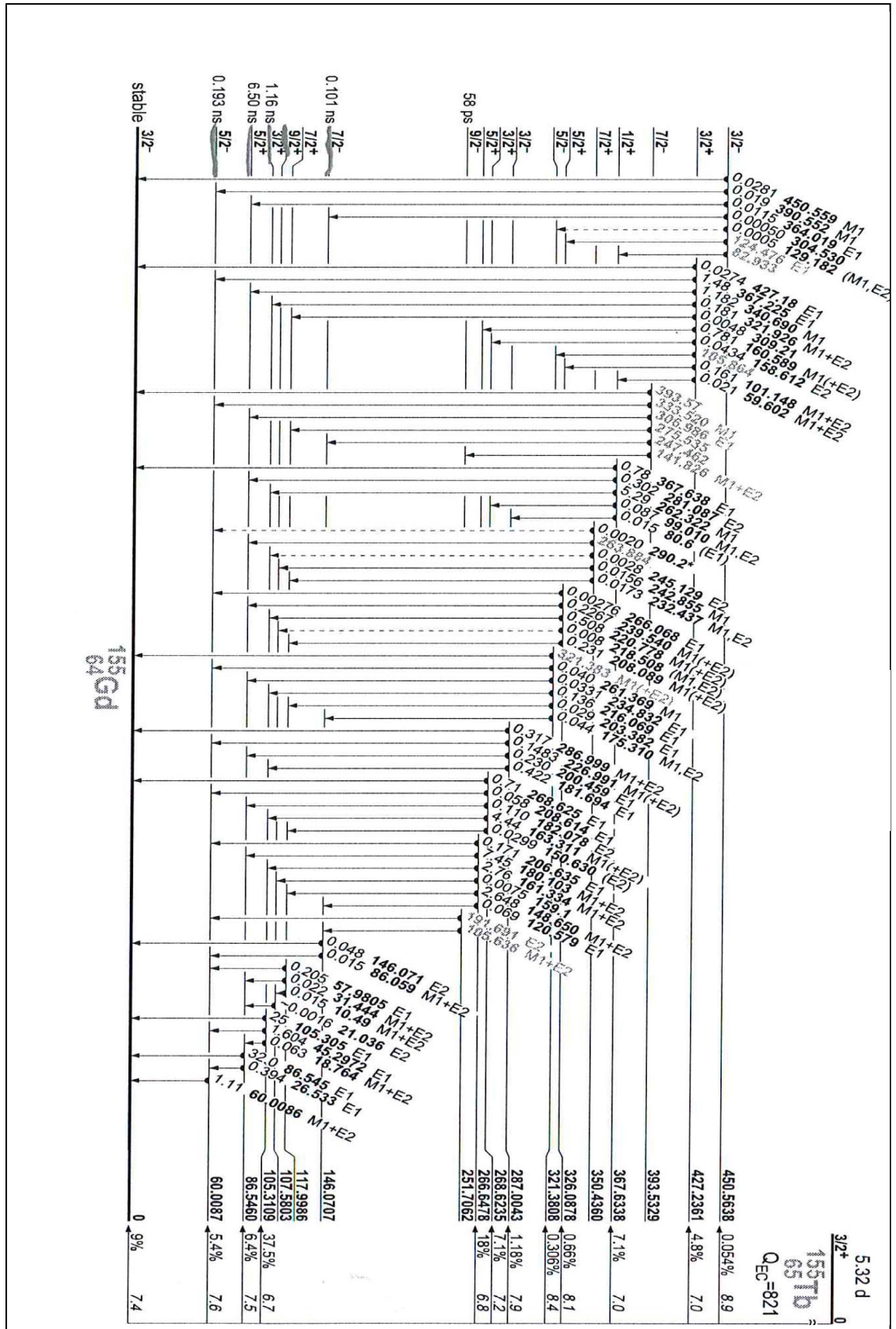
**251.7062keV seviyesi:** spin paritesi  $9/2^-$  olan bu seviyeden ;  $7/2^-[146.071]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 105.636 keV dur.  $5/2^-[60.01]$  keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 191.691keV dur.

**266.6478 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^+$  olan bu seviyeden ;  $7/2^-[146.071]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 120.579keV dur.  $7/2^+[117.9986]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 148.650keV dur.

