

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS

¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd İZOTOPLARININ
ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİ VE 0⁺ ENERJİ DÜZEYLERİNİN
ETKİLEŞEN BOZON MODELİ İLE İNCELENMESİ

ÜMİT ERDEM

HAZİRAN 2007

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

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.D. Mehmet ZENGİN

Prof. Dr. İhsan ULUER

Doç. Dr. Şerafettin EREL

.....

.....

ÖZET

¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd İZOTOPLARININ ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİ
VE 0⁺ ENERJİ DÜZEYLERİNİN
ETKİLEŞEN BOZON MODELİ İLE İNCELENMESİ

ERDEM, Ümit

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

FİZİK ANABİLİM DALI, YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN: PROF. DR. İHSAN ULUER

HAZİRAN 2007, 91 sayfa

Bu tez çalışmasında, Deforme olmuş bölgelerde çok sayıda 0⁺ durumları konusunda yakın dönemde yapılan gözlemler, yeni bir pencere açmış ve atom çekirdeğine mikroskobik yaklaşımın önemini ortaya koymuştur. Bir (p,t) deneyinin çeşitli sonuçları, ¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd'de 3,2 MeV'in altında 13 uyarılmış 0⁺ durumu bulunduğunu göstermiştir [4]. Bu veriler, kuramın sorgulanmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada ¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd izotopundaki uyarılmış Kn = 0⁺ durumları, sd-IBM ve df-IBM etkileşimli boson modelleri kullanılarak incelenmiştir. Etkileşimli boson tahminlerinin, bu 0⁺ durumlarının birçoğuna yol açmış olabileceğini gösterdik. Gd izotopunun hesaplanmış enerji tayflarının, deney verileri ile oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Gözlemlenen B (E2) değerleri de hesaplanmış ve deney verileri

ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada deforme bölge başlangıcında bulunan Gd izotoplarından çift-çift 154 ve 158 Gd izotoplarının bazı enerji seviyeleri incelenmiş olup, δ (E2/M1) elektromanyetik çok kutup karışım oranları, nötron ve proton bozonlarının farklı olarak ele alındığı Etkileşen Bozon Modeli-2 (IBM-2) çerçevesinde hesaplandı. Hesaplanan bu değerlerin deneysel verilerle karşılaştırıldığında oldukça uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlendi.

Tezin birinci bölümünde, çift-çift Gd izotoplarına ait önceki çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölümde beta, gama ve oktopol titreşimler ve kuadropol kuvvetleri, çok kutuplu elektromanyetik alan vektörü, etkileşen bozon modeli ile Etkileşen Bozon Modelinin Hamiltoniyeni tanımlanmıştır. Aynı bölümde kutupsal karışım oranlarına ait formülasyonlar ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde 154 ve 158 Gd izotoplarının uyarılmış düzeyleri ve bu düzeylerin geçişlerinin kutupsal karışım oranları hesaplandı. Ve 154 ve 158 Gd izotopunun B(E2) değerleri hesaplandı ve 0^+ halleri incelendi. Ayrıca çift-çift 154 ve 158 Gd izotopları için enerji düzeylerinin PHINT programı yardımıyla teorik değerleri hesaplanmıştır. Dördüncü bölümde, hesaplar daha önce yapılmış deneysel ve teorik çalışmalarla birlikte tablo halinde verilmiştir. Sonuçlar deneysel verilerle ve önceki teorik çalışmalarla karşılaştırılmış, sonuçların, deneysel değerlerle uyumlu oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Etkileşen Bozon Modeli, Sekiz Kutup (Oktupol) Özelliği,

Uyarılmış 0^+ Durumları, Kutupsal Karışım Oranları

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC PROPERTIES AND 0^+ ENERGY LEVELS OF 154 and 158 Gd ISOTOPES BY THE USE OF INTERACTION BOSON MODEL

ERDEM, Ümit

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

SUPERVISOR: PROF. DR. İHSAN ULUER

JUNE 2007, 91 pages

Recent observations of a large number of 0^+ states in heavy deformed regions opened a new window and emphasized the importance of the microscopic approach to the atomic nucleus. Many results of a (p,t) experiment revealed 13 excited 0^+ states below 3.2 MeV in 154 and 158 Gd [4]. Such data provide a challenge to theory. In this work, excited $K\pi = 0^+$ states in 154 and 158 Gd isotope is studied by using the sd-IBM and df-IBM interacting boson models. We showed that the interacting boson approximation may account for many of these 0^+ states. It was found that the calculated energy spectra of the Gd isotope agree quite well with the experimental data. The observed $B(E2)$ values were also calculated and compared with the experimental data. In this study, $\delta(E2/M1)$ multipole mixing ratios of even-

even 154 and 158 Gd isotopes were calculated within Interaction Boson Model in which neutron and proton bosons considered independently. It was seen that the calculated values were in good agreement compared with the experimental ones.

In chapter one, previous work concerning even-even Gd isotopes were summarised. In chapter two the formulations of the pairing forces, quadrupole forces and beta, gamma and octupole vibrations, electromagnetic field vector and Interaction Boson Model and Models Hamiltonien defined. The Hamiltonian for IBM-I were defined in the same chapter. $\delta(E2/M1)$ mixing ratios of the electromagnetic multipole of even-even 154 and 158 Gd isotopes were calculated within Interaction Boson Model-II in chapter three. The excited states of even-even Gd isotopes were investigated and $B(E2)$ values are calculated for 154 and 158 Gd. 0^+ states of even-even 154 and 158 Gd isotopes were investigated. Separately, the energy levels calculated for 154 and 158 Gd isotopes by using PHINT programme code. In chapter four, data obtained in this work and from the previous experimental and teorical studies were presented. The comparison of the results has shown that the results of this work agree with the previous experimental ones.

Key Words : Interacting Boson Approximation, Octupole character, Excited 0^+ states, mixing ratios.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen, engin ilminden istifade ettiğim Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. İhsan ULUER' e; çalışmam boyunca sabırla sorularıma cevap veren, parametrik hesaplamalarda bana yön gösteren, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm, çok değerli hocam Sayın Dr. Harun Reşit YAZAR'A ve Tezimin hazırlanmasında emeği geçen herkese teşekkür eder, şükran ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Beta Gama ve Octupol Titreşimler.....	8
2.3. Çiftlenim Kuvveti, Kuadropol Kuvveti.....	9
2.4. Çok Kutuplu Elektromanyetik Alan Vektörü.....	13
2.5. Etkileşen Bozon Modeli.....	14
2.6. Etkileşen Bozon Modeli Ve Enerji Düzeyleri.....	20
2.7. B (E2) Geçiş Olasılıkları.....	24
2.8. Çok Kutuplu Karışım Oranı.....	26

3. ARAŞTIRMA BULGULARI	29
3.1. ¹⁵⁴ Gd İzotopu.....	32
3.1.1. ¹⁵⁴ Gd İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri.....	33
3.1.2. ¹⁵⁴ Gd İzotopunun Temel Durum Bandları Arası Geçiş Olasılıkları.....	42
3.1.3. ¹⁵⁴ Gd İzotopunun δ (E2/M1) karışım oranı hesabı.....	43
3.2. ¹⁵⁸ Gd İzotopu.....	56
3.2.1. ¹⁵⁸ Gd İzotopundaki Bazı Enerji Seviyeleri.....	57
3.2.2. ¹⁵⁸ Gd İzotopunun Temel Durum Bandları Arası Geçiş Olasılıkları.....	64
3.2.3. ¹⁵⁸ Gd İzotopunun δ (E2/M1) karışım oranı hesabı.....	65
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	75
KAYNAKLAR	83
EK–1 ¹⁵⁴ Gd izotopu enerji seviyeleri, PHINT program verileri.....	86
EK–2 ¹⁵⁸ Gd izotopu enerji seviyeleri, PHINT program verileri.....	87
EK– 3 http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_adopted.jsp ¹⁵⁴ Gd izotopu enerji seviyeleri verileri.....	88
EK– 4 http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_adopted.jsp ¹⁵⁸ Gd izotopu enerji seviyeleri verileri.....	89
EK– 5 ¹⁵⁴ Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları PHINT program verileri...90	
EK– 6 ¹⁵⁸ Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları PHINT program verileri...91	

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Deforme Çekirdeğin kolektif hareketlerinin temel basit modlarının şematik gösterimi.....	12
3.1.1 ¹⁵⁴ Gd izotopunun enerji bozunum şeması.....	34
3.1.2 ¹⁵⁴ Gd izotopunun enerji band yapısı.....	40
3.2.1 ¹⁵⁸ Gd izotopunun enerji bozunum şeması.....	58
3.2.2 ¹⁵⁸ Gd izotopunun enerji band yapısı.....	63
4.1.1 ¹⁵⁴ Gd izotopunun deneysel ve teorik hesaplanan 0 ⁺ durumları.....	76
4.1.2 ¹⁵⁸ Gd izotopunun deneysel ve teorik hesaplanan 0 ⁺ durumları.....	76
4.2.1 ¹⁵⁴ Gd izotopunun hesaplanmış ve deneysel B(E2) değerleri.....	78
4.2.2 ¹⁵⁸ Gd izotopunun hesaplanmış ve deneysel B(E2) değerleri.....	78
4.3.1 ¹⁵⁴ Gd izotopunun IBM-1 ile hesaplanan deneysel ve teorik enerji Seviyeleri.....	79
4.3.2 ¹⁵⁸ Gd izotopunun IBM-1 ile hesaplanan deneysel ve teorik enerji Seviyeleri.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1	Seçim Kurallarına Göre Mümkün Olan Gama Işınlarının Sınıflandırılması.....	14
3.1.1	^{154}Gd izotopunun band yapısı, spin paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri.....	38
3.1.2	^{154}Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları.....	43
3.1.3	^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranı.....	54
3.1.4	^{154}Gd izotopunun PHINT programı ile hesaplanan teorik enerji değerleri.....	55
3.2.1	^{158}Gd izotopunun band yapısı, spin paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri.....	61
3.2.2	^{158}Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları.....	65
3.2.3	^{158}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranı.....	73
3.2.4	^{158}Gd izotopunun PHINT programı ile hesaplanan teorik enerji değerleri.....	74
4.1.1	^{154}Gd izotopunun hesaplanmış ve deneysel δ (E2/M1) değerleri....	81
4.1.2	^{158}Gd izotopunun hesaplanmış ve deneysel δ (E2/M1) değerleri....	82

1. GİRİŞ

0^+ hallerinin özellikleri, çift çift deforme çekirdeklerde önemli araştırma konularından birisidir. Bu 0^+ hallerinin özellikleri ile çekirdeğin yapısının belirlenebilmesi amaçlı birçok nükleer model ortaya atılmıştır. Özellikle düşük uyarılma düzeyleri, başlı başına bir araştırma konusu haline gelmiştir. Son zamanlarda yapılan (p,t) deneylerinde 154 ve 158 Gd çekirdeklerinin çok sayıda gözlemlenebilir 0^+ duruma sahip olması, bu alanda yeni araştırmalar yapılmasına yol açmıştır. Bu nedenle, çok sayıdaki 0^+ durumlarının kaynağının araştırılması oldukça önem taşımaktadır. Son zamanlarda deforme çekirdeklerde 0^+ uyarılmaları üzerine birçok teorik çalışma yapılmış olmasına karşın, 154 ve 158 Gd çekirdeklerinin ~ 3 MeV'e kadar olan 0^+ durumlarının kaynağı konusunda yeterince bir araştırma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, 154 ve 158 Gd çekirdeklerinin 0^+ uyarılmalarının araştırılması, gözlemlenebilir 0^+ durumlarının kaynağının incelenmesi ve tanımlanması amacıyla 154 ve 158 Gd çekirdeklerini inceledik. Etkileşen Boson Model (IBM) çerçevesinde sd- ve df-IBM Hamiltonyen matrisini oluşturduk. Böylece, ilgili çekirdeğin 0^+ uyarılma enerjilerini ve geçiş olasılıklarını hesapladık.

1.1. Önceki Çalışmalar

M.GERÇEKLİOĞLU: Sadece tek kutuplu eşleme kullanarak PPQ modeli çerçevesinde 0^+ hallerinin dağılımları ve özellikleri hakkında çalışma yaptı.

SUN VE ARKADAŞLARI: Tamm-Dancoff yaklaşımı kullanılarak öngörülen Kovan modeli yardımıyla ^{158}Gd deki 0^+ hallerinin incelemesini yaptılar.

IUDICE VE ARKADAŞLARI: Tek kutup ve dört kutuplu eşlemeyi içeren QPM yi kullanarak ^{158}Gd deki 0^+ hallerinin incelemesini yaptılar.

S.R.LESHER: İki fononlu sekiz kutuplu model kullanarak deki 0^+ hallerinin incelemesini yaptı.

M.GERÇEKLİOĞLU: Nükleer Hamiltoniyen çözümünün np etkileşimi ile meydana geleceğini gösterip, QRPA modeli ile 0^+ hallerinin incelemesini yaptı.

M.GERÇEKLİOĞLU: 0^+ hallerini PPQ modeli çerçevesinde RPA ile incelenmesini yaptı.

P.E.GARRET: QPNM ve IBM modeli ile 0^+ hallerinin incelemesini yaptı.

N.V.ZAMFIR: sd-IBM ve spdf-IBM modelleriyle ^{158}Gd deki 0^+ hallerinin incelemesini yaptı. sd-IBM ile 3,1 Mev e kadar 6 seviye, spdf-IBM ile 9–10 seviye belirledi.

N.V.ZAMFIR, D.KUSNEZOV, M.BABILON: IBM modeli çerçevesinde spdf Hamiltoniyeni ile 0^+ hallerinin incelemesini yaptılar.

M.GERÇEKLİOĞLU: 0^+ hallerinin spin-quadropol etkileşimi PPQ modeli çerçevesinde incelemesini yaptı.

A.ARIMA ve F.IACHELLO: $A>152$ Kütle numarasına sahip çift çift çekirdeklerdeki E2/M1 karışım oranlarının hesaplanması üzerinde bir çalışma yapmıştır.

A.ARIMA ve F.IACHELLO: Octupol uyarılmanın tanımlanması IBM modeli çerçevesinde araştırılmış, s(L=0) ve d(L=2) mertebeleri tarafından f(L=3) bozonu serbest tutularak 0^+ hallerinin incelemesini yaptılar.

BRUCE BARRET ve ARKADAŞLARI: sdf-IBA kullanılarak sdf-Hamiltoniyen oluşturuldu.

M.GERÇEKLİOĞLU ve A.E.ÇALIK: BCS teorisi üzerinden Hamiltoniyen için denklem kurularak 0^+ hallerinin incelemesini yaptılar.

YANG SUN, ANI APRAHAMIA ve ARKADAŞLARI: Project Shell Modeli kullanılarak ^{158}Gd için 3 Mev altında 13 seviye buldular.

N.V.ZAMFIR, JING YE ZHANG, R.F.CASTEN: IBM modeli ile sd Hamiltoniyeni kullanılarak 3,2 Mev altında 13 adet 0^+ hali buldular.

1.2. Çalışmanın Amacı

$150 \leq A \leq 190$ deforme bölge başlangıcında olan çift-çift 154 ve ^{158}Gd çekirdeklerinin elektromanyetik geçişlerinin özelliklerinin ve son zamanlarda güncel olan 0^+ enerji düzeylerinin etkileşen bozon modeli ile incelenmesi ve teorik enerji düzeyleri ile $B(E2)$ geçiş olasılıklarının belirlenip, elektromanyetik geçişlerine ait $\delta(E2/M1)$ kutupsal karışım oranlarının hesaplamak ve deneysel verilerle karşılaştırmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Giriş

154 ve 158 Gd çekirdekleri, $150 \leq A \leq 190$ deforme bölgesinin başlangıcındadır. Çekirdekler, gelişmiş bir γ -titreşim bandı karakterine sahiptir. Çekirdeğin yapısını açıklanmak için, çekirdeğin bağlanma enerjisi, enerji düzeyleri arasındaki geçiş olasılıkları, elektrik ve manyetik çok kutupluluk ve diğer gözlemlenebilir özelliklerinin bilinmesi gerekir. Deforme çekirdekte çiftlenme (pairing) ve kuadropol kuvvetleri önemlidir. Bu kuvvetler özellikle doldurulmamış durumlardaki parçacıkları etkiler. Çiftlenme kuvveti (pairing force), çekirdeği bir küresel simetri içinde tutar. Kuadropol yük dağılımı, Kuadropol kuvvete neden olur. Bu kuvvet, çekirdeği deforme duruma götürür. Çiftlenme ve kuadropol kuvvetler arasındaki ilişki, çekirdeğin şeklini belirler.

Son zamanlarda birçok araştırmacı, 154 ve 158 Gd'deki 0^+ durumlarını incelemiştir. Sun ve arkadaşları ^[6] , Tamm-Dancoff tahmini (TDA) çerçevesinde öngörülen Kovan Modelini kullanarak 158 Gd'deki 0^+ uyarılmalarını araştırmışlardır. Iudice ve arkadaşları ^[7] , tek kutup (monople) ve dört kutuplu (quadrupole) çiftlenimi içeren QPM' (Quadropole Plus Monopol)yi dört kutuplu kuvvet terimi ile birlikte kullanmışlardır. Ayrıntılı bir çalışma yaparak enerjiler, E2, E0 geçişleri ve iki nükleon spektroskopik

faktörler dâhil olmak üzere mikroskobik özellikleri 0^+ durumlarının kabuk (shell) ve çoklu-fonon (multiphonon) yapısı ile hesaplamalarını sunmuşlardır. Başka bir araştırma da ^[8], sadece tek kutuplu çiftlenim kullanılarak çiftlenim artı dördü kutup modeli (PPQ – Pariring Plus Quadropole) kullanılarak yapılmıştır. Bu araştırmada 0^+ durumlarının dağılımı ve özelliği konusunda iyi bir açıklama yapılmıştır.

Sonuç olarak yukarıda belirtilen bütün gelişmeler, teorik çalışmalara katkılarda bulunabilecek yeni mikroskobik modellere ve yaklaşımlara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Kuşkusuz, birçok kolektif 0^+ durumları mevcut olabilir ve bu uyarılmaların kaç tanesinin ~ 3 MeV altında olduğunu belirlemek gerekmektedir. Bu araştırmada ¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd izotoplarındaki 0^+ uyarılmalarının özelliklerinin incelenmesi ve davranışlarının araştırılması amacıyla Etkileşen Boson Yaklaşımı (IBA) çerçevesinde sd. ve df. bozon terimlerini de içeren Hamiltonyen modeli kullandık. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, sd-df bozon Hamiltonyen açısından ¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd izotoplarının seviyeleri ve kutupsal karışım oranlarının hesaplanmasıdır.

Yakın geçmişte Münih Üniversitesi MP Tandem hızlandırıcı laboratuvarında Q3D spektrometresi kullanılarak yapılan önemli bir (p, t) deneyi ^[9], ¹⁵⁸Gd'de $\sim 3,2$ MeV'in altında 13 uyarılmış 0^+ durumunun varlığını kanıtlamıştır. Bunların çok azı daha önceden biliniyordu ^[10, 11]. Ancak birçoğu yeni elde edilmiştir. Böylece deforme çekirdekte oldukça düşük enerjilerde çok sayıda 0^+ uyarımı olduğu açıktır.

Etkileşen Bozon Yaklaşımı Nükleer Yapı Modelleri arasında yerini alan ve sürekli genişletilerek teorik alanlarda kullanılan bir model olmuştur. Bu modelde nötron ve protonların çiftlenme eğiliminde olduğu belirtilmekte ve bu nükleon çiftleri bozon (spin açısal momentumu tam sayı değerindeki parçacıklar) olarak tanımlanmaktadır. Arima ve Iachello'nun ^[12] geliştirdikleri bu model, aslında sınırlı sayıda bir etkileşen bozon sisteminden ibaret olan çekirdeğin basit bir tanımıdır.

Model, 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 görünüşleri içerir. Bu limitler bir nükleer şekilden diğerine sürekli bir geçişi tanımlamaktadır. 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 çekirdeklerde ve 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.

2.1. BETA. GAMA VE OKTUPOL TİTREŞİMLER

Kolektif modelde; çekirdeklerin öz uyarılma durumları, sihirli çekirdekler için kabuk modelinin aynısıdır. Kapalı kabuk dışında valans nükleonlar arttıkça potansiyel, nötron deforme biçimi nedeniyle durumlar, kabuk modelindeki yapıdan yararılır. Sihirli sayıda nötron ve protona sahip olan çekirdekler küreseldir. Sihirli çekirdeklere komşu çekirdeklere 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.

