

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI ÇİFT-ÇİFT VE ÇİFT-TEK EU VE GD ÇEKİRDEKLERİNİN YAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

VOLKAN ÜNALOĞLU

MART 2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürünün onayı

Doç Dr. Burak BİRGÖREN

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Fizik Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İhsan ULUER
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Prof. Dr. İhsan ULUER
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İhsan ULUER

Prof. Dr. D.Mehmet ZENGİN

Prof. Dr. Şerafettin EREL

ÖZET

BAZI ÇİFT-ÇİFT VE ÇİFT-TEK EU VE GD ÇEKİRDEKLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÜNALOĞLU, Volkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İhsan ULUER

Mart 2009 ,105 Sayfa

Bu tez çalışmasında ($150 \leq A \leq 190$) deforme bölge başlangıcında bulunan Gd ve Eu çekirdeklerinin enerji düzeyleri ve $B(E2)$ geçiş olasılıkları belirlenmiş, elektromanyetik geçişlerine ait $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranları etkileşen bozon modeli kullanılarak incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar da PHINT kodu kullanılarak $B(E2)$ geçiş olasılıkları ve teorik enerji düzeyleri hesaplanmıştır. $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranlarını hesaplayabilmek için iterasyon metodu ile ardışık artan $\delta(E2/M1)$ Değerlerine bağlı olarak $-A-$ değerlerinin değişimi hesaplanarak tablo haline getirilmiştir. Oluşturulan bu tablodan hata oranı minimum olan deneysel $\delta(E2/M1)$ değerine karşılık gelen $-A-$ değeri belirlenerek bütün geçişler için bu $-A-$ değerine karşılık gelen $\delta(E2/M1)$ değerleri teorik olarak hesaplanmış ve hata oranları belirlenmiştir. Tezin dördüncü bölümünde ise hesaplanmış olduğumuz

teorik enerji seviyeleri, $B(E2)$ geçiş olasılıkları ve $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranları deneysel verilerle karşılaştırıldı. Yapılan teorik hesaplamaların deneysel verilerle uyum sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etkileşen Bozon Model, Etkileşen Bozon-Fermiyon Model, ok Kutuplu Karışım Oranı

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF STRUCTURAL FEATURES OF SOME EVEN- EVEN AND EVEN-ODD EU AND GD NUCLEI

ÜNALOĞLU, Volkan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İhsan Uluer

March 2009, 105 pages

In this work, the energy levels and $B(E2)$ transition probabilities of Gd and Eu nuclei have been determined at the onset of deformation region ($150 \leq A \leq 190$), $\delta(E2/M1)$ multipole mixing ratios of electromagnetic transitions have been investigated by using the interacting boson model. The $B(E2)$ transition probabilities and the theoretical energy levels have been calculated by using the PHINT code. In order to calculate $\delta(E2/M1)$ multipole mixing ratios the variation of $-A-$ values which is depend on sequentially ascent $\delta(E2/M1)$ were calculated by using of the iteration method and the results have been tabulated. From this, the values of A which correspond to the experimental values of $\delta(E2/M1)$ with minimum error have been determined, and the values of $\delta(E2/M1)$ with minimum error have been theoretically calculated for all transitions. Finally, the

obtained results of the theoretical energy levels, $B(E2)$ transition probabilities and $\delta(E2/M1)$ multipole mixing ratios have been compared with the experimental data. It has been observed that our results are in agreement with the experimental data.

Key Words: Interacting Boson Model, Interacting Boson-Fermion Model,

Multipole Mixing Ratio

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca her tŸrlŸ yardımını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam ve bŸlŸm baőkanım Sayın Prof. Dr.İhsan ULUER 'e , çalıőmalarımda bana gŸsterdikleri yardımlarından dolayı Ÿncelikle Yrd.Doç.Dr.Harun Reőit YAZAR'a ayrıca Doktora Ÿęrencisi Sinan YAŐAR ve Araő. GŸr.Mahmut BŸYŸKATA 'ya teőekkŸrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak özetleri.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM	4
2.1. Etkileşen Bozon modeli ve Tarihsel Süreci.....	4
2.2. IBA-1 ve IBA-2 ilişkisi ve etkileşen bozon modelinin diğer versiyonları.....	6
2.3. Dinamik simetriler.....	9
2.4. Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli (IBFM)	11
2.4.1. IBFM Hamiltonyen.....	11
2.5. Nükleer Titreşimler.....	13
2.5.1. $\lambda=0$ Titreşimi(monopol titreşimi).....	14

2.5.2. $\lambda = 1$ Titreşimi(dipol titreşimi).....	14
2.5.3. $\lambda = 2$ Titreşimi(kuadropol titreşimi).....	15
2.5.4. $\lambda \geq 3$ Titreşimi(oktopul titreşimi).....	15
2.6. Nükleer dönmeler.....	16
2.7. Açısal momentum değişimi ve Çok kutuplu elektromanyetik alan vektörü.....	18
2.8. Elektromanyetik geçiş işlemleri.....	22
2.9 δ (E2/M1) Çok kutuplu karışım oranı.....	23
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
3.1. ^{154}Gd İzotopunun incelenmesi.....	26
3.1.1. ^{154}Gd ' deki Bazı Enerji Seviyeleri.....	27
3.1.2. ^{154}Gd İzotopunun Bazı Bandları Arası Geçiş Olasılıkları.....	33
3.1.3. ^{154}Gd İzotopunun δ (E2/M1) çok kutuplu karışım oranlarının hesaplanması.....	33
3.1.4. A' nın Hata Hesabı.....	39
3.1.5. δ (E2/M1)'İN Hata Hesabı.....	40
3.2. ^{156}Gd İzotopunun incelenmesi.....	43
3.2.1. ^{156}Gd İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri.....	44
3.2.2. ^{156}Gd İzotopunun Bazı Bandları Arası Geçiş Olasılıkları.....	49
3.2.3. ^{156}Gd İzotopunun δ (E2/M1) çok kutuplu karışım oranlarının hesaplanması.....	50

3.2.4. A' nın Hata Hesabı	55
3.2.5. $\delta(E2/M1)$ 'in Hata Hesabı.....	56
3.3. ^{155}Eu İzotopunun incelenmesi.....	59
3.3.1. ^{155}Eu İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri.....	59
3.3.2. ^{155}Eu İzotopunun Bazı Bandları Arası Geçiş Olasılıkları.....	64
3.3.3. ^{155}Eu İzotopunun $\delta (E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranlarının hesaplanması.....	65
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	70
KAYNAKLAR	84
EK (Gd ve Eu izotopları için PHINT ve ODDA program verileri).....	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. Mümkün Olan Bazı Gama Işımlarının Seçim Kuralları	21
3.1. ^{154}Gd izotopunun spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri.....	32
3.2. ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için B(E2) geçiş olasılıkları ve PHINT parametreleri.....	33
3.3. ^{154}Gd izotopuna ait ardışık artan delta değerlerine karşılık gelen –A- değerleri.....	35
3.4. ^{154}Gd izotopunu için δ (E2/M1) in Hata hesabı.....	41
3.5. ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları.....	42
3.6. ^{156}Gd izotopunun spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri.....	48
3.7. ^{156}Gd izotopunun bazı geçişleri için B(E2) geçiş olasılıkları ve PHINT parametreleri.....	49
3.8. ^{156}Gd izotopuna ait ardışık artan delta değerlerine karşılık gelen –A- değerleri.....	51
3.9. ^{156}Gd izotopunu için δ (E2/M1) in Hata hesabı.....	57
3.10. ^{156}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları.....	58
3.11. ^{155}Eu izotopunun spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji	

seviyeleri.....	63
3.12. ¹⁵⁵ Eu izotopunun bazı geçişleri için B(E2) geçiş olasılıkları ve ODDA parametreleri.....	64
3.13. ¹⁵⁵ Eu izotopuna ait ardışık artan delta değerlerine karşılık gelen –A- değerleri.....	66
3.14. ¹⁵⁵ Eu izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{bu\ çalışma}$ (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları.....	69
4.1. ¹⁵⁴ Gd izotopunun PHINT programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri.....	71
4.2. ¹⁵⁶ Gd izotopunun PHINT programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri.....	73
4.3. ¹⁵⁵ Eu'nin ODDA programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri.....	75
4.4. ¹⁵⁴ Gd'nin PHINT programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri.....	77
4.5. ¹⁵⁶ Gd'nin PHINT programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri.....	78
4.6. ¹⁵⁵ Eu'nin ODDA programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri.....	79
4.7. ¹⁵⁴ Gd izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{bu\ çalışma}$ (E2/M1) ve $\delta_{deneysel}$ (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları	80
4.8. ¹⁵⁶ Gd izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{bu\ çalışma}$ (E2/M1) ve $\delta_{deneysel}$ (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları	81
4.9. ¹⁵⁵ Eu izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{bu\ çalışma}$ (E2/M1) ve $\delta_{deneysel}$ (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Gd izotopunun faz üçgenindeki yeri.....	10
2.2.Nükleer yüzey üzerindeki bir noktanın koordinatlarını küresel harmonikler cinsinden gösterimi.....	13
2.3. Monopol titreşimi.....	14
2.4. Dipol titreşimi.....	14
2.5.Kuadrapol titreşimi.....	15
2.6. Oktopul titreşimi	15
2.7. Geometrik yapı ve eksenler.....	16
2.8. Deforme çekirdeklerin geometrik yapıları.....	17
3.1. ¹⁵⁴ Gd izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	31
3.2. ¹⁵⁴ Gd izotopunun iterasyon metodu ile elde edilen –A- değerlerinin δ değerine karşı değişimi.....	38
3.3. ¹⁵⁶ Gd izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	47
3.4. ¹⁵⁶ Gd izotopunun iterasyon metodu ile elde edilen –A- değerlerinin δ değerine karşı değişimi.....	54
3.5. ¹⁵⁵ Eu izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması.....	62
3.6. ¹⁵⁵ Eu izotopunun iterasyon metodu ile elde edilen –A- değerlerinin δ değerine karşı değişimi.....	68

4.1. ^{154}Gd izotopunun IBM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	72
4.2. ^{156}Gd izotopunun IBM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	74
4.3. ^{155}Eu izotopunun IBFM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması.....	76

1. GİRİŞ

Gd ve Eu çekirdekleri, deforme bölgenin başlangıcındadır. Deforme çekirdekte çiftlenim ve kuadrupol kuvvetleri önemlidir. Bu kuvvetler özellikle doldurulmamış durumlardaki parçacıkları etkiler. İki nükleon arasında meydana gelen ve kısa menzilli olan kuadrupol kuvveti çekirdeğin şeklini belirlemede önemli rol oynar. Çiftlenim kuvveti çekirdeği bir küresel simetri içinde tutar. Kuadrupol kuvvetin kaynağı kuadrupol yük dağılımıdır. Bu kuvvet, çekirdeği deforme duruma götürür. Çiftlenim ve kuadrupol kuvvetler arasındaki ilişki, çekirdeğin şeklini belirler. Deforme bölgede yer alan Gd ve Eu 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. Çift-tek Eu çekirdeğinin enerji düzeyleri ve $B(E2)$ geçiş olasılıkları ise, ODDA kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çok kutuplu karışım oranları ise Arima ve Lachellos'un yazdıkları formül 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.

1.2. Çalışmanın Amacı

Deforme bölge başlangıcında olan Gadolinyum ve Europyum çekirdeklerinin elektromanyetik geçişlerinin özelliklerinin etkileşen bozon modeli ve etkileşen bozon-fermiyon modeli ile incelenmesi ve enerji düzeyleri ile $B(E2)$ geçiş olasılıklarının belirlenip, elektromanyetik geçişlerine ait çok kutuplu $\delta(E2/M1)$ kutupsal karışım oranlarının hesaplamak ve deneysel verilerle karşılaştırmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Etkileşen Bozon Modeli Ve Tarihsel Süreci

Çekirdeklerin yapısını ve değişik özelliklerini açıklayabilmek için çeşitli çekirdek modelleri geliştirilmiştir. Bunlardan ilki 1930 yılında Niels Bohr'un ileri sürdüğü sıvı damlası modelidir. Bu model sihirli çekirdeklerin komşu çekirdeklere göre gösterdikleri daha kararlı durumları açıklayamadığı için ömrü az olmuştur. Model çekirdek kararlılığı ve fisyon olayını açıklayabilmektedir. Ardından 1934 yılında Elzas ve Guggenheimer kabuk modelini önerdiler. Nükleonlar, sihirli sayıda değerler aldıklarında çekirdeklere proton ve nötron kabuklarının 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. Bu 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 kollektif 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 edilir. Bu bozonlar L=0 durumunda bulunan s-bozonları ve L=2 durumunda bulunan d-bozonlarıdır.

Örneğin ${}_{64}^{156}\text{Gd}_{92}$ izotopunun toplam bozon sayısını bulacak olursak;

64 Proton sayısı 50-82 kabuğu arasındadır. Ancak 50 proton kabuğuna daha yakın olduğu için $64-50=14$ adet proton 50-82 proton kabuğunu işgal eder.

IBA ya göre etkileşen proton bozonlarının sayısı $(N_{\pi}) = \frac{14}{2} = 7$ dir.

92 Nötron sayısı ise 82-126 kabuğu arasındadır. Ancak 82 nötron kabuğuna daha yakın olduğu için $92-82=10$ adet nötron 82-126 nötron kabuğunu işgal eder.

IBA ya göre etkileşen nötron bozonlarının sayısı $(N_{\nu}) = \frac{10}{2} = 5$ dir.

O halde IBA ya göre toplam bozon sayısı $(N_{\pi} + N_{\nu}) = 7+5=12$ olacaktır.

Böylece etkileşen parçacık sayısı kabuk modelindekinden $10^{12}-10^{13}$ daha aza indirilmiş olur.

2.2. IBA-1 ve IBA-2 İlişkisi ve Etkileşen Bozon Modelinin Diğer Versiyonları

Etkileşen Bozon Modeli'nin ilk versiyonunda (IBM-1) 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. Yukarıda verilen iki versiyon çift çekirdeklerin uyarılma enerjileri, $B(E2)$ değerleri ve $E2 / M1$ karışım oranları gibi özelliklerini belirlemede idealdir. 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.

IBA modelinin iki versiyonunu tartıştık. İlkinde proton ile nötron arasındaki serbestlik dereceleri üstünlük kıyaslaması yapılmaksızın araştırıldı. Bu modelin tatminkar olmayan bir görünümü de çekirdeğin mikroskobik bir yapı ile beraber net olmayan bağlantısının olmasıdır. İkinci versiyonda, IBA-2 nötron ve proton serbestlik dereceleri apaçık davranmıştır. Bu görüşlerden şu izlenir ki oda IBA-2 modelindeki tam simetrik durumlardan belirlenmiş olan IBA-1 modelinin durumlarıdır. Yukarıdaki ilişkilerin IBA-1 modelinin parametreleri ile IBA-2'nin parametrelerinin arasında nasıl bağlantı kurmada kullanılabileceği gösterilmiştir. IBA-2 modelinin parametrelerinden basit IBA-1 modelindeki parametrelerin hesaplanmasını belirlemek için bir yöntem geliştirilmiştir. Burada bir temele dayandırılan ilişki gerçek de şudur ki

IBA-1 modeli ; IBA-2 deki tam olmayan simetrik gösterime göre toplam da sadece SU(6) nın simetrik gösterimini meydana çıkarır ve bunlar da hesaba katılmıştır. Bundan dolayıdır ki IBA-1 uzay modeli IBA-2 uzay modelinin bir alt uzayıdır ve basit izdüşüm işlemleri ile uygulanabilmektedir.

Burada ki hesaplamalar bu metodla IBA-2 den elde edilen sonuçları apaçık gösterir ve IBA-1 de bu durumla çok iyi uyumaktadır. Burada özdeş bozonlar arasında çekici bir etkileşim olduğu zaman sapmalar meydana çıkar. İzdüşüm işleminde κ ve ε ile düzeltilemeyen deney ile hesaplama arasında ki uyumun; IBA-2 hesaplamı ile üstesinden gelinmiştir.

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 bulunabilir. 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_π, d_π ile nötron bozonları olan s_ν, d_ν 'dir ve bunlar birbirinden farklıdır. IBM-2 Hamiltoniyeni, ⁽¹⁾

$$H = \varepsilon_{\pi} n_{d_{\pi}} + \varepsilon_{\nu} n_{d_{\nu}} + \kappa Q_{\pi} Q_{\nu} + M_{\pi\nu} + V_{\pi\pi} + V_{\nu\nu} \quad (2.1)$$

dir. Burada,

$$\begin{aligned} M_{\pi\nu} &= \frac{1}{2} \xi_2 (s_{\nu}^+ \times d_{\pi}^+ - d_{\nu}^+ \times s_{\pi}^+)^{(2)} (s_{\nu} \times d_{\pi} - d_{\nu} \times s_{\pi})^{(2)} \\ &= \sum_{k=1,3} \xi_k (d_{\nu}^+ \times d_{\pi}^+)^{(k)} (d_{\pi} \times d_{\nu})^{(k)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

ve

$$V_{\rho\rho} = \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2} C_L^{\rho} (d_{\rho}^+ \times d_{\rho}^+)^{(L)} (d_{\rho} \times d_{\rho})^{(L)} ; \rho = \pi, \nu \quad (2.3)$$

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.

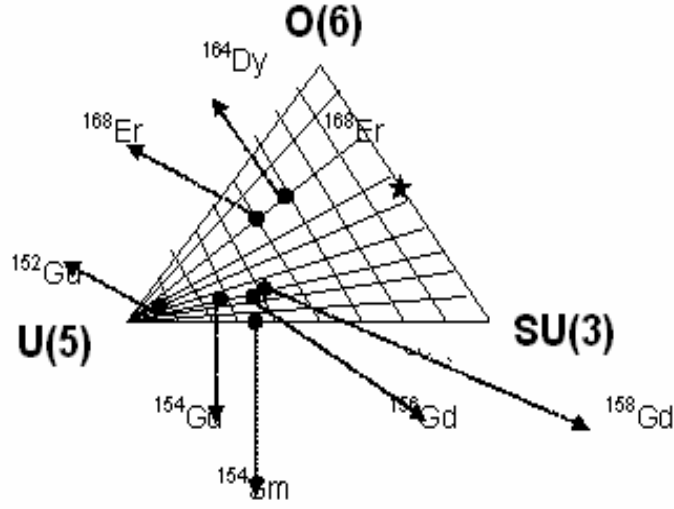
Bu son versiyonların IBM-2 'den farkı, IBM-2 'de alınan iki ayrı tür bozona (π ve ν bozonları) karşılık IBM-3'de üç tip bozon (π , δ ve ν bozonları) alınır. Çünkü IBM-3 'de $T = 1$ ve $M_T = 1, 0, -1$ değerlerine sahip eşspin üçlüsü üzerindeki s ve d bozonlarının her ikisi birden göz önüne alınır. Böylece çekirdek kabuk modelindeki aynı değerlik yörünge setini dolduran protonlara ve nötronlara sahiptir. Dolayısı ile IBM-3, iyi derecede eşspinlerin varlığını gerektirir. IBM-3 versiyonu, bozonların dolaylı olarak $T=1$ eşspinini taşıdığını farzeder. 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. 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 açısız 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

Bu analize göre;⁽³⁾

U(5) vibrasyonel limit (anharmonik titreştirici)

SU(3) rotasyonel limit (prolate ve oblatte deformasyon-eksenel rotor)

O(6) limiti γ kararsız rotor (deforme-osilatör) durumlarına karşılık gelmektedir.

Gd çekirdeği U(5) vibrasyonel limite yerleşiktir

2.4. Etkileşen Bozon Fermiyon Modeli (IBFM)

Daha önceki kısımlarda , etkileşen bozon modelinin geliştirilmiş formunda tek sayıdaki proton veya nötronlar için bir anlatım yoktur. Etkileşen boson fermiyon modelde (IBFM) tek kütleli çekirdekleri tanımlamada kullanılan bir model dir. 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.

2.4.1. 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 hamiltonyeni ,

$$H = H_B + H_F + V_{BF} \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir.

Bozon kısmı IBM-I Hamiltonyen ile ifade edilir .

H_F aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir;⁽⁴⁾

$$H_F = E_0 + \sum j \varepsilon_j \sqrt{2j+1} [a^+_{j_1} x a^{\sim}_{j_2}]^{(0)} + \sum J_{jj'} j'' j''' c^{(j)} j'' j''' \left[[a^+_{j_1} x a^+_{j_2}]^{(j)} x [a^{\sim}_{j_1} x a^{\sim}_{j_2}]^{(j)} \right] \quad (2.5)$$

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

$$V_{BF} = \sum j c^{(0)}_{00jj} N n_j - \sum j A_j n_d n_j / \sqrt{5(2j+1)} + \sum j_1 j_2 \Gamma_{j_1 j_2} [Q_B(\chi_{j_1 j_2}) x [a^+_{j_1} x a^{\sim}_{j_2}]^{(2)}]^{(0)} + \sum j_1 j_2 \Lambda^{(j)}_{j_2 j_1} : [[d^+ x a^{\sim}_{j_2}]^{(j)} x [a^+_{j_1} x d^{\sim}]^{(j)}]^{(0)} \quad (2.6)$$

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

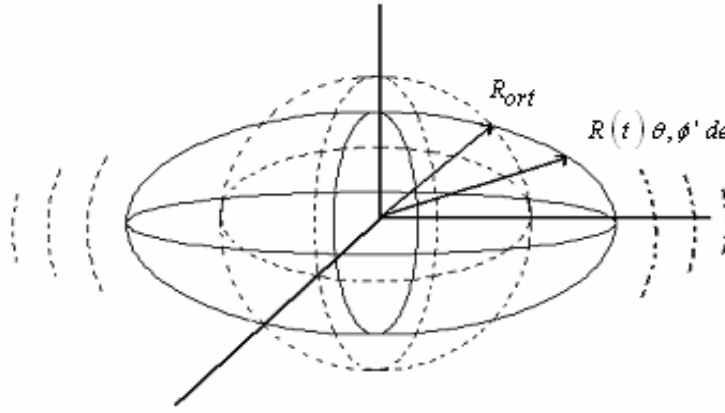
V_{BF} operatöründeki terimleri indirgemek üzere aşağıdaki eşitlikler yazılabilir,

$$\begin{aligned} A_j &= -\sqrt{5(2j+1)} A_0 \\ \Gamma_{j_1 j_2} &= \sqrt{5} \gamma_{j_1 j_2} \Gamma_0 \quad \gamma_{j_1 j_2} = (u_{j_1} u_{j_2} - v_{j_1} v_{j_2}) Q_{j_1 j_2} \\ \Lambda^j_{j_1 j_2} &= -2\sqrt{5/(2j+1)} \wp_{j_1 j_2} \Lambda_0 \quad \wp_{j_1 j_2} = (u_{j_1} u_{j_2} - v_{j_1} v_{j_2}) Q_{j_1 j_2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

yukarıdaki ifadeler yardımı ile V_{BF} sadece üç parametreye bağlı hale gelmiş durumdadır. Bunlar sırasıyla A_0 , Γ_0 ve Λ_0 parametreleridir.

2.5. Nükleer Titreşimler

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.