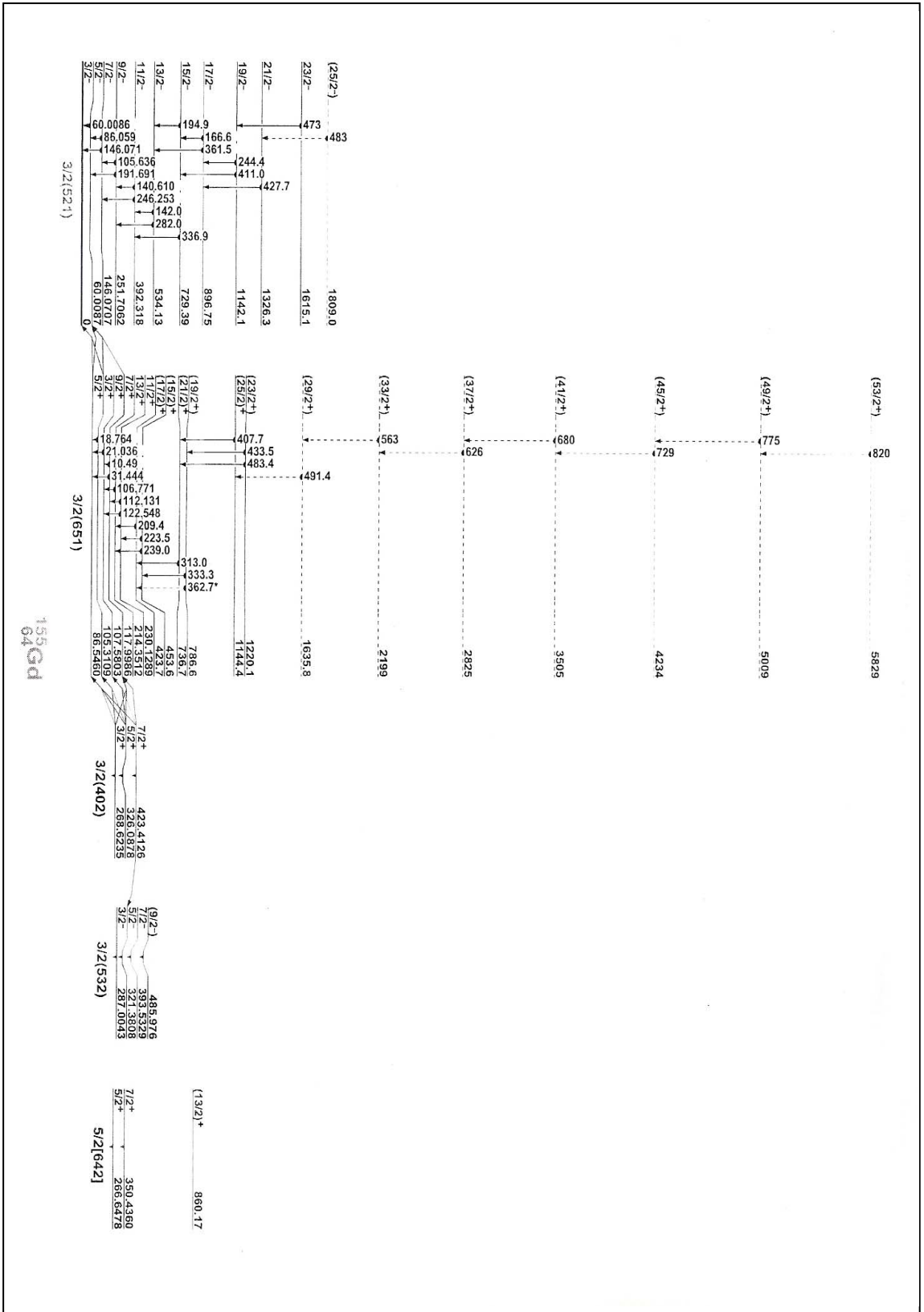
$9/2^+[107.58]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 159.1 keV dur.  $3/2^+[103.311]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 161.334 keV dur.  $5/2^+[86.5460]$ keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 180.103keV dur.  $5/2^-[60.01]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 206.635keV dur.