Elipsoidal deforme çekirdekteki vibrasyonu olarak adlandırılan hareket, gama parametresinin sıfır değerinde sabit kalarak, β_0 ' nın zamanla değişmesi durumunu verir. Enerji basit titreşim beta titreşimidir ve titreşim halinde aksel simetri korunur. Bu gibi titreşimlerin, simetri ekseni etrafında açısız momentimleri yoktur. Bunun sonucu olarak $K=0$ ve spin paritesi 0^+ , 2^+ , 4^+ ,..... olan durumlar ortaya çıkar. Beta bantları gözleendiğinde bunların 1 MeV civarında oldukları görülür. Genellikle çok küçük uyarımlar gama vibrasyon durumlarıdır. Bu durumda β_0 sabit kalır ve gama simetri ekseni

etrafında titreşir. Bu halde, aksenal simetriden küçük sapmalar olursa da K , hareketin yaklaşık sabitidir. Bu seviyeler için $K=2$ olup, bandın durumları 2^+ , 3^+ , 4^+ , 5^+ ,dır.

Negatif pariteli rotasyonel bandın en düşük enerji seviyesi 1^- dir. Büyük bir olasılıkla bu band, oktopol titreşimlerinden oluşmuştur. Bu titreşimler 3. eksene paralel açısal momentumun, sıfırdan üç birime kadar olan değerine sahip olabilir. $V=0$ modu aksenal simetriye sahip $P_3(\cos\theta)$ formunda bir vibrasyon modudur. Bir armut şeklindedir ve en düşük oktopol vibrasyon enerjisi ile bağlıdır. Bu nükleer seviyeler için $K=0^-$ olup, band durumları 1^- , 2^- , 3^- ... şeklindedir.

2.2. ÇİFTLENİM KUVVETİ, KUADROPOL KUVVETİ

Nükleer fiziğin önemli problemlerinden biri, çekirdeklerdeki nükleonların bir arada tutan nükleonlar arası çekirdeksel kuvvetlerin karakteridir. Bu kuvvetlerin doğası, bugün hala tam olarak bilinmemektedir. Fakat çekirdeklerin bazı özelliklerinin incelenmesinden, bu kuvvetlerin doyma karakteri gösteren kısa menzilli, çok şiddetli çekici özellikte olduğu, nükleonların yüklerine bağımlı olmadığı ancak nükleonların yüklerinin ve spin doğrultularının değiş-tokuş sonucu, değiş-tokuş kuvveti olarak ortaya çıkabildikleri görülmektedir.

Bu sayılan özellikleri, tek cins bir kuvvet tipi ile açıklamak mümkün değildir. Çekirdek davranışlarının da etkin olan kuvvetler arasında, çiftlenim ve kuadropol kuvvetlerinin önemli bir yeri vardır.

Çekirdeklerdeki nükleonları bir arada tutan nükleonlar arası çekirdeksel kuvvetlerin doyma karakteri göstermesi, kısa menzilli ve çok şiddetli çekici özellikte olması, nükleonların yüklerine bağımlı olmaması ve bu yüklerle nükleonların spin doğrultularının değiş tokuşu sonucu, değiş tokuş kuvveti olarak ortaya çıktıkları bilinmektedir. Çekirdek davranışlarında etkin olan kuvvetler arasında, çiftlenim ve kuadropol kuvvetlerinin önemli bir yeri vardır.

Çekirdekte, aynı enerji seviyesindeki iki nükleon arasında karşılıklı spin değiş-tokuş ile ortaya çıkan kısa menzilli kuvvete çiftlenim kuvveti denir. Bu kuvvet özellikle, çekirdeklerin dolmamış kabuklarındaki parçacıkları etkiler. Çiftlenim kuvveti, çekirdekte küresel simetriyi korumaya çalışır. Çekirdekte, kuadropol yük dağılımı sonucu ortaya çıkan kuvvete ise kuadropol kuvveti denir. Bu kuvvet, çekirdeği deforme şekle götürmeye meyillidir. Çekirdeği deformasyona karşı koruyan çiftlenim kuvvetinin etkisi, çekirdeğe valans nükleonlar ilave ettikçe azalır ve çekirdeği rotasyonal spektruma götüren kuvvetler hâkim duruma geçerek deforme çekirdek yapışı oluşur. Duder ve arkadaşları^[8], çekirdekteki eşleşme için;

$$G = (G_0 / A) + [G_1 (N-Z) / A] \quad (2.1)$$

ifadesini bulmuşlardır. G_0 , G_1 parametrelerinin proton ve nötron için değerleri

yerlerine konularak nadir toprak çekirdekleri için sırasıyla proton ve nötronlara ait çiftlenim kuvvetleri G_p ve G_n ,

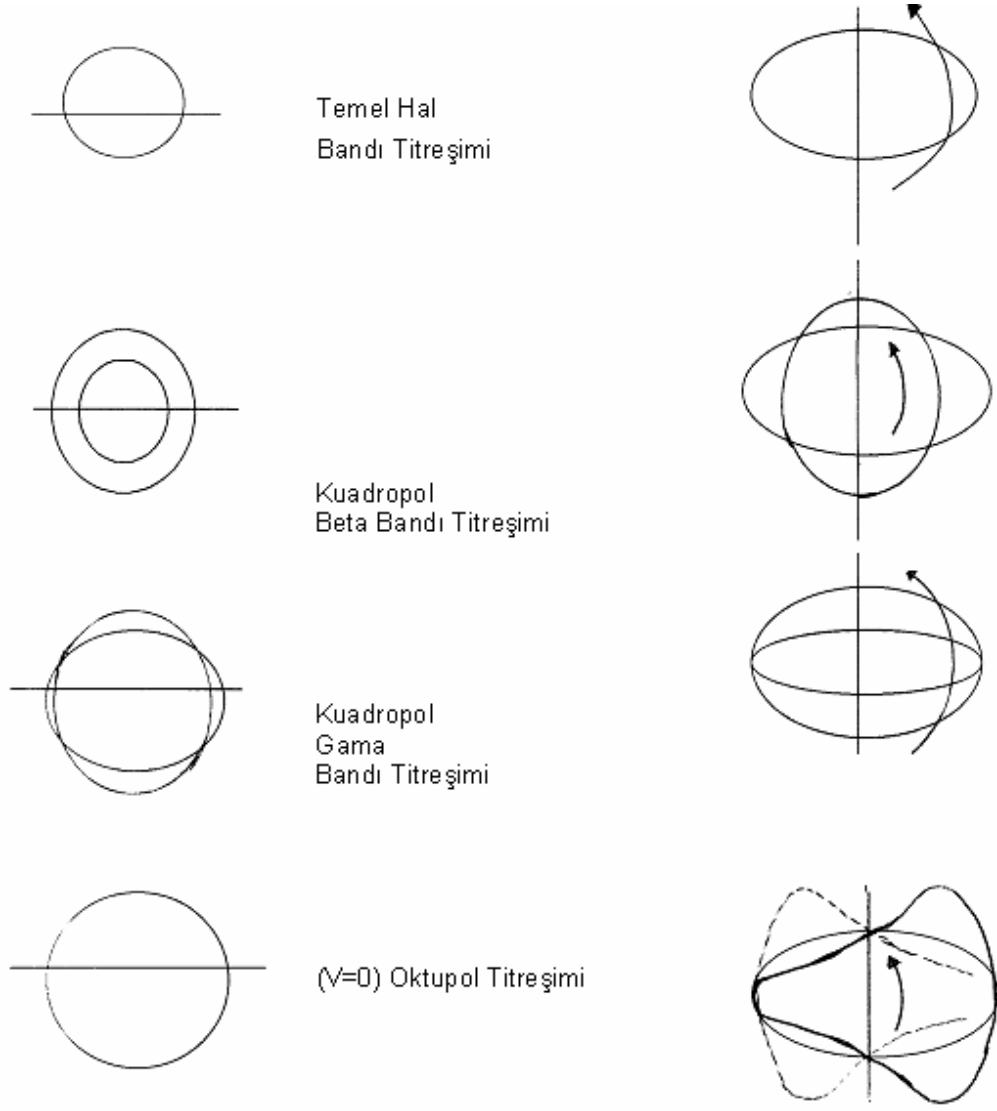
$$G_p = [17.90 + 0.176 (N-Z)] / A \quad (2.2)$$

$$G_n = [18.95 + 0.078 (N-Z)] / A \quad (2.3)$$

bağıntılarıyla bulunur. Marshalek ve Rasmussen bu değerleri

$$G_p = 30/A, \quad G_n = 20/A \quad (2.4)$$

olarak elde etmişlerdir.



Şekil 2.1 : Deforme çekirdeğin kollektif hareketinin temel basit modlarının şematik olarak gösterilmesi. Solda z eksenine dik kesit verilmiştir ve x ekseni yatay çizgi olarak gösterilmiştir, sağda ise kesit $y-z$ düzleminde gösterilmiş olup düşey çizgiler x eksenini temsil ederler.

2.3. ÇOK - KUTUPLU ELEKTROMANYETİK ALAN VEKTÖRÜ

Son zamanlardaki çalışmalarda A (πL) rotasyonu 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 ^[35]

$$|l_i - l_f| \leq L \leq |l_i + l_f| \quad (2.5)$$

Şeklinde dir. İlk ve son paritelerde çok kutupluluğun paritesi arasında,

$$P_i = P_x \cdot P_f \quad (2.6)$$

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 alırsak, bu geçişte hangi tür ışınım yayınlayacağı Çizelge 2.1 'de gösterilen tablo yardımıyla bulunabilir. İki seviye arasındaki geçişlerde farklı tipte ışınımlardan meydana gelmiş bir karışım yayınlanması da mümkündür.

Çizelge 2.1 Seçim Kurallarına Göre Mümkün Olan Gama Işınlarnın Sınıflandırılması^[35]

L	1	2	3	4	5
Elektrik	E1	E2	E3	E4	E5
Parite Değişimi	EVET	HAYIR	EVET	HAYIR	EVET
Manyetik	M1	M2	M3	M4	M5
Parite Değişimi	HAYIR	EVET	HAYIR	EVET	HAYIR

Krane'ye ^[35] göre, vibrasyonel bandlardaki rotasyonel seviyeleri, temel hale birleştiren gama ışınımları arasında M1- manyetik dipol geçişlerine rastlanmaz. Bu tip geçişlerin saf E2 elektrik kuadropol olmaları beklenir. Ancak $150 \leq A \leq 190$ çift-çift çekirdekler bölgesinde M1 şiddeti genellikle toplam geçiş şiddetinin %0,5 – 2 sini teşkil eder. Gama ışını açısai dağılımının veya açısai korelasyonlarının ölçümü ile bu iki M1, E2 çok kutupluların karışımı bulunabilir ve M1 ile E2 matris elemanlarının karışım oranlarına bağılı olarak ölçülebilir.

2.4. ETKİLEŞEN BOZON MODELİ

Etkileşen Bozon Modeli çift-çift çekirdek N tane etkileşen bozonlar sistemi olarak belirtilir. Başlangıçta biri nötron bozonu diğeri proton bozonu olmak üzere iki çeşit bozonun varlığı kabul edilmiştir. Bozonlar iki durumda

bulunabilir. Bu iki durum, $J=0$ durumunda olanlar s bozonları ve $J=2$ durumunda olan d bozonları olarak tanımlanır. ^[4]

$$s^+, d_\mu^+ \quad (\mu=0, \pm 1, \pm 2) \quad s, d_\mu \quad (\mu=0, \pm 1, \pm 2) \quad (2.7)$$

olur. Bu işlemciler aşağıdaki sıra-değişim bağıntılarını sağlarlar.

$$\begin{aligned} [s, s^+] &= 1 & [s, s] &= 0 & [s^+, s^+] &= 0 \\ [d_\mu, d_\mu^+] &= \delta_{\mu\mu'} & [d_\mu, d_\mu^+] &= 0 & [d_\mu^+, d_\mu^+] &= 0 \\ [s, d_\mu^+] &= 0 & [s^+, d_\mu^+] &= 0 & & \\ [s, d_\mu^+] &= 0 & [s^+, d_\mu] &= 0 & \mu &= 0, \pm 1, \pm 2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Bu bozon operatörü için

$$\begin{aligned} b_\alpha^+; b_\alpha; (\alpha = 1, \dots, 6) \\ b_1 = s, b_2 = d_{+2}, b_3 = d_{+1}, b_4 = d_0, b_5 = d_{-1}, b_6 = d_{-2} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Gösterimlerini kullanırız. Buna göre (2.9) sıra değiştirme bağıntıları

$$[b_\alpha, b_\alpha^+] = \delta_{\alpha\alpha'} \quad [b_\alpha, b_\alpha] = [b_\alpha^+, b_\alpha^+] = 0 \quad (2.10)$$

olarak yazabiliriz.

Çift-çift çekirdeklerin özelliklerini hesaplayabilmek için ilk olarak uygun işlemciler bulmak gerekir. Bütün bu işlemciler de bozon işlemcileri cinsinden tanımlanmalıdır. Burada enerji düzeylerini bulabilmek için Hamilton işlemcisine gerek duyulur. Bozon topluluğunun öz durumlarını bulmak için uygun hamiltonyen oluşturulur. En basit olarak hamiltonyenin tek-parçacık bozon enerjilerini ve bozon-bozon etkileşimlerini içerdiği kabul edilir. Böyle bir Hamiltonyeni oluşturmak için bozon yaratıcı ve yok edici işlemcileri kullanılır. Toplam bozon sayısı N'in korunumlu olduğu kabul edilirse, hamiltonyen işlemcisi bozon işlemcileri cinsinden ^[4]

$$H = \epsilon_0 + \sum \epsilon_{\alpha\beta} b_{\alpha}^{\dagger} b_{\beta} + \sum 1/2 U_{\alpha\beta\delta\gamma} b_{\alpha}^{\dagger} b_{\beta}^{\dagger} b_{\delta} b_{\gamma} + \dots \quad (2.11)$$

olarak yazılabilir. Burada ϵ_0 sabit sayıdır. $b^{\dagger}b$ terimi tek-parçacık katkılarını ve ondan sonraki terim de iki-cisim katkılarını temsil ederler. Etkileşme terimlerinin varlığı, modelin bu tipine " Etkileşen Bozon Modeli " isminin verilmesine neden olmuştur. Etkileşen bozon modelinin temel kabullerini (2.11) yukarıdaki eşitlikteki etkileşmelerde bozon sayısının korunumlu olmasıdır. IBA-1 Hamiltonyenini bozon işlemcileri cinsinden yazmak istediğimiz takdirde ikinci kuantize formu kullanmamız daha uygun olur. Böylece d_{μ}^{\dagger} ve s^{\dagger} işlemcileri oluşturulur. Birincisi $J_z = \mu$ olan durumda bir d bozonu ve ikincisi de bir tane s bozonu oluşmaktadır. Bu işlemciler kullanılarak

$$d_{\mu}^{\dagger} d_{\mu}, d_{\mu}^{\dagger} s, s^{\dagger} d_{\mu}, s^{\dagger} s \quad (2.12)$$

gibi tek-parçacık bozon işlemcileri yazılabilir. 36 tane birbirinden bağımsız böyle işlemciler vardır. Hamiltonyenin dönmeler altında değişmez olması gerektiğinden yukarıdaki eşitlikte (2.12) işlemcilerin belirli çizgisel karışımlarını kullanmak çok daha uygun olur. Yaratıcı $d_{\mu+}$ işlemcileri, dönmeler altında rankı 2 olan indirgenemez tensör bileşenleri gibi davranırlar. d_{μ} yok etme işlemcileri böyle dönüşüm özellikleri sağlamadıkları için bu özelliği sağlayan

$$d_{\mu} = (-)^{2\mu} d_{-\mu} = (-)^{\mu} d_{\mu} \quad (2.13)$$

tanımlaması kullanılır. Bu durumda k ranklı indirgenemez tensör olan

$$(d^+ d) q^{(k)} = \sum_{\mu} \langle 2\mu | 2\mu \rangle | 22kq \rangle d_{\mu}^+ d_{\mu}^- \quad k=0.1.2.3.4 \quad (2.14)$$

İşlemcileri ve rankı 2 olan $d_{\mu+}, s, s^+, d_{\mu}$ kuadropol işlemcileri ve (rankı 0) olan $s^+ s$ işlemcilerinden oluşan tam bir set tanımlanır. Bu işlemcilerin toplam sayısı yine 36 dır.

En genel Hamiltoniyen tek-parçacık bozon terimleri ve bozon-bozon etkileşme terimleri içerir. Dönmeler altında değişmez olmalıdır. Böylece Hamiltoniyen (2.13) ve (2.14) denklemlerindeki rankı sıfırdan farklı indirgenemez tenörlerin bütün mümkün skaler çarpımlarının çizgisel karışımları olur. Bunlar açıkça ---eşitliklerindeki $k = 0$ tensörleridir. Bütün tek parçacık bozon işlemcileri s ve d bozonlarının sayısı değişmeyeceği için Hamiltoniyende toplam bozon sayısını değiştirmeyecektir. Diğer bir deyişle Hamiltoniyenle sayı işlemcisi

$$N = s^+s + \sum d_\mu^+ d_\mu = s^+s + d^+d \quad (2.15)$$

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

Bozon Hamiltonyeninin hermityen olma koşulu iki kuadropol işlemcisinin yalnızca belirli karışımlarında içebilecektir. Terimlerin sayısı yine de fazladır. İki tane tek-parçacık bozon terimine ek olarak dokuz mümkün skaler çarpım vardır. Fakat skaler çarpımlarının tümü birbirinden bağımsız değildir. Bozon durumlarının simetrisinden dolayı yalnızca L= 0, 2, 4 değerine sahip iki d bozonlu durumlara izin verilir. L'nin tek değerli durumları anti simetriktir. Böylece herhangi iki d bozonu etkileşmeleri en fazla üç bağımsız terime sahip olabilir. Böylece (2.14) eşitliğindeki beş skaler çarpımın yalnızca üç bağımsız karışımı kullanılabilir. Bunun için çifttenim sırasını değiştirerek skaler çarpımları oluşturmak mümkündür. Sıra-değişim bağıntılarından dolayı bozon-bozon etkileşmesine ek olarak tek-parçacık bozon terimleri de ortaya çıkar. Elde edilen Hamiltonyen aşağıdaki şekilde yazılabilir.^[4]

$$\begin{aligned} H = & \epsilon_s(s^+s) + \epsilon_d(d^+d) + \sum (1/2)(2L+1)^{1/2} c_L [(d^+xd^+)^{(L)}(dxd)^{(L)}]^{(0)} \\ & + (1/\sqrt{2})v_2 [(d^+xd^+)^{(2)}(dxd)^{(2)} + (d^+xs^+)^{(2)}(dxd)^{(2)}]^{(0)} \\ & + (1/\sqrt{2})v_0 [(d^+xd^+)^{(0)}(sxs)^{(0)} + (s^+xs^+)^{(0)}(dxd)^{(0)}]^{(0)} + u_2 [(d^+xs^+)^{(2)}(dxd)^{(2)}]^{(0)} + \\ & \frac{1}{2} u_0 [(s^+xs^+)^{(0)}(sxs)^{(0)}] \end{aligned} \quad (2.16)$$

Burada ϵ_s ve ϵ_d , sırasıyla s ve d bozonlarının bağlanma enerjilerini, s^+s ve (d^+d) ise sırasıyla s ve d bozonları için sayı işlemcilerini ve $d_\mu = (-1)^\mu d_{-\mu}$ küresel tensörü tanımlar. c_0, c_2, c_4 kat sayıları d-bozonları, u_0 kat sayısı da s-bozonları arasındaki, v_2, v_0 ve u_2 kat sayılarıyla da s-bozonları ile d-bozonları arasındaki etkileşmelerin şiddetini belirtir. Ayrıca burada $\mu = 0, \pm 1, \pm 2$ şeklindedir. [17]

IBM-1 Etkileşen bozon modelinin orijinal formülasyonunda, proton ve nötronun serbestlik dereceleri arasında bir ayırım yapılamaz. Çift-çift çekirdekler düşük enerji kolektif durumları N tane etkileşen, açısız momentum ve parite $L_p = 0^+$ monopole ve $L^p = 2^+$ kuadropol ile birlikte, bozonlar sistemi olarak tanımlanabilir. Kuadropol ve monopole bozonun beş bileşeninden dolayı U(6) grup yapısı altı boyutlu bir uzaya kısaltılabilir. Bütün durumlar simetrik azaltılmama gösterimi ile [N] U(6) tanımlanabilir. IBM de Hamiltonyen ikinci kuantizasyon olarak ifade edilir. Bozonlar için yaratılma operatörleri s^+ ve d^+m , yok olma operatörleri ise s ve dm dir. Bütün hepsi b^+_{lm} ve b_{lm} , olarak tanımlanabilir. Burada $l = 0, 2$ ve $m = -l, -l+1, \dots, l$

$b^+_{\infty} \equiv s^+$, $b^+_{2m} \equiv d^+_m$ b^+_{lm} ve b_{lm} operatörleri bozon komitasyon bağıntısını sağlar.

$$[b^+_{l_1 m_1}, b^+_{l_2 m_2}] = \delta_{l_1 l_2} \delta_{m_1 m_2} \quad [b^+_{l_1 m_1}, b^+_{l_2 m_2}] = [b_{l_1 m_1}, b_{l_2 m_2}] = 0 \quad (2.17)$$

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

$$H = H_0 + \sum \epsilon_1 \sum b^+_{lm} b_{lm} + \sum \sum v^{(L)}_{L_1, L_2, L_3} (b^+_{L_1} x b^+_{L_2})^{(L)} \cdot (b_{L_3} x b_{L_4})^{(L)} \quad (2.18)$$

$$b_{lm} = (-1)^{l-m} b_{l,-m}$$

nokta skaler çarpım ve x tensör çarpımını göstermektedir. Valans monopole ve kuadropol bozonlar nükleon çiftleri ile belirlenmesinden dolayı toplam N bozon sayısı aktif proton ve nötron çiftlerinin toplamıyla en yakın kapalı kabuğa göre belirlenmektedir. Örnek olarak, $^{154}_{64}\text{Gd}_{90}$ çekirdeğini göz önüne alalım. 14 adet proton 50–82 proton kabuğunu işgal etmekte ve 8 tane nötron 82–126 nötron kabuğunu işgal etmektedir. Buna (IBM) göre etkileşen bozon sayısı $N = 7+4 = 11$ olacaktır. $^{158}_{64}\text{Gd}_{94}$ çekirdeğini göz önüne alalım. Yine 14 adet proton 50–82 proton kabuğunu işgal etmekte ve 12 adet nötron 82–126 nötron kabuğunu işgal etmektedir. Buna (IBM) göre etkileşen bozon sayısı $N = 7+6 = 13$ olacaktır. Açısal momentum ve pariteleri $I^P = 0^+, 2^+$ ve 4^+ olan durumların sayısı kabuk modelindekinden 10^{12} – 10^{13} daha aza indirilmiş olur. Bu azaltma, diyagonal Hamiltonyen matrisinin çok küçük boyutlarda olması gerektiğinden çekirdeğin düşük enerji kolektif durumlarının üzerinde çalışmaya olanak sağlamaktadır.