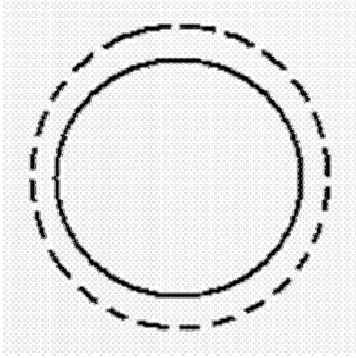
Şekil 2.2 Nükleer yüzey üzerinde ki bir noktanın koordinatlarını küresel harmonikler cinsinden gösterimi⁽⁴⁾

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

$$R(t) = R_{ort} + \sum_{\lambda \geq 1} \sum_{\mu = -\lambda}^{+\lambda} \alpha_{\lambda\mu}(t) Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi) \quad (2.8)$$

Sırasıyla titreşim türlerine bakılırsa;⁽⁴⁾

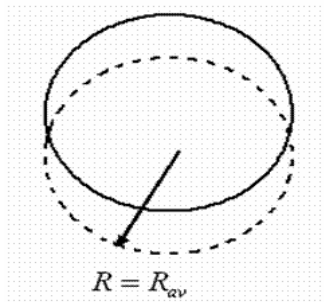
2.5.1. $\lambda=0$ Titreşimi (Monopol titreşim)



Şekil 2.3 Monopol titreşimi

$\lambda=0$ titreşimi çekirdeğin şekli değişmeden kalan radyal bir salınımdır. Taban durumu için $J=0$ kuantum sayısını taşıyan çift-çift çekirdeklere bu tip en düşük uyarılma olduğu deneysel olarak gözlenir.

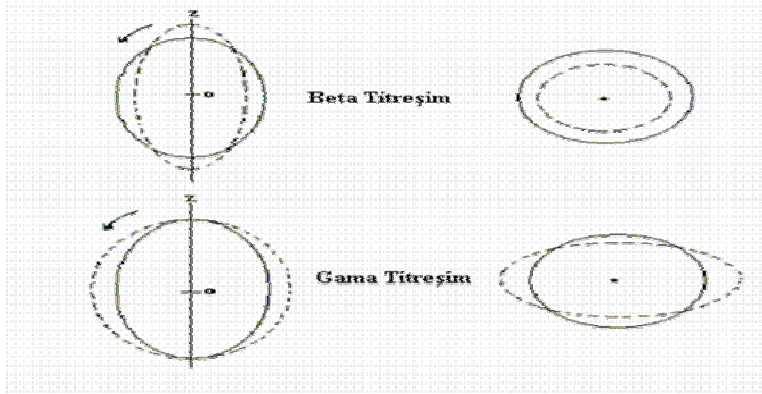
2.5.2. $\lambda=1$ Titreşimi (Dipol titreşim)



Şekil 2.4 Dipol titreşimi

Dipol biçimi şekildedeki gösterildiği gibi nükleer sıvının merkezinin tam bir dönmesine karşılık gelir. Çekirdeğe bağlı olarak 10-25 MeV gibi çok yüksek enerjilerde meydana gelir.

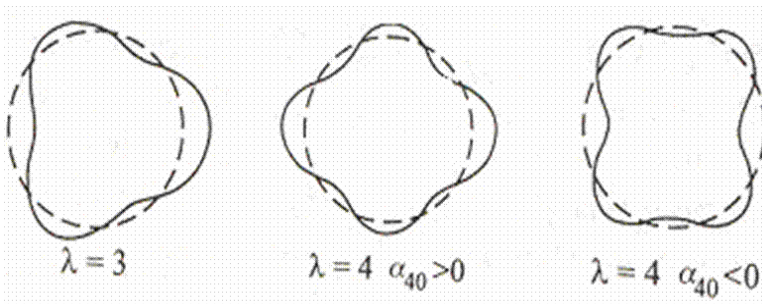
2.5.3. $\lambda=2$ Titreşimi (Kuadropol titreşim)



Şekil 2.5 Kuadropol titreşimi

Çekirdeğin şekli küresel ve elipsoidal biçimde değişir. Kuadropol titreşim $K\pi=0+$ kuantum sayısına sahip çekirdeklere beta titreşim, $K\pi = 2+$ kuantum sayısına sahip çekirdeklere ise gama titreşim olarak tanımlanmaktadır. Kuadropol titreşimleri deforme çekirdeklerin genelinde baskındır.

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

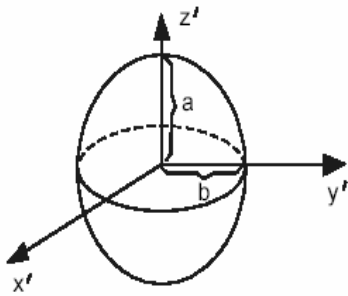


Şekil 2.6 Oktopul titreşimi

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

2.6. Nükleer Dönmeler

Nükleer dönme hareketi sadece denge şekli küresel olmayan çekirdeklere gözlemlenebilir. Bu çekirdekler, küresel şekilden önemli ölçüde sapmalara sahip olabilirler ve deforme çekirdekler olarak adlandırılırlar.



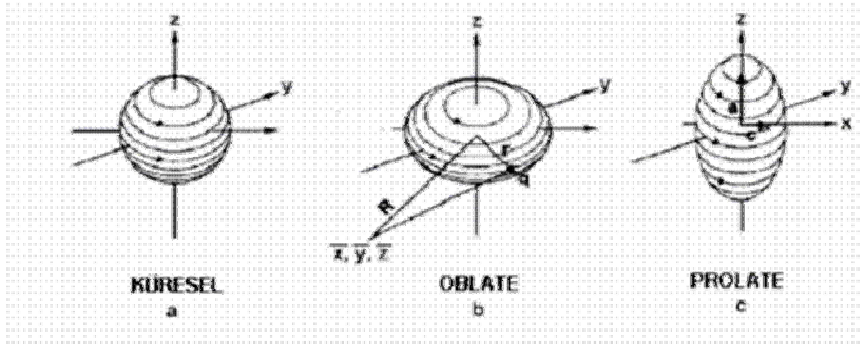
Şekil 2.7 Geometrik yapı ve eksenler

$$Q = \frac{2}{5} \cdot Z \cdot e \cdot (a^2 - b^2) \quad (2.9)$$

Yük küresel olur ama 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 Deforme çekirdeklerin geometrik yapıları

yüzey ϕ den bağımsız olduğu için çekirdek silindirik simetriye sahiptir.

$$\beta = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\pi}{5}} \frac{\Delta R}{R_{ort}} \quad (2.10)$$

β 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.

Kollektif 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 kolektif hareket, denge biçimi etrafındaki vibrasyon hareketiyle, deforme olmuş çekirdeğin yönelme doğrultusunun rotasyonundan meydana gelir. β_0 , z eksenine göre dik düzlemdeki titreşimleri gösterir.

2.7. Açısız Momentum Değişimi Ve Çok Kutuplu Elektromanyetik Alan Vektörü

A (πL) notasyonu ile gösterilen elektromanyetik alan vektörü, Maxwell dalga denklemlerinin düzenlenmesiyle elde edilen, düzlem ve küresel dalga çözümlerinin bir ürünüdür. Burada π , sırasıyla E (elektrik) ve M (manyetik)

değerlerine karşılık gelir. L ise çok kutuplunun cinsini gösterir. A (πL) Alan vektörü, Kutup cins seçim kaidelerinden belirlenir. Normal açısal momentum seçim kuralı ⁽⁵⁾

$$|J_i - J_f| \leq L \leq J_i + J_f \quad (2.11)$$

şeklindedir. Açısal momentum ve parite kuralları bir arada kullanılırsa açısal momentumdaki bir değişim için müsaade edilen ışımaya tipi tahmin edilebilir. Monopol ışınması olmadığından L=0 a tekamül eden ışımaya yoktur. Çünkü monopol işlemcisi bütün bir yük dağılımının geçişini gösterir ve bir boyuna dalga oluşturur. Halbuki elektromanyetik dalgalar enine dalgalardan oluşur.

$$2^L \left\{ \begin{array}{l} L = 0 \rightarrow 2^0 = 1(\text{monopol}) \\ L = 1 \rightarrow 2^1 = 2(\text{dipol}) \\ L = 2 \rightarrow 2^2 = 4(\text{kuadrupol}) \\ L = 3 \rightarrow 2^3 = 8(\text{oktupol}) \end{array} \right\}$$

L, ışımının kutupsallığı olarak bilinir. parçacık yayımında parite açısal momentumla belirlenmektedir. Verilen bir kutupsallıktaki ışımaya tek veya çift Parite olabilir. Bunun sebebi elektrik alan vektörünün çift pariteye manyetik alanın ise aksel bir tek pariteli vektöre sahip olmasıdır.

$$\pi(ML) = (-1)^L = (-1)^{L+1} \quad \text{çift parite} \quad (2.12)$$

$$\pi(EL) = (-1)^L \quad \text{tek parite} \quad (2.13)$$

İlk ve son paritelerde çok kutupluluğun paritesi arasında,

$$P_i = P_x \cdot P_f \quad (2.14)$$

bağıntısı vardır.

Elektriksel çok kutuplu fotonlar için $P_x = (-1)^l$ şeklindedir. Manyetik çok kutuplu fotonlar için ise $P_x = -(-1)^l$ bağıntısı ile verilmiştir. Bu bağıntılar, seçim kuralları ile geçiş olasılıklarının bağıl değerleri göz önüne alınırsa, mümkün olan bazı gama ışımalarının seçim kuralları Çizelge 2.1' de görüldüğü gibidir. İki seviye arasındaki geçişlerde farklı tipte ışınımlardan meydana gelmiş bir karışım yayınlanması da mümkündür.

Çizelge 2.1 Mümkün Olan Bazı Gama Işımlarının Seçim Kuralları⁽⁶⁾

$J_i \leftrightarrow J_f$	Parite değişimi	ışılma
$0 \leftrightarrow 0$	evet	Yok
	hayır	Yok
$1 \leftrightarrow 0$	Evet	E1
	Hayır	M1
$2 \leftrightarrow 0$	Evet	M2
	Hayır	E2
$1 \leftrightarrow 2$	Evet	E1(M2,E3)
	Hayır	(M1,E2),M3
$1 \leftrightarrow 3$	Evet	M2(E3,M4)
	Hayır	E2(M3,E4)
$2 \leftrightarrow 3$	Evet	E1(M2,E3),(M4,E5)
	Hayır	(M1,E2),(M3,E4)M5

Çeşitli kutupsallıkların bağlı şiddetleri hakkında bilgi edinilebilir. Her potansiyel terimi R^{-1} ile değişir.

Krane'ye ⁽⁶⁾ göre, vibrasyonal bandlardaki rotasyonal seviyeleri, temel hale birleştiren gama ışınımları arasında M1 manyetik dipol geçişlerine

rastlanmaz. Bu tip geçişlerin saf E2 elektrik kuadropol olmaları beklenir. Çift-çift deforme çekirdekler bölgesinde M1 şiddeti genellikle toplam geçiş şiddetinin %0,5 – 2 sini teşkil eder. Gama ışını açısal dağılımının veya açısal korelasyonlarının ölçümü ile bu iki M1, E2 çok kutupluların karışımı bulunabilir ve M1 ile E2 matris elemanlarının karışım oranlarına bağlı olarak ölçülebilir.

2.8. Elektromanyetik Geçiş İşlemleri

Bu değerler, belirli geçişlerin oranlanmasında kullanılarak dinamik simetri sınırları ile belirlenmektedir. En önemli elektromanyetik geçişler, E2 geçişleridir. B(E2) geçiş olasılığı değerleri, E2 operatörü kullanılarak hesaplanmıştır. Bozon sayısının korunması için kullanılan E2 operatörü rankı iki olan hermitik bir operatör olmalıdır. Bu kısıtlamalarla genel E2 operatörü, şu şekilde yazılabilir. ⁽⁵⁾

$$T_m(E2) = e_\pi Q_\pi + e_\nu Q_\nu \quad (2.15)$$

$$Q_\rho = [d_\rho^+ s_\rho + s_\rho^+ \tilde{d}_\rho]^{(2)} + \chi_\rho [d_\rho^+ \tilde{d}_\rho]^{(2)} \quad (2.16)$$

Burada ρ , π (proton) veya ν (nötron) bozonlarına karşılık gelmekte ve χ_ρ , kuadropol operatörünün yapısını belirlemekte ve ampirik olarak hesaplanmaktadır. Q_ρ , Q_π ve Q_ν bozon kuadropol operatörleri, e_π ve e_ν de proton bozonları ve nötron bozonlarının etkin yükleridir. Hesaplamalarda eşit

etkin yükleri eşit olarak alınmıştır. E2 geçişleri için B(E2) geçişi şu şekilde verilebilir:

$$B(E2; L_i \rightarrow L_f) = 1 / (2L_i + 1)^{1/2} \left| \langle L_f || T(E2) || L_i \rangle \right|^2 \quad (2.17)$$

Quadrupol kısmımlı operatör Qp Hamiltoniyen eşitliği ile aynı açıklamaya sahiptir ve uygunluk için Hamiltoniyen' deki gibi aynı değer seçilir.

$$T(M1) = [3/4]^{1/2} (g_\pi L_\pi + g_\nu L_\nu) \quad (2.18)$$

Şeklindeki, proton(nötron) g faktörü μN birimi ile ve L_p proton(nötron) için açısal momentum operatörüdür. 2_1^+ seviyesinin deneysel g değerleri g_π g_ν 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.

2.9. $\delta(E2/M1)$ Çok Kutuplu Karışım Oranı

$\Delta(E2/M1)$ oranı belirli E2 matris elemanının belirli M1 matris elemanına oranıdır. Burada E2 ve M1 geçişleri daha önemli bir yer tutmaktadır. Vibrasyonel bantlardaki rotasyonel düzeyleri temel düzeylere birleştiren geçişlerin kutupsallığında baskın olarak E2 geçişleri görülür. Deforme Çift-çift çekirdekler bölgesinde M1 şiddeti toplam şiddetin çok küçük bir kısmını

oluşturur. Seviyeler arasındaki geçişlerinin E2/M1 kutupsallıklarının karışım oranlarının analitik formu ⁽⁷⁾

$$\Delta^{(E2/M1)} = \frac{\langle n_d, \chi, L \| T^{(E2)} \| n_d + 1, \chi', L' \rangle}{\langle n_d, \chi, L \| T^{(M1)} \| n_d + 1, \chi', L' \rangle} \quad (2.19)$$

dir. L' ile L arasındaki geçişler için aşağıdaki şekilde üç türlü bağlantı vardır,

$$\begin{aligned} L' = L \quad \Delta^{(E2/M1)} &= -A \frac{10}{[(2L-1)(2L+3)]^{1/2}} \\ L' = L+1 \quad \Delta^{(E2/M1)} &= -A \frac{10}{[3L(2L+2)]^{1/2}} \\ L' = L-1 \quad \Delta^{(E2/M1)} &= -A \frac{10}{[3(L-1)(L+1)]^{1/2}} \end{aligned} \quad (2.20)$$

burada, A parametresi deneysel olarak hesaplanmış hata oranı minimum olan çok kutuplu karışım oranı değeri alınarak elde edilmektedir.

$\delta^{(E2/M1)}$ ile $\Delta^{(E2/M1)}$ arasındaki bağlantı ise; ⁽⁷⁾

$$\delta (E2/M1) = 0,832. E_\gamma \Delta (E2/M1) \quad (2.21)$$

şeklinde ve buradaki E_γ seviyeler arasındaki gama geçiş enerjisi olup MeV birimindedir.

$\Delta(E2/M1)$ **eb/μn** dir. Bu formül Arima ve Lachello tarafından yazıldı ve

$$\Delta (E2/M1) = A.f (If, li) \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edildi. $f(l_f, l_i)$ faktörü geçişlerin spinlerinin durumlarına bağlıdır ve mümkün olan durumlara bağlı olarak $f(l_i, l_f)$ nin alacağı değerler aşağıdaki gibidir. Enerjiye olan bağılılık E_γ faktörü ile ele alınır. Çünkü $f(l_i, l_f)$ terimi, mümkün l_i ve l_f değerleri için çok fazla farklı değildir.

$$f(l_f, l_i) = \left\{ \begin{array}{l} 10[(2l_f - 1)(2l_f + 3)]^{-1/2} \rightarrow l_i = l_f \\ 10[3l_f(l_f + 2)]^{-1/2} \rightarrow l_i = l_f + 1 \\ 10[3(l_f - 1)(l_f + 1)]^{-1/2} \rightarrow l_i = l_f - 1 \end{array} \right\}$$

Sonuç olarak; $\delta(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A \cdot f(l_f, l_i)$ (2.23)

Denklemleri ile verilir.

3.ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. ¹⁵⁴Gd İzotopunun İncelenmesi

¹⁵⁴Gd izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan deforme gadolinium çekirdeklerinden ilkidir. Bozunum şamasından görüleceği üzere temel hal bandının seviyeleri: 0+[0]keV, 2+[123,0714]keV, 4+[371,005]keV, 6+[717,661]keV, 8+[1144,47]keV, 10+[1637,07]keV seviyeleridir. Beta bandının seviyeleri ise: 0+[680,7]keV, 2+[815,49]keV, 4+[1047,589]keV, 6+[1365,9]keV, 8+[1756,5]keV, 10+[2194,2]keV seviyeleridir. Gama bandının seviyeleri ise: 2+[996,2]keV, 3+[1127,8]keV, 4+[1263,8]keV, 5+[1432,5]keV, 6+[1606,7]keV, 7+[1810,4]keV seviyeleridir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır.

¹⁵⁴Gd çekirdeğinin enerji bozunum şeması⁽⁸⁾ Şekil 3.1' de görülmektedir. ¹⁵⁴Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve PHINT parametre değerleri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir. ¹⁵⁴Gd izotopunun bazı geçişleri için teorik olarak hesaplanan $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranı Çizelge 3.5' de, hesaplanan enerji seviyeleri Çizelge 3.1' de ve PHINT⁽⁹⁾ program kodu kullanılarak belirlenen teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması Çizelge 4.1' de verilmiştir.

3.1.1. ¹⁵⁴Gd '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, $0^+ [0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu 123,071 keV olan bir γ ışını açığa çıkar.

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

717,661 keV seviyesi: Spin paritesi 6^+ olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden, $4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ 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 γ ışını 426,78 keV değerindedir.

680,663 keV seviyesi: Spin paritesi 0^+ olan bu seviye β 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 γ ışını açığa çıkar.

815,487 keV seviyesi: Spin paritesi 2^+ olan bu seviye β 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 γ ışını açığa çıkar.

$4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 444,484 keV değerindedir.

$0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 815,507 keV değerindedir.

1047,589 keV seviyesi: Spin paritesi 4^+ olan bu seviye β 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 γ ışını açığa çıkar.

$6^+[717,661]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 329,920 keV değerindedir.

$2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 924,55 keV değerindedir.

1365,896 keV seviyesi: Spin paritesi 6^+ olan bu seviye β bandının bir üyesi olup bu seviyeden,

$4^+[1047,589]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 318,306 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$4^+[371,005]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 994,9 keV değerindedir.

996,259 keV seviyesi: Spin paritesi 2^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden ,

$2^+[815,487]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 180,70 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$0^+[680,663]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 315,40 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 625,257 keV değerindedir.

$2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 873,190 keV değerindedir.

$0^+[0]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 996,262 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

1127,973 keV seviyesi: Spin paritesi 3^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden,

$4^+[1047,589]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 80,40 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$2^+[996,259]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 131,544 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$2^+[815,487]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 312,26 keV değerindedir.

$4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ 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 γ ışını açığa çıkar.

1263,790 keV seviyesi: Spin paritesi 4^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden,

$2^+[996,259]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 267,499 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$6^+[717,661]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 546,082 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ 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 γ ışını açığa çıkar.

1432,55 keV seviyesi: Spin paritesi 5^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden,

$4^+[1263,790]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 168,810 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$6^+[717,661]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2,M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 714,94 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

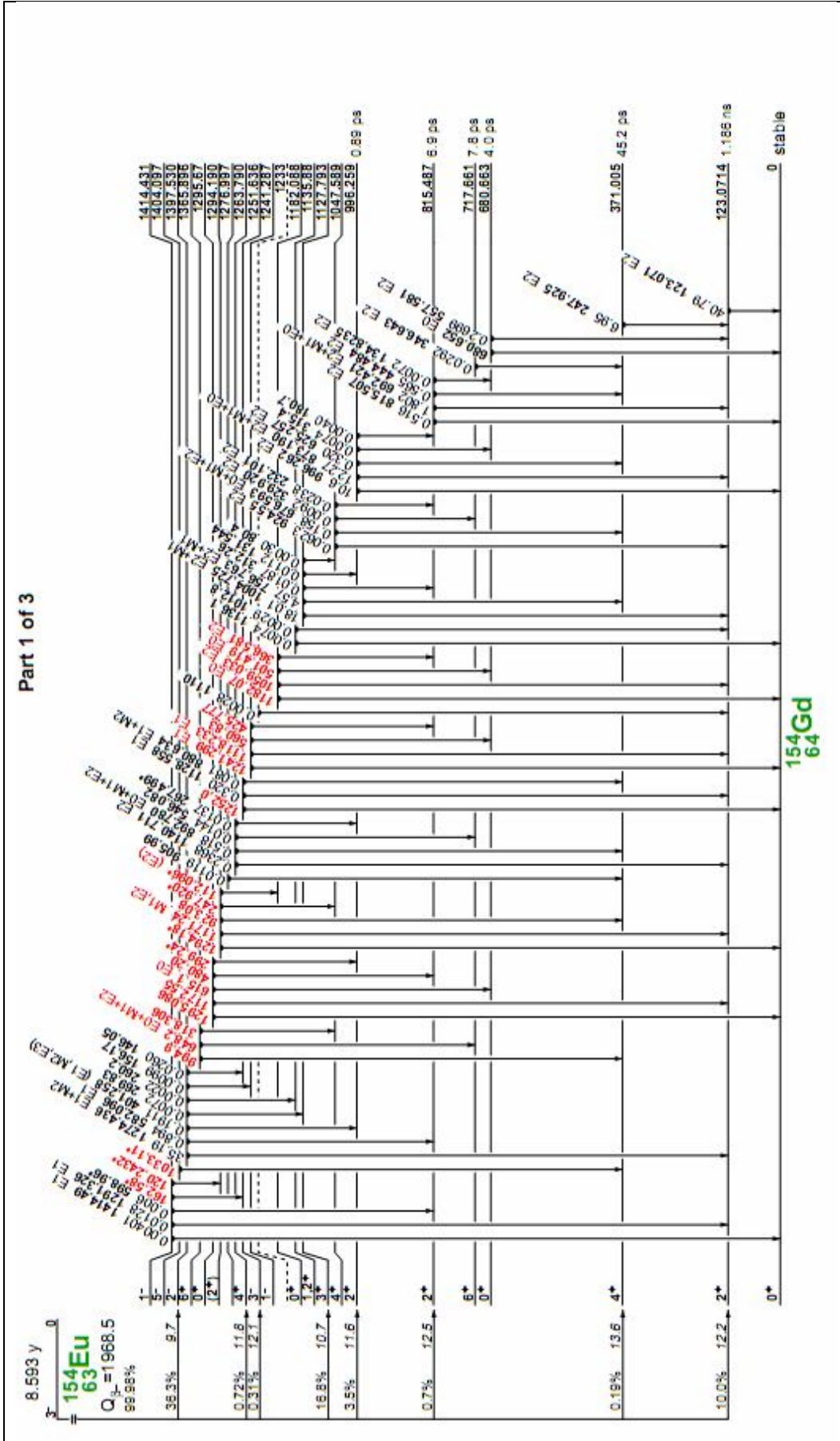
$4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1061,39 keV değerindedir.

1606,75 keV seviyesi: Spin paritesi 6^+ olan bu seviye γ 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 γ ışını açığa çıkar.

$4^+[371,005]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1235,60 keV değerindedir.