**287.043keV seviyesi:** spin paritesi  $3/2^-$  olan bu seviyeden ;  $3/2^+[105.3109]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 181.694 keV dur.  $5/2^+[86.5460]$  keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 200.459keV dur.  $5/2^-[60.01]$  keV seviyesine çok kutupluluğu M1+(E2) olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 226.991keV dur.  $3/2^-[0]$  keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 286.999keV dur.

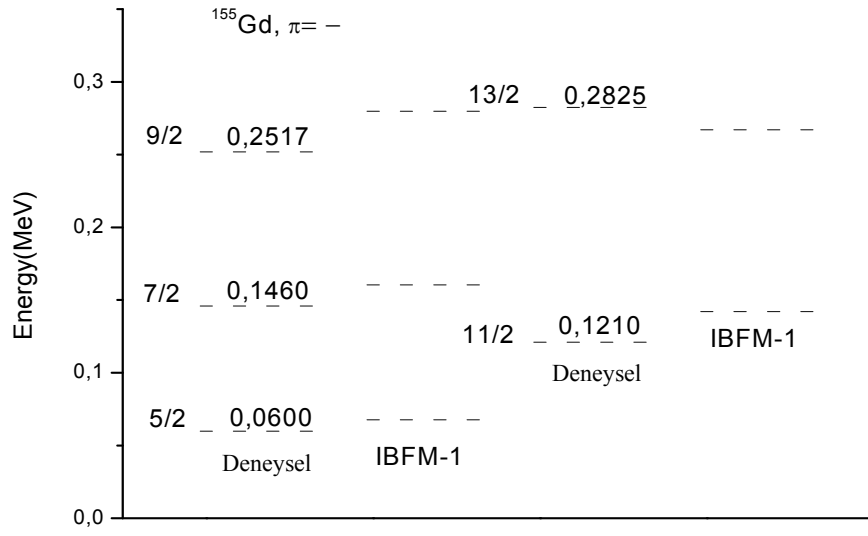
**321.3808keV seviyesi:**spin paritesi  $5/2^-$  olan bu seviyeden ;  $7/2^-$ [146.071]keV seviyesine çok kutupluluğu M1,E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 175.310 keV dur.  $7/2^+$ [117.9986] keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 203.382keV dur.  $3/2^+$ [105.3109] keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 216.069keV dur.  $5/2^+$ [86.5460] keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 234.832keV dur.  $5/2^-$ [60.01] keV seviyesine çok kutupluluğu M1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 261.369keV dur.



Şekil 3.7.  $^{155}\text{Gd}$  izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması[10]



Şekil 3.7.1. <sup>155</sup>Gd izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.7.2.  $^{155}\text{Gd}$  izotopunun IBFM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması

### 3.8. $^{157}\text{Gd}$ İzotopunun incelenmesi

$^{157}\text{Gd}$  izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan tek-çift izotopunun enerji düzeyleri ve geçiş olasılıkları hakkında teorik çalışma oldukça azdır.  $^{155}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji düzeyleri ve  $B(E2)$  geçiş olasılıkları etkileşen bozon-fermion modeli kullanılarak hesaplanacaktır. Yapılan hesaplamalarda fermiyonik parçacığın katılmasıyla ya da çıkarılmasıyla oluşan boson fermiyon etkileşim teriminde ki monopol etkileşimi hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

$^{157}\text{Gd}$  çekirdeğinin enerji bozunum şeması[8] Şekil 3.8. de görülmektedir.  $^{157}\text{Gd}$  çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve Hamiltonyen parametre değerleri Tablo 3.9.2. ve Tablo 3.9.4. de gösterilmiştir.  $^{157}\text{Gd}$  izotopunun bazı elektromanyetik geçiş olasılıkları için teorik olarak hesaplanan değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.8.1. de gösterilmiştir.

#### 3.8.1. $^{157}\text{Gd}$ 'deki Bazı Enerji Seviyeleri

**54.533 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^-$  olan bu seviyeden  $3/2^-[0]$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 54.533 keV dur.

**63.917 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^+$  olan bu seviyeden  $5/2^-[54.533]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E1$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 9.365keV dur.  $3/2^-[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E1$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 63.929keV dur.

**115.717 keV seviyesi:** spin paritesi  $7/2^+$  olan bu seviyeden;  $5/2^+[63.917]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 51.834 keV dur.