2.5. ETKİLEŞEN BOZON MODELİ VE ENERJİ DÜZEYLERİ

154 ve ^{158}Gd çekirdeklerinin deneye dayalı 0^+ durumları ve teorik incelemeleri sırasıyla Şekil 4.1.1 ve Şekil 4.1.2' de verilmektedir. 154 ve ^{158}Gd çekirdekleri nadir toprak ve aktinyum dizisi deforme çekirdeklerinden biri

olması nedeniyle çekirdeğin deforme bölgede çok sayıda 0^+ uyarımlarının bulunması beklenebilir. Bu nedenle, fazla sayıdaki $K^\pi=0^+$ durumlarının kaynağının anlaşılması önemli bir konudur. sd-IBM yaklaşımında $\sim 3,2$ MeV altındaki sadece beş veya altı uyarılmış 0^+ durumunu açıklayabileceği bilinmektedir. Ancak oktupol serbestlik derecesinin eklenmesi, muhtemelen beklenmedik şekilde $\sim 3,2$ MeV altında yaklaşık on bir uyarılmış 0^+ durumunun ve ~ 4 MeV altında da yaklaşık 14 uyarılmış 0^+ durumunun bulunduğu tahmin edilmesine imkân vermektedir.

Hesaplamalar, basit ve kuantatif bir şekilde yapılmıştır. 0^+ durumlarının hesaplanmasında ekstra bir çaba gösterilmemiş ve öngörülen 0^+ durumların deneye dayalı durumlara tekabül ettiği şeklinde bir iddiada bulunulmamıştır. Hesaplamalar, daha çok $\sim 3-4$ MeV'e kadar olan enerji Aralığındaki 0^+ uyarımlarının sayısının görülmesini amaçlamıştır. IBM hesaplamaları da benzer bir amaca sahiptir. İlk olarak sd-bozon Hamiltonyen aşağıdaki şekilde ifade edilebilir ^[18] .

$$H_{sd} = \varepsilon' n_d + \frac{1}{2} \eta (L.L) + \frac{1}{2} \kappa (Q.Q) - 5\sqrt{7} \omega \left[(d^+ d^{\dagger})^{(3)} x (d^+ d^{\dagger})^{(3)} \right]_0^{(0)} + 15\xi \left[(d^+ d^{\dagger})^{(4)} x (d^+ d^{\dagger})^{(4)} \right]_0^{(0)}, \quad (2.19)$$

Burada

$$L.L = -10\sqrt{3} \left[(d^+ d^{\dagger})^{(1)} x (d^+ d^{\dagger})^{(1)} \right]_0^{(0)} \quad (2.20)$$

Ve

$$Q_s \cdot Q_d = \sqrt{5} \left[\left\{ (s^+ d^0_+ d^0_s)^{(2)} + \chi (d^+ d^0)^{(2)} \right\} x \left\{ (s^+ d^0_+ d^+ s)^{(2)} + \chi (d^+ d^0)^{(2)} \right\} \right]_0^{(0)} \quad (2.21)$$

Burada da parametreler, bu çekirdeğin deforme olmuş özelliği (örneğin taban durumu rotasyonel band) ve γ - titreşimi özellikleri yeniden elde edilerek oluşturulmuştur. Elde edilen parametreler ^[32], $\varepsilon' = 0.01$ MeV, $\omega = 0.001$ MeV, $\eta = 0.0155$ MeV, $\kappa = -0.002$ MeV $\chi = -0,901/\sqrt{5} = -0.402$ ve $\xi = 0.0001$ MeV şeklindedir. Bu parametreler, bu bölgedeki diğer çekirdeklerle benzerlik göstermektedir. Model, sadece şu anda bilinen 0^+ durumlarının bir kaçını açıklayabilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen 0^+ durumları Şekil 4.1.1 'de gösterildiği gibi deneysel düzey durumlarını oldukça iyi bir şekilde oluşturmuştur. df-bozon Hamiltonyen şu şekildedir. ^[18]

$$H_{df} = \eta' (L_d \cdot L_f) + \kappa' (Q_d \cdot Q_f) - \chi' (O^{(3)} \cdot O^{(3)}), \quad (2.22)$$

Burada

$$L_d \cdot L_f = -2\sqrt{210} \left[(d^+ d^0)^{(1)} x (f^+ f^0)^{(1)} \right]_0^{(0)}, \quad (2.23)$$

$$Q_d \cdot Q_f = -2\sqrt{35} \left[\left\{ (s^+ d^0_+ d^+ s)^{(2)} - \chi (d^+ d^0)^{(2)} \right\} x (f^+ f^0)^{(2)} \right]_0^{(0)} \quad (2.24)$$

ve

$$O^{(3)} = (s^+ f^0_+ f^+ s)^{(3)} + \chi (d^+ f^0_+ f^+ d)^{(3)} \quad (2.25)$$

$\eta' = 0.013$ MeV, $\kappa' = -0.02$ MeV ve $\chi' = -0.97$, sırasıyla L.L etkileşimi, Q.Q etkileşimi ve oktipol etkileşimi şeklindedir. Bu nedenle sd-bozon Hamiltonyen

ve df-bozon Hamiltonyen yardımı ile IBM hesaplamalarını PHINT ^[19] programı ile yaptık. Basit Hamiltonyen (sd-df bozonları)

$$H = H_{sd} + H_{df} \quad (2.26)$$

ve kuadropol operatör,

$$Q_{sdf} = Q_{sd} + Q_{df} \quad (2.27)$$

Seçilen parametreler olan ε' , ω , η ve ξ sd-IBM hesaplaması ile aynı durumdadır. Bozon enerjisi $\varepsilon'=0.01$ MeV ile yapılan hesaplamalar, Şekil 4.1.2 'de gösterildiği gibi deneysel düzey durumlarını oldukça iyi bir şekilde oluşturmuştur. Bu, $\sim 3,2$ MeV altındaki öngörülen 0^+ durumlarını göstermektedir. Hesaplamaları ampirik 0^+ durumlarına uygun hale getirmek için çaba göstermedik (tam Hamiltonian parametresinin doğru bir şekilde oluşturulması için bu durumların ayrıntılı yapısı konusunda yeterli veri yoktur). Bu nedenle, 4,0 MeV altındaki 14 uyarılmış 0^+ durumundan oluşan devamlı bir 0^+ durumları tayfının bulunduğu 3,2 MeV'nin biraz üzerine bakmak uygun olacaktır.

2.6. B(E2) GEÇİŞ OLASILIKLARI

Başarılı bir nükleer modelin, sadece çekirdeğin enerji tayfının değil aynı zamanda elektromanyetik özelliklerinin de iyi bir tanımını vermesi gerekir. En önemli elektromanyetik özellikler, E2 geçişleridir. B(E2) geçiş olasılığı değerleri, E2 operatörü kullanılarak hesaplanmıştır. E2 geçiş operatörünün, ikinci derecede bir hermitsel tensörü olması gerekir ve bu nedenle bozon sayısı korunmalıdır. Bu kısıtlamalarla genel E2 operatörü, şu şekilde yazılabilir. ^[18]

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

$$Q_\rho = [d_\rho^+ s_\rho + s_\rho^+ \tilde{d}_\rho]^{(2)} + \chi_\rho [d_\rho^+ \tilde{d}_\rho]^{(2)} \quad (2.28)$$

Burada ρ , π (proton) veya ν (nötron) bozonlarına karşılık gelmekte ve χ_ρ , kuadrupol operatörünün yapısını belirlemekte ve ampirik olarak hesaplanmaktadır. Q_ρ , Q_π ve Q_ν bozon kuadrupol operatörleri, e_π ve e_ν de proton bozonları ve nötron bozonları için "etkin yükleri" eşit alınmıştır. E2 geçişleri için B(E2) geçişi şu şekilde verilebilir:

$$B(E2; L_i \rightarrow L_f) = 1/(2L_i + 1)^{1/2} \left| \langle L_f || T(E2) || L_i \rangle \right|^2 \quad (2.29)$$

Temel durum bandına ait bazı hesaplanmış B(E2) değerleri ve B(E2) oranları, ¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸ Gd için sırasıyla Çizelge 3.1.2 ve Çizelge 3.2.2 'de verilmektedir. Gadolinyum çekirdeğinin oldukça titreşimli bir özelliği olması

nedeniyle parametre dizilerinin $O(6)$ - $U(5)$ geçiş bölgesinde ve $U(5)$ titreşim özelliğine yakın olduğu ve iyi titreşim durumlarına sahip olduğu IBM faz üçgeni dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu nedenle Hamiltonyenin çok kutuplu genişleme biçimini kullandık. Etkin yükün değerini bulmak için temel durum bandı içindeki $B(E2)$ geçişlerinin mutlak değerlerini deneysel olanlara uygun hale getirdik. En iyi uyuşma, Çizelge 3.1.2 ve Çizelge 3.2.2’de gösterildiği gibi $e_{\pi} = e_{\nu} = e = 0.14 e_b^{(20)}$ değeri ile elde edilmiştir. $B(E2)$ değerleri dalga fonksiyonlarına dayanmaktadır. Bu durum, bu çalışmada elde edilen dalga fonksiyonunun güvenilir olduğunu göstermektedir.

154 ve 158 Gd için sırasıyla Şekil 4.2.1 ve Şekil 4.2.2’de $B(E2:K\pi=0^+ \rightarrow 2^+_{gsb})$ geçiş olasılıkları sunulmuş ve deneylerle karşılaştırılmıştır. 0^+ durumlarının 2^+ temel durumuna teorik E2 bozulmaları, ilk ikisi dışında tamamen zayıftır. Bu model, ilk durum için ve ayrıca ikinci durum için en iyi değerleri vermektedir. İlk durumun verilerle oldukça uyuşmasına karşın oldukça büyük $B(E2)$ değeri, ikinci durum için elde edilebilmektedir.

2.7. ÇOK KUTUPLU KARIŞIM ORANI

ξ₂ üzerinde hassas bir bağımlılıkla çok kutuplu karışım oranlarının boyutu ve işareti bulunur. IBA-2'de E2 geçiş operatörü aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$T(E2) = e_{\pi}Q_{\pi} + e_{\nu}Q_{\nu} \quad (2.30)$$

$e_{\pi}(e_{\nu})$ proton(nötron) hesaplarının eb biriminde etkin yüküdür. $B(E2)$ 'den $2^+ \rightarrow 0^+$ geçişi ile elde edilir. Quadrupol kısmıli operatör Q_p Hamiltonian eşitliği ile aynı açıklamaya sahiptir. Ve uygunluk için Hamiltonian' deki gibi aynı değeri seçeriz.

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

Şeklinde ki, proton(nötron) g faktörü μN birimi ile ve L_p proton(nötron) için açısai momentum operatörüdür. 2_1^+ seviyesinin deneysel g değeri 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 açısai momentumu I_1+I_2 ve I_1-I_2 arasında herhangi bir değeri alabilir. Elektromanyetik ışınma yayımı olasılığının göz önüne alınması $(L+1)$ çok-kutuplu emisyon olasılığının, L Çok-kutuplu emisyon olasılığına göre oranının büyüklüğünün 1 ila 3 mertebesinde azalacağını gösterir. Pratikte bu beklenen değeri nükleer matris elemanları ile bulunur. Çok-kutuplu geçiş olasılıklarının

oranı, nükleer durumların araştırılmasında ve çeşitli nükleer modellerin bulunduğu değerleri test etmede kullanılabilir.

(L+1) ve L çok-kutuplu geçişlerin arasındaki geçiş şiddetinin karşılaştırılması genellikle çok-kutuplu karışım oranı δ ya göre ifade edilir. δ : (L+1) matris elemanlarının, L matris elemanlarına oranı olarak tarif edilir. Saniyedeki E2 geçiş sayısı $T(E2; I_1 + I_2)$ ve M1 geçiş sayısı $T(M1; I_1 + I_2)$ olmak üzere,

$$\delta(E2/M1, I_1 \rightarrow I_2) = T(E2; I_1 \rightarrow I_2) / T(M1; I_1 \rightarrow I_2) \quad (2.32)$$

Formülüyle ifade edilir. Krane ^[35] tarafından kullanılan kabulde, emisyon matris elemanları çok-kutuplu işlemciler için kullanılarak,

$$\delta(E2/M1) = [\langle I_{n+1} || J_n A(E2) || I_n \rangle] / [\langle I_{n+1} || J_n A(M1) || I_n \rangle] \quad (2.33)$$

şeklinde tarif edilmiştir. Burada J_n , nükleer akım işlemcisidir ve etkileşme bu işlemci ile $A(nL)$ elektromanyetik vektör alanı arasında yazılmıştır. En çok gözlenen çok-kutuplu karışım (E2+M1) tipinde olanıdır.

$\Delta(E2/M1)$ oranı belirli E2 matris elemanının belirli M1 matris elemanına oranıdır. Bu oran δ karışım oranı ile ilgilidir. Ve aşağıdaki denklemdeki gibi yazılır.

$$\delta(E2/M1) = (0,832).E\gamma. \Delta(E2/M1) \quad (2.34)$$

Burada E_γ geçişte açığa çıkan γ ışını enerjisidir, meV cinsinden yazılmaktadır.

$\Delta(E2/M1)$ eb/ μ n dir. Bu formül Arima ve Iachello ^[7] tarafından yazıldı ve

$\Delta(E2/M1)$;

$$\Delta(E2/M1) = A.f(l_f, l_i) \quad (2.35)$$

şeklinde ifade edildi. Burada A bir sabittir. f (l_f , l_i) faktörü geçişlerin spinlerinin durumlarına bağlıdır. Ve mümkün olan durumlara bağlı olarak f (l_f , l_i) nin alacağı değerler aşağıdaki gibidir.

$f(l_f, l_i) =$	$10[(2l_f - 1)(2l_f + 3)]^{1/2}$	$l_i = l_f$
	$10[3l_f(l_f + 2)]^{-1/2}$	$l_i = l_f + 1$
	$10[3(l_f - 1)(l_f + 1)]^{-1/2}$	$l_i = l_f - 1$

(2.36)

Sonuç olarak $\delta(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A \cdot f(l_f, l_i)$ yazılabilir. (2.37)

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Şekillerin alındığı Table of Isotopes' de ^[31] çekirdek organizasyonu kütle numarası A ve Atom numarası Z'ye göre yapılmıştır. Her kütle zinciri için bir iskelet şema ortaya konulmuştur. Burada temel düzey ve izomerik durumların yarı ömürleri spin ve parite uygulamaları, temel seviye bozunum dallanması, bozunum enerjileri ve proton ve nötron ayrılma enerjileri bu kütledeki tüm bilinen izotoplar ve izomerler için özetlenmiştir. Bu izotoplar arasında sadece nükleer reaksiyonlar esnasında gözlenen fakat henüz elde bulunmayan bazı izotoplar gösterilmiştir. Yarı ömürleri 1ms'den büyük olan izomerler uyarılmış olarak kabul edilmiştir.

1 - BELİRSİZLİKLER :

Herhangi bir değerdeki belirsizlikler biraz daha küçük italik sayılarla gösterilir. Bunlar belirsizliğin en küçük ondalık adımla gösterilir. Örneğin; $37.2_{22} \rightarrow 37 \pm 2.2$ demektir. $15.7 \ 5^{17} \rightarrow 15.7 \ -5^{17}$ demektir. $4.3_2 \times 10^{-4} \rightarrow (4.3 \pm 0.2) \times 10^{-4}$ demektir. Bazı sayılar yaklaşık olarak gösterilir (=15) veya limit şeklinde ($l > 10, < 0.06$) gibi sistematik olarak elde edilen değerler ya parantez içinde yazılır veya 123 sist yazılır. Hesaplanan değerler ise 1.5 calc gibi gösterilir.

2 - ENERJİLER :

Tüm enerjiler KeV cinsinden verilmiştir. Düzey enerjileri (boldface) kalın ve koyu harfle, geçiş enerjileri ise (boldface) italik tipte verilmiştir.

3 - REFERANS KODLARI :

Standart referans kodları (NSR) kullanılmıştır. Bu kodlar genel form olarak YYAu % genel formunu takip eder. Burada ilk iki karakter yazarın soyadının ilk iki harfini ve son iki karakterde keyfi takip karakterdir. (69 yılı öncesi hariç). Eğer bunlar alfabetik ise bu ikinci bir kaynaktan örneğin bir rapordan, konferans kitabından veya özel yazışmada elde edilmiştir. Referans kodları kısa atıflarla temel tabloların sonunda verilmiştir.

4-KÜTLELER:

Kütle fazlalıkları, bozunum Q değerleri ve proton veya nötron ayırım enerjileri tablolarda ve şekillerde Audi ve Wabstra'nın çalışmalarından alınmıştır. Sistemik olarak elde edilen değerler sistemik belirsizliğe yuvarlatılarak parantez içinde gösterilmiştir. Kütleleri henüz tablo edilmeyen izotopların kütleleri Möller ve diğerlerinin hesaplanmalarından alınarak kullanılmıştır. Bu değerler bozunum şemalarında parantez içinde gösterilmiştir.

5 - VERİLERİN DÜZENLENMESİ :

Bozunum enerjileri ve proton/nötron ayırım enerjileri Naudi ve Wabstra'nın çalışmalarına dayanır. Loft değerleri tekrar hesaplanarak en yakın 0,1 birime yuvarlatılmıştır. Geçiş son düzeyi bulunamadığı takdirde bunlar geçiş enerjisinden kutupsallığın ilk ve son düzey spin ve paritesi ile uyumlu olmak kaydıyla elde edilmiştir.