Aşağıda ^{154}Eu izotopunun β^- ışınması yaparak ^{154}Gd izotopuna bozunumu görülmektedir;



Şekil 3.1 ^{154}Gd izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması⁽¹⁰⁾

Çizelge 3.1 ¹⁵⁴Gd izotopunun spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji Seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
K^π=0⁺ Temel Hal Bandı	0+	0
	2+	157
	4+	337,4
	6+	705,9
	8+	1051,5
	10+	1617,9
K^π=0⁺ β - Bandı	0+	565,6
	2+	770,1
	4+	896,5
	6+	1446,4
	8+	1596,6
	10+	2399,2
K^π=2⁺ γ - Bandı	3+	1205,5
	4+	1254,3
	5+	1330,9
	6+	1637,4

3.1.2. ^{154}Gd İzotopunun Bazı Bandları Arası Geçiş Olasılıkları

^{154}Gd çekirdeğinin bazı geçişleri için hesaplanan $B(E2)$ geçiş olasılıkları ile PHINT programı parametreleri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için $B(E2)$ geçiş olasılıkları ve PHINT parametreleri

$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	B(E2)değerleri (e^2b^2)	E2SD	E2DD
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,7416	0.1321	-0.1410
$2^+ \rightarrow 2^+$	1,03	0.1321	-0.1410
$4^+ \rightarrow 2^+$	1,05	0.1321	-0.1410
$6^+ \rightarrow 4^+$	1,13	0.1321	-0.1410
$6^+ \rightarrow 6^+$	0,78	0.1321	-0.1410
$8^+ \rightarrow 6^+$	1,15	0.1321	-0.1410

3.1.3. ^{154}Gd İzotopunun $\delta(E2/M1)$ Çok Kutuplu Karışım Oranlarının Hesaplanması

Çift-çift ^{154}Gd izotopunun $\delta(E2/M1)$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları, nötron ve proton bozonlarının farklı olarak ele alındığı Etkileşen Bozon Modeli-2 (IBM-2) çerçevesinde hesaplayalım ve hesaplanan bu değerlerle deneysel veriler arasındaki uyumu inceleyelim.

Bu hesaplamalarda bölüm 2' deki denklemler kullanılmıştır.

Yukarıda yazılan formüller yardımıyla $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranı ile ilgili hesaplamalar yapılabilir. Bu hesaplamalarda ;

$$2_{\gamma}^{+}[996,259] \text{ keV} \rightarrow 2_{g.s}^{+}[123,0714] \text{ keV}$$

geçiş referans olarak kabul edilip, buradan A değeri elde edilecektir. Elde edilen A değeri kullanılarak diğer geçişler için $\delta(E2/M1)$ değerlerinin hesabı yapılacaktır. Elde edilen bu değerler, deneysel $\delta(E2/M1)$ değerleriyle karşılaştırılacaktır.

Çizelge 3.3 ¹⁵⁴Gd izotopuna ait ardışık artan delta değerlerine karşılık gelen –A- değerleri

BELİRTİLEN GEÇİŞLERE KARŞILIK GELEN -A- DEĞERLERİ								
Delta δ(E2/M1)	"2 _γ →2gs"	"4 _β →4gs"	"3 _γ →4gs"	"2 _β →2gs"	"4 _γ →4gs"	"6 _β →6gs"	"5 _γ →4gs"	"3 _γ →2gs"
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,063155	0,155964	0,106701	0,079674	0,118065	0,240886	0,096822	0,058625
0,2	0,126309	0,311929	0,213402	0,159347	0,23613	0,481771	0,193645	0,117249
0,3	0,189464	0,467893	0,320103	0,239021	0,354194	0,722657	0,290467	0,175874
0,4	0,252619	0,623857	0,426804	0,318694	0,472259	0,963543	0,387289	0,234499
0,5	0,315774	0,779821	0,533505	0,398368	0,590324	1,204428	0,484112	0,293123
0,6	0,378928	0,935786	0,640206	0,478041	0,708389	1,445314	0,580934	0,351748
0,7	0,442083	1,09175	0,746907	0,557715	0,826453	1,6862	0,677756	0,410373
0,8	0,505238	1,247714	0,853608	0,637388	0,944518	1,927085	0,774578	0,468997
0,9	0,568393	1,403678	0,960309	0,717062	1,062583	2,167971	0,871401	0,527622
1	0,631547	1,559643	1,06701	0,796735	1,180648	2,408857	0,968223	0,586247
1,1	0,694702	1,715607	1,173711	0,876409	1,298713	2,649742	1,065045	0,644871
1,2	0,757857	1,871571	1,280412	0,956082	1,416777	2,890628	1,161868	0,703496
1,3	0,821012	2,027536	1,387113	1,035756	1,534842	3,131514	1,25869	0,762121
1,4	0,884166	2,1835	1,493814	1,115429	1,652907	3,372399	1,355512	0,820745
1,5	0,947321	2,339464	1,600515	1,195103	1,770972	3,613285	1,452335	0,87937
1,6	1,010476	2,495428	1,707216	1,274777	1,889036	3,854171	1,549157	0,937995
1,7	1,073631	2,651393	1,813918	1,35445	2,007101	4,095056	1,645979	0,996619
1,8	1,136785	2,807357	1,920619	1,434124	2,125166	4,335942	1,742802	1,055244
1,9	1,19994	2,963321	2,02732	1,513797	2,243231	4,576827	1,839624	1,113869
2	1,263095	3,119285	2,134021	1,593471	2,361296	4,817713	1,936446	1,172493
2,1	1,326249	3,27525	2,240722	1,673144	2,47936	5,058599	2,033268	1,231118
2,2	1,389404	3,431214	2,347423	1,752818	2,597425	5,299484	2,130091	1,289743
2,3	1,452559	3,587178	2,454124	1,832491	2,71549	5,54037	2,226913	1,348368
2,4	1,515714	3,743143	2,560825	1,912165	2,833555	5,781256	2,323735	1,406992
2,5	1,578868	3,899107	2,667526	1,991838	2,95162	6,022141	2,420558	1,465617
2,6	1,642023	4,055071	2,774227	2,071512	3,069684	6,263027	2,51738	1,524242
2,7	1,705178	4,211035	2,880928	2,151185	3,187749	6,503913	2,614202	1,582866
2,8	1,768333	4,367	2,987629	2,230859	3,305814	6,744798	2,711025	1,641491
2,9	1,831487	4,522964	3,09433	2,310533	3,423879	6,985684	2,807847	1,700116
3	1,894642	4,678928	3,201031	2,390206	3,541943	7,22657	2,904669	1,75874
3,1	1,957797	4,834892	3,307732	2,46988	3,660008	7,467455	3,001492	1,817365
3,2	2,020952	4,990857	3,414433	2,549553	3,778073	7,708341	3,098314	1,87599
3,3	2,084106	5,146821	3,521134	2,629227	3,896138	7,949227	3,195136	1,934614
3,4	2,147261	5,302785	3,627835	2,7089	4,014203	8,190112	3,291958	1,993239
3,5	2,210416	5,45875	3,734536	2,788574	4,132267	8,430998	3,388781	2,051864
3,6	2,273571	5,614714	3,841237	2,868247	4,250332	8,671884	3,485603	2,110488
3,7	2,336725	5,770678	3,947938	2,947921	4,368397	8,912769	3,582425	2,169113
3,8	2,39988	5,926642	4,054639	3,027594	4,486462	9,153655	3,679248	2,227738
3,9	2,463035	6,082607	4,16134	3,107268	4,604526	9,394541	3,77607	2,286362
4	2,52619	6,238571	4,268041	3,186941	4,722591	9,635426	3,872892	2,344987
4,1	2,589344	6,394535	4,374742	3,266615	4,840656	9,876312	3,969715	2,403612
4,2	2,652499	6,550499	4,481443	3,346288	4,958721	10,1172	4,066537	2,462236
4,3	2,715654	6,706464	4,588144	3,425962	5,076786	10,35808	4,163359	2,520861
4,4	2,778808	6,862428	4,694845	3,505636	5,19485	10,59897	4,260182	2,579486
4,5	2,841963	7,018392	4,801546	3,585309	5,312915	10,83985	4,357004	2,63811
4,6	2,905118	7,174357	4,908247	3,664983	5,43098	11,08074	4,453826	2,696735
4,7	2,968273	7,330321	5,014948	3,744656	5,549045	11,32163	4,550648	2,75536
4,8	3,031427	7,486285	5,121649	3,82433	5,667109	11,56251	4,647471	2,813984
4,9	3,094582	7,642249	5,22835	3,904003	5,785174	11,8034	4,744293	2,872609
5	3,157737	7,798214	5,335051	3,983677	5,903239	12,04428	4,841115	2,931234
5,1	3,220892	7,954178	5,441753	4,06335	6,021304	12,28517	4,937938	2,989858
5,2	3,284046	8,110142	5,548454	4,143024	6,139369	12,52605	5,03476	3,048483
5,3	3,347201	8,266106	5,655155	4,222697	6,257433	12,76694	5,131582	3,107108
5,4	3,410356	8,422071	5,761856	4,302371	6,375498	13,00783	5,228405	3,165732
5,5	3,473511	8,578035	5,868557	4,382044	6,493563	13,24871	5,325227	3,224357
5,6	3,536665	8,733999	5,975258	4,461718	6,611628	13,4896	5,422049	3,282982
5,7	3,59982	8,889964	6,081959	4,541391	6,729692	13,73048	5,518872	3,341606
5,8	3,662975	9,045928	6,18866	4,621065	6,847757	13,97137	5,615694	3,400231
5,9	3,72613	9,201892	6,295361	4,700739	6,965822	14,21225	5,712516	3,458856

6	3,789284	9,357856	6,402062	4,780412	7,083887	14,45314	5,809338	3,51748
6,1	3,852439	9,513821	6,508763	4,860086	7,201952	14,69403	5,906161	3,576105
6,2	3,915594	9,669785	6,615464	4,939759	7,320016	14,93491	6,002983	3,63473
6,3	3,978748	9,825749	6,722165	5,019433	7,438081	15,1758	6,099805	3,693354
6,4	4,041903	9,981714	6,828866	5,099106	7,556146	15,41668	6,196628	3,751979
6,5	4,105058	10,13768	6,935567	5,17878	7,674211	15,65757	6,29345	3,810604
6,6	4,168213	10,29364	7,042268	5,258453	7,792276	15,89845	6,390272	3,869229
6,7	4,231367	10,44961	7,148969	5,338127	7,91034	16,13934	6,487095	3,927853
6,8	4,294522	10,60557	7,25567	5,4178	8,028405	16,38022	6,583917	3,986478
6,9	4,357677	10,76153	7,362371	5,497474	8,14647	16,62111	6,680739	4,045103
7	4,420832	10,9175	7,469072	5,577147	8,264535	16,862	6,777562	4,103727
7,1	4,483986	11,07346	7,575773	5,656821	8,382599	17,10288	6,874384	4,162352
7,2	4,547141	11,22943	7,682474	5,736495	8,500664	17,34377	6,971206	4,220977
7,3	4,610296	11,38539	7,789175	5,816168	8,618729	17,58465	7,068028	4,279601
7,4	4,673451	11,54136	7,895876	5,895842	8,736794	17,82554	7,164851	4,338226
7,5	4,736605	11,69732	8,002577	5,975515	8,854859	18,06642	7,261673	4,396851
7,6	4,79976	11,85328	8,109278	6,055189	8,972923	18,30731	7,358495	4,455475
7,7	4,862915	12,00925	8,215979	6,134862	9,090988	18,5482	7,455318	4,5141
7,8	4,92607	12,16521	8,32268	6,214536	9,209053	18,78908	7,55214	4,572725
7,9	4,989224	12,32118	8,429381	6,294209	9,327118	19,02997	7,648962	4,631349
8	5,052379	12,47714	8,536082	6,373883	9,445182	19,27085	7,745785	4,689974
8,1	5,115534	12,63311	8,642783	6,453556	9,563247	19,51174	7,842607	4,748599
8,2	5,178688	12,78907	8,749484	6,53323	9,681312	19,75262	7,939429	4,807223
8,3	5,241843	12,94503	8,856185	6,612903	9,799377	19,99351	8,036252	4,865848
8,4	5,304998	13,101	8,962886	6,692577	9,917442	20,2344	8,133074	4,924473
8,5	5,368153	13,25696	9,069588	6,77225	10,03551	20,47528	8,229896	4,983097
8,6	5,431307	13,41293	9,176289	6,851924	10,15357	20,71617	8,326718	5,041722
8,7	5,494462	13,56889	9,28299	6,931598	10,27164	20,95705	8,423541	5,100347
8,8	5,557617	13,72486	9,389691	7,011271	10,3897	21,19794	8,520363	5,158971
8,9	5,620772	13,88082	9,496392	7,090945	10,50777	21,43882	8,617185	5,217596
9	5,683926	14,03678	9,603093	7,170618	10,62583	21,67971	8,714008	5,276221
9,1	5,747081	14,19275	9,709794	7,250292	10,7439	21,92059	8,81083	5,334845
9,2	5,810236	14,34871	9,816495	7,329965	10,86196	22,16148	8,907652	5,39347
9,3	5,873391	14,50468	9,923196	7,409639	10,98002	22,40237	9,004475	5,452095
9,4	5,936545	14,66064	10,0299	7,489312	11,09809	22,64325	9,101297	5,510719
9,5	5,9997	14,81661	10,1366	7,568986	11,21615	22,88414	9,198119	5,569344
9,6	6,062855	14,97257	10,2433	7,648659	11,33422	23,12502	9,294942	5,627969
9,7	6,12601	15,12853	10,35	7,728333	11,45228	23,36591	9,391764	5,686593
9,8	6,189164	15,2845	10,4567	7,808006	11,57035	23,60679	9,488586	5,745218
9,9	6,252319	15,44046	10,5634	7,88768	11,68841	23,84768	9,585408	5,803843
10	6,315474	15,59643	10,6701	7,967353	11,80648	24,08857	9,682231	5,862467
10,1	6,378629	15,75239	10,7768	8,047027	11,92454	24,32945	9,779053	5,921092
10,2	6,441783	15,90836	10,88351	8,126701	12,04261	24,57034	9,875875	5,979717
10,3	6,504938	16,06432	10,99021	8,206374	12,16067	24,81122	9,972698	6,038341
10,4	6,568093	16,22028	11,09691	8,286048	12,27874	25,05211	10,06952	6,096966
10,5	6,631247	16,37625	11,20361	8,365721	12,3968	25,29299	10,16634	6,155591
10,6	6,694402	16,53221	11,31031	8,445395	12,51487	25,53388	10,26316	6,214215

* Delta değerleri 0,1 aralıklarla artırılmıştır. Ve buna karşılık gelen -A- değerleri her bir Delta değeri için hesaplanmıştır..

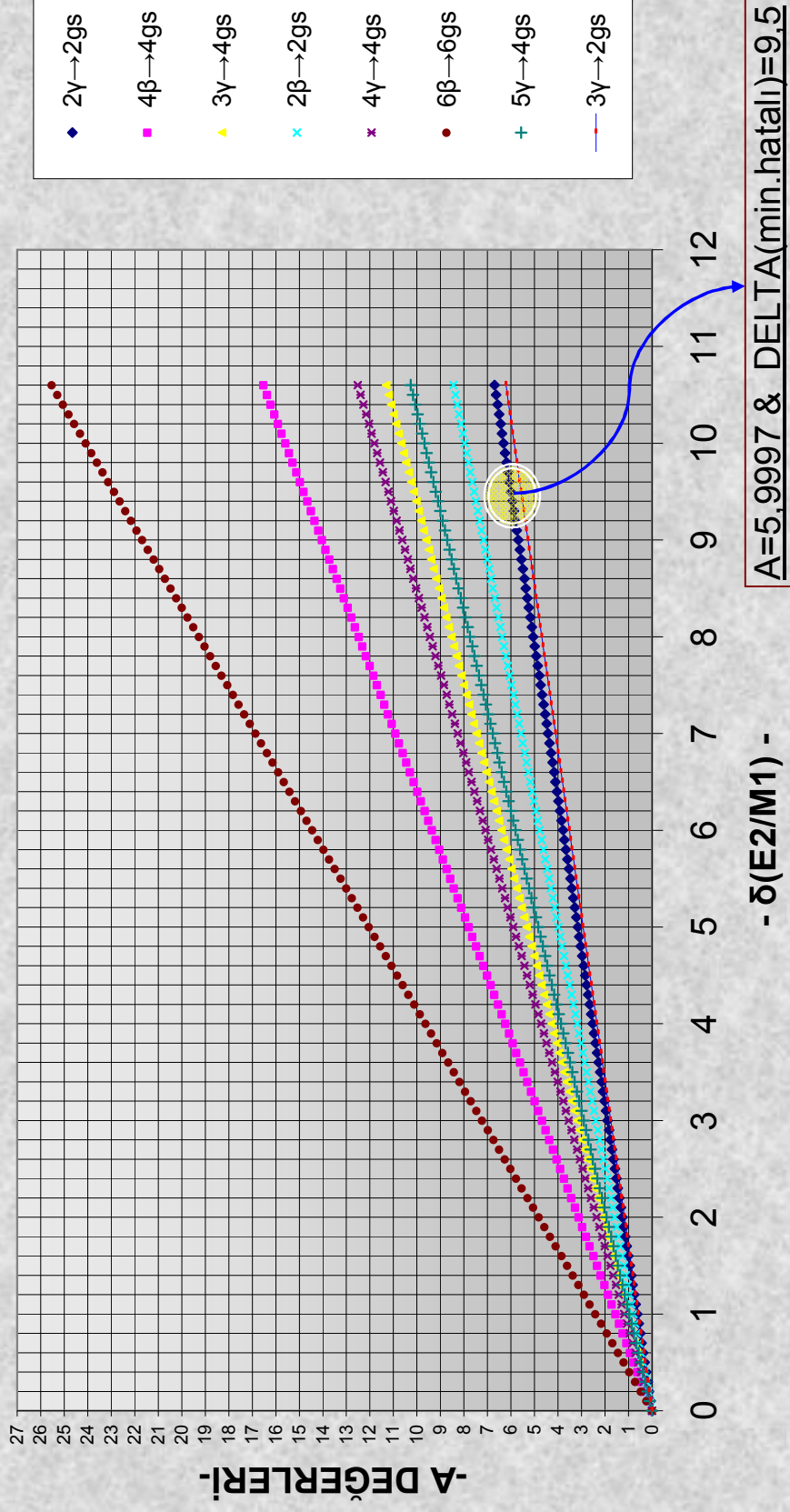
* Üzeri koyu renkli olarak gösterilen A değerleri o geçiş için Delta deneysel değerine karşılık gelen -A- değerleridir.

* Burada altı çizili kutudaki -A- değeri, HATA ORANI minimum olan deneysel Delta değerine karşılık gelmektedir.

*Bu yüzden $\Delta=9,5$ e karşılık gelen $A=5,9997$ değeri sabittir ve tüm geçişler için hesaplamalarda kullanılacaktır.

*Dolayısıyla bu tespit -A- değeri (5,9997)ne göre yeniden yukarıdaki tablodan bu -A- değerine karşılık gelen Δ değerlerine bakılırsa her bir geçiş için çok kutuplu karışım oranları belirlenmiş olur.

-154Gd -

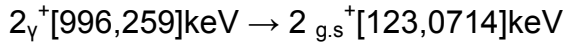


Şekil 3.2 ^{154}Gd izotopunun iterasyon metodu ile elde edilen A - değerlerinin δ değerine karşı değişimi

Elde edilen $\delta(E2/M1)$ değerleri için hata sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikli olarak A'nın hata hesabının yapılması gerekmektedir. A'nın hata hesabı önceden seçilmiş olan referans geçişi ile yapılacaktır. Bulunan A_+ , A. değerleri yardımıyla $\delta(E2/M1)$ için hata sınırları belirlenecektir.

3.1.4. A' nın Hata Hesabı ($9,5^{+0,8}_{-0,6}$)

Bu geçişte 2 GAMMA "DAN 2 GRANDSTATE GEÇİŞİ referans olarak alınmıştır;



Bu geçişte alınan değerler;

$$E_\gamma = 873,19\text{keV} = 0,873\text{meV}$$

$$\delta(E2/M1) = 9,5$$

$$f(l_f, l_i) = 2,18$$

A+'nın Hesaplanması

$$9,5+0,8 = (0,832).(0,873). A_+.(2,18) \quad \text{yazılır. Buradan}$$

$A_+ = 6,5$ olarak bulunur.

A-'nin Hesaplanması

$$9,5 - 0,6 = (0,832) \cdot (0,873) \cdot A - (2,18) \quad \text{yazılır. Buradan}$$

A = 5,6 olarak bulunur.

A Değerini 5,99 olarak almıştık o halde;

$$A \text{ nın hata sınırları} \Rightarrow \begin{cases} 6,5 - 5,99 = 0,51 \\ 5,99 - 5,6 = 0,39 \end{cases}$$

$$A = 5,99^{+0,51}_{-0,39} \text{ bulunacaktır.}$$

Elde edilen A_+ , A_- kullanılarak $\delta(E2/M1)$ için hata sınırları belirlenecektir.

3.1.5. $\delta(E2/M1)$ 'in Hata Hesabı

Yukarıda yapmış olduğumuz A değerinin bulunmasıyla her geçiş için bu A değerine karşılık gelen delta değerlerinin tespit ettiğimiz otomatik hesaplamada bu sefer delta $\delta(E2/M1)$ değerinin 0,01 artırarak her bir geçiş için $A_+=0,51$ ve $A_-=0,39$ değerlerine karşılık gelen delta değerlerini bulabiliriz. Bulmuş olduğumuz bu değerler ise bize delta değerlerinin hata sınırlarını verecektir. Böylece yapmış olduğumuz hesaplama sayesinde de hem A değerinin tespit etmiş hemde her bir geçiş için delta değerinin hesaplamış ve hata sınırlarını da [deltayı 0,01 hassasiyette artırarak] belirlemiş oluyoruz. O halde bulmuş olduğumuz $\delta(E2/M1)$ nın hata sınırlarını her bir geçiş için tablo haline getirecek olursak;

Çizelge 3.4 ¹⁵⁴Gd izotopunu için δ (E2/M1) in Hata hesabı

GEÇİŞLER	$\delta_+(E2/M1)$	$\delta_-(E2/M1)$
$2_{\gamma}^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	0,81	0,62
$4_{\beta}^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	0,33	0,26
$3_{\gamma}^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	0,48	0,37
$2_{\beta}^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	0,65	0,5
$4_{\gamma}^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	0,44	0,33
$6_{\beta}^+ \rightarrow 6_{G.S}^+$	0,21	0,16
$5_{\gamma}^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	0,53	0,41
$3_{\gamma}^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	0,87	0,67

$\delta(E2/M1)$ nın hata sınırlarının da belirlenmesinden sonra yapmış olduğumuz çalışmada bulmuş olduğumuz karışım oranı değerlerini tablo halina getirebiliriz;

Çizelge 3.5 ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_γ -geçiş enerjisi (keV)	Geçişler	δ bu çalışma(E2/M1)
873,190	$2_\gamma^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	9,5 [referans]
676,593	$4_\beta^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$3,85^{+0,33}_{-0,26}$
756,763	$3_\gamma^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$5,62^{+0,48}_{-0,37}$
692,421	$2_\beta^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	$7,5^{+0,65}_{-0,5}$
892,780	$4_\gamma^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$5,08^{+0,44}_{-0,33}$
648,20	$6_\beta^+ \rightarrow 6_{G.S}^+$	$2,49^{+0,21}_{-0,16}$
1061,39	$5_\gamma^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$6,19^{+0,53}_{-0,41}$
1004,72	$3_\gamma^+ \rightarrow 2_{G.S}$	$10,2^{+0,87}_{-0,67}$

^{154}Gd izotopu için PHINT programı kullanılarak hesaplanan enerji seviyeleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Çizelge 4.1’de verilmiştir. PHINT programı ile hesaplanan değerler deneysel değerlerle yakın düzeydedir. Yapılan çalışmada elde edilen bütün verilerin program çıktısı, tezin sonunda bulunan Ek’ de gösterilmiştir.