**131.455keV seviyesi:** spin paritesi  $7/2^-$  olan bu seviyeden ;  $5/2^-[54.533]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $M1+E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 76.925keV dur.  $3/2^-[0]\text{keV}$  seviyesine çok kutupluluğu  $E2$  olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 131.438keV dur.



**180.229keV seviyesi:** spin paritesi  $9/2^+$  olan bu seviyeden ;  $7/2^+[115.717]$ keV seviyesine çok kutupluluğu (M1+E2) olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 64.4keV dur.  $5/2^+[63.917]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 116.314keV dur.

**227.31keV seviyesi:** spin paritesi  $9/2^-$  olan bu seviyeden ;  $7/2^-[131.455]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 95.8 keV dur.  $5/2^-[54.533]$  keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 172.8keV dur.

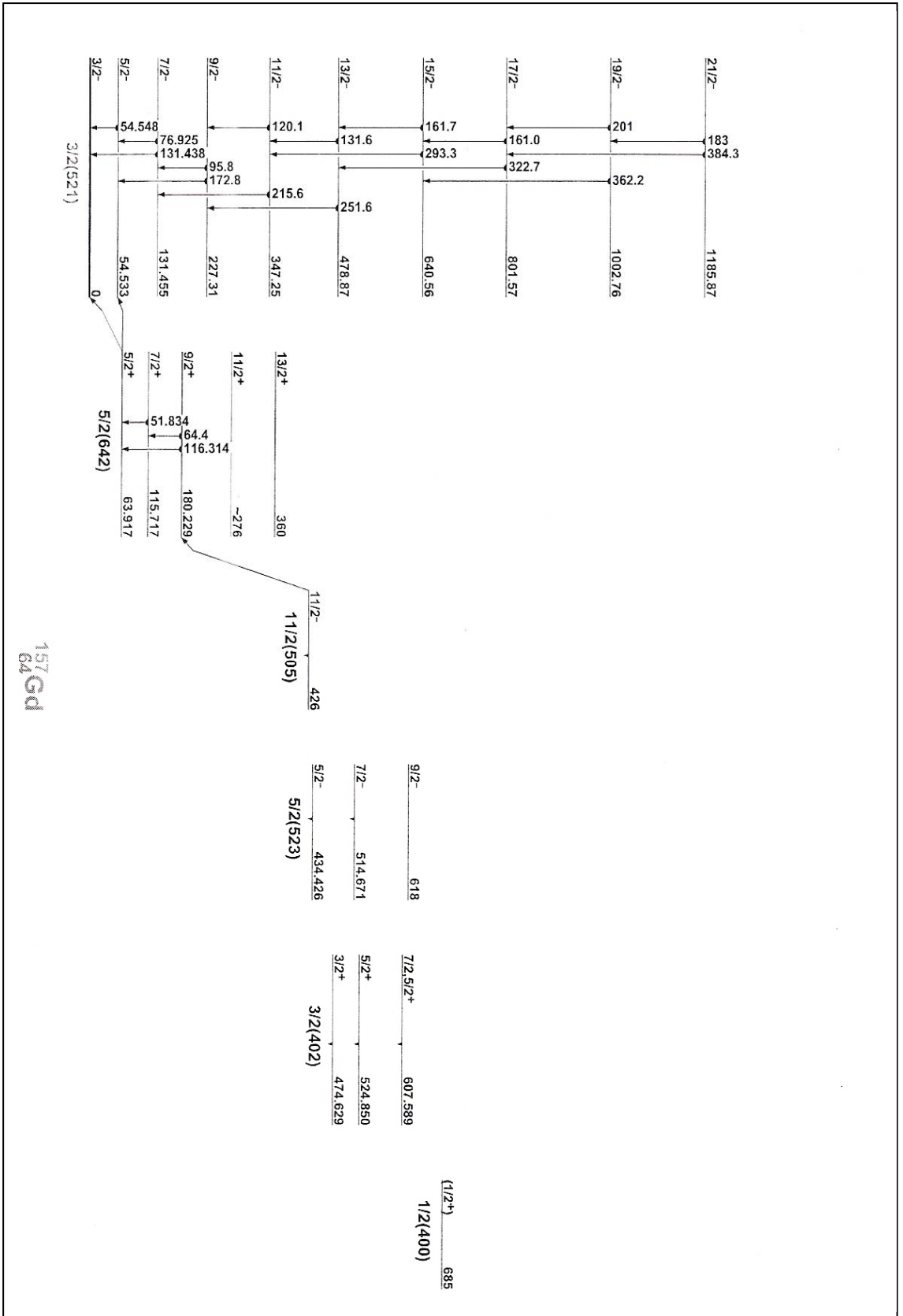
**434.426 keV seviyesi:** spin paritesi  $5/2^-$  olan bu seviyeden ;  $7/2^-[131.455]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 302.994keV dur.  $7/2^+[115.717]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 318.710keV dur.