2. Bölümde açıklanan formülasyon 154 ve 158 Gd izotoplarına uygulanarak aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

3.1. ¹⁵⁴Gd İZOTOPU

¹⁵⁴Gd izotopunun temel hal bandı, β bandı, γ bandı, octupol bandı üyeleri band yapısı, spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyelerine göre bir tablo halinde çizelge 3.1.1 de gösterilmiştir. Burada spin-paritede kullanılan alt indisler band yapısını göstermektedir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır. ¹⁵⁴Gd izotopunda K=2 temel bandının 123,0714 keV enerji seviyesinden K=0 taban durum bandına 0 keV enerji seviyesine geçişi ($2^+_1 \rightarrow 0^+$) ile 123,0714 keV luk bir enerji açığa çıkar.

¹⁵⁴Gd çekirdeğinin enerji bozunum şeması ve uyarılmış düzeyleri^[31] sırasıyla şekil 3.1.1 ve şekil 3.1.2 de görülmektedir. ¹⁵⁸Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları çizelge 3.1.2 gösterilmiştir. ¹⁵⁴Gd izotopunun bazı geçişleri için teorik olarak hesaplanan $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranı çizelge 3.1.3 de, deneysel^[33] ve PHINT^[19] program kodu kullanılarak belirlenen teorik enerji seviyeleri ve deneysel enerji seviyeleri^[34] çizelge 3.1.4 de gösterilmiştir. ¹⁵⁴Gd'nin hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri Şekil 4.2.1 de, deneysel^[33] ve hesaplanan teorik çok kutuplu karışım oranları çizelge 4.1.1 de gösterilmiştir.

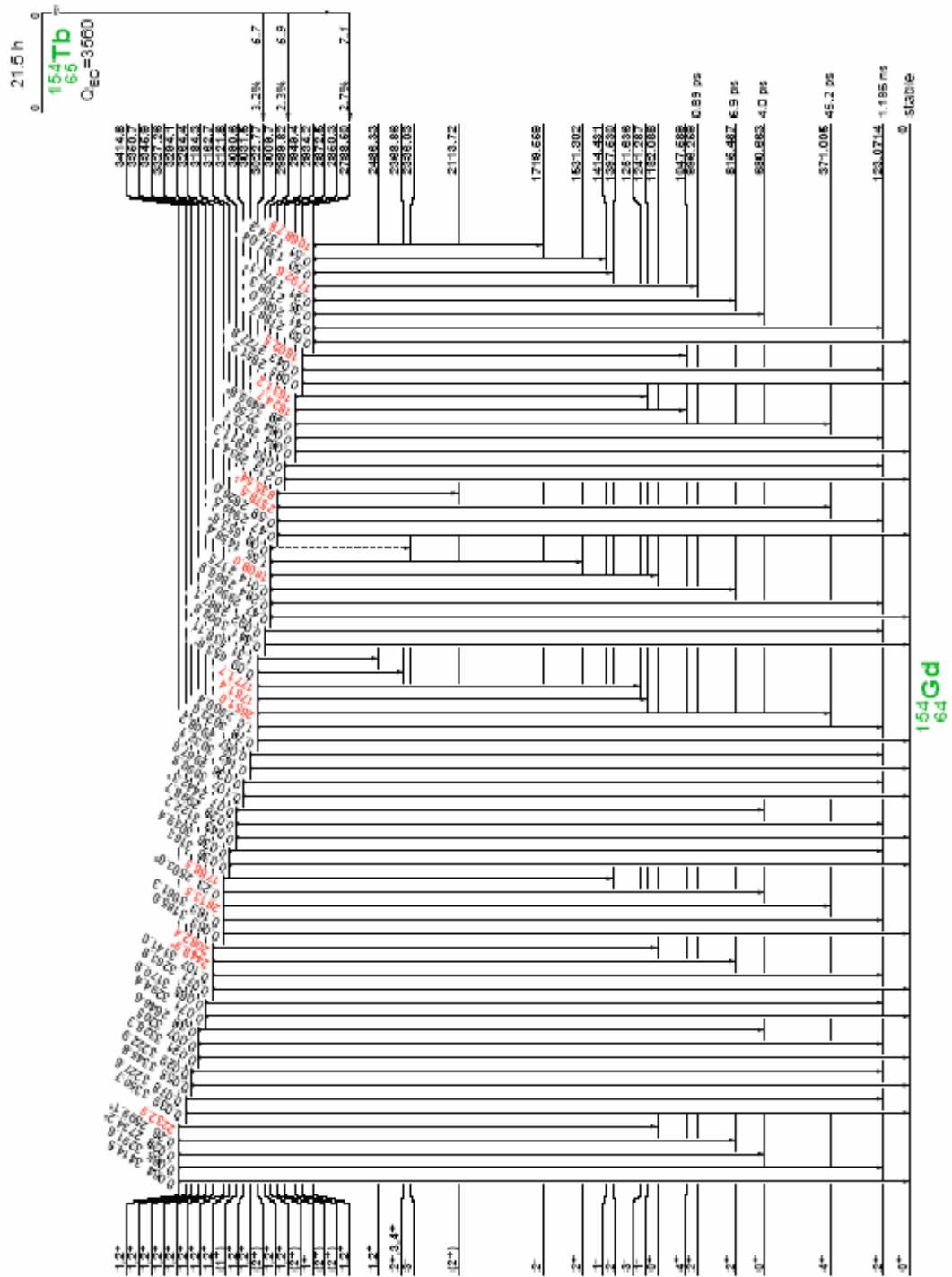
3.1.1. ¹⁵⁴Gd İZOTOPUNUNDAKİ BAZI ENERJİ SEVİYELERİ

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 [123,0714]keV, 0^+ [0]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçiş sonucu 123,0714 keV olan bir γ ışını açığa çıkar. Bu seviyenin yarı ömrü ise 1,186 ns düzeyindedir.

371,005keV seviyesi: Spin paritesi 4^+ olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden [371,005]keV, 2^+ [123,0714]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 247,925 keV değerindedir. Bu seviyenin yarı ömrü ise 45,2 ps düzeyindedir.

717,661 keV seviyesi: Spin paritesi 6^+ olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden [717,661]keV, 4^+ [371,005]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 346,643 keV değerindedir. Bu seviyenin yarı ömrü 7,8 ps düzeyindedir.

1144,47 keV seviyesi: Spin paritesi 8^+ olan bu seviye temel hal bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1144,47]keV, 6^+ [717,661]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 426,78 keV değerindedir. Bu seviyenin yarı ömrü 2,56 ps düzeyindedir.



Şekil 3.1.1 ^{154}Gd izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması [31]

996,259 keV seviyesi:

Spin paritesi 2^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden

[996,259]keV,

$2^+[815,487]$ 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.

Çok kutuplu karşım oranı $\delta=-9,3$ (5) dir.

$0^+[0]$ 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 [1127,973]keV,

$4^+[1047,589]$ 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.

$4^+[371,005]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 756,763 keV değerindedir.

Çok kutuplu karşım oranı $\delta=-6,1(4)$ dir.

$2^+[123,00714]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş vardır.

Bu geçişte 1004,725 keV luk bir γ ışını açığa çıkar. Çok kutuplu karşım oranı $\delta=-7,5(3)$ dir.

1263,790 keV seviyesi: Spin paritesi 4^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden $[1263,790]\text{keV}$,

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

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

$2^+[123,0714]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1140,711 keV değerindedir.

$2^+[123,00714]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1004,725 keV luk bir γ ışını açığa çıkar. Çok kutuplu karşım oranı $\delta=-7,5(3)$ dir.

1432,55 keV seviyesi: Spin paritesi 5^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden $[1432,55]\text{keV}$,

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

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

$4^+[371,005]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1061,39 keV değerindedir. Çok kutuplu karşım oranı $\delta=-4,3^{+12}_{-26}$ dir.

1606,75 keV seviyesi: Spin paritesi 6^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1606,75]keV,

$6^+[717,661]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2+M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 888,8 keV luk bir γ ışını açığa çıkar. Çok kutuplu karşım oranı $\delta>1,8$ dir.

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

680,663 keV seviyesi: Spin paritesi 0^+ olan bu seviye β bandının bir üyesi olup bu seviyeden [680,663]keV,

$2^+[123,0714]\text{keV}$ 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 [815,487]keV,

$0^+[680,663]\text{keV}$ seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 134,8235 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

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

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

Çizelge 3.1.1 ^{154}Gd izotopunun band yapısı, spin paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Deneysel uyarılma Enerjileri ⁽³¹⁾ (keV)
Temel Hal Bandı	$0_{g.s}^+$	0
	$2_{g.s}^+$	123,0714
	$4_{g.s}^+$	371,005
	$6_{g.s}^+$	717,661
	$8_{g.s}^+$	1144,47
	$10_{g.s}^+$	1637,07
γ - Bandı	2_γ^+	996,259
	3_γ^+	1127,793
	4_γ^+	1263,790
	5_γ^+	1432,55
	6_γ^+	1606,75
	7_γ^+	1810,4
β - Bandı	0_β^+	680,663
	2_β^+	815,487
	4_β^+	1047,589
	6_β^+	1365,896
	8_β^+	1756,51
	10_β^+	2194,20
Octupol Bandı	$1_{o.b}^-$	1241,287
	$3_{o.b}^-$	1251,636
	$5_{o.b}^-$	1404,097
	$(7^-)_{ob}$	1674,6
	$(4^-)_{ob}$	1560,004

1047,589 keV seviyesi: Spin paritesi 4^+ olan bu seviye β bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1047,589]keV,

$2^+[815,487]$ 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 [1365,896]keV,

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

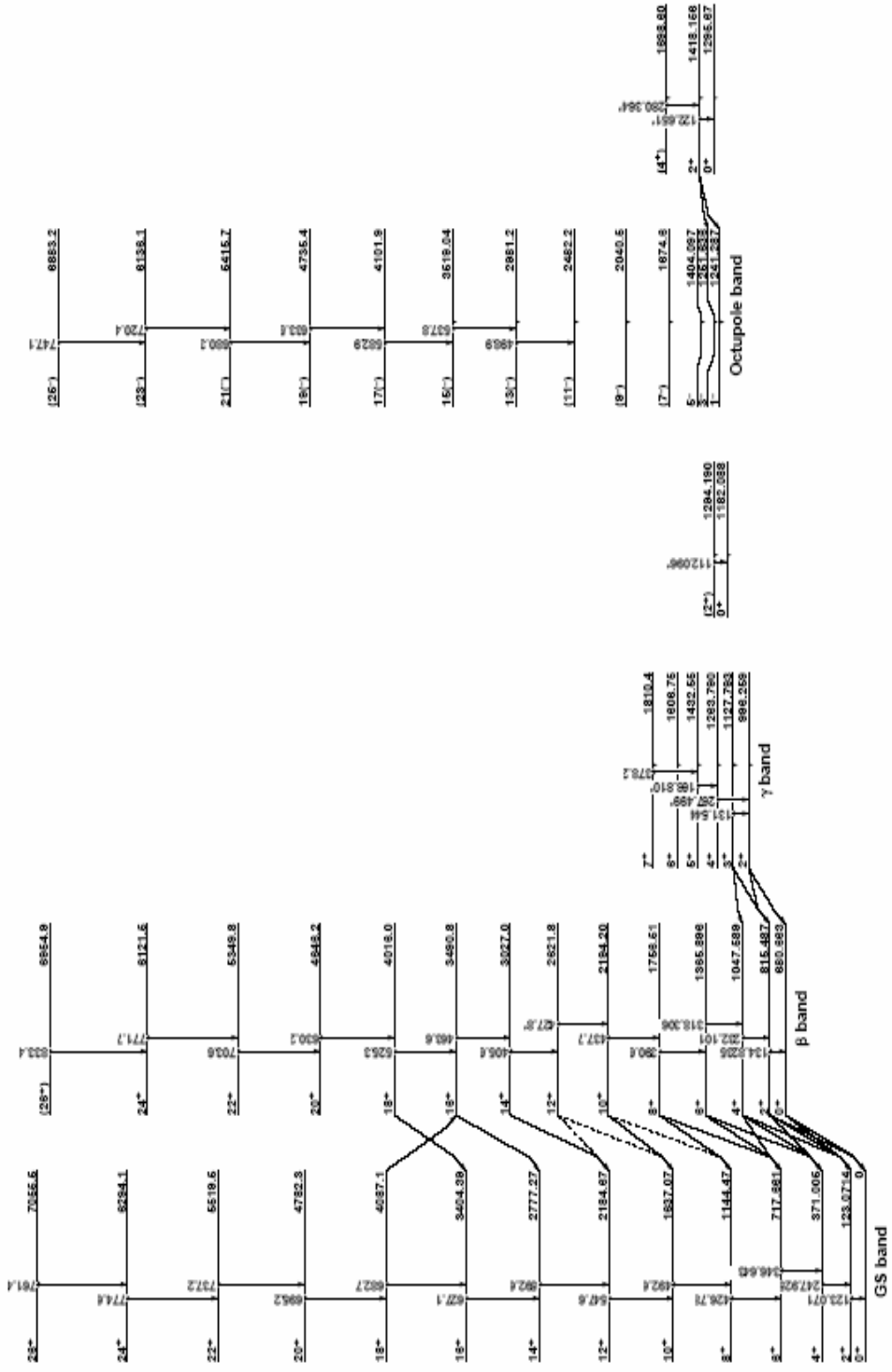
$4^+[371,005]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 994,9 keV değerindedir.

1251,636 keV seviyesi: Spin paritesi 3^- olan bu seviye octupol bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1251,636]keV,

$4^+[371,005]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1+M2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 880,634 keV luk bir γ ışını açığa çıkar. Çok kutuplu karışım oranı $\delta = +0,07 (3)$ dir.

$2^+[123,0714]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1128,558 keV değerindedir.

$0^+[0]$ keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1252,0 keV değerindedir.



Şekil 3.1.2 ^{154}Gd izotopunun enerji band yapısı [31]

1404,097 keV seviyesi: Spin paritesi 5^- olan bu seviye octupol bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1404,097]keV, $4^+[371,005]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 1033,11 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

1719,559 keV seviyesi: Spin paritesi 2^- olan bu seviye octupol bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1719,559]keV, $3^+[1660,899]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 58,40 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

$4^-[1560,004]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 159,555 keV değerindedir.

$2^+[1531,302]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 188,254 keV değerindedir.

$(1^-)[1510,10]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 209,40 keV değerindedir.

$2^+[1418,156]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 301,25 keV değerindedir.

$1^-[1414,431]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 305,14 keV değerindedir.

$2^-[1397,530]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 322,01 keV değerindedir.

$3^-[1251,636]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 467,84 keV değerindedir.

1⁻[1241,287]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 478,27 keV değerindedir.

3⁺[1127,793]keV seviyesine çok kutupluluğu E1+M2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 591,763 keV değerindedir. Çok kutuplu karışım oranı $\delta = +0,02$ (3) dir.

2⁺[996,259]keV seviyesine çok kutupluluğu E1+M2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 723,304 keV değerindedir. Çok kutuplu karışım oranı $\delta = +0,04$ (2) dir.

2⁺[815,487]keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 904,076 keV değerindedir.

2⁺[123,0714]keV seviyesine çok kutupluluğu E1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1596,495 keV değerindedir.

3.1.2. ¹⁵⁴Gd İZOTOPUNUN TEMEL DURUM BANDLARI ARASI GEÇİŞ OLASILIKLARI

¹⁵⁴Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları hesaplanarak aşağıdaki Çizelge 3.1.2 de gösterilmiştir. PHINT programı kullanılarak elde edilen diğer B(E2) sonuçları tezin sonunda EK 5 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.2 ^{154}Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları

Spin	B(E2) (e^2b^2)		
	Bu çalışma	Deneysel	Diğer Çalışmalar
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,7841	$0,777 \pm 0,023^{(36)}$	$0,773^{(37)}$ $0,735^{(40)}$ $0,870^{(38)}$
$4^+ \rightarrow 2^+$	1,0623	$1,178 \pm 0,039^{(36)}$ $1,183 \pm 0,038^{(39)}$ $1,178^{(37)}$	$1,110^{(37)}$ $1,180^{(38)}$ $1,162^{(40)}$
$6^+ \rightarrow 4^+$	1,1233	$1,16^{(39)}$ $1,39^{(37)}$	$1,17^{(38)}$ $1,12^{(37)}$
$8^+ \rightarrow 6^+$	1,0924	$1,50^{(39)}$	$1,705^{(39)}$

3.1.3. ^{154}Gd İZOTOPUNUN $\delta(E2/M1)$ ELEKTROMANYETİK GEÇİŞLERİN KUTUPSAL KARIŞIM ORANLARI HESAPLANMASI

Çift-çift ^{154}Gd izotopunun $\delta(E2/M1)$ 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 2.8 deki 2.34 – 2.35 – 2.36 – 2.37 denklemleri kullanılmıştır.

Yukarıda yazılan formüller yardımıyla $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranı ile ilgili hesaplamalar yapılabilir. Bu hesaplamalarda öncelikli olarak bir geçiş referans olarak kabul edilip, buradan A değeri elde edilecektir. Elde edilen A değeri sabit bir değerdir. Bu sabit değer kullanılarak diğer geçişler için $\delta(E2/M1)$ değerlerinin hesabı yapılacaktır. Elde edilen bu değerler, deneysel $\delta(E2/M1)$ değerleriyle karşılaştırılacaktır.

$3_Y^+ \rightarrow 2_{g.s.}^+$ geçişi referans olarak alınırsa,

$$\delta(E2/M1) = 7,5 \text{ (4)}$$

formülünde bilinenler yerine yazılarak sabit bir A değeri bulunacaktır.

Burada $3_Y^+ \rightarrow 2_{g.s.}^+$ geçişi için;

$$3_Y^+[1127,793]\text{keV} \rightarrow 2_{g.s.}^+[123,071]\text{keV}$$

* $E_Y = 1004,725 \text{ keV} = 1,005 \text{ meV}$ olarak hesaplanır.

Ve mümkün olan durumlara bağlı olarak $f(l_f, l_i)$ nin alacağı değer;

* $l_i=3_Y^+$, $l_f=2_{g.s.}^+$ için $l_f = l_i - 1$ olduğundan $f(l_f, l_i) = 10[3(l_f - 1)(l_f + 1)]^{-1/2}$

eşitliği

kullanılarak $f(l_f, l_i) = 10/3$ bulunacaktır. Bu sonuçlar yerlerine yazılırsa;

$7,5 = (0,832).(1,005).(A).(10/3) \rightarrow A = 2,69$ olarak hesaplanacaktır.

Elde edilen bu A değeri sabit bir değerdir. Ve bütün geçişler için kullanılacaktır.

1) $2_V^+ \rightarrow 2_{g.s}^+$ geçişi: 996,259 keV \rightarrow 123,0714 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 873,20 \text{ keV} = 0,873 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(21)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 4,60$ olarak hesaplanır.

2) $4_\beta^+ \rightarrow 4_{g.s}^+$ geçişi: 1047,589 keV \rightarrow 371,005 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 676,593 \text{ keV} = 0,676 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(77)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 1,86$ olarak hesaplanır.

3) $3_V^+ \rightarrow 4_{g.s}^+$ geçişi: 1127,793 keV \rightarrow 371,005 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 756,763 \text{ keV} = 0,756 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(45)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 2,72$ olarak hesaplanır.

4) $2_{\beta}^{+} \rightarrow 2_{g.s}^{+}$ geçişi: 815,487 keV \rightarrow 123,0714 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_{\gamma}).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_{\gamma} = 692,421 \text{ keV} = 0,692 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i)=10/(21)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 3,64$ olarak hesaplanır.

5) $4_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{g.s}^{+}$ geçişi: 1263,790 keV \rightarrow 371,005 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_{\gamma}).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_{\gamma} = 892,780 \text{ keV} = 0,893 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i)=10/(77)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 2,45$ olarak hesaplanır.

6) $6_{\beta}^{+} \rightarrow 6_{g.s}^{+}$ geçişi: 1365,896 keV \rightarrow 717,661 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_{\gamma}).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_{\gamma} = 648,20 \text{ keV} = 0,648 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i)=10/(165)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 1,22$ olarak hesaplanır.

7) $5_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{g.s}^{+}$ geçişi: 1432,55 keV \rightarrow 371,005 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_{\gamma}).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_{\gamma} = 1061,39 \text{ keV} = 1,061 \text{ meV}$$

$$A=2,9$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(72)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 3,02$ olarak hesaplanır.