3.2. ^{156}Gd İzotopunun İncelenmesi

^{156}Gd izotopu deforme bölge başlangıcında yer alan U(5) limitine yerleşik rotor bir çekirdektir. ^{156}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+[288,17keV], 6+[584,706keV] seviyeleridir. Beta bandının üyeleri 0+[1049,5keV], 2+[1129,41KEV], 4+[1297,79keV] seviyeleridir. $K^\pi 2+$ Gama bandının üyeleri 2+[1154,11keV], 3+[1247,96keV], 4+[1355,37keV] seviyeleridir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır.

^{156}Gd çekirdeğinin enerji bozunum şeması⁽⁸⁾ Şekil 3.3' de görülmektedir. ^{156}Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları ve PHINT parametre değerleri Çizelge 3.7' de verilmiştir. ^{156}Gd izotopunun bazı geçişleri için teorik olarak hesaplanan $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranı Çizelge 3.10' da, hesaplanan enerji seviyeleri Çizelge 3.6' da ve PHINT⁽⁹⁾ program kodu kullanılarak belirlenen teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2' de verilmiştir.

3.2.1. ¹⁵⁶Gd İzotopundaki 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 γ 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 γ 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 γ 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 γ 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 γ ışını enerjisi 1040,43 keV dur.

$4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş yapar. Bu geçişte açığa çıkan γ 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 γ 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 γ ışını enerjisi 1252,1 keV dur.

$6+[584,7]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ 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 γ ışını enerjisi 1263,5 keV dur

$8+[965,1]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ 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 γ ışını enerjisi 1254,1 keV dur.

$10+[1416]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E0+E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 803,2 keV dur.

1154,1 keV seviyesi: Spin paritesi 2^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden,

$0^+[0]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 1154,1 keV dur.

$2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 1065,2 keV dur.

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

1247,9 keV seviyesi: Spin paritesi 3^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden,

$2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan geçişi vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 1159 keV dur.

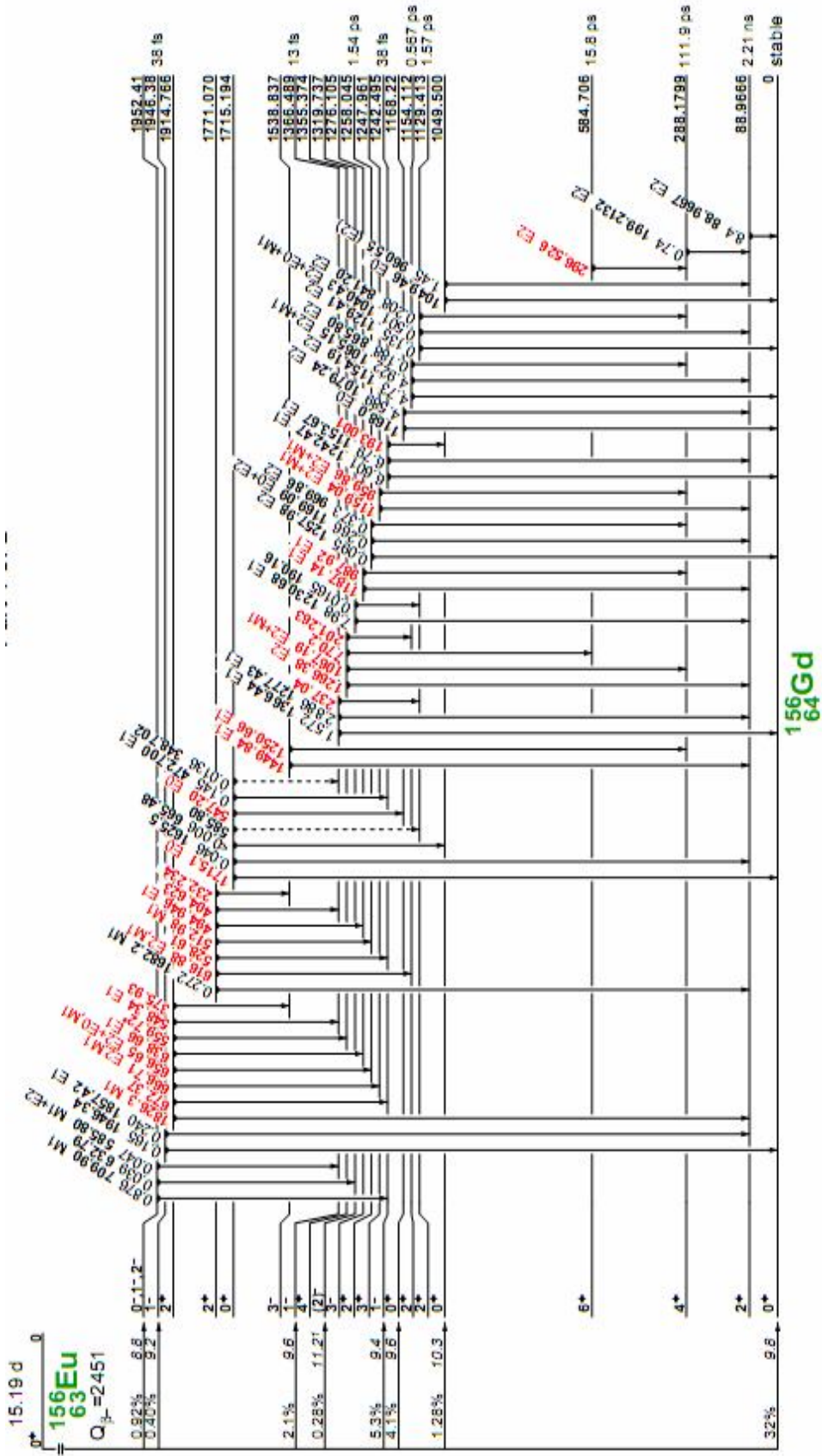
$4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 959,7 keV dur.

1355,5 keV seviyesi: spin paritesi 4^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden;

$4^+[288,2]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 1067,3 keV dur.

$2^+[88,9]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisi 1266,6 keV dur.

Aşağıda ^{156}Eu izotopunun β^- ışınması yaparak ^{156}Gd izotopuna bozunumu görülmektedir;



Şekil 3.3 ^{156}Gd izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması⁽¹⁰⁾

Çizelge 3.6 ^{156}Gd izotopunun spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
$K^\pi=0^+$ Temel Hal Bandı	0+	0
	2+	79,8
	4+	336,2
	6+	602,9
	8+	1043,6
	10+	1422,4
$K^\pi=0^+$ β - Bandı	0+	1154,6
	2+	1200,7
	4+	1276,9
	6+	1561
	8+	1960
	10+	2171,7
$K^\pi=2^+$ γ - Bandı	2+	1020,2
	3+	1089,6
	4+	1154,8
	5+	1522,7
	6+	1622,4

3.2.2 ¹⁵⁶Gd İzotopunun Bazı Bandları Arası Geçiş Olasılıkları

¹⁵⁶Gd çekirdeğinin bazı geçişleri için hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları ile PHINT programı parametreleri Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7 ¹⁵⁶Gd izotopunun bazı geçişleri için B(E2) geçiş olasılıkları ve PHINT parametreleri

$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	B(E2)değerleri (e^2b^2)	E2SD	E2DD
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,92	0,15	-0.1320
$2^+ \rightarrow 2^+$	1,27	0,15	-0.1320
$4^+ \rightarrow 2^+$	1,30	0,15	-0.1320
$6^+ \rightarrow 4^+$	1,41	0,15	-0.1320
$6^+ \rightarrow 6^+$	0,95	0,15	-0.1320
$8^+ \rightarrow 6^+$	1,43	0,15	-0.1320

3.2.3 ^{156}Gd İzotopunun $\delta(\text{E2/M1})$ Çok Kutuplu Karışım Oranlarının Hesaplanması

Çift-çift ^{156}Gd izotopunun $\delta(\text{E2/M1})$ elektromanyetik çok kutup karışım oranları, nötron ve proton bozonlarının farklı olarak ele alındığı Etkileşen Bozon Modeli-2 (IBM-2) çerçevesinde hesaplayalım. Ve hesaplanan bu değerlerle deneysel veriler arasındaki uyumu inceleyelim.

Bu hesaplamalarda bölüm 2' deki denklemler kullanılmıştır.

Yukarıda yazılan formüller yardımıyla $\delta(\text{E2/M1})$ çok kutuplu karışım oranı ile ilgili hesaplamalar yapılabilir. Bu hesaplamalarda ;

$$3_{\gamma}^{+}[1247,961] \text{ keV} \rightarrow 2_{g,s}^{+}[88,9666] \text{ keV}$$

geçiş referans olarak kabul edilip, buradan A değeri elde edilecektir. Elde edilen A değeri kullanılarak diğer geçişler için $\delta(\text{E2/M1})$ değerlerinin hesabı yapılacaktır. Elde edilen bu değerler, deneysel $\delta(\text{E2/M1})$ değerleriyle karşılaştırılacaktır.

Çizelge 3.8 ¹⁵⁶Gd izotopuna ait ardışık artan delta değerlerine karşılık gelen –A- değerleri

BELİRTİLEN GEÇİŞLERE KARŞILIK GELEN -A- DEĞERLERİ							
Delta δ(E2/M1)	"2β→2gs"	"2γ→2gs"	"3γ→2gs"	"3γ→4gs"	"4γ→4gs"	"4β→4gs"	"5_γ→4gs"
0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,052988	0,051759	0,050831	0,084115	0,098811	0,104491	0,084342
0,2	0,105976	0,103519	0,101661	0,168229	0,197623	0,208983	0,168684
0,3	0,158964	0,155278	0,152492	0,252344	0,296434	0,313474	0,253026
0,4	0,211952	0,207037	0,203323	0,336459	0,395246	0,417966	0,337368
0,5	0,26494	0,258797	0,254153	0,420573	0,494057	0,522457	0,42171
0,6	0,317928	0,310556	0,304984	0,504688	0,592869	0,626949	0,506052
0,7	0,370916	0,362316	0,355814	0,588803	0,69168	0,73144	0,590393
0,8	0,423905	0,414075	0,406645	0,672917	0,790492	0,835931	0,674735
0,9	0,476893	0,465834	0,457476	0,757032	0,889303	0,940423	0,759077
1	0,529881	0,517594	0,508306	0,841147	0,988115	1,044914	0,843419
1,1	0,582869	0,569353	0,559137	0,925261	1,086926	1,149406	0,927761
1,2	0,635857	0,621112	0,609968	1,009376	1,185738	1,253897	1,012103
1,3	0,688845	0,672872	0,660798	1,093491	1,284549	1,358389	1,096445
1,4	0,741833	0,724631	0,711629	1,177606	1,383361	1,46288	1,180787
1,5	0,794821	0,776391	0,76246	1,26172	1,482172	1,567371	1,265129
1,6	0,847809	0,82815	0,81329	1,345835	1,580984	1,671863	1,349471
1,7	0,900797	0,879909	0,864121	1,42995	1,679795	1,776354	1,433813
1,8	0,953785	0,931669	0,914952	1,514064	1,778607	1,880846	1,518155
1,9	1,006773	0,983428	0,965782	1,598179	1,877418	1,985337	1,602497
2	1,059761	1,035187	1,016613	1,682294	1,97623	2,089829	1,686839
2,1	1,112749	1,086947	1,067443	1,766408	2,075041	2,19432	1,77118
2,2	1,165738	1,138706	1,118274	1,850523	2,173853	2,298811	1,855522
2,3	1,218726	1,190466	1,169105	1,934638	2,272664	2,403303	1,939864
2,4	1,271714	1,242225	1,219935	2,018752	2,371476	2,507794	2,024206
2,5	1,324702	1,293984	1,270766	2,102867	2,470287	2,612286	2,108548
2,6	1,37769	1,345744	1,321597	2,186982	2,569098	2,716777	2,19289
2,7	1,430678	1,397503	1,372427	2,271096	2,66791	2,821269	2,277232
2,8	1,483666	1,449262	1,423258	2,355211	2,766721	2,92576	2,361574
2,9	1,536654	1,501022	1,474089	2,439326	2,865533	3,030251	2,445916
3	1,589642	1,552781	1,524919	2,52344	2,964344	3,134743	2,530258
3,1	1,64263	1,604541	1,57575	2,607555	3,063156	3,239234	2,6146
3,2	1,695618	1,6563	1,626581	2,69167	3,161967	3,343726	2,698942
3,3	1,748606	1,708059	1,677411	2,775784	3,260779	3,448217	2,783284
3,4	1,801594	1,759819	1,728242	2,859899	3,35959	3,552708	2,867626
3,5	1,854582	1,811578	1,779072	2,944014	3,458402	3,6572	2,951967
3,6	1,90757	1,863337	1,829903	3,028128	3,557213	3,761691	3,036309
3,7	1,960559	1,915097	1,880734	3,112243	3,656025	3,866183	3,120651
3,8	2,013547	1,966856	1,931564	3,196358	3,754836	3,970674	3,204993
3,9	2,066535	2,018616	1,982395	3,280473	3,853648	4,075166	3,289335
4	2,119523	2,070375	2,033226	3,364587	3,952459	4,179657	3,373677
4,1	2,172511	2,122134	2,084056	3,448702	4,051271	4,284148	3,458019
4,2	2,225499	2,173894	2,134887	3,532817	4,150082	4,38864	3,542361
4,3	2,278487	2,225653	2,185718	3,616931	4,248894	4,493131	3,626703
4,4	2,331475	2,277412	2,236548	3,701046	4,347705	4,597623	3,711045
4,5	2,384463	2,329172	2,287379	3,785161	4,446517	4,702114	3,795387
4,6	2,437451	2,380931	2,33821	3,869275	4,545328	4,806606	3,879729
4,7	2,490439	2,432691	2,38904	3,95339	4,64414	4,911097	3,964071

4,8	2,543427	2,48445	2,439871	4,037505	4,742951	5,015588	4,048413
4,9	2,596415	2,536209	2,490701	4,121619	4,841763	5,12008	4,132754
5	2,649403	2,587969	2,541532	4,205734	4,940574	5,224571	4,217096
5,1	2,702392	2,639728	2,592363	4,289849	5,039385	5,329063	4,301438
5,2	2,75538	2,691487	2,643193	4,373963	5,138197	5,433554	4,38578
5,3	2,808368	2,743247	2,694024	4,458078	5,237008	5,538046	4,470122
5,4	2,861356	2,795006	2,744855	4,542193	5,33582	5,642537	4,554464
5,5	2,914344	2,846766	2,795685	4,626307	5,434631	5,747028	4,638806
5,6	2,967332	2,898525	2,846516	4,710422	5,533443	5,85152	4,723148
5,7	3,02032	2,950284	2,897347	4,794537	5,632254	5,956011	4,80749
5,8	3,073308	3,002044	2,948177	4,878651	5,731066	6,060503	4,891832
5,9	3,126296	3,053803	2,999008	4,962766	5,829877	6,164994	4,976174
6	3,179284	3,105562	3,049839	5,046881	5,928689	6,269486	5,060516
6,1	3,232272	3,157322	3,100669	5,130995	6,0275	6,373977	5,144858
6,2	3,28526	3,209081	3,1515	5,21511	6,126312	6,478468	5,2292
6,3	3,338248	3,260841	3,20233	5,299225	6,225123	6,58296	5,313541
6,4	3,391236	3,3126	3,253161	5,38334	6,323935	6,687451	5,397883
6,5	3,444225	3,364359	3,303992	5,467454	6,422746	6,791943	5,482225
6,6	3,497213	3,416119	3,354822	5,551569	6,521558	6,896434	5,566567
.....							
9,9	5,245819	5,124178	5,032234	8,327353	9,782336	10,34465	8,349851
10	5,298807	5,175937	5,083064	8,411468	9,881148	10,44914	8,434193
10,1	5,351795	5,227697	5,133895	8,495583	9,979959	10,55363	8,518535
10,2	5,404783	5,279456	5,184726	8,579697	10,07877	10,65813	8,602877
10,3	5,457771	5,331216	5,235556	8,663812	10,17758	10,76262	8,687219
10,4	5,510759	5,382975	5,286387	8,747927	10,27639	10,86711	8,77156
10,5	5,563747	5,434734	5,337217	8,832041	10,37521	10,9716	8,855902
10,6	5,616735	5,486494	5,388048	8,916156	10,47402	11,07609	8,940244
10,7	5,669723	5,538253	5,438879	9,000271	10,57283	11,18058	9,024586
10,8	5,722711	5,590012	5,489709	9,084385	10,67164	11,28507	9,108928
10,9	5,7757	5,641772	5,54054	9,1685	10,77045	11,38957	9,19327
11	5,828688	5,693531	5,591371	9,252615	10,86926	11,49406	9,277612
11,1	5,881676	5,745291	5,642201	9,33673	10,96807	11,59855	9,361954
11,2	5,934664	5,79705	5,693032	9,420844	11,06689	11,70304	9,446296
11,3	5,987652	5,848809	5,743863	9,504959	11,1657	11,80753	9,530638
11,4	6,04064	5,900569	5,794693	9,589074	11,26451	11,91202	9,61498
11,5	6,093628	5,952328	5,845524	9,673188	11,36332	12,01651	9,699322
11,6	6,146616	6,004087	5,896355	9,757303	11,46213	12,12101	9,783664
11,7	6,199604	6,055847	5,947185	9,841418	11,56094	12,2255	9,868006
11,8	6,252592	6,107606	5,998016	9,925532	11,65975	12,32999	9,952347
11,9	6,30558	6,159366	6,048846	10,00965	11,75857	12,43448	10,03669
12	6,358568	6,211125	6,099677	10,09376	11,85738	12,53897	10,12103

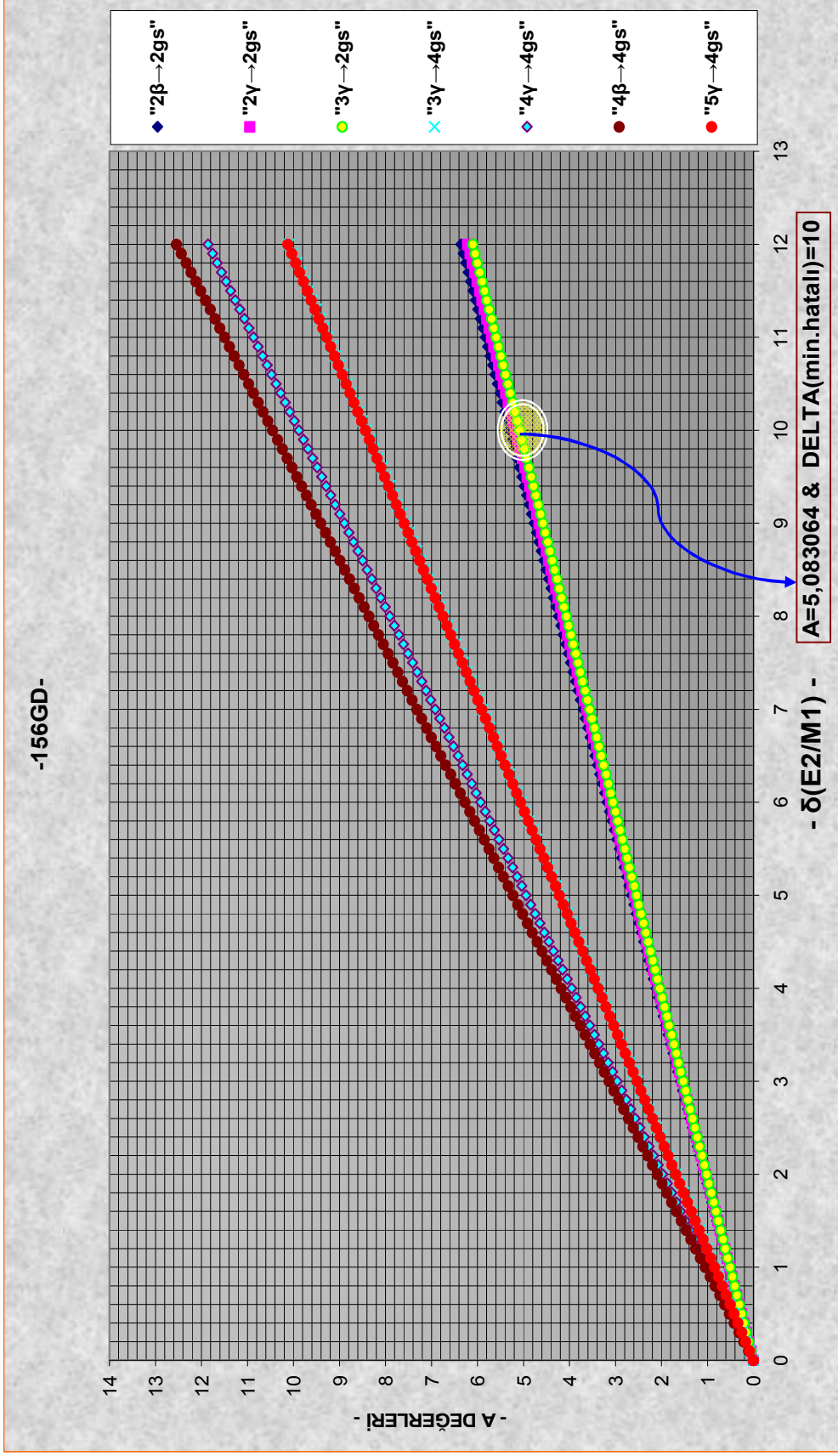
* Delta değerleri 0,1 aralıklarla artırılmıştır. Ve buna karşılık gelen -A- değerleri her bir Delta değeri için hesaplanmıştır.

* Üzeri koyu renkli olarak gösterilen A değerleri o geçiş için Delta deneysel değerine karşılık gelen -A- değerleridir.

* Burada altı çizili kutudaki -A- değeri, HATA ORANI minimum olan deneysel Delta değerine karşılık gelmektedir.

*Bu yüzden Delta=10' a karşılık gelen A=5,083064 değeri sabittir ve tüm geçişler için hesaplamalarda kullanılacaktır.

*Dolayısıyla bu tespit -A- değeri(5,083064) ne göre yeniden yukarıdaki tablodan bu -A- değerine karşılık gelen Delta değerlerine bakılırsa her bir geçiş için çok kutuplu karışım oranları tespit edilmiş olur.

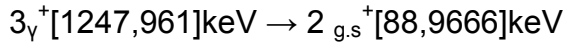


Şekil 3.4 ^{156}Gd izotopunun iterasyon metodu ile elde edilen $-A$ değerlerinin δ değerine karşı değişimi

Elde edilen $\delta(E2/M1)$ değerleri için hata sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikli olarak A'nın hata hesabının yapılması gerekmektedir. A'nın hata hesabı önceden seçilmiş olan referans geçişi ile yapılacaktır. Bulunan A_+ , A değerleri yardımıyla $\delta(E2/M1)$ için hata sınırları belirlenecektir.

3.2.4. A' nın Hata Hesabı ($10^{+0,6}_{-0,6}$)

Bu geçişi 3 GAMMA "DAN 2 GRANDSTATE GEçİşi referans olarak alınmıştır;



Bu geçişi alinan değerler;

$$E_{\gamma} = 1158,9 \text{ keV} = 1,1589\text{meV}$$

$$\delta(E2/M1) = 10 (4)$$

$$f(l_f, l_i) = 2,04$$

A+'nın Hesaplanması

$10^{+0,6} = (0,832) \cdot (1,1589) \cdot A_+ \cdot (2,04)$ yazılır. Buradan

$A_+ = 5,4$ olarak bulunur.