$5/2^+[63.917]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 370.509keV dur.  $5/2^-[54.533]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 379.905 keV dur.  $3/2^-[0]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 434.388keV dur.

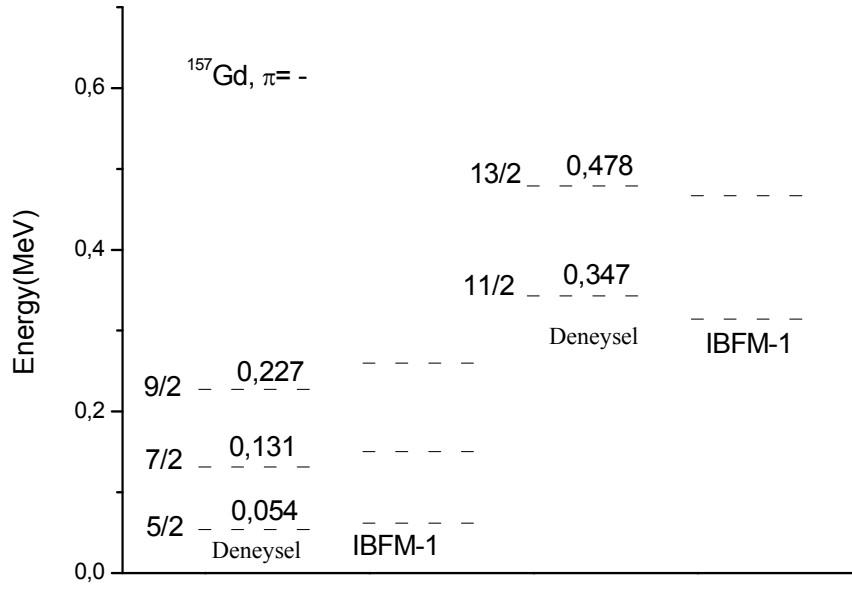
**474.629keV seviyesi:** spin paritesi  $3/2^+$  olan bu seviyeden ;  $7/2^+[115.717]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 358.931 keV dur.  $5/2^+[63.917]$  keV seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 410.723keV dur.  $5/2^-[54.533]$  keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 420.09keV dur.  $3/2^-[0]$  keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 474.625keV dur.

**514.671keV seviyesi:** spin paritesi  $7/2^-$  olan bu seviyeden ;  $9/2^+[180.229]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 334.441 keV dur.  $7/2^-[131.455]$  keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 383.17keV dur.  $7/2^+[115.717]$  keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 398.953keV dur.  $5/2^+[63.917]$  keV seviyesine bir geçiş vardır. Açığa çıkan  $\gamma$  ışını enerjisi 450.761keV dur.





Şekil 3.8.1.  $^{157}\text{Gd}$  izotopunun enerji band yapısı [10]



Şekil 3.8.2.  $^{157}\text{Gd}$  izotopunun IBFM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması

### 3.9.1. $^{152-160}\text{Gd}$ izotoplarının IBM-1 Hamiltonyen parametreleri

Tablo 3.9.1.  $^{152-160}\text{Gd}$  izotoplarının IBM-1 Hamilton parametreleri

	EPS	ELL	QQ	OCT	CHQ	HEX
$^{152}\text{Gd}[14]$	0.6240	0.0002	-0.0260	0.0170	-2.985	-0.0110
$^{154}\text{Gd}[14]$	0.1240	0.0002	-0.0240	0.0100	-2.985	-0.0110
$^{156}\text{Gd}[14]$	0.1370	0.0016	-0.0260	0.0098	-0.9010	-0.0110
$^{158}\text{Gd}$	0.1440	0.0012	-0.0210	0.0100	-2.985	-0.0112
$^{160}\text{Gd}$	0.1340	0.0020	-0.0210	0.0100	-2.995	-0.0110