8) $4^+ \rightarrow 3^+$ geçişi: 1645,820 keV \rightarrow 1127,793 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A \cdot f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 518,011 \text{ keV} = 0,518 \text{ meV}$$

$$A = 2,9$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(45)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 1,86$ olarak hesaplanır.

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' NIN HATA HESABI

$3_\gamma^+ [1127,793] \text{ keV} \rightarrow 2_{g.s}^+ [123,0714] \text{ keV}$ geçişi referans olarak alınmıştı. Bu geçişte

$$E_\gamma = 1004,725 \text{ keV} = 1,005 \text{ meV} \quad \delta(E2/M1) = 7,5 (4) \quad f(I_f, I_i) = 10/3$$

A₊'nin Hesaplanması

$$7,5+0,4 = (0,832).(1,005). A_+. (10/3) \quad \text{yazılır. Buradan}$$

$$A_+ = 2,83 \text{ olarak bulunur.}$$

A₋'nin Hesaplanması

$$7,5-0,4 = (0,832).(1,005). A_-. (10/3) \quad \text{yazılır. Buradan}$$

$$A_- = 2,55 \text{ olarak bulunur.}$$

$$A = 2,90^{+0,07}_{-0,35} \text{ bulunacaktır.}$$

Elde edilen A₊ , A₋ kullanılarak δ(E2/M1) için hata sınırları belirlenecektir.

3.1.5. δ(E2/M1)'İN HATA HESABI

$$1) \quad 2_{\nu}^+ \rightarrow 2_{g.s.}^+ \text{ geçişi: } 996,259 \text{ keV} \rightarrow 123,071 \text{ keV}$$

$$E_{\gamma} = 873,20 \text{ keV} = 0,873 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = 0,35$$

$$\delta(E2/M1) = 4,60$$

$$f(l_f, l_i) = 10/(21)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E_{\gamma}).A_+.f(l_f, l_i)$$

$$\text{bilinenler yerlerine yazılırsa; } \quad \delta_+(E2/M1) = 0,12$$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_-.f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,56$ olarak hesaplanır.

$$\delta_-(E2/M1)=4,60^{+0,12}_{-0,56} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

2) $4\beta^+ \rightarrow 4_{g.s.}^+$ geçişi: 1047,589 keV \rightarrow 371,005 keV

$$E\gamma = 676,593 \text{ keV} = 0,676 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = -0,35$$

$$\delta_-(E2/M1) = 1,86$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(77)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_+.f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,04$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_-.f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,22$ olarak hesaplanır.

$$\delta_-(E2/M1)=1,86^{+0,04}_{-0,22} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

3) $3\gamma^+ \rightarrow 4_{g.s.}^+$ geçişi: 1127,793 keV \rightarrow 371,005 keV

$$E\gamma = 756,763 \text{ keV} = 0,758 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = 0,35$$

$$\delta_-(E2/M1) = 2,72$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(45)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_+.f(lf, li)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,06$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_-.f(lf, li)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,03$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 2,72^{+0,06}_{-0,03} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

4) $2\beta^+ \rightarrow 2g_s^+$ geçişi: 815,487 keV \rightarrow 123,071 keV

$$E\gamma = 692,421\text{keV} = 0,692\text{meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = 0,35$$

$$\delta(E2/M1) = 3,64$$

$$f(lf, li) = 10/(24)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_+.f(lf, li)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,09$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E\gamma).A_-.f(lf, li)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,44$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 3,64^{+0,09}_{-0,44} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

5) $4\gamma^+ \rightarrow 4g_s^+$ geçişi: 1263,790 keV \rightarrow 371,005 keV

$$E\gamma = 892,780\text{keV} = 0,893\text{meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = 0,35$$

$$\delta(E2/M1) = 2,45$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(77)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_+ \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,06$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_- \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,30$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 2,45^{+0,06}_{-0,30} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

6) $6\beta^+ \rightarrow 6_{g.s.}^+$ geçişi: 1365,896 keV \rightarrow 717,661 keV

$$E_\gamma = 648,20 \text{ keV} = 0,648 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = -0,35$$

$$\delta(E2/M1) = 1,22$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(165)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_+ \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,03$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_- \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,15$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 1,22^{+0,03}_{-0,15} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

7) $5_Y^+ \rightarrow 4_{g.s}^+$ geçişi: **1432,55 keV \rightarrow 371,005 keV**

$$E_\gamma = 1061,39 \text{ keV} = 1,061 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = 0,35$$

$$\delta(E2/M1) = 3,02$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(72)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_+ \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,07$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_- \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,36$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 3,02^{+0,07}_{-0,36} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

8) $4^+ \rightarrow 3^+$ geçişi: **1645,820 keV \rightarrow 1127,793 keV**

$$E_\gamma = 518,011 \text{ keV} = 0,518 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,07$$

$$A_- = 0,35$$

$$\delta(E2/M1) = 1,86$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(72)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_+ \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,04$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_- \cdot f(I_f, I_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = 0,22$ olarak hesaplanır.

$\delta(E2/M1) = 1,86^{+0,04}_{-0,22}$ olarak hesaplanmıştır.

¹⁵⁴Gd izotopu için bu çalışmada elde edilen $\delta(E2/M1)$ verileri Çizelge 3.1.3 de tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.3 ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

E_{γ} -geçiş enerjisi (keV)	Geçiş	δ bu çalışma(E2/M1)
1004,725	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	referans
873,190	$2_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	$4,60^{+0,12}_{-0,56}$
676,593	$4_{\beta}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$1,86^{+0,04}_{-0,22}$
756,763	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$2,72^{+0,06}_{-0,03}$
692,421	$2_{\beta}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	$3,64^{+0,09}_{-0,44}$
892,780	$4_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$2,45^{+0,06}_{-0,30}$
648,20	$6_{\beta}^{+} \rightarrow 6_{G.S}^{+}$	$1,22^{+0,03}_{-0,15}$
1061,39	$5_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$3,02^{+0,07}_{-0,36}$
518,011	$4^{+} \rightarrow 3^{+}$	$1,86^{+0,04}_{-0,22}$

^{154}Gd izotopu için oluşturulan parametrik setle ⁽³²⁾ elde edilen enerji seviyeleri aşağıdaki çizelge 3.1.4 gösterildiği gibidir. PHINT programı ile hesaplanan değerler deneysel değerlerle yakın düzeydedir. Yapılan çalışmada elde edilen bütün verilerin program çıktısı, tezin sonunda bulunan Ek1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.4 ^{154}Gd izotopunun PHINT ⁽¹⁹⁾ programı kullanılarak belirlenen teorik enerji seviyeleri ve deneysel enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Deneysel uyarıma Enerjileri ⁽³³⁾ (keV)	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (keV)
Temel Hal Bandı	$0_{g.s}^+$	0	0
	$2_{g.s}^+$	123,07	25,60
	$4_{g.s}^+$	371,00	389,70
	$6_{g.s}^+$	717,66	689,50
	$8_{g.s}^+$	1144,47	1297,70
	$10_{g.s}^+$	1637,07	1721,60
γ - Bandı	3_γ^+	1127,79	1060,80
	4_γ^+	1263,79	1481,90
	5_γ^+	1432,55	1857,90
	6_γ^+	1606,75	1960,30
β - Bandı	0_β^+	680,68	995,0
	2_β^+	815,48	686,30
	4_β^+	1047,58	1208,50
	6_β^+	1365,89	1354,50
	8_β^+	1756,51	2216,00
	10_β^+	2194,20	2420,00

3.2. ¹⁵⁸Gd İZOTOPU

¹⁵⁸Gd izotopunun temel hal bandı, β bandı, γ bandı, octupol bandı üyelerini band yapısı, spin ve paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyelerine göre bir tablo halinde çizelge 3.2.1 de gösterilmiştir. Burada spin-paritede kullanılan alt indisler band yapısını göstermektedir. Deneysel uyarılma seviyeleri keV cinsinden yazılmıştır. ¹⁵⁸Gd izotopunda K=2 temel bandının 79,51 keV enerji seviyesinden K=0 taban durum bandına 0 keV enerji seviyesine geçişi ($2_1^+ \rightarrow 0^+$) ile 79,51 keV luk bir enerji açığa çıkar.

¹⁵⁸Gd çekirdeğinin bozunum ve uyarılmış düzeyleri şemaları ^[31] sırasıyla şekil 3.2.1 ve şekil 3.2.2 de görülmektedir. ¹⁵⁸Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları çizelge 3.2.2 gösterilmiştir. ¹⁵⁸Gd izotopunun bazı geçişleri için teorik olarak hesaplanan $\delta(E2/M1)$ çok kutuplu karışım oranı çizelge 3.2.3 de ve PHINT^[19] program kodu kullanılarak belirlenen teorik enerji seviyeleri ve deneysel enerji seviyeleri^[34] çizelge 3.2.4 de gösterilmiştir. ¹⁵⁸Gd'nin hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri Şekil 4.2.2 de, deneysel ^[33] ve hesaplanan teorik çok kutuplu karışım oranları çizelge 4.1.2 de gösterilmiştir.

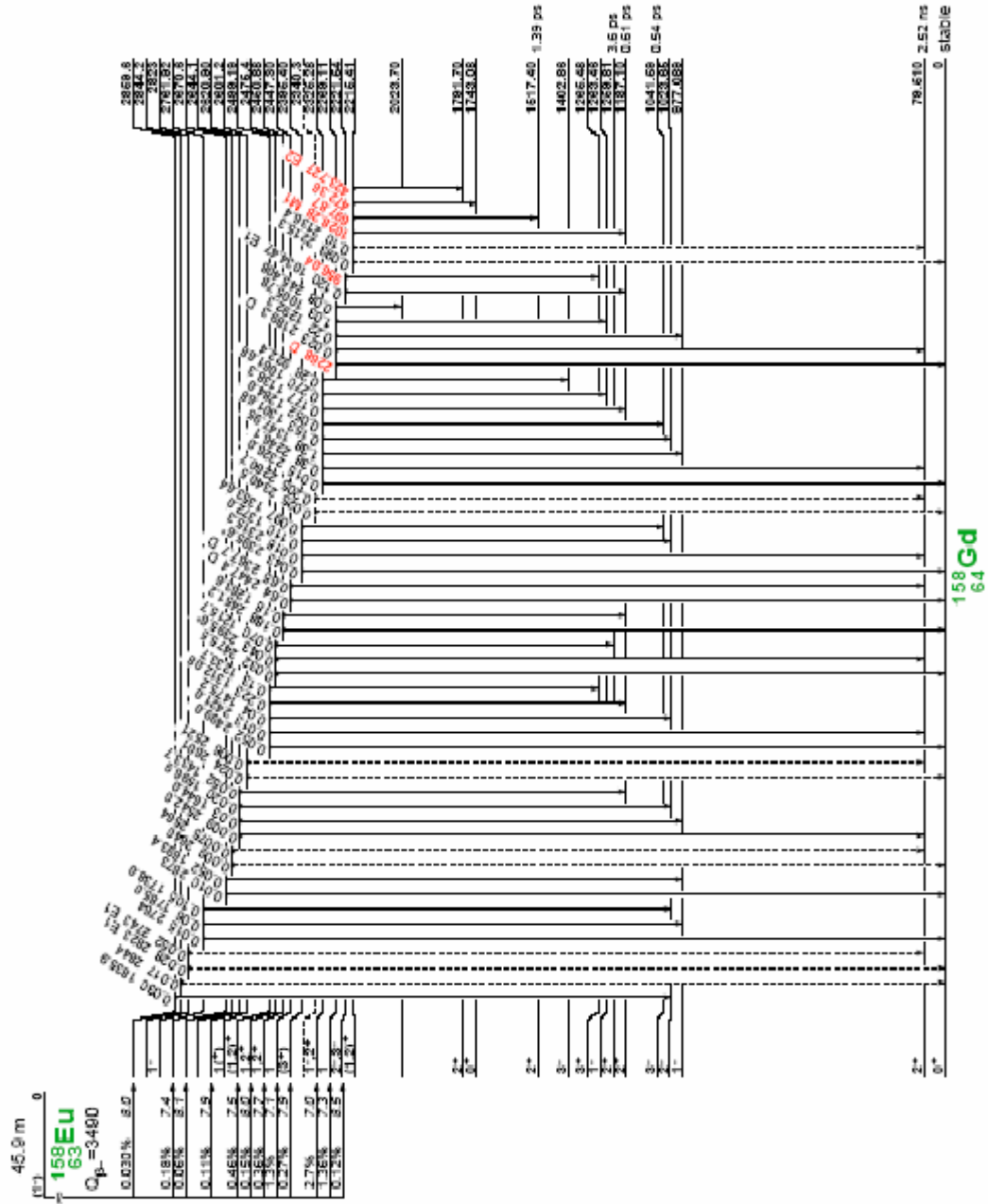
3.2.1. ¹⁵⁸Gd İZOTOPUNUNDAKİ BAZI ENERJİ SEVİYELERİ

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

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

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

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



Şekil 3.2.1 ^{158}Gd izotopunun uyarılmış düzeyleri ve enerji bozunum şeması [31]

1187,10 keV seviyesi: Spin paritesi 2^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1187,10]keV

1^- [977,089]keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 210,70 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

4^+ [261,440]keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 925,620 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

2^+ [79,510]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1107,630 keV değerindedir.

0^+ [0]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1187,13 keV değerindedir.

1265,480 keV seviyesi: Spin paritesi 3^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1265,480]keV,

4^+ [261,440]keV seviyesine çok kutupluluğu E2,M1 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1004,00 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

2^+ [79,510]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş vardır. Bu geçişte 1185,99 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

1358,420 keV seviyesi: Spin paritesi 4^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden [1358,420]keV,

2^+ [1187,10]keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 171,322 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

6^+ [538,983]keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 819,53 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

4^+ [261,440]keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1097,01 keV değerindedir.

$2^+[79,510]$ keV seviyesine çok kutupluluğu E2 olan bir geçiş gözlenmektedir.

Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 1278,920 keV değerindedir.

1481,370 keV seviyesi: Spin paritesi 5^+ olan bu seviye γ bandının bir üyesi olup bu seviyeden $[1481,55]$ keV,

$4^+[1380,570]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 100,783 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

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

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

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

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

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

$6^+[538,983]$ keV seviyesine bir geçiş vardır. Bu geçişte 1096 keV luk bir γ ışını açığa çıkar.

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

Çizelge 3.2.1 ^{158}Gd izotopunun band yapısı, spin paritesine bağlı olarak bazı enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Deneysel uyarılma Enerjileri $^{(31)}$ (keV)
Temel Hal Bandı	$0_{g.s}^+$	0
	$2_{g.s}^+$	79,510
	$4_{g.s}^+$	261,440
	$6_{g.s}^+$	538,983
	$8_{g.s}^+$	904,60
γ - Bandı	2_γ^+	1187,10
	3_γ^+	1265,48
	4_γ^+	1358,42
	5_γ^+	1481,37
	6_γ^+	1623,00
β - Bandı	0_β^+	1196,10
	2_β^+	1259,81
	4_β^+	1406,64
	6_β^+	1635,00
Octupol Bandı	$1_{o.b}^-$	977,089
	$1_{o.b}^-$	1263,46
	$2_{o.b}^-$	1023,65
	$3_{o.b}^-$	1402,86
	$(5^-)_{ob}$	1639,27
	4_{ob}^-	1158,92
	5_{ob}^-	1176,43

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

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

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

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

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

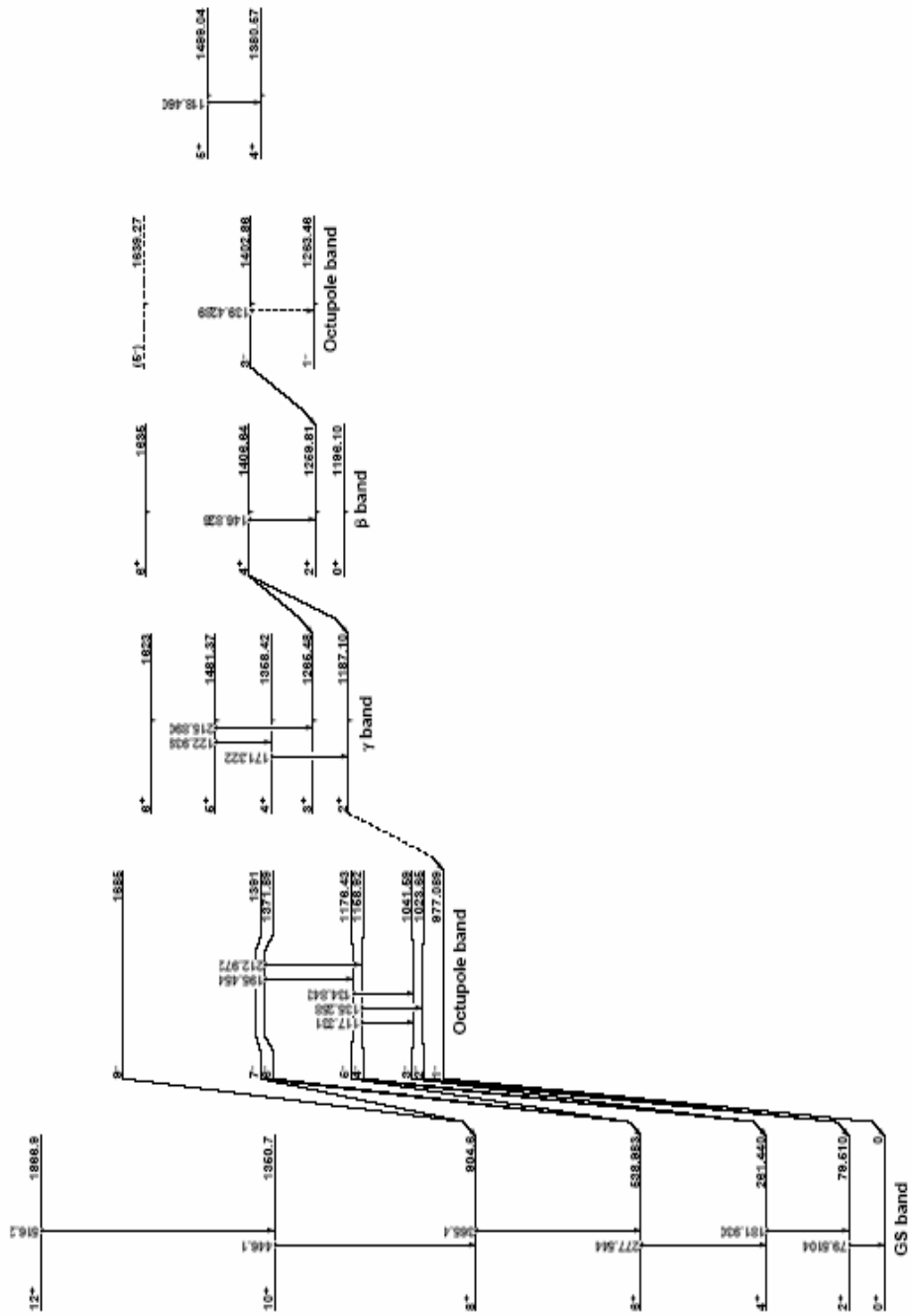
2^- [1023,650]keV seviyesine bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişte açığa çıkan γ ışını 236,168 keV değerindedir.

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

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

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

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



Şekil 3.2.2 ^{158}Gd izotopunun enerji band yapısı [31]

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

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

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

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

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

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

3.2.2. ^{158}Gd İZOTOPUNUN TEMEL DURUM BANDLARI ARASI GEÇİŞ OLASILIKLARI

^{158}Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları hesaplanarak aşağıdaki Çizelge 3.2.2 de gösterilmiştir. PHINT programı kullanılarak elde edilen diğer B(E2) sonuçları tezin sonunda EK 5 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2.2: ^{158}Gd çekirdeği için temel durum bandları arası geçiş olasılıkları

Spin	B(E2) (e^2b^2)		
	Bu çalışma	Deneysel	Diğer Çalışmalar ⁽⁴¹⁾
Geçiş			
$2^+ \rightarrow 0^+$	1,0954	$1,01 \pm 0,15^{(41)}$	1,03
$4^+ \rightarrow 2^+$	1,5535	-	1,04
$6^+ \rightarrow 4^+$	1,6854	-	1,56
$8^+ \rightarrow 6^+$	1,7196	-	1,66

3.2.3. ^{158}Gd İZOTOPUNUN $\delta(E2/M1)$ ELEKTROMANYETİK GEÇİŞLERİN KUTUPSAL KARIŞIM ORANLARI HESAPLANMASI

Çift-çift ^{158}Gd izotopunun $\delta(E2/M1)$ 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 2.8 deki 2.34 – 2.35 – 2.36 – 2.37 denklemleri kullanılmıştır.