A'nin Hesaplanması

$10 - 0,6 = (0,832) \cdot (1,1589) \cdot A - (2,04)$ yazılır. Buradan

$A = 4,79$ olarak bulunur.

A Değerini 5,083 olarak almıştık o halde;

$$A \text{ nın hata sınırları} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 5,4 - 5,083 = 0,317 \\ 5,083 - 4,79 = 0,293 \end{array} \right\}$$

$A = 5,083^{+0,31}_{-0,29}$ bulunacaktır.

Elde edilen A_+ , A_- kullanılarak $\delta(E2/M1)$ için hata sınırları belirlenecektir.

3.2.5. $\delta(E2/M1)$ 'in Hata Hesabı

Yukarıda yapmış olduğumuz A değerinin bulunmasıyla her geçiş için bu A değerine karşılık gelen delta değerlerinin tespit ettiğimiz otomatik hesaplamada bu sefer delta $\delta(E2/M1)$ değerinin 0,01 artırarak her bir geçiş için $A_+ = 0,31$ ve $A_- = 0,29$ değerlerine karşılık gelen delta değerlerini bulabiliriz. Bulmuş olduğumuz bu değerler ise bize delta değerlerinin hata sınırlarını verecektir. Böylece yapmış olduğumuz hesaplama sayesinde de hem A değerinin tespit etmiş hemde her bir geçiş için delta değerinin hesaplamış ve hata sınırlarını da [deltayı 0,01 hassasiyette artırarak] belirlemiş oluyoruz. O halde bulmuş olduğumuz $\delta(E2/M1)$ nın hata sınırlarını her bir geçiş için tablo haline getirecek olursak;

Çizelge 3.9 ¹⁵⁶Gd izotopunu için δ (E2/M1) in Hata hesabı

GEÇİŞLER	$\delta_+(E2/M1)$	$\delta_-(E2/M1)$
$2_{\beta}^+ \rightarrow 2_{G.s}^+$	0,6	0,54
$2_{\gamma}^+ \rightarrow 2_{G.s}^+$	0,6	0,56
$3_{\gamma}^+ \rightarrow 2_{G.s}^+$	0,6	0,57
$3_{\gamma}^+ \rightarrow 4_{G.s}^+$	0,36	0,34
$4_{\gamma}^+ \rightarrow 4_{G.s}^+$	0,31	0,3
$4_{\beta}^+ \rightarrow 4_{G.s}^+$	0,3	0,27
$5_{\gamma}^+ \rightarrow 4_{G.s}^+$	0,36	0,34

$\delta(E2/M1)$ nın hata sınırlarının da belirlenmesinden sonra yapmış olduğumuz çalışmada bulmuş olduğumuz karışım oranı değerlerini tablo haline getirebiliriz;

Çizelge 3.10 ^{156}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_γ -geçiş enerjisi (keV)	Geçişler	δ bu çalışma(E2/M1)
1040,5	$2_\beta^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	$9,6^{+0,6}_{-0,54}$
1065,2	$2_\gamma^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	$9,82^{+0,6}_{-0,56}$
1159,1	$3_\gamma^+ \rightarrow 2_{G.S}^+$	10[referans]
959	$3_\gamma^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$6,04^{+0,36}_{-0,34}$
1067	$4_\gamma^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$5,15^{+0,31}_{-0,3}$
1009	$4_\beta^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$4,87^{+0,3}_{-0,27}$
1218	$5_\gamma^+ \rightarrow 4_{G.S}^+$	$6,03^{+0,36}_{-0,34}$

^{156}Gd izotopu için PHINT programı kullanılarak elde edilen enerji seviyeleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Çizelge 4.2' de verilmiştir. PHINT programı ile hesaplanan değerler deneysel değerlerle yakın düzeydedir. Yapılan çalışmada elde edilen bütün verilerin program çıktısı, tezin sonunda bulunan Ek' de gösterilmiştir.

3.3. ¹⁵⁵Eu İzotopunun İncelenmesi

¹⁵⁵Eu izotopu deforme bölge başlangıcında bulunan tek-çift izotopunun enerji düzeyleri ve geçiş olasılıkları hakkında teorik çalışma oldukça azdır.

¹⁵⁵Eu çekirdeğinin enerji düzeyleri ve B(E2) geçiş olasılıkları etkileşen bozon-fermion modeli kullanılarak hesaplanacaktır. Yapılan hesaplamalarda fermiyonik parçacığın katılmasıyla ya da çıkarılmasıyla oluşan bozon-fermion etkileşim teriminde ki monopol etkileşimi hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

3.3.1 ¹⁵⁵Eu İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri

78,6379 keV seviyesi: spin paritesi 7/2+ olan bu seviyeden 5/2+[0] seviyesine çok kutupluluğu M1+E2 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan γ ışını enerjisi 78,6379 keV dur.

104,3346 keV seviyesi: spin paritesi 5/2- olan bu seviyeden ;

7/2+[78,6379]keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan γ ışını enerjisi 25,64 keV dur.

5/2+[0]keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan γ ışını enerjisi 104,3346 keV dur.

179,1569 keV seviyesi: spin paritesi 9/2+ olan bu seviyeden;

$7/2+[78,6379]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $M1+E2$ olan bir geçiş vardır.

Açığa çıkan γ ışını enerjisi $100,51 \text{ keV}$ dur.

$5/2+[0]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $+E2$ olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan

γ ışını enerjisi $179,1569 \text{ keV}$ dur.

245,78 keV seviyesi: spin paritesi $3/2+$ olan bu seviyeden ;

$7/2+[78,6379]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $E2$ olan bir geçiş vardır. Açığa

çıkan γ ışını enerjisi $167,1482 \text{ keV}$ dur.

$5/2-[104,3346]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $E1$ olan bir geçiş vardır. Açığa

çıkan γ ışını enerjisi $141,44\text{keV}$ dur.

$5/2+[0]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $M1+E2$ olan bir geçiş vardır. Açığa

çıkan γ ışını enerjisi $245,78 \text{ keV}$ dur.

307,38 keV seviyesi: spin paritesi $5/2+$ olan bu seviyeden ;

$3/2+[245,78]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $M1+(E2)$ olan bir geçiş vardır.

Açığa çıkan γ ışını enerjisi $61,6 \text{ keV}$ dur.

$7/2-[169]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $E1$ olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan

γ ışını enerjisi $138,37 \text{ keV}$ dur.

$5/2-[104,3346]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $E1$ olan bir geçiş vardır. Açığa

çıkan γ ışını enerjisi $203,048 \text{ keV}$ dur.

$7/2+[78,6379]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $M1+E2$ olan bir geçiş vardır.

Açığa çıkan γ ışını enerjisi $228,7346 \text{ keV}$ dur.

391,4826 keV seviyesi: spin paritesi $7/2+$ olan bu seviyeden ;

$5/2+[307,38]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $M1+E2$ olan bir geçiş vardır.

Açığa çıkan γ ışını enerjisi $84,10 \text{ keV}$ dur.

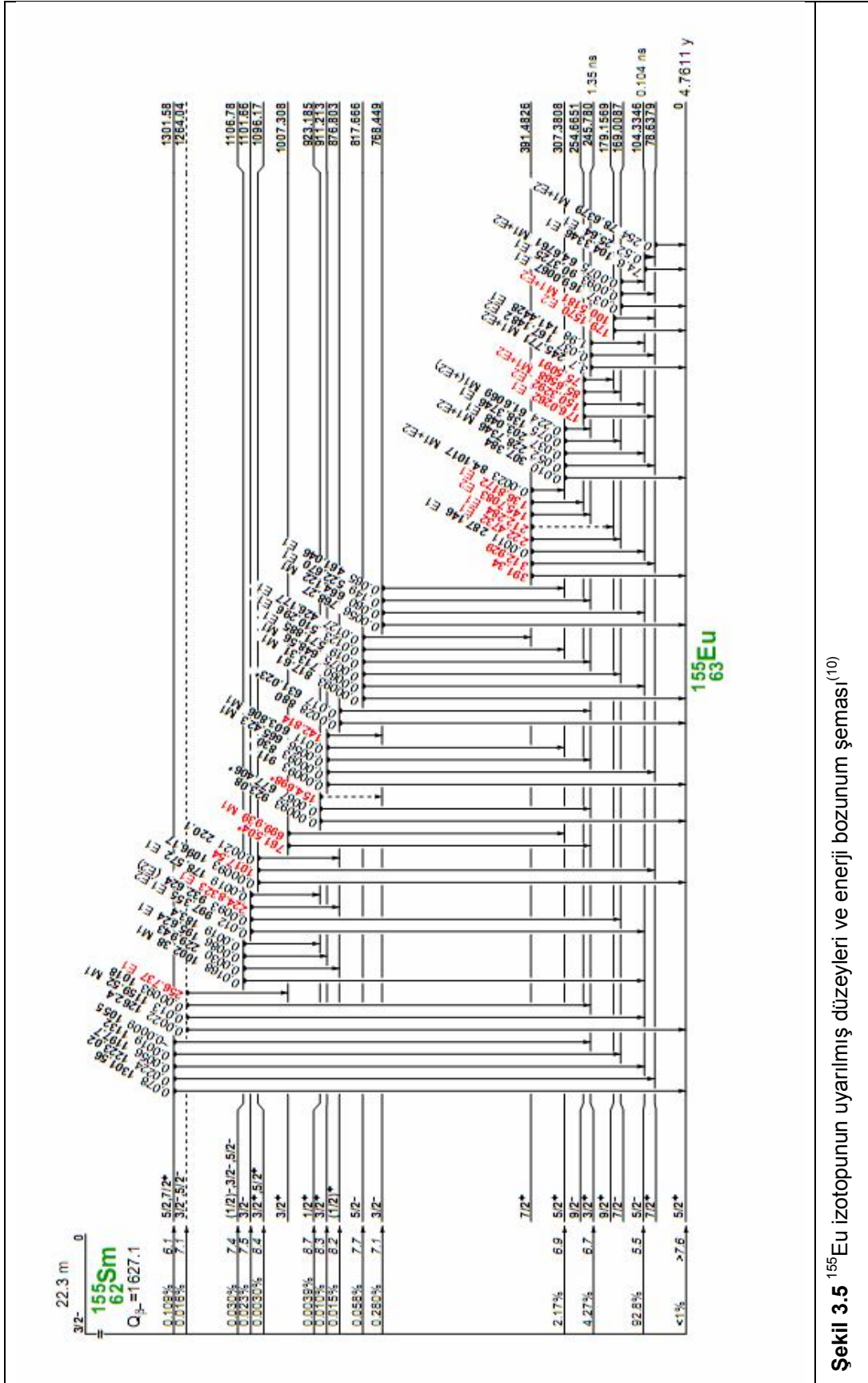
$3/2+[245,78]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu $E2$ olan bir geçiş vardır. Açığa

çıkan γ ışını enerjisi $145,7 \text{ keV}$ dur.

7/2-[169]keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan ̳ ışını enerjisi 222,47 keV dur.

5/2-[104,3346]keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Açığa çıkan ̳ ışını enerjisi 287,146 keV dur.

Aşağıda ^{155}Sm izotopunun β^- ışınması ile ^{155}Eu izotopuna bozunumu görölmektedir.



Şekil 3.5 ¹⁵⁵Eu izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması⁽¹⁰⁾

Çizelge 3.11 ^{155}Eu izotopunun spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin-Parite I^π	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
	$7/2^+$	133,2
	$9/2^+$	193,7
	$11/2^+$	303,6
	$13/2^+$	441,1
3/2(411)	$3/2^+$	265,8
	$5/2^+$	303,1
	$7/2^+$	387
	$9/2^+$	493,4
	$11/2^+$	579,4
	$13/2^+$	685,1
3/2(541)	$3/2^-$	752,7
	$5/2^-$	821
	$7/2^-$	835,4
1/2(411)	$1/2^+$	798,2
	$3/2^+$	648,3

3.3.2 ¹⁵⁵Eu İzotopunun Bazı Bandları Arası Geçiş Olasılıkları

¹⁵⁵Eu çekirdeğinin bazı geçişleri için hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları ile ODDA programı parametreleri Çizelge 3.12' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 ¹⁵⁵Eu izotopunun bazı geçişleri için B(E2) geçiş olasılıkları ve ODDA parametreleri

$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	B(E2) değerleri (e ² b ²)	E2SD	E2DD
$3/2_1^+ \rightarrow 5/2_1^+$	0,006	0,5	-1,4790
$3/2_1^+ \rightarrow 7/2_1^+$	0,0151	0,5	-1,4790
$7/2_1^+ \rightarrow 5/2_1^+$	1,559	0,5	-1,4790
$5/2_2^+ \rightarrow 5/2_1^+$	0,067	0,5	-1,4790
$5/2_2^+ \rightarrow 7/2_1^+$	0,0015	0,5	-1,4790
$7/2_2^+ \rightarrow 5/2_1^+$	0,008	0,5	-1,4790

3.3.3 ^{155}Eu İzotopunun $\delta(\text{E2/M1})$ Çok Kutuplu Karışım Oranlarının Hesaplanması

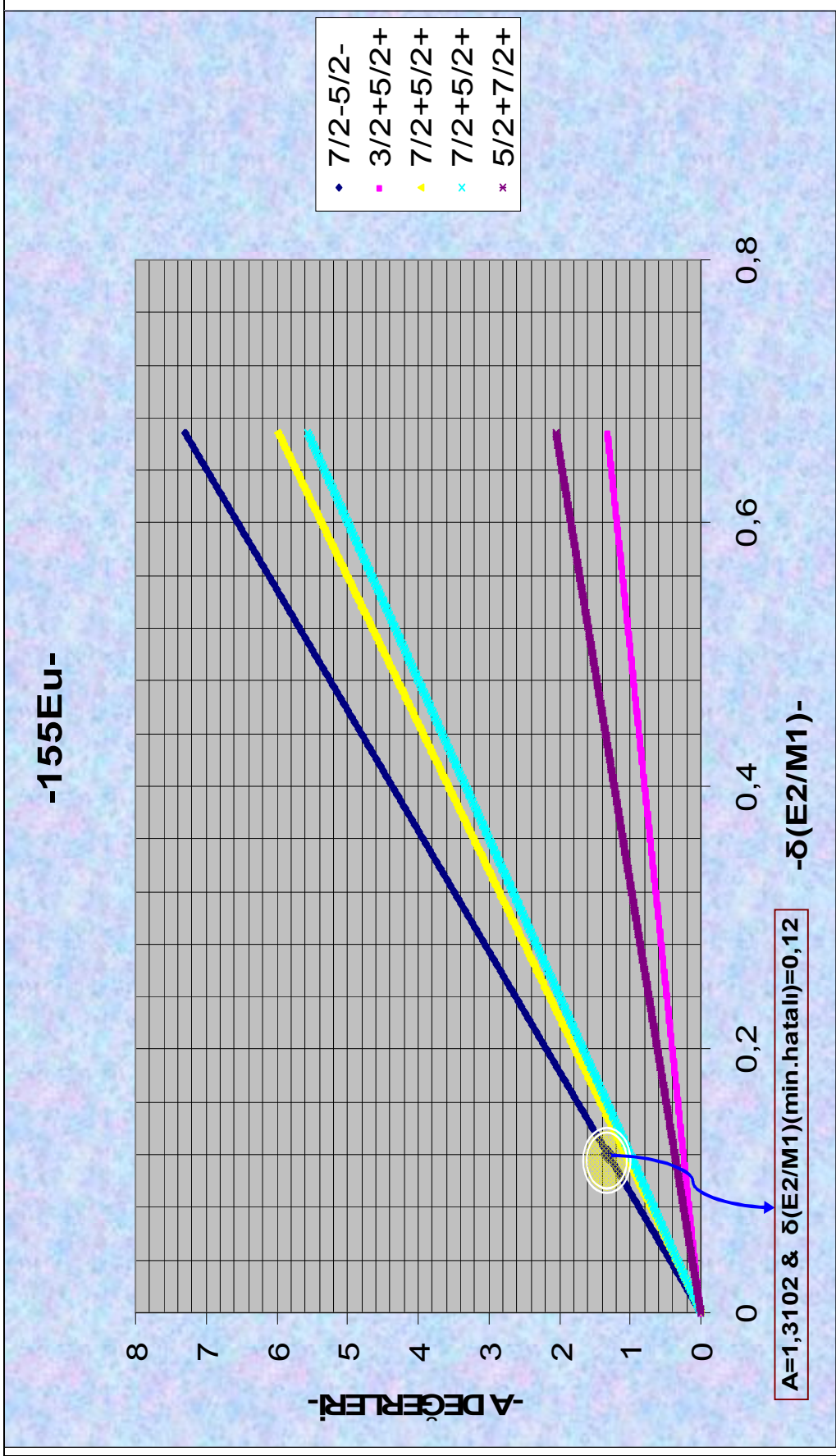
Tek-çift ^{155}Eu izotopunun $\delta(\text{E2/M1})$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları, nötron ve proton bozonlarının farklı olarak ele alındığı Etkileşen Bozon Modeli-2 (IBM-2) çerçevesinde hesaplayalım. Ve hesaplanan bu değerlerle deneysel veriler arasındaki uyumu inceleyelim.

Bu hesaplamalarda bölüm 2' deki denklemler kullanılmıştır. Gd izotoplarında izlediğimiz yol ile aynı şekilde ^{155}Eu içinde $\delta(\text{E2/M1})$ çok kutuplu karışım oranı ile ilgili hesaplamalar yapılabilir. Bu hesaplamalarda ; $7/2^- \rightarrow 5/2^-$ geçişi referans olarak kabul edilip, buradan A değeri elde edilecektir. Elde edilen A değeri kullanılarak diğer geçişler için $\delta(\text{E2/M1})$ değerlerinin hesabı yapılacaktır. Elde edilen bu değerler, deneysel $\delta(\text{E2/M1})$ değerleriyle karşılaştırılacaktır.

Çizelge 3.13 ¹⁵⁵Eu izotopuna ait ardışık artan delta değerlerine karşılık gelen –A- değerleri

BELİRTİLEN GEÇİŞLERE KARŞILIK GELEN -A- DEĞERLERİ					
Delta δ(E2/M1)	<i>7/2⁻→5/2⁻</i>	<i>3/2⁺→5/2⁺</i>	<i>7/2⁺→5/2⁺</i>	<i>7/2⁺→5/2⁺</i>	<i>5/2⁺→7/2⁺</i>
0	0	0	0	0	0
0,001	0,010919	0,001962	0,008959	0,008319	0,003065
0,115	1,255643	0,225667	1,030271	0,95668	0,352461
0,116	1,266561	0,22763	1,03923	0,964999	0,355526
0,117	1,27748	0,229592	1,048189	0,973318	0,358591
0,118	1,288399	0,231554	1,057148	0,981637	0,361656
0,119	1,299317	0,233516	1,066106	0,989956	0,364721
0,12	1,310236	0,235479	1,075065	0,998275	0,367786
.....					
0,31	3,384776	0,60832	2,777252	2,578877	0,950113
0,311	3,395695	0,610283	2,786211	2,587196	0,953177
0,312	3,406613	0,612245	2,79517	2,595515	0,956242
0,313	3,417532	0,614207	2,804129	2,603834	0,959307
0,314	3,428451	0,61617	2,813088	2,612153	0,962372
.....					
0,428	4,673175	0,839874	3,8344	3,560514	1,311768
0,429	4,684093	0,841837	3,843359	3,568833	1,314833
0,43	4,695012	0,843799	3,852318	3,577152	1,317898
0,431	4,705931	0,845761	3,861276	3,585471	1,320963
0,432	4,716849	0,847724	3,870235	3,59379	1,324028
.....					
0,648	7,075274	1,271586	5,805353	5,390685	1,986042
0,649	7,086193	1,273548	5,814312	5,399004	1,989107
0,65	7,097111	1,27551	5,823271	5,407323	1,992172
0,651	7,10803	1,277473	5,83223	5,415642	1,995236
0,652	7,118948	1,279435	5,841188	5,423961	1,998301
0,653	7,129867	1,281397	5,850147	5,43228	2,001366
0,654	7,140786	1,283359	5,859106	5,440599	2,004431
0,655	7,151704	1,285322	5,868065	5,448918	2,007496
0,656	7,162623	1,287284	5,877024	5,457237	2,010561
0,657	7,173542	1,289246	5,885983	5,465556	2,013626
0,658	7,18446	1,291209	5,894942	5,473874	2,016691
0,659	7,195379	1,293171	5,903901	5,482193	2,019755
0,66	7,206298	1,295133	5,91286	5,490512	2,02282
0,661	7,217216	1,297096	5,921818	5,498831	2,025885
0,662	7,228135	1,299058	5,930777	5,50715	2,02895
0,663	7,239053	1,30102	5,939736	5,515469	2,032015
0,664	7,249972	1,302983	5,948695	5,523788	2,03508
0,665	7,260891	1,304945	5,957654	5,532107	2,038145
0,666	7,271809	1,306907	5,966613	5,540426	2,04121
0,667	7,282728	1,30887	5,975572	5,548745	2,044275
0,668	7,293647	1,310832	5,984531	5,557064	2,047339

- * Delta değerleri 0,001 aralıklarla artırılmıştır. Ve buna karşılık gelen -A- değerleri her bir Delta değeri için hesaplanmıştır.
- * Üzeri koyu renkli olarak gösterilen A değerleri o geçiş için Delta deneysel değerine karşılık gelen -A- değerleridir.
- * Burada altı çizili kutudaki -A- değeri, HATA ORANI minimum olan deneysel Delta değerine karşılık gelmektedir.
- *Bu yüzden Delta=0,12 ye karşılık gelen A=1,3102 değeri sabittir ve tüm geçişler için hesaplamalarda kullanılacaktır.
- *Dolayısıyla bu tespit -A- değeri(1,3102) ne göre yeniden yukarıdaki tablodan bu -A- değerine karşılık gelen Delta değerlerine bakılırsa her bir geçiş için çok kutuplu karışım oranları tespit edilmiş olur.



Şekil 3.6 ¹⁵⁵Eu izotopunun iterasyon metodu ile elde edilen –A- değerlerinin δ değerlerine karşı değişimi

$\delta(E2/M1)$ nın belirlenmesinden sonra yapmış olduğumuz çalışmada bulmuş olduğumuz karışım oranı değerlerini tablo haline getirebiliriz;

Çizelge 3.14 ^{155}Eu izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{\text{bu çalışma}}(E2/M1)$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_{γ} -geçiş enerjisi (keV)	Geçişler	$\delta_{\text{bu çalışma}}(E2/M1)$
64,7	$7/2^- \rightarrow 5/2^-$	0,12[referans]
245,78	$3/2^+ \rightarrow 5/2^+$	0,668
78,63	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	0,147
84,1	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	0,158
228,75	$5/2^+ \rightarrow 7/2^+$	0,428

^{155}Eu izotopu için ODDA programı kullanılarak elde edilen enerji seviyeleri ile deneysel değerlerin karşılaştırılması Çizelge 4.3' de verilmiştir. ODDA programı ile hesaplanan değerler deneysel değerlerle yakın düzeydedir. Yapılan çalışmada elde edilen bütün verilerin program çıktısı, tezin sonunda bulunan Ek' de gösterilmiştir.