### 3.9.2. $^{153-157}\text{Gd}$ izotoplarının seviye hesaplamaları için BCS parametreleri

Tablo 3.9.2.  $^{153-157}\text{Gd}$  izotoplarının çok düzeyli hesaplamaları için BCS parametreleri

$^{153}\text{Gd}$ [14]			$^{155}\text{Gd}$		$^{157}\text{Gd}$	
Tek parçacık yörüngeleri	$\epsilon_j$	$\nu_j^2$	$\epsilon_j$	$\nu_j^2$	$\epsilon_j$	$\nu_j^2$
$1h_{9/2}$	2.154	0.891	2.117	0.731	2.017	0.835
$3p_{7/2}$	2.70	0.071	2.912	0.863	2.613	0.835
$2f_{7/2}$	1.933	0.532	1.277	0.433	1.891	0.835
$3p_{3/2}$	2.016	0.032	1.989	0.057	1.974	0.014

### 3.9.3. $^{152-160}\text{Gd}$ izotoplarının B(E2) temel bant değerleri

Tablo 3.9.3.  $^{152-160}\text{Gd}$  izotoplarının B(E2;I  $\rightarrow$  I-2) temel bant değerleri

N	B(E2) Değerleri ( in W.u )				B(E2) oranları	
	$4_g \rightarrow 2_g$		$2_g \rightarrow 0_g$		$(4_g \rightarrow 2_g) / (2_g \rightarrow 0_g)$	
	Bu Çalışma	Deneysel[24]	Bu Çalışma	Deneysel[24]	Bu Çalışma	Deneysel[24]
88	60[14]	134[8]	29[14]	73 [7]	2,0668[34]	1,8356
90	115[14]	245[9]	77[14]	157 [1]	1,4935[34]	1,5605
92	127[14]	263[5]	83[14]	187 [5]	1,5301[34]	1,4064
94	147	289[5]	103	198[6]	1,4271	1,4594
96	17	-	23	-	0,7391	-

**3.9.4.  $^{153-157}\text{Gd}$  izotopları için B(E2) geçiş olasılıklarının deneysel ve hesaplanan değerleri**

Tablo 3.9.4.  $^{153-157}\text{Gd}$  izotopları için B(E2) geçiş olasılıklarının deneysel ve hesaplanan değerleri

		B(E2) Değerleri ( in W.u )	
		Bu Çalışma	Deneysel[24]
$^{153}\text{Gd}$	$\frac{7^-}{2} \rightarrow \frac{5^-}{2}$	$0.98 \times 10^2[14]$	$1.1 \times 10^2 [3]$
	$\frac{7^-}{2} \rightarrow \frac{3^-}{2}$	73[14]	57 [12]
	$\frac{5^-}{2} \rightarrow \frac{3^-}{2}$	95[14]	134[10]
$^{155}\text{Gd}$	$\frac{7^-}{2} \rightarrow \frac{5^-}{2}$	41	-
	$\frac{7^-}{2} \rightarrow \frac{3^-}{2}$	79	119[4]
	$\frac{5^-}{2} \rightarrow \frac{3^-}{2}$	197	277[10]
$^{157}\text{Gd}$	$\frac{7^-}{2} \rightarrow \frac{5^-}{2}$	183	230[0]
	$\frac{7^-}{2} \rightarrow \frac{3^-}{2}$	81	119[0]
	$\frac{5^-}{2} \rightarrow \frac{3^-}{2}$	113	293[0]



## 4. BÖLÜM

### SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada deforme bölge başlangıcında bulunan bazı Gd izotoplarının değişik parite durumları için  $B(E2)$  geçiş olasılıkları ve çeşitli düzeyleri için enerji seviyesi hesapları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar deneysel verilerle ve yapılan diğer çalışmalarla kıyaslanarak tablolar halinde ilgili bölümlerde verilmiştir.