1358,467 keV → 261,440 keV geçişi referans olarak alınırsa,

$$\delta(E2/M1) = 6,4^{+14}_{-10}$$

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A f(l_f, l_i)$$

formülünde bilinenler yerine yazılarak sabit bir A değeri bulunacaktır.

Burada $4^+ \rightarrow 4^+$ geçişi için;

$$4^+[1358,46]\text{keV} \rightarrow 4^+[261,44]\text{keV}$$

* $E_\gamma = 1097,007 \text{ keV} = 1,097 \text{ meV}$ olarak hesaplanır.

Ve mümkün olan durumlara bağlı olarak $f(l_f, l_i)$ nin alacağı değer;

* $l_i=4^+$, $l_f=4^+$ için $l_f = l_i$ olduğundan $f(l_f, l_i) = 10[(2l_f - 1)(2l_f + 3)]^{-1/2}$ eşitliği

kullanılarak

$f(l_f, l_i) = 10/(77)^{1/2}$ bulunacaktır. Bu sonuçlar yerlerine yazılırsa;

$$6,4 = (0,832).(1,097).(A).[(10)/(77)^{1/2}] \quad \blacktriangleright \quad \mathbf{A = 6,15}$$
 olarak hesaplanacaktır.

Elde edilen bu A değeri sabit bir değerdir. Ve bütün geçişler için kullanılacaktır.

1) $5^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1499,040 keV \rightarrow 261,440 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A. f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 1237,520 \text{ keV} = 1,238 \text{ meV}$$

$$A=6,15$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(72)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 7,47$ olarak hesaplanır.

2) $2^+ \rightarrow 2^+$ geçişi: 1187,140 keV \rightarrow 79,510 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A. f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 1107,626 \text{ keV} = 1,108 \text{ meV}$$

$$A=6,15$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(21)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 12,37$ olarak hesaplanır.

3) $3^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1265,518 keV \rightarrow 261,440 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A. f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 1004,04 \text{ keV} = 1,004 \text{ meV}$$

$$A=6,15$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(36)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 8,56$ olarak hesaplanır.

4) $4^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1380,62 keV \rightarrow 261,440 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A. f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 1119,20 \text{ keV} = 1,120 \text{ meV}$$

$$A=6,15$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(77)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 6,53$ olarak hesaplanır.

5) $4^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1406,699 keV \rightarrow 261,440 keV

$$\delta(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A.f(I_f, I_i)$$

$$E_\gamma = 1145,26 \text{ keV} = 1,145 \text{ meV}$$

$$A=6,15$$

$$f(I_f, I_i) = 10/(77)^{1/2}$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta(E2/M1) = 6,67$ olarak hesaplanır.

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' NIN HATA HESABI

$4^+[1358,467]\text{keV} \rightarrow 4^+[261,440]\text{keV}$ geçişi referans olarak alınmıştı. Bu geçişte

$$E_\gamma = 1097,007 \text{ keV} = 1,097 \text{ meV} \quad \delta(E2/M1) = 6,4^{+14}_{-10}$$

$l_i=4^+$, $l_f=4^+$ için $l_f = l_i$ olduğundan $f(l_f, l_i) = 10[(2l_f - 1)(2l_f + 3)]^{-1/2}$ eşitliği kullanılarak

$f(l_f, l_i) = 10/(77)^{1/2}$ sonuçları bilinmektedir.

A_+ , A_- belirlenmesi için 2.41 ve 2.42 denklemleri kullanılacaktır.

A_+ 'nin Hesaplanması

$$6,4+0,14 = (0,832).(1,097). A_+.[(10)/(77)^{1/2}] \quad \text{yazılır. Buradan}$$

$A_+ = 6,28$ olarak bulunur.

A_- 'nin Hesaplanması

$$6,4-0,10 = (0,832).(1,097). A_-.[(10)/(77)^{1/2}] \quad \text{yazılır. Buradan}$$

$A_- = 6,05$ olarak bulunur.

$A = 6,15^{+0,13}_{-0,10}$ bulunacaktır.

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

3.2.5. $\delta(E2/M1)$ 'İN HATA HESABI

1) $5^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1499,04 keV \rightarrow 261,440 keV

$$E_\gamma = 1237,520 \text{ keV} = 1,238 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,13$$

$$A_- = -0,10$$

$$\delta(E2/M1) = 7,47$$

$$f(l_f, l_i) = 10/(72)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_+ \cdot f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,16$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_- \cdot f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = -0,12$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 7,47^{+0,16}_{-0,12} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

2) $2^+ \rightarrow 2^+$ geçişi: 1187,143 keV \rightarrow 79,510 keV

$$E_\gamma = 1107,626 \text{ keV} = 1,108 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,13$$

$$A_- = -0,10$$

$$\delta(E2/M1) = 12,37$$

$$f(l_f, l_i) = 10/(21)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832) \cdot (E_\gamma) \cdot A_+ \cdot f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,26$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_- . f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = -0,20$ olarak hesaplanır.

$\delta(E2/M1) = 12,37^{+0,26}_{-0,20}$ olarak hesaplanmıştır.

3) $3^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1265,518 keV \rightarrow 261,440 keV

$$E_\gamma = 1004,04 \text{ keV} = 1,004 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,13$$

$$A_- = -0,10$$

$$\delta(E2/M1) = 8,56$$

$$f(l_f, l_i) = 10/(36)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_+ . f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,18$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_- . f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = -0,14$ olarak hesaplanır.

$\delta(E2/M1) = 8,56^{+0,18}_{-0,14}$ olarak hesaplanmıştır.

4) $4^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1380,620 keV \rightarrow 261,440 keV

$$E_\gamma = 1119,20 \text{ keV} = 1,120 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,13$$

$$A_- = -0,10$$

$$\delta(E2/M1) = 6,53$$

$$f(l_f, l_i) = 10/(77)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_+. f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,14$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_-. f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = -0,10$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 6,53^{+0,14}_{-0,10} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

5) $4^+ \rightarrow 4^+$ geçişi: 1406,699 keV \rightarrow 261,440 keV

$$E_\gamma = 1145,26 \text{ keV} = 1,145 \text{ meV}$$

$$A_+ = 0,13$$

$$A_- = -0,10$$

$$\delta(E2/M1) = 6,67$$

$$f(l_f, l_i) = 10/(77)^{1/2}$$

$$\delta_+(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_+. f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_+(E2/M1) = 0,14$

$$\delta_-(E2/M1) = (0,832).(E_\gamma).A_-. f(l_f, l_i)$$

bilinenler yerlerine yazılırsa; $\delta_-(E2/M1) = -0,10$ olarak hesaplanır.

$$\delta(E2/M1) = 6,67^{+0,14}_{-0,10} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

^{158}Gd izotopu için bu çalışmada elde edilen $\delta(E2/M1)$ verileri Çizelge 3.2.3 tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.2.3 ^{158}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

Eγ-geçiş enerjisi (keV)	Geçiş	δ bu çalışma(E2/M1)
1358,467	$4^+ \rightarrow 4^+$	referans
1237,520	$5^+ \rightarrow 4^+$	$7,47^{+0,16}_{-0,12}$
1107,626	$2^+ \rightarrow 2^+$	$12,37^{+0,26}_{-0,20}$
1004,040	$3^+ \rightarrow 4^+$	$8,86^{+0,18}_{-0,14}$
1119,200	$4^+ \rightarrow 4^+$	$6,53^{+0,14}_{-0,10}$
1145,260	$4^+ \rightarrow 4^+$	$6,67^{+0,14}_{-0,10}$

^{158}Gd izotopu için oluşturulan parametrik setle ⁽³²⁾ elde edilen enerji seviyeleri aşağıdaki çizelge 3.2.4 gösterildiği gibidir. PHINT programı ile hesaplanan değerler deneysel değerlerle yakın düzeydedir. Yapılan çalışmada elde edilen bütün verilerin program çıktısı, tezin sonunda bulunan Ek'lerde gösterilmiştir.

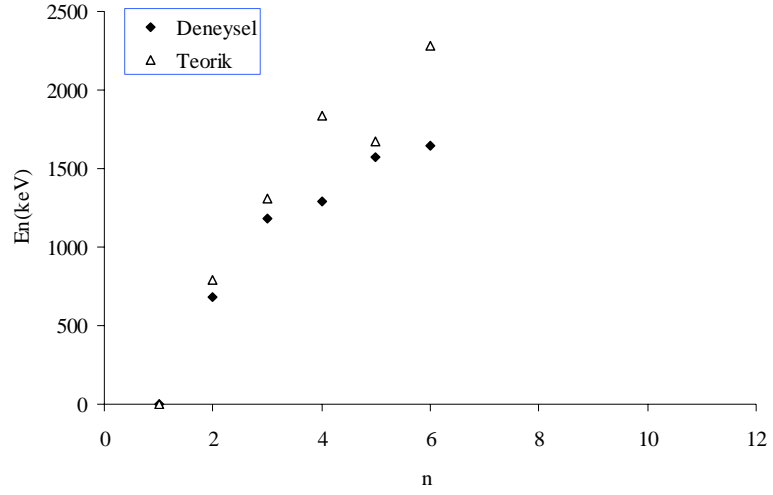
Çizelge 3.2.4 ^{158}Gd izotopunun PHINT programı kullanılarak belirlenen teorik enerji sevipleri ve deneysel enerji seviyeleri

Band Yapısı K^π	Spin Parite I^π	Deneysel uyarılma Enerjileri ⁽³³⁾ (KeV)	Bu Çalışmada Hesaplanan Enerjiler (KeV)
Temel Hal Bandı	$0_{g.s}^+$	0	0
	$2_{g.s}^+$	79,51	81,40
	$4_{g.s}^+$	261,44	269,80
	$6_{g.s}^+$	538,98	562,70
	$8_{g.s}^+$	904,60	957,50
	$10_{g.s}^+$	1350,70	1451,90
γ - Bandı	2_γ^+	1187,10	1156,01
	3_γ^+	1265,48	1277,00
	4_γ^+	1358,42	1330,80
	5_γ^+	1481,37	1211,00
β – Bandı	0_β^+	1196,10	1252,00
	2_β^+	1259,81	1093,40
	4_β^+	1406,64	1391,20
	6_β^+	1635,00	1642,50

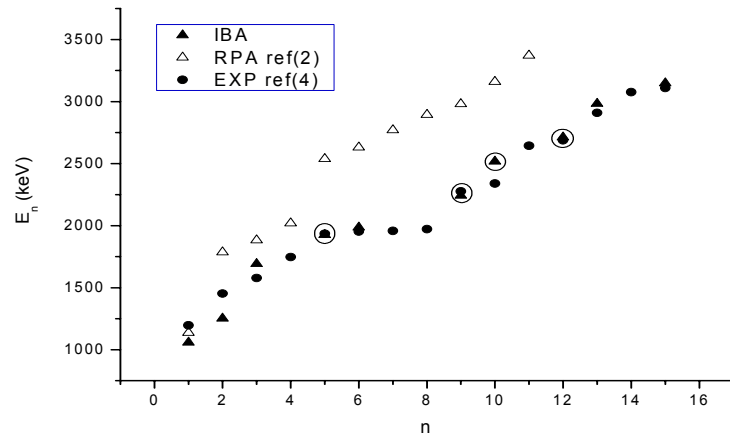
4. SONUÇ VE TARTIŞMA

¹⁵⁴ ve ¹⁵⁸Gd çekirdeğinin nadir toprak ve aktinyum dizisi deforme çekirdeklerinden biri olması nedeniyle çekirdeğin deforme olmuş bölgelerinde benzer sayıda 0^+ uyarılmalarının bulunması beklenebilir. Bu nedenle, bu kadar fazla sayıdaki $K\pi=0^+$ durumlarının kaynağının anlaşılması önemli bir konudur. Deforme bölgelerde çok sayıda 0^+ durumları konusunda yakın dönemde yapılan gözlemler, yeni bir pencere açmış ve atom çekirdeğine mikroskobik yaklaşımın önemini ortaya koymuştur. Gerçekte bu alandaki çalışmalar mikroskobik yaklaşıma dayalı olarak yeni tahminlere gereksinim olduğunu göstermektedir.

¹⁵⁴Gd çekirdeği için Şekil 4.1.1 'de d bozonlarının hesaplanan 0^+ durumları gösterilmiştir. ¹⁵⁸Gd çekirdeği için Şekil 4.1.2 'de, f bozonlarının tahmin edilen sayısı n_f yaklaşık ~ 2 olduğu ve 0^+ durumları daire içine aldık. Açıkça, oldukça düşük enerjide çok fazla 0^+ durumu bulunmaktadır. Elde edilen 0^+ durumları iki fononlu oktupol özelliği göstermektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi 0^+ durumlarının belirli ampirik 0^+ durumlarına karşılık geldiği konusunda bir garanti yoktur. Bununla birlikte eşlenme boşluğunun üzerinde deforme olmuş çekirdek inceleniyorsa oktupol serbestlik derecesinin dâhil edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu sonuçları, oktupol serbestlik derecesini içeren modellerin son deneyle uyumlu şekilde oldukça düşük düzeydeki 0^+ durumlarını tahmin edebildiğinin kanıtı olarak yorumluyoruz.^[9]



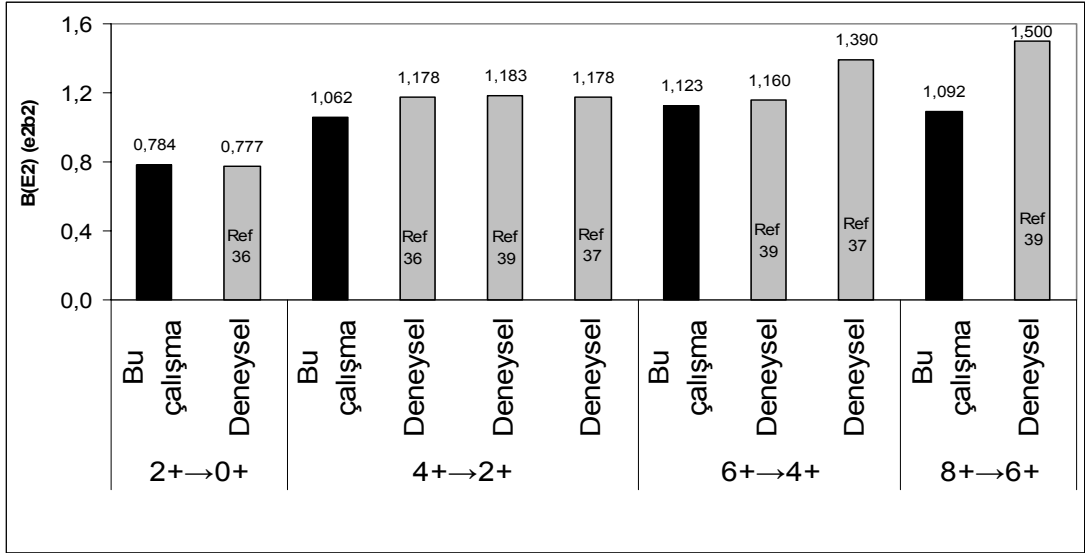
Şekil 4.1.1 ^{154}Gd nin deneysel ve teorik hesaplanan 0⁺ durumları



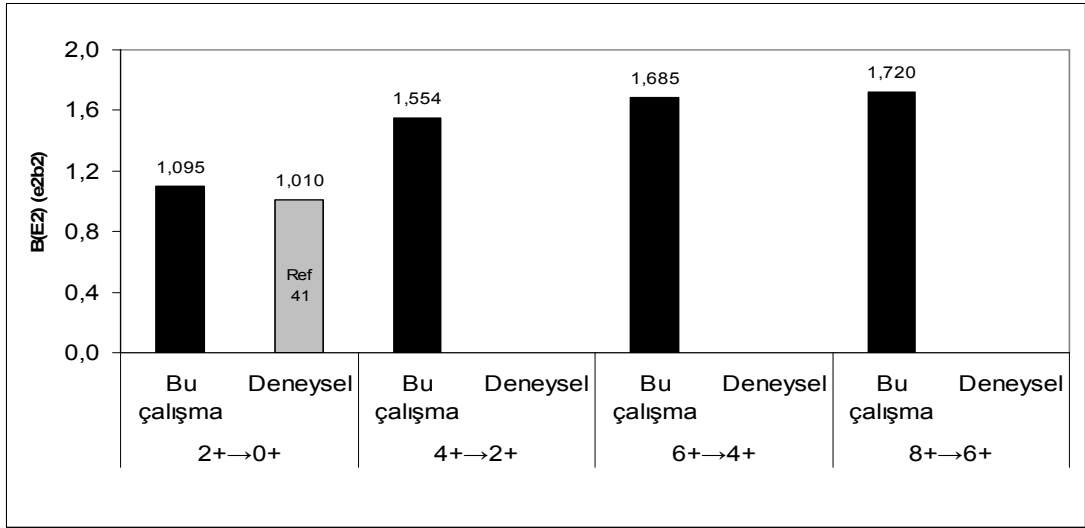
Şekil 4.1.2 ^{158}Gd nin deneysel ve teorik hesaplanan 0⁺ durumları

Gözlemlenen γ -bozulma 0^+ durumları ^[10,11] , yaygın oktipol özellik kavramını desteklemektedir. γ bozulması bilinen 2 MeV altındaki ¹⁵⁸Gd'deki her 0^+ durumu, E1 geçişleri ile düşük seviyedeki negatif parite durumlarına geçmektedir. Bu, 0^+ durumlarının bazılarındaki güçlü iki fononlu oktipol özellikle uyumludur. Hemen bütün 0^+ durumlarının ömürleri konusunda yapılan son ölçümler ^[20] , $B(E2; 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ değerlerinin birkaç e^2b^2 olduğunu göstermektedir. Oktipol durumlara bozulma ile birleştiğinde bu, bunlardan bazılarının çift Oktipol fonon özelliği ile uyumludur. Bu sonuçlar, daha yüksek 0^+ durumlarından γ ışını kollarının ölçümleri ile Hamiltonyen ve elektromanyetik geçiş operatörlerinin parametrelerinin açık bir şekilde tanımlanmasına imkân verecektir.