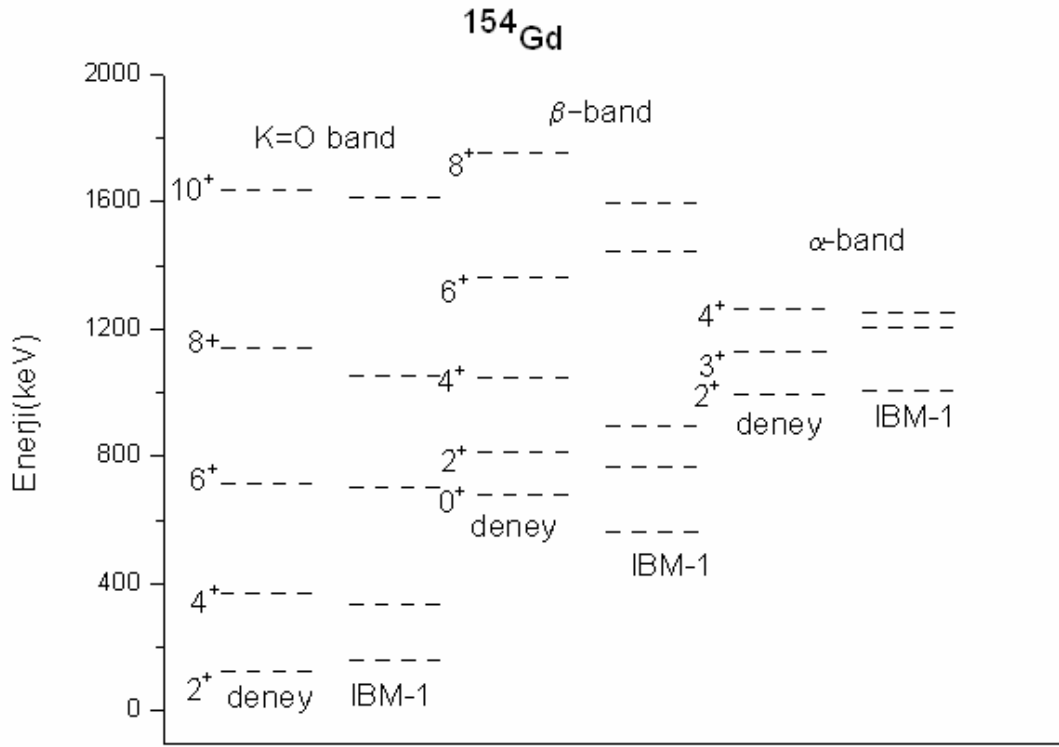
TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan bu çalışmada deforme bölge başlangıcında bulunan Gd ve Eu izotoplarının PHINT ve ODDA kodları kullanılarak pozitif pariteli 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 verilmiştir.

IBFM de Çift- tek Eu çekirdeğinin enerji seviyeleri ve B(E2) geçiş olasılıklarının hesabında $^{154}_{64}\text{Sm}_{90}$ çift-çift çekirdeği ele alınmıştır. Çift-çift Sm çekirdeğine bir tane fermiyon katkısı yapılarak $^{155}_{63}\text{Eu}_{92}$ çekirdeğinin enerji seviyelerinin ve geçiş olasılıklarının hesabı yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalarda bozon-fermion terimindeki monopol etkileşiminin etkisi az olduğundan dolayı hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Yalnızca değiş-tokuş ve kuadrapol etkileşim terimleri hesaplamalarda ele alınmıştır.

Çizelge 4.1 ^{154}Gd izotopunun PHINT programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri

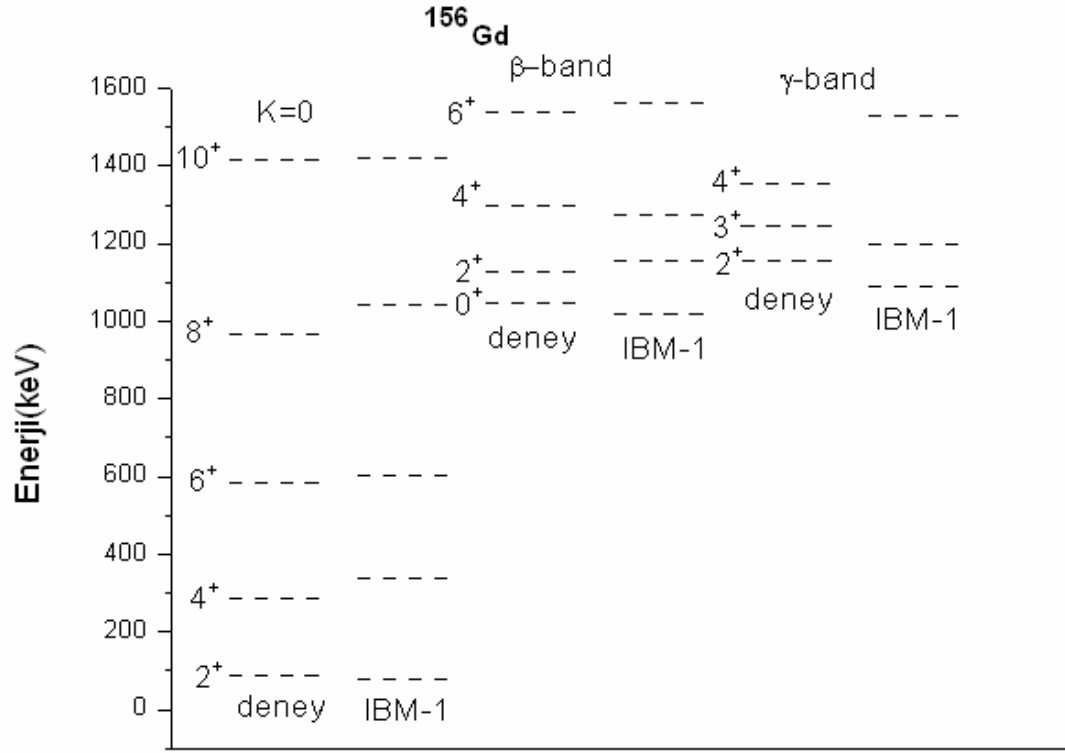
Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Deneysel uyarılma Enerjileri ⁽¹⁰⁾ (keV)	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
$K^\pi=0^+$ Temel Hal Bandı	0+	0	0
	2+	123,0714	157
	4+	371.005	337,4
	6+	717.661	705,9
	8+	1144.47	1051,5
	10+	1637.07	1617,9
$K^\pi=0^+$ β - Bandı	0+	680.663	565,6
	2+	815.487	770,1
	4+	1047.589	896,5
	6+	1365.896	1446,4
	8+	1756.51	1596,6
	10+	2194.2	2399,2
$K^\pi=2^+$ γ - Bandı	3+	1127.793	1205,5
	4+	1263.790	1254,3
	5+	1432.55	1330,9
	6+	1606.75	1637,4



Şekil 4.1 ^{154}Gd izotopunun IBM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.2 ^{156}Gd izotopunun PHINT programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri

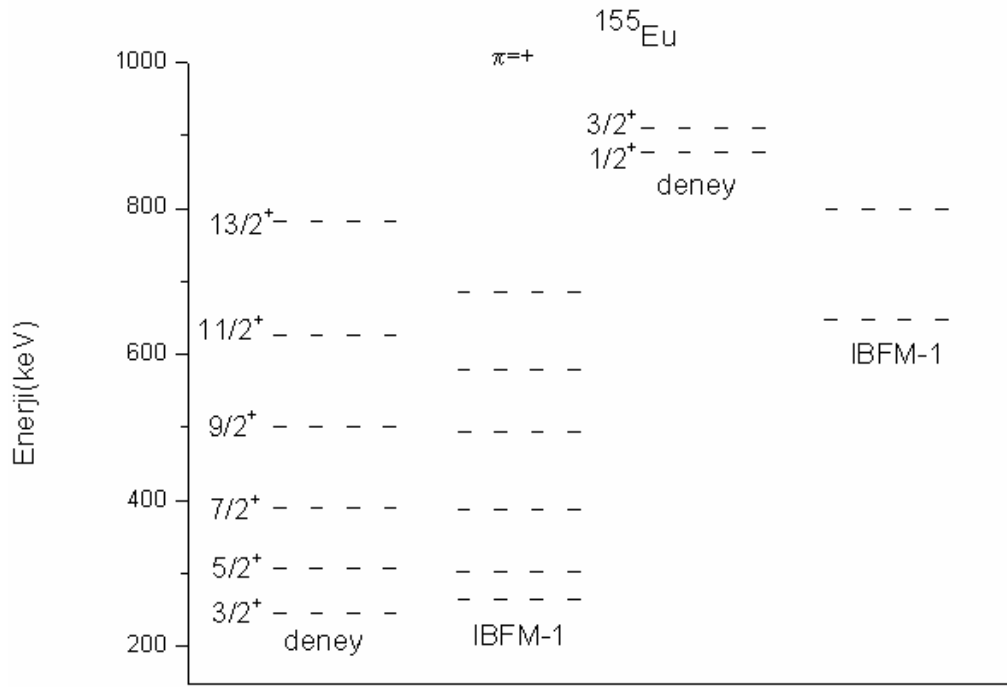
Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Deneysel uyarıma Enerjileri ⁽¹⁰⁾ (keV)	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
$K^\pi=0^+$ Temel Hal Bandı	0+	0	0
	2+	88,96	79,8
	4+	288,1799	336,2
	6+	584,706	602,9
	8+	965,090	1043,6
	10+	1416,034	1422,4
$K^\pi=0^+$ β - Bandı	0+	1049,5	1154,6
	2+	1129,413	1200,7
	4+	1297,792	1276,9
	6+	1540,23	1561
	8+	1848,94	1960
	10+	2219,9	2171,7
$K^\pi=2^+$ γ - Bandı	2+	1154,112	1020,2
	3+	1247,961	1089,6
	4+	1355,374	1154,8
	5+	1506,809	1522,7
	6+	1643,76	1622,4



Şekil 4.2 ¹⁵⁶Gd izotopunun IBM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.3 ^{155}Eu izotopunun ODDA programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin-Parite I^π	Deneysel uyarılma Enerjileri ⁽¹⁰⁾ (keV)	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
	$7/2^+$	78,63	133,2
	$9/2^+$	179,15	193,7
	$11/2^+$	300	303,6
	$13/2^+$	443	441,1
3/2(411)	$3/2^+$	245,78	265,8
	$5/2^+$	307,38	303,1
	$7/2^+$	391,48	387
	$9/2^+$	501	493,4
	$11/2^+$	627,298	579,4
	$13/2^+$	782	685,1
3/2(541)	$3/2^-$	768,44	752,7
	$5/2^-$	817,6	821
	$7/2^-$	973,98	835,4
1/2(411)	$1/2^+$	876,8	798,2
	$3/2^+$	911,213	648,3



Şekil 4.3 ^{155}Eu izotopunun IBFM ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel enerji seviyelerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.4 ^{154}Gd 'nin PHINT programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri

B(E2) (e^2b^2) değerleri			
$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	Bu çalışma	Deneysel (exp)	Diğer çalışmalar
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,7416	0,773 ⁽¹¹⁾	0,773 ⁽¹²⁾ 0,735 ⁽¹⁸⁾
$2^+ \rightarrow 2^+$	1,03	-	-
$4^+ \rightarrow 2^+$	1,05	1,178±0,039 ⁽¹⁶⁾ 1,183±0,038 ⁽¹⁴⁾	1,098 ⁽¹²⁾ 1,180 ⁽¹⁵⁾
$6^+ \rightarrow 4^+$	1,13	1,382 ⁽¹³⁾ 1,16 ⁽¹⁴⁾	1,19 ⁽¹²⁾
$6^+ \rightarrow 6^+$	0,78	-	-
$8^+ \rightarrow 6^+$	1,15	1,526 ⁽¹⁷⁾ 1,50 ⁽¹⁴⁾	1,705 ⁽¹⁴⁾

Çizelge 4.5 ^{156}Gd 'nin PHINT programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri

B(E2) (e^2b^2) değerleri			
$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	Bu çalışma	Deneysel(exp)⁽¹⁹⁾	Diğer çalışmalar⁽¹²⁾
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,92	$0,92 \pm 0,03$	-
$2^+ \rightarrow 2^+$	1,27	$2,04 \pm 0,14$	-
$4^+ \rightarrow 2^+$	1,30	$1,29 \pm 0,02$	1,46
$6^+ \rightarrow 4^+$	1,41	$1,47 \pm 0,04$	1,38
$6^+ \rightarrow 6^+$	0,95	-	-
$8^+ \rightarrow 6^+$	1,43	$1,57 \pm 0,15$	1,38

Çizelge 4.6 ^{155}Eu 'nin ODDA programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri

B(E2) (e^2b^2) değerleri			
$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	Bu çalışma	Deneysel (exp)⁽²⁰⁾	Diğer çalışmalar⁽²¹⁾
$3/2_1^+ \rightarrow 5/2_1^+$	0,006	0,0036	0,0482
$3/2_1^+ \rightarrow 7/2_1^+$	0,0151	0,0023	0,0331
$7/2_1^+ \rightarrow 5/2_1^+$	1,559	1,710	1,4231
$5/2_2^+ \rightarrow 5/2_1^+$	0,067	-	0,0341
$5/2_2^+ \rightarrow 7/2_1^+$	0,0015	-	0,0023
$7/2_2^+ \rightarrow 5/2_1^+$	0,008	-	0,0072

^{154}Gd için yapılan kutupsal karışım oranları hesaplamalarında $2_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{g.s}^{+}$ geçişi referans olarak alındığında elde edilen teorik $\delta(\text{E2/M1})$ değerleriyle deneysel $\delta(\text{E2/M1})$ değerlerinin karşılaştırılması çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{\text{bu çalışma}}(\text{E2/M1})$ ve $\delta_{\text{deneysel}}(\text{E2/M1})$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_{γ} -geçiş enerjisi (keV)	Geçişler	$\delta_{\text{bu çalışma}}(\text{E2/M1})$	$\delta_{\text{exp}}(\text{E2/M1})$	$\delta(\text{E2/M1})$ diğer çalışmalar
873,190	$2_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	9,5 [referans]	$9,5^{+0,8}_{-0,6}$ ⁽²²⁾	$6,6^{+0,4}_{-0,4}$ ⁽²³⁾
676,593	$4_{\beta}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$3,85^{+0,33}_{-0,26}$	$2,5^{+0,4}_{-0,4}$ ⁽²²⁾ $2,9^{+2,10}_{-0,9}$ ⁽²⁵⁾	$7,58$ ⁽²⁴⁾
756,763	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$5,62^{+0,48}_{-0,37}$	$5,8^{+0,2}_{-0,2}$ ⁽²²⁾ $5,7^{+1,2}_{-1,9}$ ⁽²⁶⁾	$3,9^{+0,2}_{-0,2}$ ⁽²⁴⁾
692,421	$2_{\beta}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	$7,5^{+0,65}_{-0,5}$	$7,7^{+1,3}_{-1,1}$ ⁽²³⁾	$14,51$ ⁽²⁴⁾
892,780	$4_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$5,08^{+0,44}_{-0,33}$	$4,4^{+0,5}_{-0,5}$ ⁽²⁷⁾ $4,0^{+0,4}_{-0,3}$ ⁽²²⁾	$6,54$ ⁽²⁴⁾ $3,5^{+0,2}_{-0,2}$ ⁽²³⁾
648,20	$6_{\beta}^{+} \rightarrow 6_{G.S}^{+}$	$2,49^{+0,21}_{-0,16}$	$1,30$ ⁽²⁷⁾	$1,22^{+0,03}_{-0,15}$ ⁽²⁸⁾
1061,39	$5_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$6,19^{+0,53}_{-0,41}$	$4,3^{+1,2}_{-2,6}$ ⁽²⁵⁾	$3,6^{+0,2}_{-0,2}$ ⁽²³⁾
1004,72	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{G.S}$	$10,2^{+0,87}_{-0,67}$	$7,5^{+0,6}_{-0,6}$ ⁽²²⁾ $9,5^{+7,9}_{-4,0}$ ⁽²⁹⁾ $7,1^{+0,4}_{-0,4}$ ⁽²³⁾	$7,1^{+0,4}_{-0,4}$ ⁽²³⁾

^{156}Gd için yapılan kutupsal karışım oranları hesaplamalarında $3_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{g.s}^{+}$ geçişi referans olarak alındığında elde edilen teorik $\delta(\text{E2/M1})$ değerleriyle deneysel $\delta(\text{E2/M1})$ değerlerinin karşılaştırılması çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 ^{156}Gd izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{\text{bu çalışma}}(\text{E2/M1})$ ve $\delta_{\text{deneysel}}(\text{E2/M1})$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_{γ} -geçiş enerjisi (keV)	Geçişler	$\delta_{\text{bu çalışma}}(\text{E2/M1})$	$\delta_{\text{exp}}(\text{E2/M1})$	$\delta(\text{E2/M1})$ diğer çalışmalar
1040,5	$2_{\beta}^{+} \rightarrow 2_{g.s}^{+}$	$9,6^{+0,6}_{-0,54}$	$5,9^{+1,4}_{-2,8}^{(30)}$	$18,78^{(31)}$
1065,2	$2_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{g.s}^{+}$	$9,82^{+0,6}_{-0,56}$	$6,5^{+2,6}_{-7,9}^{(30)}$ $18,3^{+3}_{-3}^{(30)}$	$10,11^{(30)}$
1159,1	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{g.s}^{+}$	10[referans]	$10,0^{+0,6}_{-0,6}^{(32)}$ $11,8^{+0,6}_{-0,7}^{(30)}$	$57,5^{(32)}$
959	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{g.s}^{+}$	$6,04^{+0,36}_{-0,34}$	$11,7^{+2,7}_{-5,3}^{(30)}$	$37,3^{(32)}$
1067	$4_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{g.s}^{+}$	$5,15^{+0,31}_{-0,3}$	$4,0^{+0,9}_{-1,6}^{(30)}$	$13,7^{(32)}$
1009	$4_{\beta}^{+} \rightarrow 4_{g.s}^{+}$	$4,87^{+0,3}_{-0,27}$	-	$11,3^{(32)}$
1218	$5_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{g.s}^{+}$	$6,03^{+0,36}_{-0,34}$	-	-

^{155}Eu için yapılan kutupsal karışım oranları hesaplamalarında $7/2^- \rightarrow 5/2^-$ geçişi referans olarak alındığında elde edilen teorik $\delta(\text{E2/M1})$ değerleriyle deneysel $\delta(\text{E2/M1})$ değerlerinin karşılaştırılması çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 ^{155}Eu izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{\text{bu çalışma}}(\text{E2/M1})$ ve $\delta_{\text{deneysel}}(\text{E2/M1})$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_{γ} -geçiş enerjisi (keV)	Geçişler	$\delta_{\text{bu çalışma}}(\text{E2/M1})$	$\delta_{\text{exp}}(\text{E2/M1})^{(33)}$	$\delta(\text{E2/M1})$ diğer çalışmalar ⁽³⁴⁾
64,7	$7/2^- \rightarrow 5/2^-$	0,12[referans]	$0,12^{+3}_{-4}$	$0,09 \pm 11$
245,78	$3/2^+ \rightarrow 5/2^+$	0,668	$0,31 \pm 17$	$0,281 \pm 22$
78,63	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	0,147	-	-
84,1	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	0,158	-	-
228,75	$5/2^+ \rightarrow 7/2^+$	0,428	-	-

Gd ve Eu izotopları için yapılan kutupsal karışım oranları hesaplamalarında hata oranı minimum olan geçişin deneysel $\delta(\text{E2/M1})$ karışım oranı değeri referans olarak alınmış ve bu karışım oranı değerine karşılık gelen A değeri tespit edilmiştir. Bu değeri sabit olarak diğer

geçişlerde kullandığımızda her bir geçiş için deneysel değerlere yakın $\delta(E2/M1)$ karışım oranı değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar bulmuş olduğumuz A değerinin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Elde ettiğimiz bu sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak tablolar halinde verilmiştir. Burada elde edilen B(E2) değerleri dalga fonksiyonunun güvenilirliğinin bir ölçüsüdür. Dolayısıyla bu sonuçlar bize elde edilen dalga fonksiyonunun güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım başka çekirdeklerde uyarlanarak çekirdeklerin elektromanyetik özellikleri hakkında hesaplamalar yapılabilir.

Sonuç olarak, deforme bölge başlangıcında bulunan Gadolinium ve Europium izotoplarının $\delta(E2/M1)$ elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları, Etkileşen Bozon Modeli 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- Kenneth S.Krane, Nuclear Phy. 1-2, 1996
- 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/Ensdfl/](http://www.Nndc.Bnl.Gov/Ensdfl/) (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.