IBFM de Çift- tek Gd çekirdeğinin enerji seviyeleri ve  $B(E2)$  geçiş olasılıklarının hesabı alınmıştır. Çift-çift Gd çekirdeğine bir tane fermiyon katkısı yapılarak Gd çekirdeğinin enerji seviyelerinin ve geçiş olasılıklarının hesabı yapılmıştır. Bozon-fermion terimindeki monopol etkileşiminin etkisi az olduğundan yapılan hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Yalnızca değiş-tokuş ve kuadrapol etkileşim terimleri hesaplamalarda etkin olduğu gözlenmiştir.

Elde ettiğimiz bu sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak tablolar halinde verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen  $B(E2)$  değerleri dalga fonksiyonunun güvenilirliğinin bir ölçüsüdür. Bütün bu sonuçlar bize elde edilen dalga fonksiyonunun güvenilir olduğunu göstermektedir. Başka çekirdeklere de bu yaklaşım uyarlanarak çekirdeklerin elektromanyetik özellikleri hakkında hesaplamalar yapılabilir.

Sonuç olarak, deforme bölge başlangıcında bulunan Gadolinium izotoplarının Elektromanyetik geçiş olasılıkları Etkileşen Bozon Yaklaşımı çerçevesinde hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin deneysel verilerle karşılaştırıldığında oldukça uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca enerji düzeyi hesaplamalarında pozitif pariteli temel durumlar için hesaplanan enerji değerlerinin deneysel değerlerle daha uyumlu olduğu görülmüştür. İyi bir çekirdek modeli nükleer yapı ile ilgili özellikleri açıklayabilmelidir. Oluşturulan modelin güvenilirliği ise deneysel değerlerle kıyaslanarak anlaşılabilir. Hesaplamamızda etkileşen bozon modeli kullanılmış ve yapılan deneylerle uyumlu sonuçlar alınmıştır.

**KAYNAKLAR**

1. G.Puddu, O.Scholten and T.Otsuka , Nucl.Phys. A, 348, 109 (1980)
2. F.Iachello and A.Arima, Phys.Lett.B, 53, 309 (1974)
3. A.Bohr and B.R.Mottelson, Nucl.Structure(Vol. II) ,Benjamin (1975)
4. A.Bohr, B.R. Mottelson Nuclear Structure Vol 1 ,Benjamin, Reading , Massachussets (1969)
5. F. Iachello, P. Van Isacker, the Interacting Boson-Fermion Model. Cambridge, Cambridge University Press (1991).
6. H.R. Yazar, J. Korean Phys. Soc. Vol. 47, No.4, October 2005, pp. 592–596.
7. A. Arima and F. Iachello Ann. of Physics Vol 99 253-317 (1976)
8. Table of Isotopes Evaluated Nuclear Structure Data File  
[Http://www.Nndc.Bnl.Gov/Ensd/](http://www.Nndc.Bnl.Gov/Ensd/) (Veri Sitesi )(2009)
9. O. Scholten: Internal Report Kvi 252 Computer Code Phint University of Groningen (1980)
10. John Wiley, Table of Isotopes, V.S.Shirley Ed., 2877 Pages (1996)
11. Wollersheim H J and Elze Th W a Nucl. Phys. A 278 87 (1977)
12. Van Isacker P. “ An Expasion of the Ibm and its Application to Even-Even Gd İsoptes “, Nucl.Phys. A380,383-409 (1982)
13. Rud N, Ewan G T, Christy A, Ward D, Graham R L and Geiger J S Nucl. Phjv. A 191 545 (1972)
14. H.R. Yazar,I.Uluer,V.Ünaloğlu and S.Yaşar, Chinese Journal of Physics Vol. 48, No. 3 344-355, 2010
15. Chuu D.S and Hsieh S, “ Ibm-1 Studies of Strongly Deformed Nuclei Near A = 150 “, J.Phys.G.Nucl.Part, Phys.16,583-592 (1990)
16. Gupta, Kumar K.,Hamiltonj.,'Pairing-Plus Quardupol Model Calculations For 154-158Gd' Phys Rev C16,427-437 (1977)
17. Sie S H, Ward D, Geiger J S, Graham R L and Andrews H R Nucl. Phys. A 291 443 (1977)
18. Dharduwaj S.K,Gupta 'Rotation-Vibration Description and Transitional Nuclei' Phys Rev. C27,2872-881 (1983)