Pozitif parite durumları arasındaki geçişlere ilişkin deneysel ve teorik $B(E2)$ değerleri ^{154 ve 158}Gd için sırasıyla Çizelge 3.1.2 ve 3.2.2 'de verilmiştir. $B(E2)$ ' ye ait sonuçlar Şekil 4.2.1 ve Şekil 4.2.2 de gösterilmiştir. Elde edilen dalga fonksiyonları kullanılarak PHINT ^[19] programından teorik enerji seviyeleri elde edildi. Şekil 4.3.1 ve Şekil 4.3.2 de teorik ve deneysel enerji seviyeleri görülmektedir. $B(E2)$ değerleri, dalga fonksiyonunun geçerliliğinin bir ölçüsüdür. Elde ettiğimiz sonuçlar, bu çalışmada elde edilen dalga fonksiyonunun güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, diğer çekirdeklere ve birçok nükleer özelliklere uygulanabilir. ^[20]

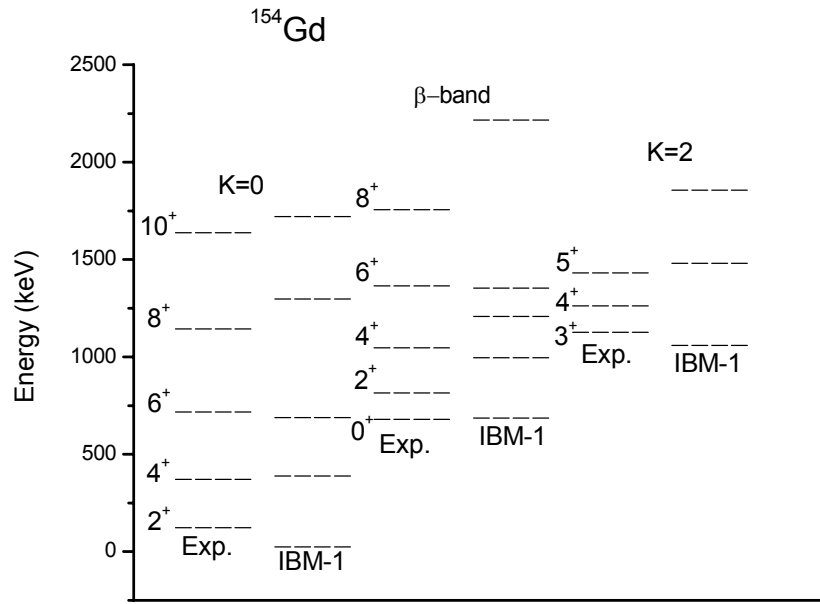


Şekil 4.2.1 ¹⁵⁴Gd'nin hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri

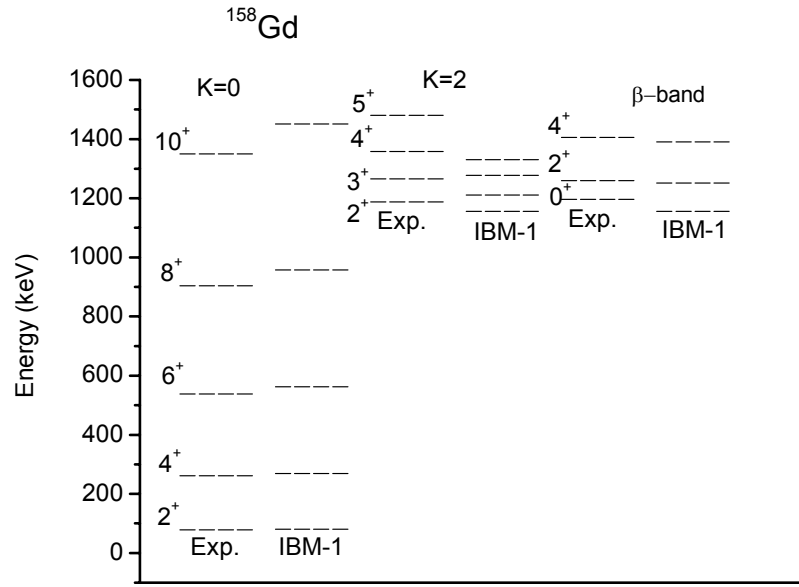


Şekil 4.2.2 ¹⁵⁸Gd'nin hesaplanmış ve deneysel B (E2) değerleri

Sonuç olarak oktipol serbestlik derecesi dikkate alındığı takdirde 154 ve 158 Gd'de $\sim 3,2$ MeV'nin altında yaklaşık olarak aynı sayıda 0^+ durumunun tahmin edilmesinin mümkün olduğunu gösterdik. Yapının bu bağlantısı doğru ise ayrıca 0^+ durumlarından sadece birkaç tanesinin, büyük ölçüde yarı parçacık özelliğinde olduğuna ve çift oktipol 0^+ durumlarının, deforme çekirdekteki eşleşme boşluğunun yakınında veya üzerinde yaygın olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 4.3.1 ^{154}Gd nin IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel⁽³³⁾ enerji seviyeleri



Şekil 4.3.2 ^{158}Gd nin IBM-1 ile hesaplanan teorik enerji seviyeleri ile deneysel⁽³³⁾ enerji seviyeleri

^{154}Gd için yapılan kutupsal karışım oranları hesaplamalarında $3_{\gamma}^+ [1127,793]\text{keV} \rightarrow 2_{g.s.}^+ [123,071 \text{ keV}]$ geçişi referans olarak ele alınmıştır. IBM-2 metodundan yola çıkarak yaptığım çalışmada elde etmiş olduğum $\delta(E2/M1)$ sonuçlarıyla deneysel $\delta(E2/M1)$ sonuçları uyum içindedir. Geçişlere karşılık elde edilen $\delta_{\text{bu çalışma}}(E2/M1)$ değerleri ile deneysel $\delta(E2/M1)$ karışım oranları Çizelge 4.1.1 gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.1: ^{154}Gd izotopunun bazı geçişleri için $\delta_{\text{bu çalışma}}(E2/M1)$ ve

δ deneysel (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

Ey-geçiş enerjisi (keV)	Geçiş	δ bu çalışma(E2/M1)	δ deneysel(E2/M1) ⁽³³⁾
1004,725	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	7,0 (4)	7,0 (4)
873,190	$2_{\gamma}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	$4,60^{+0,12}_{-0,56}$	9,4 (4)
676,593	$4_{\beta}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$1,86^{+0,04}_{-0,22}$	2,9 (4)
756,763	$3_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$2,72^{+0,06}_{-0,03}$	6,1(3)
692,421	$2_{\beta}^{+} \rightarrow 2_{G.S}^{+}$	$3,64^{+0,09}_{-0,44}$	7,5 (4)
892,780	$4_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$2,45^{+0,06}_{-0,30}$	3,8(3)
648,20	$6_{\beta}^{+} \rightarrow 6_{G.S}^{+}$	$1,22^{+0,03}_{-0,15}$	1,30 (20)
1061,39	$5_{\gamma}^{+} \rightarrow 4_{G.S}^{+}$	$3,02^{+0,07}_{-0,36}$	$4,3^{+12}_{-26}$
518,011	$4^{+} \rightarrow 3^{+}$	$1,86^{+0,04}_{-0,22}$	1(3)

^{158}Gd için yapılan kutupsal karışım oranları hesaplamalarında 2^{+} [1517,40 keV \rightarrow 2^{+} [79,50 keV] geçişi referans olarak ele alınmıştır. IBM-2 metodundan yola çıkarak yaptığım çalışmada elde etmiş olduğum δ (E2/M1) sonuçlarıyla deneysel δ (E2/M1) sonuçları uyum içindedir. Geçişlere karşılık elde edilen δ bu çalışma(E2/M1) değerleri ile deneysel δ (E2/M1) karışım oranları Çizelge 4.1.2 gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.2: ^{158}Gd izotopunun bazı geçişleri için δ bu çalışma (E2/M1) ve δ deneysel (E2/M1) elektromanyetik çok kutuplu karışım oranları

Eγ-geçiş enerjisi (keV)	Geçiş	δ bu çalışma(E2/M1)	δ deneysel(E2/M1) ⁽³³⁾
1358,467	$4^+ \rightarrow 4^+$	$6,4^{+14}_{-10}$	$6,4^{+14}_{-10}$
1237,520	$5^+ \rightarrow 4^+$	$7,47^{+0,16}_{-0,12}$	>1
1107,626	$2^+ \rightarrow 2^+$	$12,37^{+0,26}_{-0,20}$	9 (15)
1004,040	$3^+ \rightarrow 4^+$	$8,86^{+0,18}_{-0,14}$	23^{+19}_{-7}
1119,200	$4^+ \rightarrow 4^+$	$6,53^{+0,14}_{-0,10}$	$4,5^{+20}_{-17}$
1145,260	$4^+ \rightarrow 4^+$	$6,67^{+0,14}_{-0,10}$	1,0 (2)

Sonuç olarak, deforme bölge başlangıcında bulunan Gadolinium izotoplarından çift-çift 154 ve ^{158}Gd izotopunun δ (E2/M1) elektromanyetik çok kutup karışım oranları, nötron ve proton bozonlarının farklı olarak ele alındığı Etkileşen Bozon Modeli-2 (IBM-2) çerçevesinde hesaplanan değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırıldığında oldukça uyumlu sonuçlar verdiği görüldü.

KAYNAKLAR

1. W.Grainer and M.Eisenberg, Nuclear Theory **V.1**,Holland. (1970)
2. P.A.Atam, Fundemetal of Nuclear Physics, **1-470**, 1966
3. P.Schuck,P.Ring, The Nuclear Problem, A.B.D., (1980)
4. F.Iachello, I.Talmi, Shell Model Foundations of the Interaction Boson Model, Rev.Mod.Phys. **59**,339, (1987)
5. A.Arima,F.Iachello, T.Ohtsuka, I.Talmi, Phys.Lett.**66B**,205, (1977)
6. Y. Sun et al., Phys. Rev. **C68**, 061301(R) (2003)
7. N. Lo Iudice, A.V. Sushkov, N. Yu Shirikova, Phys. Rev. **C70**, 064316 (2004).
8. M. Gerceklioglu, Ann. Phys. (Leipzig), **14**, 312 (2005).
9. S. R. Leshner, A. Aprahamian, L. Trache, A. Oros-Peusquens, S. Deyliz, A. Gollwitzer, R. Hertenberger, B. D. Valnion, and G. Graw, Phys. Rev. **C66**, 051305 (R) (2002).
- 10.H. G. Borner, M. Jentschel, N.V. Zamfir, R.F. Casten, M. Krticka, and W. Andrejtscheff, Phys. Rev. **C59**, 2432 (1999).
- 11.R.G. Helmer, Nucl. Data Sheets **77**, 471 (1996).
- 12.F.Iachello and A.Arima, The Interaction Boson Model, Cambridge Univ. Pres., Cambridge,(1987).
- 13.M.Dudex and K.Kumar, Nucl.Phys.**A122**,241, (1968)
- 14.W.Z.Grainer et al. PhysA.**325**.415, (1986)

15. W. Greiner, Nucl. Phys. **80**, 417, (1966)
16. W. Nazarewicz et al., Nucl. Phys. **A469**, 348 (1987)
17. A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., **99**, 253 (1976)
18. F. Iachello, P. Van Isacker, The Interacting Boson-Fermion Model. Cambridge, Cambridge University Press (1991).
19. O. Scholten: Internal Report KVI 252 computer code PHINT University of Groningen (1980).
20. H.R. Yazar, Journal of Korean Phys. Soc. Vol. 47, **No. 4**, 592-596, Oct., (2005).
21. N. V. Zamfir, D. Kusnezov M. Babilon, International Journal of Modern Physics E, Vol. 14, **No. 1**, 147-155, 2005.
22. P.E. Garrett, J. Phys. **G 27**, R1 2001
23. S.R. Leshner et al, Phys. Rev. **C 66** 051305® 2002
24. M. Gerçeklioğlu. Eur. Phys. J. **A 25**, 185-191 (2005)
25. M. Gerçeklioğlu. Acta Physica Slovaca Vol. 52, **No 3**, 161-171 (2002)
26. M. Gerçeklioğlu. Ann. Phys. **14**, No. 5, 312-323 (2005)
27. M. Gerçeklioğlu, A.E. Çalık Acta Physica Slovaca **Vol. 55**, No 2, 197-209 (2005)
28. N.V. Zamfir, Jing Ye Zhang, R.F. Casten. Phys. Rev. **C66**, 057303 (2002)
29. P.D. Cottle and N.V. Zamfir. Phys. Rev. C1500, **Vol 58**, Number 3
30. K.S. Krane, At Data Nucl. Data Tables, **16**, 383 (1975)
31. John Wiley, Table Of Isotopes, V.S. Shirley ed., 1996, **2877** pages
32. ¹⁵⁴⁻¹⁵⁸Gd izotopları parametrik setleri (Özel İletişim)

33. http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_adopted.jsp (veri sitesi)
34. Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF)
<http://www.nndc.bnl.gov/ensdf/> (veri sitesi)
35. Kenneth S. Krane, Nuclear Phy. 1-2, 1996
36. Gupta, Kumar K, Hamilton J, (1977), " Pairing-Plus-Quardupol Model Calculations for $^{154-158}\text{Gd}$ ", Phys,Rev **c16**,1.427-437
37. Van Isacker P. (1982), " An Expasion of the IBM and its Application to Even-Even Gd isotopes ", Nucl.Phys. **A380**,383-409
38. Chuu D.S and Hsieh S, (1990) " IBM-1 studies of Strongly Deformed Nuclei Near A = 150 ", J.Phys.G.Nucl.Part, Phys.**16**,583-592
39. Varshney A.K, Tyagi R.K, Prasad R and Gupta (1988), " B(E2) Values for Transitions from High Spin States in Deformed Even-Even Nuclei", 11 Nuovo, **99. A**, 1-8
40. Dharduwaj S.K, Gupta (1983) " Rotation-Vibration Description and Transitional Nuclei" Phys Rev. **C27**,2. 872-881
41. G.Popa, J.G.Hirsch and J.P. Draayer Department of Physics and Astronomy, Louisiana State University,70803-4001, Phys Rev C. **Volume 62**, 064313

EK-1 ¹⁵⁴Gd izotopu enerji seviyeleri, PHINT program verileri ⁽¹⁹⁾

```
&IOFILES
OUTPUT = 154GdE.out           ,
PHWAVE = 154Gd.WAV           ,
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 22/ 6/2007 , started at 15:43:13.593 -----
1 PROGRAM PHINT
  VERSION JANUARY 1982

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

      154 Gd
      $INPT           MULT=.T.,EPS=0.0224,PAIR=0.004,QQ=-.024,
ELL=.0018,OCT=0.017,NPHMAX=11,
      MULT=.T., HEX=-0.011 ,IPPM=2, IAM=10 $
      PLAT 55 55

*****

      RUN ON =22-JUN-07 , STARTED AT =15:43:13
      ARRAY SPACE IN USE = 34567

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

MULTIPOLE EXPANTION :
  EPS= 0.0224 , PAIR= 0.0040 , ELL= 0.0018
  QQ =-0.0240 , OCT = 0.0170 , HEX=-0.0110
  CHQ=-2.9580

  CH1 = 0.00400 , 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 | 2+_2+ INTER. | 2+_3- INTER. ONE PHONON
TWO PHONON F3 (S+F+DF)
  0.07480 0.00000 0 -0.46880 1 0.00000 0.07099 -0.03130
0.00000

      2 0.08303 2 0.00000
      4 0.01063 3 0.00000
      4 0.00000
      5 0.00000
```

ENERGIES , L= 0+

0.0000 0.9952 1.5115 2.1417 2.5609 3.2846 3.6486 3.9660 4.3482
4.7173 5.0228 5.3450 5.6603 6.0940 6.5137 7.6099

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+

0.0256 0.6863 1.1962 1.7054 2.2429 2.3588 2.6284 2.8931 3.3548
3.3946 3.6824 4.0861 4.2896 4.4007 4.5046 4.7267
5.2195 5.3453 5.3869 5.5691 5.7637 5.8554 6.4478 6.9587 8.3031
9.1453

ENERGIES , L= 3+

1.0608 1.9084 3.0137 3.8220 4.1662 4.8898 5.2863 5.9982 6.4446
7.5397

ENERGIES , L= 4+

0.3897 1.2085 1.4819 1.9585 2.4242 2.4506 2.6195 3.0652 3.3869
3.4837 3.8185 3.8506 4.2110 4.2179 4.4712 4.5273
4.8751 5.0615 5.2668 5.3269 5.4874 5.6244 5.7633 5.9659 6.3703
6.4039 6.8703 7.4975 8.2280 9.0711

ENERGIES , L= 5+

1.8579 2.3791 2.8971 3.3710 4.0680 4.1280 4.4689 5.1556 5.2596
5.5805 5.7098 6.2832 6.8199 8.1693 9.0184

ENERGIES , L= 6+

0.6895 1.3545 1.9603 2.4138 2.5747 2.9976 3.4558 3.5383 3.6755
3.7817 4.1137 4.1530 4.5278 4.6076 4.8076 4.9420
5.1390 5.3087 5.5896 5.6659 5.7683 5.8647 6.2466 6.2745 6.2889
6.7668 7.3627 7.3829 8.1122 8.9594

ENERGIES , L= 7+

2.1160 2.9317 3.5323 4.0039 4.0779 4.5990 5.0591 5.2964 5.5255
5.7396 6.1748 6.2114 6.6412 7.2998 8.0365 8.8802

ENERGIES , L= 8+

1.2977 2.2160 2.4324 3.0264 3.5670 3.6507 3.8647 4.0542 4.1694
4.6531 4.8318 4.8752 5.0793 5.3414 5.4738 5.5283
5.7417 5.9929 6.1411 6.1573 6.5862 6.6238 7.2381 7.9345 7.9670
8.7986 8.8099

ENERGIES , L= 9+

3.1050 3.8530 4.1826 4.8237 5.3984 5.4220 5.9619 6.0079 6.0320
6.5208 7.0767 7.1340 7.8582 8.7140

ENERGIES , L=10+

1.7216 2.4200 3.1967 3.5777 3.9314 4.2564 4.8418 4.8877 5.1730
5.4056 5.4479 5.9365 5.9539 6.0001 6.2957 6.4765

7.0097 7.0727 7.7575 7.7894 8.5952 8.6311

ENERGIES , L= 0-

2.2077 3.1841 4.0765 4.2449 5.0434 5.2920 6.0709 7.7157

ENERGIES , L= 1-

0.9782 1.1579 1.5821 1.7842 1.9590 2.2077 2.2710 2.4547 2.6479
2.6522 2.8076 3.0332 3.1841 3.2369 3.4728 3.5620
3.6148 3.6400 3.8423 3.9322 4.0619 4.0764 4.1440 4.2449 4.2946
4.4567 4.5663 4.5696 4.6289 4.8118 5.0213 5.0434
5.0672 5.2054 5.2920 5.3285 5.3729 5.4539 5.4975 5.5320 5.5653
5.6698 5.7948 6.0037 6.0365 6.0709 6.0838 6.4742
6.5508 7.0119 7.0961 7.6741 7.7157 8.4439 8.5174

ENERGIES , L= 2-

0.9782 1.1579 1.5821 1.7842 1.9590 2.2077 2.2710 2.3431 2.4547
2.6479 2.6522 2.8076 3.0332 3.1348 3.1841 3.2369
3.4728 3.5620 3.5970 3.6148 3.6400 3.8423 3.9322 4.0619 4.0765
4.1440 4.1924 4.2449 4.2945 4.4567 4.5663 4.5696
4.5931 4.6289 4.8118 5.0213 5.0434 5.0672 5.2054 5.2920 5.2958
5.3285 5.3652 5.3729 5.4539 5.4975 5.5320 5.5653
5.6281 5.6698 5.7948 5.9483 6.0037 6.0365 6.0709 6.0838 6.3945
6.4742 6.5508 6.9606 7.0119 7.0961 7.6741 7.7157
8.3894 8.4438 8.5174

ENERGIES , L= 3-

0.7078 0.9782 1.1579 1.3718 1.5821 1.6669 1.7842 1.9590 2.2077
2.2710 2.3393 2.3431 2.4547 2.4691 2.6479 2.6522
2.7037 2.7292 2.8076 3.0332 3.1348 3.1841 3.2184 3.2369 3.4048
3.4728 3.5620 3.5970 3.6148 3.6400 3.6893 3.7204
3.8033 3.8423 3.8758 3.9322 3.9770 4.0619 4.0764 4.1440 4.1738
4.1924 4.2449 4.2665 4.2946 4.4053 4.4567 4.5663
4.5696 4.5931 4.6289 4.6485 4.7116 4.7914 4.8119 4.9363 4.9744
5.0213 5.0434 5.0672 5.1560 5.2054 5.2920 5.2958
5.3285 5.3321 5.3387 5.3420 5.3652 5.3730 5.4539 5.4975 5.5320
5.5653 5.5999 5.6281 5.6292 5.6698 5.7948 5.8544
5.9009 5.9340 5.9483 6.0038 6.0365 6.0709 6.0837 6.1594 6.3542
6.3945 6.4742 6.5508 6.9068 6.9606 7.0119 7.0961
7.5466 7.5601 7.6741 7.7157 7.7832 8.3318 8.3895 8.4439 8.5174

ENERGIES , L= 4-

0.9782 1.1579 1.5821 1.6669 1.7842 1.9590 2.2077 2.2710 2.3431
2.4547 2.4691 2.6479 2.6522 2.7037 2.8076 3.0332
3.1348 3.1841 3.2184 3.2369 3.2428 3.4728 3.5620 3.5970 3.6148
3.6400 3.6892 3.8033 3.8423 3.8504 3.8758 3.9322
3.9770 4.0619 4.0765 4.1440 4.1924 4.2449 4.2473 4.2665 4.2946
4.4567 4.5663 4.5696 4.5931 4.6289 4.6485 4.7745
4.7915 4.8119 4.9363 4.9744 5.0213 5.0434 5.0672 5.2054 5.2517
5.2920 5.2958 5.3285 5.3321 5.3420 5.3652 5.3669

5.3729 5.4539 5.4975 5.5320 5.5653 5.6281 5.6292 5.6698 5.7948
5.7979 5.8214 5.8544 5.9009 5.9340 5.9483 6.0037
6.0365 6.0709 6.0838 6.2809 6.3542 6.3945 6.4742 6.5508 6.7938
6.9068 6.9606 7.0119 7.0961 7.4815 7.5466 7.5601
7.6741 7.7157 8.2551 8.3318 8.3895 8.4439 8.5174