- Phyv. A **191** 545 (1972)
- 14- 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)
- 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 ¹⁵⁶Gd 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. Physc. G. Nucl. Physc. **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.1
(1977)
- 33- F.A. Genezini(1), C.B. Zamboni(1), M.T.F. da Cruz(2), and J.Y. Zevallos-
Chavez(2)' Angular Correlation Measurements in ¹⁵⁵Eu Nuclei' Received
on 1 September, (2003)
- 34- R.B. Firestone and V.S. Shirley, Table of Isotopes, JohnWiley & Sons,
Inc., New York, (1996)

EK

Gd ve Eu İzotopu İçin PHINT ve ODDA Program Verileri

¹⁵⁴Gd izotopu enerji seviyeleri, PHINT program verileri ⁽¹¹⁾

```
&IOFILES
OUTPUT = 154GdE.out           ,
PHWAVE = 154Gd.WAV           ,
TAPE3  = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 7/ 1/2009 , started at 14:31:59.906 -----
-----
1          PROGRAM PHINT
          VERSION JANUARY 1982

          ***** INPUT CARD IMAGES
          *****

          154 Gd
          $INPT MULT=.T.,EPS=0.124,PAIR=0.002, QQ=-.024,
ELL=.00018,OCT=0.010,NPHMAX=10,
          MULT=.T., HEX=-0.011 ,IPPM=2, IAM=10 $
          PLAT 55 55

          *****
          *****
          RUN ON =07-JAN-09 , STARTED AT =14:31:59
          ARRAY SPACE IN USE = 34567

          154 Gd
          SD EQUALS SF
          TOTAL NUMBER OF BOSONS = 10
          TRUNCATION AT ND = 10

          MULTIPOLE EXPANTION :
          EPS= 0.1240 , PAIR= 0.0020 , ELL= 0.0002
          QQ =-0.0240 , OCT = 0.0100 , HEX=-0.0110
          CHQ=-2.9580

          CH1 = 0.00200 , CH2 =-0.02400 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 ,
          FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000
          RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 ,
          CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000

          2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+_2+ INTER. I 2+_3- INTER. ONE PHONON
          TWO PHONON F3 (S+F+DF)
          0.12254 0.00000 0 -0.37108 1 0.00000 0.07099
          -0.02907 0.00000
          2 0.03189 2 0.00000
          4 -0.00285 3 0.00000
          4 0.00000
          5 0.00000
```

ENERGIES , L= 0+
0.0000 0.5656 1.3225 1.7561 2.2128 2.5673 2.7360 3.0357
3.3612 3.5691 3.7738 4.0570 4.3678 5.3332

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+
0.1578 0.7701 1.0076 1.4519 1.6388 1.9005 2.2963 2.3467
2.5980 2.8181 3.1056 3.1888 3.3935 3.6901 3.7427 3.8384
4.0095 4.0634 4.1590 4.5853 4.9156 5.7891

ENERGIES , L= 3+
1.2055 2.0220 2.6381 2.9087 3.4434 3.7734 4.2909 5.2952

ENERGIES , L= 4+
0.3374 0.8965 1.2543 1.6267 1.7144 2.0773 2.3353 2.4454
2.6326 2.6795 2.9630 3.1530 3.2402 3.4596 3.5884 3.7078
3.8237 3.9660 4.0166 4.0383 4.2860 4.5464 4.8625 5.2757
5.7530

ENERGIES , L= 5+
1.3309 1.9381 2.3293 2.8242 3.1627 3.6150 3.7553 3.9877
4.0182 4.4758 4.8398 5.7239

ENERGIES , L= 6+
0.7059 1.4464 1.6374 2.0399 2.4095 2.5010 2.5253 2.6770
2.9238 3.2251 3.2317 3.4673 3.5140 3.6403 3.8293 3.9861
4.0577 4.1273 4.2480 4.4784 4.8238 5.1999 5.2220 5.7016

ENERGIES , L= 7+
1.9902 2.5167 2.8352 3.2526 3.5900 3.7861 3.8986 4.1356
4.4450 4.7253 5.1772 5.6606

ENERGIES , L= 8+
1.0515 1.5966 2.1064 2.4623 2.6818 2.9540 3.3366 3.4122
3.4797 3.6739 3.8699 3.8800 3.9432 4.1855 4.2882 4.4669
4.7186 4.7664 5.1657 5.6117 5.6416

ENERGIES , L= 9+
2.2910 2.9365 3.4475 3.8682 3.8865 4.3081 4.7063 5.0466
5.1041 5.5865

ENERGIES , L=10+
1.6179 2.3992 2.5581 3.0446 3.4866 3.5551 3.7336 3.9341
3.9856 4.3617 4.5215 4.7322 5.0384 5.1128 5.5292 5.5780

BINDING-ENERGY = -3.6314 , EPS-EFF = -0.11

¹⁵⁶Gd izotopu enerji seviyeleri, PHINT program verileri ⁽¹¹⁾

```

&IOFILES
  OUTPUT = 156GdE.out           ,
  PHWAVE = 156Gd.WAV           ,
  TAPE3  = ../TAPE3.CFP
/
  PHINT, run on 7/ 1/2009 , started at 14:29:21. 15 -----
-----
1      PROGRAM PHINT
      VERSION JANUARY 1982

      ***** INPUT CARD IMAGES
      *****

      156 Gd
      $INPT MULT=.T.,EPS=0.137,PAIR=0.00451,CHQ=-0.901,QQ=-
.026,
      ELL=.00155,OCT=0.00980,NPHMAX=11,
      MULT=.T.,HEX=-0.011,IPPM=2,IAM=10$
      PLAT 55 55

      *****
      *****
      RUN ON =07-JAN-09 , STARTED AT =14:29:21
      ARRAY SPACE IN USE = 34567

      156 Gd
      SD EQUALS SF
      TOTAL NUMBER OF BOSONS = 11
      TRUNCATION AT ND = 11

      MULTIPOLE EXPANTION :
      EPS= 0.1370 , PAIR= 0.0045 , ELL= 0.0016
      QQ =-0.0260 , OCT = 0.0098 , HEX=-0.0110
      CHQ=-0.9010

      CH1 = 0.00451 , CH2 =-0.02600 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 ,
      FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000
      RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 ,
      CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000

      2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+_2+ INTER. I 2+_3- INTER. ONE PHONON
      TWO PHONON F3 (S+F+DF)
      0.16114 0.00000 0 -0.32617 1 0.00000 0.02343
      -0.03411 0.00000
      2 0.01808 2 0.00000
      4 0.01322 3 0.00000
      4 0.00000
      5 0.00000

      ENERGIES , L= 0+
      0.0000 0.6028 0.8129 1.1546 1.3712 1.7972 2.1434 2.2256
      2.5408 2.8606 2.9143 3.3444 3.5959 3.6630 3.9689 4.5480
  
```

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+

0.0798 0.4559 0.5987 1.0202 1.2007 1.2693 1.5522 1.7427
1.8362 1.9513 2.0171 2.5215 2.5754 2.6174 2.6933 2.7608
3.1163 3.3447 3.3760 3.4712 3.4941 3.5282 3.8713 4.1670
5.0137 5.5927

ENERGIES , L= 3+

0.6951 1.0896 1.7507 2.2073 2.5274 2.8527 3.3521 3.6481
3.9634 4.5425

ENERGIES , L= 4+

0.3362 0.7757 0.9350 1.1548 1.2769 1.5306 1.6448 1.7995
1.8984 1.9720 2.2079 2.4518 2.5638 2.6101 2.6219 2.6908
2.8532 3.1089 3.3059 3.3830 3.4154 3.4628 3.5000 3.6461
3.8643 3.9606 4.1596 4.5395 5.0083 5.5875

ENERGIES , L= 5+

1.1526 1.5227 1.7681 1.9624 2.5270 2.6011 2.6657 3.0977
3.3691 3.4585 3.4809 3.8556 4.1557 5.0037 5.5838

ENERGIES , L= 6+

0.6029 0.9910 1.2350 1.5610 1.6224 1.8359 2.0050 2.1708
2.2010 2.4211 2.5818 2.6037 2.6960 2.8199 2.8440 3.0998
3.2907 3.4042 3.4564 3.4930 3.6222 3.6346 3.8550 3.9501
3.9523 4.1527 4.5286 4.5313 5.0002 5.5801

ENERGIES , L= 7+

1.4786 1.8989 2.1824 2.5920 2.6076 2.8273 3.0912 3.4408
3.4445 3.6235 3.8474 3.9465 4.1401 4.5248 4.9946 5.5742

ENERGIES , L= 8+

1.0436 1.5425 1.6760 1.9600 2.2178 2.4462 2.5752 2.6045
2.6575 2.8513 3.0658 3.0998 3.3160 3.4395 3.4481 3.4747
3.6340 3.8284 3.8500 3.9451 4.1378 4.1434 4.5224 4.9861
4.9911 5.5687 5.5705

ENERGIES , L= 9+

2.1145 2.5859 2.7694 3.0766 3.4396 3.5825 3.8332 3.9296
3.9335 4.1357 4.5059 4.5135 4.9824 5.5638

ENERGIES , L=10+

1.4224 1.8307 2.1717 2.5385 2.6099 2.8131 3.0967 3.3938
3.4083 3.4473 3.6090 3.8428 3.9278 3.9376 4.1106 4.1379
4.5045 4.5134 4.9753 4.9808 5.5544 5.5601

BINDING-ENERGY = -2.9148 , EPS-EFF = -0.1440

¹⁵⁵Eu izotopu enerji seviyeleri, ODDA program verileri ⁽¹¹⁾

```
&IOFILES
  OUTPUT  = EU155EP.out           ,
  PWAVE   = EU155P.WAV           ,
  TAPE3   = ../TAPE3.CFP
/
  ODDA, run on 20/ 1/2009 , started at 10: 0:27.640 -----
-----
1      PROGRAM ODDA
      VERSION DECEMBER '85

      ***** INPUT CARD IMAGES
      *****

      155 EUROPIUM POSITIVE PARITY
      $INPT PAIR=.0002,OCT=.0009,ELL=.011,MULT=.T.,NPHMAX=11 ,
      IPR=1112 ,
      IPPAR=5,7,9,0,0,1,1,2,NEIG=4,IAM=13,IWD=1,IPPI=1,IPPM=2,
      VSQ=.809,.0448,.2 PEN=0.,0.0,
      CHI=0.8310,BFM=0,BFQ=.15,BFE=0.2008$
      VSQ=.713,.287, PEN=0.,0.0,ILEV=2,BETAD=-.230,.3856,BETA=-
      .230,.3856,
      CHI=0.8310,BFMJ=-.055,-.055,BFQ=.15,BFE=0.2008,BFM=0$
      PLAT 55 55

      $INPT IPPAR=9,0,0,0,0,2,2, NEIG=500,IAI=9,IAM=9,
      IPPI=2,IPPM=2,IPR=2,

      *****
      *****
      RUN ON =20-JAN-09 , STARTED AT =10:00:27
      ARRAY SPACE IN USE =600000

1

===== ODD PARTICLE(S) =====

      K   2J     PEN     VSQ
      1   5+     0.000   0.8090
      2   7+     0.000   0.0448
      3   9-     0.000   0.2000

== BOSON - FERMION COUPLING ==
YOUR CHOICE : ILEV = 4

      BFQ= 0.1500 , CHI= 0.831
      BFE= 0.2008 , BFE1= 0.0000 , BFE2= 0.0000 , BFT= 0.0000
      BFM= 0.0000

      ---- DERIVED VALUES ----

      BETA=-0.5807,-0.2930,-0.3602, 0.0000, 0.0000,-0.7857,
      BETAD=-0.5807 -0.2930 -0.3602 0.0000 0.0000 -0.7857
      BFQJ= 0.0685,-0.0107,-0.1189, 0.0000, 0.0000,-0.0884,
```

BFMJ= 0.0000, 0.0000, 0.0000,

- - - - -
PSS = 0.0000, 0.0000, 0.0000,
PDD0= 0.0310, 0.0137, 0.0351,

PSD(N)= -0.1531 0.0239 0.2658 0.0000 0.0000 0.1976
PDS(N)= -0.1531 0.0239 0.2658 0.0000 0.0000 0.1976

N = 1 2 3 4 5 6
1,1 2,1 2,2 3,1 3,2 3,3
PDD(1,N)= -0.0658 0.0128 -0.0415 0.0000 0.0000 -0.0579
PDD(2,N)= -0.4111 -0.0215 0.4635 0.0000 0.0000 0.1867
PDD(3,N)= 0.1528 0.0751 0.0829 0.0000 0.0000 0.1722
PDD(4,N)= 0.1708 0.1719 0.0087 0.0000 0.0000 0.3382

==== CORE PARAMETERS =====

TOTAL NUMBER OF BOSONS = 11
TRUNCATION AT ND = 11

MULTIPOLE EXPANTION :

EPS= 0.0000 , PAIR= 0.0002 , ELL= 0.0110
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0009 , HEX= 0.0000
CHQ=-2.9580

=====
1

BINDING ENERGY = -0.8449

ENERGIES , L= 1/2+
0.3166 0.4414 0.5098 0.5508 0.5670 0.5706 0.6260 0.6585
0.6751 0.6858 0.6975 0.7291 0.7348 0.7375 0.7982

ENERGIES , L= 3/2+
0.1361 0.2658 0.3402 0.3821 0.3961 0.4690 0.5084 0.5262
0.5767 0.5927 0.6011 0.6122 0.6421 0.6449 0.6483

ENERGIES , L= 5/2+
0.1712 0.3031 0.3775 0.4317 0.4377 0.5080 0.5113 0.5550
0.5601 0.5691 0.5759 0.5966 0.6076 0.6346 0.6374

ENERGIES , L= 7/2+
0.0000 0.1332 0.2190 0.2587 0.2668 0.3517 0.3870 0.4002
0.4284 0.4789 0.4870 0.5164 0.5226 0.5344 0.5626

ENERGIES , L= 9/2+
0.0591 0.1937 0.2805 0.3270 0.3317 0.4159 0.4620 0.4696
0.4934 0.5527 0.5601 0.5691 0.6015 0.6116 0.6190

ENERGIES , L=11/2+
0.1307 0.1713 0.2665 0.3036 0.3537 0.4010 0.4062 0.4334
0.4392 0.4892 0.5337 0.5428 0.5699 0.5702 0.5794

ENERGIES , L=13/2+
0.2147 0.2627 0.3518 0.3993 0.4411 0.4897 0.5000 0.5386
0.5533 0.5804 0.6303 0.6432 0.6609 0.6754 0.6851

ENERGIES , L= 1/2-
0.6231 0.7161 0.7949 0.8113 0.8643 0.8947 0.9050 0.9159
0.9453 0.9844 0.9854 1.0023 1.0114 1.0262 1.0392

ENERGIES , L= 3/2-
0.6462 0.7394 0.7527 0.7889 0.8135 0.8185 0.8238 0.8401
0.8565 0.8725 0.8845 0.8890 0.8932 0.9076 0.9163

ENERGIES , L= 5/2-
0.4923 0.5858 0.6536 0.6786 0.6850 0.7498 0.7700 0.7792
0.7819 0.8210 0.8397 0.8443 0.8488 0.8507 0.8554

ENERGIES , L= 7/2-
0.5384 0.6337 0.6982 0.7110 0.7275 0.7334 0.7393 0.7668
0.7900 0.7955 0.8025 0.8179 0.8311 0.8322 0.8354

ENERGIES , L= 9/2-
0.4015 0.4971 0.5654 0.5918 0.5978 0.6584 0.6851 0.6940
0.7292 0.7519 0.7538 0.7740 0.7802 0.7875 0.7906

ENERGIES , L=11/2-
0.4684 0.5646 0.6423 0.6599 0.6728 0.7386 0.7530 0.7703
0.7771 0.8104 0.8194 0.8221 0.8297 0.8377 0.8503

ENERGIES , L=13/2-
0.5198 0.5486 0.6141 0.6454 0.6809 0.7077 0.7285 0.7408
0.7638 0.7750 0.8001 0.8249 0.8326 0.8492 0.8630

¹⁵⁴Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları PHINT ⁽¹¹⁾ program verileri

```

&IOFILES
  OUTPUT  = Gd154B.out           ,
  PHWAVE  = Gd158.WAV           ,
  TAPE3   = ../TAPE3.CFP
/
  FBEM, run on 14/ 1/2009 , started at 16:11:48.296 -----
-----
1          PROGRAM FBEM
          VERSION FEBRUARY 1987

          ***** INPUT CARD IMAGES
          *****

          Gd 154
          $INPT E2SD=0.1321,E2DD=-0.1410,E1QE3=0,E1DF=1.$
          SLCT 2 2+ 0+
          SLCT 2 2+ 2+
          SLCT 2 6+ 2+
          SLCT 1 2+ 2+
          SLCT 1 6+ 2+
          SLCT 1 1- 0+

          ONLY 1 1- 0+

          $ RUN THEOIBAP:FBEM
          TEST CASE
          $INPT E2SD=0.1433 $
          SLCT 2 2+ 0+
          !$ DEASSIGN PHWAVE

          *****
          *****
          RUN ON =14-JAN-09 , STARTED AT =16:11:48

          158 Gd
          SD EQUALS SF
          TOTAL NUMBER OF BOSONS = 12
          TRUNCATION AT ND = 12

          MULTIPOLE EXPANTION :
          EPS= 0.0100 , PAIR= 0.0045 , ELL= 0.0155
          QQ =-0.0296 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0001
          CHQ=-0.9010

          CH1 = 0.00450 , CH2 =-0.02960 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 ,
          FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000
          RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 ,
          CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000

          2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+_2+ INTER. I 2+_3- INTER. ONE PHONON
          TWO PHONON F3 (S+F+DF)
          0.11420 0.00000 0 -0.07351 1 0.00000 0.02667
          -0.03812 0.00000
          2 -0.04496 2 0.00000
          4 0.06064 3 0.00000

```

4 0.00000
 5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.1321 E2DD = -0.1410 TRNSV = 1.000 M3DD =
 1.0000 E4DD = 1.0000
 M1 = 1.0000 M1N = 0.0000 M1ND = 0.0000 M1E2 =
 0.0000 E0 = 1.0000
 0.0000 E1DF = 1.0000 E1SD = 0.0000 E1DD =
 0.0000 E1D4F= 0.0000 E1QE3 = 0.0000
 0.0000 M2DF = 1.0000 M2SD = 0.0000 M2DD =
 0.0000
 E3 = 1.0000 E3DF = 1.0000 E3SD = 0.0000 E3DD =
 0.0000
 0.0000 M4DF = 1.0000 M4SD = 0.0000 M4DD =
 0.0000
 0.0000 E5DF = 1.0000 E5SD = 0.0000 E5DD =
 0.0000

2+(1)=> 0+(1)BE2= 0.7416 /;/ 2+(1)=> 0+(2)BE2= 0.0011 /;/
 2+(1)=> 0+(3)BE2= 0.0000 /;/ 2+(1)=> 0+(4)BE2= 0.0000 /;/
 2+(2)=> 0+(1)BE2= 0.0250 /;/ 2+(2)=> 0+(2)BE2= 0.0563 /;/
 2+(2)=> 0+(3)BE2= 0.0007 /;/ 2+(2)=> 0+(4)BE2= 0.0005 /;/
 2+(3)=> 0+(1)BE2= 0.0008 /;/ 2+(3)=> 0+(2)BE2= 0.5068 /;/
 2+(3)=> 0+(3)BE2= 0.0046 /;/ 2+(3)=> 0+(4)BE2= 0.0038 /;/
 2+(4)=> 0+(1)BE2= 0.0000 /;/ 2+(4)=> 0+(2)BE2= 0.0254 /;/
 2+(4)=> 0+(3)BE2= 0.0992 /;/ 2+(4)=> 0+(4)BE2= 0.1118 /;/

4+(1)=> 2+(1)BE2= 1.0503 /;/ 4+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0027 /;/
 4+(1)=> 2+(3)BE2= 0.0017 /;/ 4+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
 4+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0060 /;/ 4+(2)=> 2+(2)BE2= 0.3834 /;/
 4+(2)=> 2+(3)BE2= 0.0459 /;/ 4+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0029 /;/
 4+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0001 /;/ 4+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0572 /;/
 4+(3)=> 2+(3)BE2= 0.0535 /;/ 4+(3)=> 2+(4)BE2= 0.1038 /;/
 4+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0006 /;/ 4+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0031 /;/
 4+(4)=> 2+(3)BE2= 0.6540 /;/ 4+(4)=> 2+(4)BE2= 0.0026 /;/

6+(1)=> 4+(1)BE2= 1.1361 /;/ 6+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0071 /;/
 6+(1)=> 4+(3)BE2= 0.0002 /;/ 6+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0018 /;/
 6+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0017 /;/ 6+(2)=> 4+(2)BE2= 0.7325 /;/
 6+(2)=> 4+(3)BE2= 0.0036 /;/ 6+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0333 /;/
 6+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0002 /;/ 6+(3)=> 4+(2)BE2= 0.0048 /;/
 6+(3)=> 4+(3)BE2= 0.3003 /;/ 6+(3)=> 4+(4)BE2= 0.1209 /;/
 6+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0003 /;/ 6+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0026 /;/
 6+(4)=> 4+(3)BE2= 0.0030 /;/ 6+(4)=> 4+(4)BE2= 0.5953 /;/

8+(1)=> 6+(1)BE2= 1.1528 /;/ 8+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0093 /;/
 8+(1)=> 6+(3)BE2= 0.0008 /;/ 8+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0012 /;/
 8+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0003 /;/ 8+(2)=> 6+(2)BE2= 0.8518 /;/
 8+(2)=> 6+(3)BE2= 0.0135 /;/ 8+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0159 /;/

$8+(3) \Rightarrow 6+(1)BE2 = 0.0001 //$ $8+(3) \Rightarrow 6+(2)BE2 = 0.0002 //$
 $8+(3) \Rightarrow 6+(3)BE2 = 0.5875 //$ $8+(3) \Rightarrow 6+(4)BE2 = 0.0329 //$
 $8+(4) \Rightarrow 6+(1)BE2 = 0.0001 //$ $8+(4) \Rightarrow 6+(2)BE2 = 0.0009 //$
 $8+(4) \Rightarrow 6+(3)BE2 = 0.0000 //$ $8+(4) \Rightarrow 6+(4)BE2 = 0.6248 //$

$2+(1) \Rightarrow 2+(1)BE2 = 1.0308 //$ $2+(1) \Rightarrow 2+(2)BE2 = 0.0589 //$
 $2+(1) \Rightarrow 2+(3)BE2 = 0.0006 //$ $2+(1) \Rightarrow 2+(4)BE2 = 0.0002 //$
 $2+(2) \Rightarrow 2+(1)BE2 = 0.0589 //$ $2+(2) \Rightarrow 2+(2)BE2 = 0.8644 //$
 $2+(2) \Rightarrow 2+(3)BE2 = 0.0206 //$ $2+(2) \Rightarrow 2+(4)BE2 = 0.0028 //$
 $2+(3) \Rightarrow 2+(1)BE2 = 0.0006 //$ $2+(3) \Rightarrow 2+(2)BE2 = 0.0206 //$
 $2+(3) \Rightarrow 2+(3)BE2 = 0.4791 //$ $2+(3) \Rightarrow 2+(4)BE2 = 0.3157 //$
 $2+(4) \Rightarrow 2+(1)BE2 = 0.0002 //$ $2+(4) \Rightarrow 2+(2)BE2 = 0.0028 //$
 $2+(4) \Rightarrow 2+(3)BE2 = 0.3157 //$ $2+(4) \Rightarrow 2+(4)BE2 = 0.3638 //$

$4+(1) \Rightarrow 4+(1)BE2 = 0.8764 //$ $4+(1) \Rightarrow 4+(2)BE2 = 0.0668 //$
 $4+(1) \Rightarrow 4+(3)BE2 = 0.0000 //$ $4+(1) \Rightarrow 4+(4)BE2 = 0.0002 //$
 $4+(2) \Rightarrow 4+(1)BE2 = 0.0668 //$ $4+(2) \Rightarrow 4+(2)BE2 = 0.0807 //$
 $4+(2) \Rightarrow 4+(3)BE2 = 0.0793 //$ $4+(2) \Rightarrow 4+(4)BE2 = 0.0163 //$
 $4+(3) \Rightarrow 4+(1)BE2 = 0.0000 //$ $4+(3) \Rightarrow 4+(2)BE2 = 0.0793 //$
 $4+(3) \Rightarrow 4+(3)BE2 = 0.9431 //$ $4+(3) \Rightarrow 4+(4)BE2 = 0.1222 //$
 $4+(4) \Rightarrow 4+(1)BE2 = 0.0002 //$ $4+(4) \Rightarrow 4+(2)BE2 = 0.0163 //$
 $4+(4) \Rightarrow 4+(3)BE2 = 0.1222 //$ $4+(4) \Rightarrow 4+(4)BE2 = 0.2932 //$

$6+(1) \Rightarrow 6+(1)BE2 = 0.7836 //$ $6+(1) \Rightarrow 6+(2)BE2 = 0.0636 //$
 $6+(1) \Rightarrow 6+(3)BE2 = 0.0001 //$ $6+(1) \Rightarrow 6+(4)BE2 = 0.0001 //$
 $6+(2) \Rightarrow 6+(1)BE2 = 0.0636 //$ $6+(2) \Rightarrow 6+(2)BE2 = 0.2234 //$
 $6+(2) \Rightarrow 6+(3)BE2 = 0.1247 //$ $6+(2) \Rightarrow 6+(4)BE2 = 0.0004 //$
 $6+(3) \Rightarrow 6+(1)BE2 = 0.0001 //$ $6+(3) \Rightarrow 6+(2)BE2 = 0.1247 //$
 $6+(3) \Rightarrow 6+(3)BE2 = 0.0103 //$ $6+(3) \Rightarrow 6+(4)BE2 = 0.1005 //$
 $6+(4) \Rightarrow 6+(1)BE2 = 0.0001 //$ $6+(4) \Rightarrow 6+(2)BE2 = 0.0004 //$
 $6+(4) \Rightarrow 6+(3)BE2 = 0.1005 //$ $6+(4) \Rightarrow 6+(4)BE2 = 0.1884 //$