19. Konijn, J., De Boer, F.W.N., Van Poelgfest, L.A., Hesselink, W.H.A., De Voigt, M.J.A. and Verheul, H., 'The Level Structure Of  $^{156}\text{Gd}$  Studied By Means of the Reaction' Nucl. Phys. A 352, 191-220 (1981)
20. Tanaka Y., Steffen R. M. Shera E.B., Reuter W., Hoehm M.V. and Zumbra J.D. Phys. Rev C 29 (1984)
21. J. Phys. G. Nucl. Phys. 14 877-890 (1988)
22. K.S. Krane, Atomic Data and Nuclear Data Tables, (1980) 25
23. C. Girit, W. D. Hamilton and C. A. Kalfas J. Phys. G: Nucl. Phys 797-821 (1983)
24. M.S.M. Nour El-Din, J.A. Maruhn and W. Greiner, Zeitschrift Für Physc. A-Atomic Nuclei 325, 415-420 (1986)
25. R.L. West, E.G. Funk and J.W. Mihelich Physical Review C Vol. 18 Num. 2 (1978)
26. İ. Uluer, Turkish at. En. Commission Technical Journal Vol. 2 No. 3 (1975)
27. L. C. Whitlock, J. H. Hamilton and A. V. Ramayya Physc. Review C Vol.3 Num. 1 (1971)
28. H.R. Yazar, Journal of Korean Phys. Soc. Vol. 47, No. 4, 592-596, Oct., (2005)
29. D. Ober, W. Weeber, and R. Place Phy. Rev. C Vol. 7 Num. 2 (1973)
30. İ. Uluer, C. A. Kalfas, W. D. Hamilton, R. A. Fox, D.D. Warner, M. Finger and D. C. J. of Physc. G: Nuclear Physc. Vol. 1, No:4 (1975)
31. K. S. Krane Physical Review-C Vol.8 Number 4 (1973)
32. J. B. Gupta, K. Kumar and J. H. Hamilton Physc. Review C Vol. 16, No. (1977)
33. R.B. Firestone and V.S. Shirley, Table of Isotopes, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1996)
34. Varshney A.K, Tyagi R.K, Prasad R and Gupta, "B(E2) Values For Transitions From High Spin States in Deformed Even-Even Nuclei", 11 Nuovo, 99. A, 1-8 (1988)
35. Kenneth S. Krane, Nuclear Phy. 1-2, 1996
36. F. Iachello, I. Talmi, Shell model foundations of the interacting boson model, Rev. Mod. Phys. 59, 339, (1987)
37. A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., 99, 253 (1976)
38. J.P. Elliot, Rep. Prog. Phys. 48, 171, (1985)

39. A.Arima and F. Iachello, Phys.Rev.Lett., **35**.16,1069(1975)
40. L.M.Chen,Chinese Journal Of Phy. **V36**. N.1 FEB. (1998)
41. V.K.B. Kota ve U.Datta , Eur. Phys. J. **A3**, 243-253 (1998)
42. R.S.Gou ve L.M.Chen, J. Phys. **G: Nucl. Part. Phys.** 26 (2000) 1775–1786
43. Ünalöđlu, V., Bazı Çift çift ve çift tek Eu ve Gd çekirdeklerinin yapısal özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2009
44. Yazar, H. R., Bazı Erbinyum çekirdeklerinin Elektromanyetik geçişlerinin kutupsal karışım oranlarının ve yapısal özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2003.
45. Sayın, E., Bazı Gd ve Sm İzotoplarının Elektromanyetik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2008.
46. Erdem, Ü.,  $^{154-158}\text{Gd}$  İzotoplarının Elektromanyetik Özellikleri ve  $0^+$  enerji düzeylerinin etkileşen bozon modeli ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2007.

## ÖZGEÇMİŞ

Hakan ALTUNTAŞ, 1979 yılında Kırşehir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kırşehir de tamamladı.Ardından Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünden 2001 yılında mezun oldu. Daha sonra Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında İstanbul üniversitesinde uluslar arası Fizik kongresinde sunum yaptı.Şuan da Yozgat ili Şefaati İlçesinde Şehit İsmail Dursun Anadolu Lisesinde fizik Öğretmeni olarak görev yapmakta.

Adres: Şehit İsmail Dursun Anadolu lisesi  
Şefaati - YOZGAT  
Telefon: 0 506 234 86 40  
Belgegeçer: 0 384 437 25 84  
e-posta : hkn40@mynet.com