$8+(1) \Rightarrow 8+(1)BE2 = 0.6961 //$ $8+(1) \Rightarrow 8+(2)BE2 = 0.0587 //$
 $8+(1) \Rightarrow 8+(3)BE2 = 0.0001 //$ $8+(1) \Rightarrow 8+(4)BE2 = 0.0001 //$
 $8+(2) \Rightarrow 8+(1)BE2 = 0.0587 //$ $8+(2) \Rightarrow 8+(2)BE2 = 0.2466 //$
 $8+(2) \Rightarrow 8+(3)BE2 = 0.1243 //$ $8+(2) \Rightarrow 8+(4)BE2 = 0.0007 //$
 $8+(3) \Rightarrow 8+(1)BE2 = 0.0001 //$ $8+(3) \Rightarrow 8+(2)BE2 = 0.1243 //$
 $8+(3) \Rightarrow 8+(3)BE2 = 0.0125 //$ $8+(3) \Rightarrow 8+(4)BE2 = 0.0557 //$
 $8+(4) \Rightarrow 8+(1)BE2 = 0.0001 //$ $8+(4) \Rightarrow 8+(2)BE2 = 0.0007 //$
 $8+(4) \Rightarrow 8+(3)BE2 = 0.0557 //$ $8+(4) \Rightarrow 8+(4)BE2 = 0.2045 //$

¹⁵⁶Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları PHINT ⁽¹¹⁾ program verileri

```

&IOFILES
  OUTPUT  = Gd156B.out           ,
  PHWAVE  = Gd158.WAV           ,
  TAPE3   = ../TAPE3.CFP
/
  FBEM, run on 7/ 1/2009 , started at 14:29:21.390 -----
-----
1      PROGRAM FBEM
      VERSION FEBRUARY 1987

      ***** INPUT CARD IMAGES
      *****

      Gd 156
      $INPT E2SD=0.150, E2DD=-0.1320,E1QE3=0, E1DF=1. $
      SLCT 2 2+ 0+
      SLCT 2 2+ 2+
      SLCT 2 6+ 2+
      SLCT 1 2+ 2+
      SLCT 1 6+ 2+
      SLCT 1 1- 0+

      ONLY 1 1- 0+

      $ RUN THEOIBAP:FBEM
      TEST CASE
      $INPT E2SD=0.1433 $
      SLCT 2 2+ 0+
      !$ DEASSIGN PHWAVE

*****
*****
      RUN ON =07-JAN-09 , STARTED AT =14:29:21

158 Gd
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 12
      TRUNCATION AT ND = 12

MULTIPOLE EXPANTION :
      EPS= 0.0100 , PAIR= 0.0045 , ELL= 0.0155
      QQ =-0.0296 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0001
      CHQ=-0.9010

      CH1 = 0.00450 , CH2 =-0.02960 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 ,
      FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000
      RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 ,
      CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000

      2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+_2+ INTER. I 2+_3- INTER. ONE PHONON
      TWO PHONON F3 (S+F+DF)
      0.11420 0.00000 0 -0.07351 1 0.00000 0.02667
      -0.03812 0.00000
      2 -0.04496 2 0.00000
      4 0.06064 3 0.00000

```

4 0.00000
 5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.1500 E2DD = -0.1320 TRNSV = 1.000 M3DD =
 1.0000 E4DD = 1.0000
 M1 = 1.0000 M1N = 0.0000 M1ND = 0.0000 M1E2 =
 0.0000 E0 = 1.0000
 0.0000 E1DF = 1.0000 E1SD = 0.0000 E1DD =
 0.0000 E1D4F= 0.0000 E1QE3 = 0.0000
 0.0000 M2DF = 1.0000 M2SD = 0.0000 M2DD =
 0.0000
 E3 = 1.0000 E3DF = 1.0000 E3SD = 0.0000 E3DD =
 0.0000
 0.0000 M4DF = 1.0000 M4SD = 0.0000 M4DD =
 0.0000
 0.0000 E5DF = 1.0000 E5SD = 0.0000 E5DD =
 0.0000

2+(1)=> 0+(1)BE2= 0.9208 /;/ 2+(1)=> 0+(2)BE2= 0.0011 /;/
 2+(1)=> 0+(3)BE2= 0.0000 /;/ 2+(1)=> 0+(4)BE2= 0.0000 /;/
 2+(2)=> 0+(1)BE2= 0.0369 /;/ 2+(2)=> 0+(2)BE2= 0.0772 /;/
 2+(2)=> 0+(3)BE2= 0.0014 /;/ 2+(2)=> 0+(4)BE2= 0.0008 /;/
 2+(3)=> 0+(1)BE2= 0.0009 /;/ 2+(3)=> 0+(2)BE2= 0.6412 /;/
 2+(3)=> 0+(3)BE2= 0.0049 /;/ 2+(3)=> 0+(4)BE2= 0.0039 /;/
 2+(4)=> 0+(1)BE2= 0.0001 /;/ 2+(4)=> 0+(2)BE2= 0.0386 /;/
 2+(4)=> 0+(3)BE2= 0.1254 /;/ 2+(4)=> 0+(4)BE2= 0.1494 /;/

4+(1)=> 2+(1)BE2= 1.3047 /;/ 4+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0038 /;/
 4+(1)=> 2+(3)BE2= 0.0016 /;/ 4+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
 4+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0096 /;/ 4+(2)=> 2+(2)BE2= 0.4839 /;/
 4+(2)=> 2+(3)BE2= 0.0620 /;/ 4+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0030 /;/
 4+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0001 /;/ 4+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0849 /;/
 4+(3)=> 2+(3)BE2= 0.0686 /;/ 4+(3)=> 2+(4)BE2= 0.1395 /;/
 4+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0006 /;/ 4+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0043 /;/
 4+(4)=> 2+(3)BE2= 0.8237 /;/ 4+(4)=> 2+(4)BE2= 0.0027 /;/

6+(1)=> 4+(1)BE2= 1.4121 /;/ 6+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0104 /;/
 6+(1)=> 4+(3)BE2= 0.0002 /;/ 6+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0017 /;/
 6+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0030 /;/ 6+(2)=> 4+(2)BE2= 0.9238 /;/
 6+(2)=> 4+(3)BE2= 0.0054 /;/ 6+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0448 /;/
 6+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0002 /;/ 6+(3)=> 4+(2)BE2= 0.0086 /;/
 6+(3)=> 4+(3)BE2= 0.3925 /;/ 6+(3)=> 4+(4)BE2= 0.1514 /;/
 6+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0003 /;/ 6+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0038 /;/
 6+(4)=> 4+(3)BE2= 0.0043 /;/ 6+(4)=> 4+(4)BE2= 0.7487 /;/

8+(1)=> 6+(1)BE2= 1.4341 /;/ 8+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0139 /;/
 8+(1)=> 6+(3)BE2= 0.0009 /;/ 8+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0012 /;/
 8+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0008 /;/ 8+(2)=> 6+(2)BE2= 1.0749 /;/
 8+(2)=> 6+(3)BE2= 0.0201 /;/ 8+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0207 /;/

8+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0002 /;/ 8+(3)=> 6+(2)BE2= 0.0008 /;/
8+(3)=> 6+(3)BE2= 0.7576 /;/ 8+(3)=> 6+(4)BE2= 0.0397 /;/
8+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0001 /;/ 8+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0013 /;/
8+(4)=> 6+(3)BE2= 0.0001 /;/ 8+(4)=> 6+(4)BE2= 0.7862 /;/

2+(1)=> 2+(1)BE2= 1.2759 /;/ 2+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0841 /;/
2+(1)=> 2+(3)BE2= 0.0005 /;/ 2+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0003 /;/
2+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0841 /;/ 2+(2)=> 2+(2)BE2= 1.0842 /;/
2+(2)=> 2+(3)BE2= 0.0306 /;/ 2+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0029 /;/
2+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0005 /;/ 2+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0306 /;/
2+(3)=> 2+(3)BE2= 0.5906 /;/ 2+(3)=> 2+(4)BE2= 0.4171 /;/
2+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0003 /;/ 2+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0029 /;/
2+(4)=> 2+(3)BE2= 0.4171 /;/ 2+(4)=> 2+(4)BE2= 0.4654 /;/

4+(1)=> 4+(1)BE2= 1.0766 /;/ 4+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0950 /;/
4+(1)=> 4+(3)BE2= 0.0001 /;/ 4+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0001 /;/
4+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0950 /;/ 4+(2)=> 4+(2)BE2= 0.0981 /;/
4+(2)=> 4+(3)BE2= 0.1089 /;/ 4+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0231 /;/
4+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0001 /;/ 4+(3)=> 4+(2)BE2= 0.1089 /;/
4+(3)=> 4+(3)BE2= 1.1966 /;/ 4+(3)=> 4+(4)BE2= 0.1505 /;/
4+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0001 /;/ 4+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0231 /;/
4+(4)=> 4+(3)BE2= 0.1505 /;/ 4+(4)=> 4+(4)BE2= 0.3538 /;/

6+(1)=> 6+(1)BE2= 0.9522 /;/ 6+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0899 /;/
6+(1)=> 6+(3)BE2= 0.0001 /;/ 6+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
6+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0899 /;/ 6+(2)=> 6+(2)BE2= 0.2675 /;/
6+(2)=> 6+(3)BE2= 0.1707 /;/ 6+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0005 /;/
6+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0001 /;/ 6+(3)=> 6+(2)BE2= 0.1707 /;/
6+(3)=> 6+(3)BE2= 0.0158 /;/ 6+(3)=> 6+(4)BE2= 0.1215 /;/
6+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0005 /;/
6+(4)=> 6+(3)BE2= 0.1215 /;/ 6+(4)=> 6+(4)BE2= 0.2226 /;/

8+(1)=> 8+(1)BE2= 0.8341 /;/ 8+(1)=> 8+(2)BE2= 0.0825 /;/
8+(1)=> 8+(3)BE2= 0.0003 /;/ 8+(1)=> 8+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(2)=> 8+(1)BE2= 0.0825 /;/ 8+(2)=> 8+(2)BE2= 0.2883 /;/
8+(2)=> 8+(3)BE2= 0.1689 /;/ 8+(2)=> 8+(4)BE2= 0.0011 /;/
8+(3)=> 8+(1)BE2= 0.0003 /;/ 8+(3)=> 8+(2)BE2= 0.1689 /;/
8+(3)=> 8+(3)BE2= 0.0110 /;/ 8+(3)=> 8+(4)BE2= 0.0668 /;/
8+(4)=> 8+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 8+(2)BE2= 0.0011 /;/
8+(4)=> 8+(3)BE2= 0.0668 /;/ 8+(4)=> 8+(4)BE2= 0.2355 /;/

¹⁵⁵Eu izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları ODDA ⁽¹¹⁾ program verileri

```
&IOFILES
  OUTPUT = EU155BP.out           ,
  PWAVE  = EU155P.WAV           ,
  TAPE3  = ../TAPE3.CFP
/
  PBEM, run on 20/ 1/2009 , started at 10: 0:29.140 -----
-----
1      PROGRAM PBEM
      VERSION OCTOBER 1988

      ***** INPUT CARD IMAGES
      *****

      TEST CASE
      $INPT NTRN=10,E2SD=0.5 , NOP=5 , EFF=1. ,GD=1. , GL=1. ,
GS=4. $
      SLCT 2 7+  5+ 1
      SLCT 2 3+  5+ 1
      SLCT 2 3+  7+ 1
      SLCT 2 5+  5+ 1
      echo SLCT 2 3+  1+ 1
      echo SLCT 2 5+  1+ 1
      echo SLCT 1 1-  1+ 1
      echo SLCT 1 3+  1+ 1
      999999

      *****
      *****
      RUN ON =20-JAN-09 , STARTED AT =10:00:29
1

      ===== ODD PARTICLE(S) =====

      K   2J      PEN      VSQ
      1   5+      0.000    0.8090
      2   7+      0.000    0.0448
      3   9-      0.000    0.2000

      == BOSON - FERMION COUPLING ==
      YOUR CHOICE : ILEV = 4

      BFQ= 0.1500 , CHI= 0.831
      BFE= 0.2008 , BFE1= 0.0000 , BFE2= 0.0000 , BFT= 0.0000
      BFM= 0.0000

      ===== CORE PARAMETERS =====

      TOTAL NUMBER OF BOSONS = 11
      TRUNCATION AT ND = 11

      MULTIPOLE EXPANTION :

      EPS= 0.0000 , PAIR= 0.0002 , ELL= 0.0110
      QQ = 0.0000 , OCT = 0.0009 , HEX= 0.0000
      CHQ=-2.9580

      =====
```

1

0 TRANSITION RATES
 E2SD = 0.5000 E2DD = -1.4790 , EFF= 1.0000 , GD= 1.0000 ,
 GL= 1.0000 , GS= 4.0000
 M1= 0.0000 , M1ND= 0.0000 , M1E2= 0.0000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 2.676 2.676 -3.270 0.000 -2.111 0.000 0.000 -3.228 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.500 -1.479 -0.739 -0.302 -0.871 0.000 0.000 -0.982 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VALUES ARE DEVIDED BY (2*I+1) I=L INITIAL

0 INIT TO FINAL BEM 2 AND MATRIX ELEMENTS

7+(1)	5+(1)	1.5597	3.8531	-1.0864	-0.0003	-0.0108
0.0051						
7+(1)	5+(2)	0.0028	0.0586	-0.0807	0.0000	-0.0015
-0.0007						
7+(1)	5+(3)	0.0000	-0.0054	-0.0010	-0.0004	0.0005
0.0018						
7+(1)	5+(4)	0.0000	0.0054	-0.0112	0.0001	-0.0014
0.0022						
7+(2)	5+(1)	0.0001	-0.8675	-0.3094	0.0001	-0.0080
-0.0058						
7+(2)	5+(2)	1.3409	3.4519	-1.0455	-0.0004	-0.0128
0.0013						
7+(2)	5+(3)	0.0000	0.0107	0.0031	0.0003	0.0015
-0.0034						
7+(2)	5+(4)	0.0006	-0.0078	0.0437	0.0000	0.0039
-0.0022						
7+(3)	5+(1)	1.8489	-13.5093	-1.5080	0.0005	0.0021
-0.7804						
7+(3)	5+(2)	0.1060	0.2395	-0.5392	-0.0001	-0.0026
-0.0032						
7+(3)	5+(3)	2.9172	-5.6940	1.3613	0.0008	0.0205
-0.0417						
7+(3)	5+(4)	0.0013	-0.3121	-0.1781	-0.0005	-0.0018
0.0059						
7+(4)	5+(1)	1.6421	5.2282	-0.7493	0.0000	0.0155
0.1071						
7+(4)	5+(2)	0.0021	-1.2114	-0.3217	0.0003	-0.0108
0.0039						
7+(4)	5+(3)	0.0005	0.0685	-0.0311	-0.0003	0.0119
0.0149						
7+(4)	5+(4)	1.7761	-4.1635	1.1272	0.0014	0.0092
0.0192						

0 INIT TO FINAL BEM 2 AND MATRIX ELEMENTS

3+(1)	5+(1)	5.6686	15.4755	1.5367	-0.0004	-0.0060
0.8102						
3+(1)	5+(2)	0.2662	-0.5915	0.5009	-0.0002	0.0031
-0.0063						
3+(1)	5+(3)	1.2183	-2.3043	0.7089	0.0004	0.0079
0.0049						
3+(1)	5+(4)	0.0009	0.3879	0.0976	-0.0004	0.0041
-0.0148						
3+(2)	5+(1)	0.2474	-0.2900	0.5676	-0.0001	0.0004
0.0119						
3+(2)	5+(2)	2.7675	12.5281	1.5097	-0.0007	-0.0089
0.8123						
3+(2)	5+(3)	0.0118	0.2737	0.2407	-0.0002	0.0088
-0.0055						
3+(2)	5+(4)	0.1472	0.6799	-0.3001	0.0007	-0.0090
0.0214						
3+(3)	5+(1)	4.5477	5.0192	-1.2051	-0.0003	-0.0180
0.0374						
3+(3)	5+(2)	0.0237	-1.7752	-0.3615	0.0003	-0.0085
-0.0493						
3+(3)	5+(3)	0.6484	-5.2009	-0.5236	0.0004	-0.0048
-0.2464						
3+(3)	5+(4)	0.4315	-0.6128	0.6293	-0.0014	-0.0123
0.0934						
3+(4)	5+(1)	0.0863	0.0838	-0.3628	0.0001	-0.0022
-0.0096						
3+(4)	5+(2)	0.0010	0.2468	0.1055	-0.0004	-0.0037
0.0351						
3+(4)	5+(3)	1.1754	-3.6679	0.3064	-0.0010	-0.0140
-0.1308						
3+(4)	5+(4)	3.8556	-11.1026	-0.6553	0.0021	0.0193
-0.7607						
0 INIT TO FINAL		BEM 2 AND MATRIX ELEMENTS				
5+(1)	7+(1)	2.0796	-3.8531	1.0864	0.0003	0.0108
-0.0051						
5+(1)	7+(2)	0.0002	0.8675	0.3094	-0.0001	0.0080
0.0058						
5+(1)	7+(3)	2.4652	13.5093	1.5080	-0.0005	-0.0021
0.7804						
5+(1)	7+(4)	2.1894	-5.2282	0.7493	0.0000	-0.0155
-0.1071						
5+(2)	7+(1)	0.0037	-0.0586	0.0807	0.0000	0.0015
0.0007						
5+(2)	7+(2)	1.7879	-3.4519	1.0455	0.0004	0.0128
-0.0013						
5+(2)	7+(3)	0.1413	-0.2395	0.5392	0.0001	0.0026
0.0032						
5+(2)	7+(4)	0.0028	1.2114	0.3217	-0.0003	0.0108
-0.0039						
5+(3)	7+(1)	0.0000	0.0054	0.0010	0.0004	-0.0005
-0.0018						
5+(3)	7+(2)	0.0000	-0.0107	-0.0031	-0.0003	-0.0015
0.0034						

5+(3)	7+(3)	3.8896	5.6940	-1.3613	-0.0008	-0.0205
0.0417						
5+(3)	7+(4)	0.0007	-0.0685	0.0311	0.0003	-0.0119
-0.0149						
5+(4)	7+(1)	0.0001	-0.0054	0.0112	-0.0001	0.0014
-0.0022						
5+(4)	7+(2)	0.0008	0.0078	-0.0437	0.0000	-0.0039
0.0022						
5+(4)	7+(3)	0.0018	0.3121	0.1781	0.0005	0.0018
-0.0059						
5+(4)	7+(4)	2.3681	4.1635	-1.1272	-0.0014	-0.0092
-0.0192						

0 INIT TO FINAL BEM 2 AND MATRIX ELEMENTS

3+(1)	7+(1)	5.4535	-5.2624	1.3900	0.0003	0.0151
-0.0244						
3+(1)	7+(2)	0.0223	1.6031	0.3239	-0.0001	0.0082
0.0242						
3+(1)	7+(3)	4.1344	-12.0239	-0.9784	0.0003	-0.0033
-0.5714						
3+(1)	7+(4)	3.0796	-3.2744	1.2468	-0.0003	-0.0139
0.0378						

3+(2)	7+(1)	0.0124	-0.1040	0.1134	0.0001	0.0013
0.0027						
3+(2)	7+(2)	4.8481	-4.8098	1.3630	0.0004	0.0193
-0.0267						
3+(2)	7+(3)	0.2324	0.5719	-0.4537	-0.0001	0.0023
-0.0090						
3+(2)	7+(4)	0.0228	2.3814	0.5698	-0.0003	0.0076
0.0503						

3+(3)	7+(1)	0.0001	-0.0191	0.0064	-0.0002	-0.0008
0.0019						
3+(3)	7+(2)	0.0012	0.0684	-0.0221	0.0001	0.0014
-0.0033						
3+(3)	7+(3)	1.8708	3.2184	-0.7796	-0.0009	-0.0122
0.0357						
3+(3)	7+(4)	0.0593	0.6231	-0.1290	0.0001	0.0031
0.0163						

3+(4)	7+(1)	0.0006	0.0349	-0.0205	-0.0001	0.0020
-0.0027						
3+(4)	7+(2)	0.0044	-0.0917	0.0558	0.0003	0.0002
0.0042						
3+(4)	7+(3)	0.0332	0.0251	0.2436	0.0000	0.0007
0.0187						
3+(4)	7+(4)	7.8974	-6.7452	1.5513	0.0008	0.0324
-0.0653						

0 INIT TO FINAL BEM 2 AND MATRIX ELEMENTS

5+(1)	5+(1)	0.0803	2.8987	0.4539	-0.0002	0.0087
0.0937						
5+(1)	5+(2)	0.0007	0.0745	0.0678	0.0003	-0.0022
0.0036						

5+(1)	5+(3)	3.1717	4.8714	-1.3042	-0.0013	-0.0173
0.0097						
5+(1)	5+(4)	0.0195	-0.2905	0.1283	0.0011	-0.0037
0.0088						
5+(2)	5+(1)	0.0007	0.0745	0.0678	0.0003	-0.0022
0.0036						
5+(2)	5+(2)	0.0189	2.2033	0.4684	-0.0004	0.0126
0.0785						
5+(2)	5+(3)	0.0021	-1.0799	-0.4332	0.0007	-0.0132
-0.0098						
5+(2)	5+(4)	0.0075	-0.2174	0.0717	-0.0015	0.0079
-0.0041						
5+(3)	5+(1)	3.1717	4.8714	-1.3042	-0.0013	-0.0173
0.0097						
5+(3)	5+(2)	0.0021	-1.0799	-0.4332	0.0007	-0.0132
-0.0098						
5+(3)	5+(3)	1.4714	10.2894	1.0724	-0.0030	-0.0110
0.6811						
5+(3)	5+(4)	1.1275	-3.6758	0.5617	0.0012	-0.0127
-0.0744						
5+(4)	5+(1)	0.0195	-0.2905	0.1283	0.0011	-0.0037
0.0088						
5+(4)	5+(2)	0.0075	-0.2174	0.0717	-0.0015	0.0079
-0.0041						
5+(4)	5+(3)	1.1275	-3.6758	0.5617	0.0012	-0.0127
-0.0744						
5+(4)	5+(4)	0.0658	2.2086	0.2778	-0.0031	0.0414
0.0627						
0 INIT TO FINAL		BEM 2 AND MATRIX ELEMENTS				
7+(1)	7+(1)	4.8694	-22.8508	-2.8441	0.0000	0.0036
-1.1240						
7+(1)	7+(2)	0.3288	0.9214	-0.7854	0.0000	-0.0019
0.0011						
7+(1)	7+(3)	0.5064	-2.0000	0.6792	0.0002	0.0066
0.0070						
7+(1)	7+(4)	0.0006	0.5450	0.1426	-0.0002	0.0006
-0.0065						
7+(2)	7+(1)	0.3288	0.9214	-0.7854	0.0000	-0.0019
0.0011						
7+(2)	7+(2)	2.4320	-19.0216	-2.7792	0.0000	0.0037
-1.1378						
7+(2)	7+(3)	0.0035	0.2540	0.2007	-0.0001	0.0052
-0.0059						
7+(2)	7+(4)	0.0737	0.4848	-0.3550	0.0001	-0.0038
0.0010						
7+(3)	7+(1)	0.5064	-2.0000	0.6792	0.0002	0.0066
0.0070						
7+(3)	7+(2)	0.0035	0.2540	0.2007	-0.0001	0.0052
-0.0059						
7+(3)	7+(3)	0.2338	7.2621	1.3363	-0.0004	-0.0079
0.3326						
7+(3)	7+(4)	1.1797	-5.4284	0.3526	0.0001	-0.0079
-0.1852						

7+(4)	7+(1)	0.0006	0.5450	0.1426	-0.0002	0.0006
-0.0065						
7+(4)	7+(2)	0.0737	0.4848	-0.3550	0.0001	-0.0038
0.0010						
7+(4)	7+(3)	1.1797	-5.4284	0.3526	0.0001	-0.0079
-0.1852						
7+(4)	7+(4)	4.0251	-17.8006	-1.5177	0.0006	0.0147
-1.1325						