ENERGIES , L= 5-

0.9782 1.1579 1.5821 1.6669 1.7842 1.9590 2.0088 2.2077 2.2710
2.3432 2.4547 2.4691 2.6479 2.6522 2.6669 2.7037
2.8076 3.0332 3.1348 3.1841 3.2184 3.2369 3.2428 3.3344 3.4728
3.5620 3.5970 3.6148 3.6400 3.6893 3.7408 3.8033
3.8423 3.8504 3.8758 3.9322 3.9382 3.9770 4.0619 4.0765 4.1440
4.1924 4.2449 4.2473 4.2665 4.2946 4.3180 4.4567
4.5663 4.5696 4.5931 4.6289 4.6485 4.7745 4.7915 4.8118 4.8168
4.9341 4.9363 4.9744 5.0213 5.0434 5.0672 5.0786
5.2054 5.2517 5.2527 5.2920 5.2958 5.3285 5.3321 5.3420 5.3652
5.3669 5.3729 5.4006 5.4539 5.4975 5.5320 5.5653
5.6281 5.6292 5.6698 5.7228 5.7650 5.7948 5.7979 5.8139 5.8214
5.8544 5.9009 5.9340 5.9483 6.0037 6.0365 6.0709
6.0838 6.1192 6.2413 6.2809 6.3542 6.3945 6.4742 6.5508 6.7327
6.7623 6.7938 6.9068 6.9606 7.0119 7.0961 7.4168
7.4815 7.5466 7.5600 7.6741 7.7157 8.1667 8.1853 8.2551 8.3318
8.3894 8.4438 8.5174

ENERGIES , L= 6-

1.1579 1.6669 1.7842 2.0089 2.2077 2.2710 2.3431 2.4691 2.6479
2.6670 2.7037 2.8076 3.1348 3.1841 3.2184 3.2369
3.2428 3.3344 3.5660 3.5970 3.6148 3.6400 3.6892 3.7408 3.8033
3.8504 3.8758 3.9322 3.9382 3.9770 4.0619 4.0765
4.1924 4.2449 4.2473 4.2665 4.2945 4.3180 4.4035 4.5663 4.5931
4.6289 4.6485 4.7746 4.7915 4.8168 4.9341 4.9363
4.9744 5.0213 5.0434 5.0559 5.0672 5.0786 5.2517 5.2527 5.2920
5.2958 5.3285 5.3321 5.3420 5.3652 5.3669 5.4006
5.4538 5.4975 5.5079 5.6281 5.6292 5.6633 5.6698 5.7228 5.7650
5.7979 5.8139 5.8214 5.8544 5.9009 5.9340 5.9483
6.0037 6.0365 6.0709 6.0809 6.1192 6.2413 6.2809 6.3542 6.3945
6.4742 6.6632 6.7327 6.7623 6.7939 6.9068 6.9606
7.0119 7.2753 7.3108 7.4168 7.4816 7.5466 7.5601 7.6741 7.7157
8.0859 8.1667 8.1853 8.2551 8.3318 8.3894 8.4438

ENERGIES , L= 7-

1.1579 1.6669 1.7842 2.0088 2.2710 2.3431 2.4691 2.6479 2.6670
2.7037 2.7580 2.8076 3.1348 3.2184 3.2369 3.2428
3.3345 3.5661 3.5970 3.6148 3.6332 3.6400 3.6892 3.7408 3.8033
3.8087 3.8504 3.8758 3.9322 3.9382 3.9770 4.0619
4.1924 4.2473 4.2665 4.2946 4.3180 4.4035 4.4569 4.5663 4.5931
4.6289 4.6485 4.7745 4.7915 4.8168 4.9341 4.9363

4.9527 4.9744 5.0213 5.0559 5.0672 5.0786 5.0856 5.2517 5.2527
5.2958 5.3285 5.3321 5.3420 5.3652 5.3669 5.4006
5.4539 5.4962 5.4975 5.5079 5.5272 5.6281 5.6292 5.6386 5.6633
5.6698 5.7228 5.7650 5.7979 5.8139 5.8214 5.8544
5.9009 5.9340 5.9483 6.0037 6.0365 6.0611 6.0809 6.1192 6.2413
6.2809 6.3542 6.3945 6.4656 6.4742 6.6113 6.6632
6.7327 6.7623 6.7939 6.9068 6.9606 7.0119 7.2003 7.2463 7.2754
7.3108 7.4168 7.4815 7.5466 7.5600 7.6741 7.9763
8.0084 8.0859 8.1667 8.1853 8.2551 8.3318 8.3894 8.4438

ENERGIES , L= 8-

1.6669 2.0088 2.3431 2.4691 2.6670 2.7037 2.7580 3.1348 3.2184
3.2428 3.3344 3.5661 3.5970 3.6332 3.6893 3.7408
3.8033 3.8087 3.8504 3.8758 3.9382 3.9770 4.1924 4.2473 4.2665
4.3180 4.4035 4.4569 4.5931 4.6485 4.6742 4.7745
4.7915 4.8168 4.9341 4.9363 4.9527 4.9744 5.0559 5.0787 5.0856
5.2517 5.2527 5.2958 5.3321 5.3420 5.3652 5.3669
5.4006 5.4526 5.4963 5.5079 5.5271 5.6280 5.6292 5.6386 5.6634
5.7228 5.7266 5.7650 5.7979 5.8139 5.8214 5.8544
5.9009 5.9340 5.9483 6.0611 6.0809 6.1192 6.2413 6.2809 6.3542
6.3945 6.4157 6.4656 6.6113 6.6632 6.7327 6.7623
6.7939 6.9068 6.9606 7.1188 7.2003 7.2463 7.2753 7.3108 7.4168
7.4815 7.5466 7.5600 7.8508 7.8857 7.9763 8.0084
8.0859 8.1667 8.1853 8.2551 8.3318 8.3894

ENERGIES , L= 9-

1.6669 2.0088 2.4691 2.6670 2.7037 2.7580 3.1731 3.2184 3.2428
3.3345 3.5661 3.6332 3.6893 3.7408 3.8033 3.8086
3.8504 3.8758 3.9167 3.9382 3.9770 4.2473 4.2665 4.3180 4.4034
4.4569 4.6485 4.6742 4.7114 4.7745 4.7915 4.8168
4.9341 4.9363 4.9527 4.9744 5.0530 5.0558 5.0787 5.0856 5.2517
5.2527 5.3321 5.3420 5.3669 5.4006 5.4422 5.4525
5.4962 5.5079 5.5271 5.6292 5.6386 5.6633 5.7228 5.7266 5.7300
5.7650 5.7979 5.8139 5.8214 5.8544 5.9009 5.9340
6.0611 6.0809 6.1192 6.2413 6.2809 6.3542 6.3797 6.4157 6.4656
6.6113 6.6632 6.7327 6.7623 6.7939 6.9021 6.9068
7.0507 7.1188 7.2003 7.2463 7.2753 7.3108 7.4168 7.4815 7.5466
7.5601 7.7558 7.8036 7.8508 7.8857 7.9763 8.0084
8.0859 8.1667 8.1853 8.2551 8.3318

ENERGIES , L=10-

2.0088 2.6670 2.7580 3.1731 3.2428 3.3345 3.5661 3.6332 3.7408
3.8087 3.8504 3.9166 3.9382 4.2473 4.3180 4.4035
4.4569 4.6742 4.7114 4.7745 4.8168 4.9341 4.9527 5.0530 5.0558
5.0786 5.0856 5.1032 5.2517 5.2527 5.3669 5.4006
5.4422 5.4526 5.4963 5.5079 5.5271 5.6386 5.6633 5.7228 5.7266
5.7300 5.7650 5.7979 5.8139 5.8214 6.0288 6.0611
6.0809 6.1192 6.2413 6.2809 6.3797 6.4157 6.4656 6.6113 6.6632
6.7327 6.7623 6.7938 6.8355 6.9022 7.0507 7.1188

7.2003 7.2463 7.2754 7.3108 7.4168 7.4815 7.6562 7.7559 7.8036
7.8508 7.8857 7.9763 8.0084 8.0859 8.1667 8.1853
8.2551

BINDING-ENERGY = -5.1272 , EPS-EFF = -0.2052

EK-2 ¹⁵⁸Gd izotopu enerji seviyeleri, PHINT program verileri ⁽¹⁹⁾

```
&IOFILES
OUTPUT = 158GdE.out           ,
PHWAVE = 158Gd.WAV           ,
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
  PHINT, run on 22/ 6/2007 , started at 17:53:32.578 -----
1  PROGRAM PHINT
   VERSION JANUARY 1982

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

158 Gd
$INPT          MULT=.T.,PAIR=0.0045,QQ=-0.0296,EPS=0.0100,
CHQ= 0.901,HEX=0.0001,OCT=0.00
  ELL=0.0155,NPHMAX=13,
  MULT=.T., IPPM=2, IAM=12$
  PLAT 55 55
*****

  RUN ON =22-JUN-07 , STARTED AT =17:53:32
  ARRAY SPACE IN USE = 34567

158 Gd
  SD EQUALS SF
  TOTAL NUMBER OF BOSONS = 13
  TRUNCATION AT ND = 13

  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 | 2+_2+ INTER. | 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
```

ENERGIES , L= 0+

0.0000 0.7352 1.0590 1.2526 1.6914 1.9253 1.9850 2.2419 2.5164
2.7125 2.7767 2.9821 3.1548 3.2692 3.3988 3.4640
3.6448 3.8202 3.9174 3.9695 4.1475

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+

0.0814 0.5068 0.8493 1.0934 1.1565 1.4594 1.5468 1.7108 1.8397
2.0437 2.1120 2.2241 2.4123 2.4719 2.5311 2.6774
2.7732 2.8797 2.9740 3.0172 3.1729 3.2232 3.2833 3.4032 3.5087
3.5772 3.6578 3.6656 3.7235 3.8244 3.8498 3.9110
4.0563 4.1178 4.1503

ENERGIES , L= 3+

0.5981 1.2770 1.6455 2.0024 2.2843 2.5643 2.8062 3.0526 3.2528
3.3901 3.5313 3.7871 3.9953 4.1190

ENERGIES , L= 4+

0.2698 0.7116 1.0320 1.0786 1.3308 1.3912 1.5844 1.7534 1.8125
2.0068 2.0619 2.1198 2.2763 2.3382 2.4108 2.5730
2.6116 2.7034 2.8069 2.8905 2.9116 2.9814 3.1112 3.1520 3.1868
3.3293 3.3643 3.4080 3.4748 3.5409 3.6195 3.6507
3.7384 3.7569 3.8338 3.9031 3.9285 3.9706 4.0469 4.1274 4.1556
4.2491

ENERGIES , L= 5+

0.8602 1.2117 1.6120 1.8842 1.9426 2.2423 2.4082 2.6421 2.7214
2.8656 2.9787 3.1693 3.2160 3.4454 3.5202 3.6566
3.7769 3.8271 3.9188 3.9821 4.1601 4.2117

ENERGIES , L= 6+

0.5627 1.0201 1.3762 1.4217 1.5967 1.6425 1.7595 1.9846 2.1041
2.2209 2.2655 2.3906 2.4380 2.5493 2.5887 2.6227
2.7634 2.8549 2.9617 3.0455 3.0879 3.1409 3.2136 3.2731 3.3596
3.3892 3.4013 3.5430 3.5525 3.5730 3.6614 3.7500
3.7705 3.8641 3.9099 3.9288 3.9487 4.0650 4.0886 4.1688 4.1758
4.2591 4.3219 4.3741

ENERGIES , L= 7+

1.2279 1.6094 1.9042 2.0470 2.2958 2.3918 2.6352 2.7090 2.8916
2.9512 3.1074 3.2310 3.3031 3.4615 3.5457 3.6447
3.6943 3.7971 3.9234 4.0093 4.0225 4.1584 4.2598 4.3165 4.3840

ENERGIES , L= 8+

0.9575 1.4285 1.8022 1.8691 2.0376 2.0900 2.2352 2.3063 2.4492
2.5744 2.7197 2.7697 2.8809 2.8948 3.0437 3.0752
3.0930 3.1533 3.2661 3.3726 3.3966 3.4403 3.5401 3.6070 3.6924
3.7164 3.7670 3.8884 3.9113 3.9275 3.9941 4.0676

4.1267 4.1305 4.1844 4.2535 4.2608 4.2773 4.3863 4.4362 4.4729
4.5740

ENERGIES , L= 9+

1.6978 2.1023 2.4332 2.5769 2.7329 2.7949 2.9501 3.1606 3.2902
3.4492 3.5028 3.6160 3.6638 3.8125 3.8575 3.8711
4.0325 4.1420 4.2447 4.2598 4.3924 4.4680 4.4939 4.5879

ENERGIES , L=10+

1.4519 1.9341 2.3213 2.4109 2.5521 2.6409 2.8076 2.8979 2.9885
3.1594 3.2125 3.2894 3.3436 3.4444 3.4863 3.6270
3.6607 3.6935 3.7839 3.8506 4.0000 4.0167 4.0287 4.1110 4.1243
4.2023 4.2816 4.3322 4.3978 4.4116 4.4770 4.5352
4.5516 4.6296 4.6671 4.7602 4.8145

ENERGIES , L=11+

2.2675 2.6909 3.0504 3.1956 3.3820 3.4033 3.5932 3.7359 3.7899
3.9523 4.0821 4.1677 4.2991 4.3158 4.4621 4.5633
4.5674 4.6701 4.7017 4.8064 4.8740

ENERGIES , L=12+

2.0441 2.5352 2.9351 3.0399 3.1734 3.2811 3.4655 3.5683 3.6286
3.8306 3.9239 3.9408 3.9995 4.1019 4.1749 4.3054
4.3281 4.3462 4.3669 4.4876 4.5310 4.6820 4.7437 4.7556 4.7571
4.8609 4.8983 4.9648 5.0188 5.1217

ENERGIES , L= 0-

0.9831 1.6201 1.9555 2.3278 2.5703 2.8040 3.0735 3.3059 3.4933
3.6230 3.7119 3.9580

ENERGIES , L= 1-

0.4997 0.6891 0.8889 0.9831 1.0967 1.2046 1.3801 1.4221 1.4398
1.4980 1.6201 1.6692 1.7317 1.7883 1.8570 1.9168
1.9555 2.0356 2.0691 2.1272 2.1421 2.2962 2.3094 2.3278 2.3565
2.3821 2.4308 2.5311 2.5489 2.5703 2.6440 2.6526
2.6977 2.7518 2.8040 2.8050 2.8490 2.8991 2.9187 2.9528 3.0240
3.0694 3.0734 3.0947 3.1138 3.1737 3.2120 3.2397
3.2459 3.3059 3.3392 3.3523 3.3866 3.4216 3.4382 3.4834 3.4933
3.5575 3.5617 3.6053 3.6230 3.6561 3.6842 3.7043
3.7119 3.7277 3.7534 3.7847 3.8251 3.8376 3.8691 3.9336 3.9522
3.9580 3.9987 4.0234 4.0462 4.0913

ENERGIES , L= 2-

0.4997 0.6891 0.8889 0.9831 1.0967 1.2046 1.2484 1.3801 1.4221
1.4399 1.4980 1.5698 1.6201 1.6692 1.7317 1.7883
1.8570 1.9168 1.9555 1.9608 2.0356 2.0691 2.1272 2.1421 2.2135
2.2666 2.2962 2.3094 2.3278 2.3565 2.3821 2.4308
2.5311 2.5312 2.5489 2.5703 2.6439 2.6526 2.6977 2.7257 2.7518
2.8040 2.8050 2.8490 2.8991 2.9187 2.9385 2.9528

3.0219 3.0240 3.0694 3.0734 3.0947 3.1137 3.1248 3.1737 3.2120
3.2397 3.2459 3.2589 3.3059 3.3392 3.3523 3.3866
3.4185 3.4216 3.4382 3.4638 3.4834 3.4933 3.5575 3.5617 3.6053
3.6230 3.6561 3.6838 3.6841 3.7043 3.7119 3.7277
3.7496 3.7534 3.7847 3.8251 3.8376 3.8691 3.8910 3.9336 3.9522
3.9580 3.9895 3.9987 4.0234 4.0462 4.0858 4.0913

ENERGIES , L= 3-

0.4177 0.4997 0.6891 0.8889 0.9827 0.9831 1.0830 1.0967 1.2046
1.2484 1.3801 1.3973 1.4064 1.4221 1.4399 1.4980
1.5698 1.5775 1.6201 1.6692 1.7277 1.7317 1.7872 1.7883 1.8570
1.9168 1.9282 1.9555 1.9608 1.9712 1.9858 2.0356
2.0691 2.1043 2.1272 2.1421 2.2135 2.2256 2.2638 2.2666 2.2962
2.3093 2.3136 2.3278 2.3565 2.3821 2.4215 2.4308
2.5124 2.5311 2.5312 2.5489 2.5522 2.5703 2.5928 2.6439 2.6526
2.6844 2.6977 2.7257 2.7301 2.7310 2.7518 2.8040
2.8050 2.8490 2.8573 2.8788 2.8986 2.8991 2.9187 2.9383 2.9385
2.9528 2.9989 3.0219 3.0240 3.0581 3.0694 3.0735
3.0947 3.1137 3.1248 3.1472 3.1737 3.2105 3.2120 3.2269 3.2397
3.2459 3.2589 3.3059 3.3087 3.3392 3.3523 3.3597
3.3625 3.3866 3.4185 3.4209 3.4216 3.4382 3.4638 3.4697 3.4834
3.4933 3.4983 3.5092 3.5512 3.5575 3.5617 3.5965
3.6053 3.6159 3.6229 3.6456 3.6561 3.6575 3.6838 3.6841 3.7043
3.7120 3.7277 3.7496 3.7534 3.7715 3.7847 3.7876

3.8251 3.8309 3.8346 3.8376 3.8691 3.8811 3.8911 3.9336 3.9435
3.9516 3.9522 3.9580 3.9720 3.9779 3.9895 3.9987
4.0234 4.0462 4.0726 4.0859 4.0913 4.1148 4.1406 4.2373

ENERGIES , L= 4-

0.4997 0.6891 0.8889 0.9827 0.9831 1.0967 1.2046 1.2484 1.3801
1.4064 1.4221 1.4398 1.4980 1.5698 1.6185 1.6201
1.6692 1.7276 1.7317 1.7872 1.7883 1.8570 1.9168 1.9282 1.9555
1.9608 1.9706 1.9858 2.0356 2.0691 2.1043 2.1272
2.1421 2.2135 2.2482 2.2666 2.2962 2.3094 2.3136 2.3278 2.3565
2.3821 2.3985 2.4216 2.4308 2.5311 2.5312 2.5489
2.5522 2.5703 2.5928 2.6190 2.6440 2.6526 2.6844 2.6977 2.7257
2.7269 2.7301 2.7518 2.8040 2.8050 2.8490 2.8573
2.8788 2.8986 2.8992 2.9187 2.9385 2.9412 2.9528 3.0219 3.0241
3.0272 3.0581 3.0694 3.0735 3.0947 3.1138 3.1248
3.1472 3.1737 3.1970 3.2120 3.2269 3.2397 3.2432 3.2459 3.2589
3.3059 3.3087 3.3392 3.3523 3.3625 3.3866 3.4018
3.4185 3.4209 3.4216 3.4382 3.4638 3.4697 3.4834 3.4933 3.5092
3.5186 3.5575 3.5617 3.5847 3.6053 3.6159 3.6229
3.6456 3.6561 3.6575 3.6838 3.6842 3.7043 3.7119 3.7277 3.7334
3.7496 3.7534 3.7847 3.7876 3.8135 3.8251 3.8309

3.8346 3.8375 3.8691 3.8811 3.8910 3.9246 3.9335 3.9336 3.9515
3.9522 3.9580 3.9779 3.9895 3.9987 4.0234 4.0462

4.0595 4.0726 4.0859 4.0913 4.1148 4.1406 4.1556 4.2294 4.2373

/// WARNING FROM GENST /// 187 EXCEEDS MAXIMAL DIMENSION OF
H = 177 ,AT L= 5

NO STATE WITH L= 5 AND PARITY -
REQUIRED LENGTH OF 36431 FOR THIS PROBLEM IS TOO MUCH

NO STATE WITH L= 6 AND PARITY -
/// WARNING FROM GENST /// 193 EXCEEDS MAXIMAL
DIMENSION OF H = 177 ,AT L= 7

NO STATE WITH L= 7 AND PARITY -
REQUIRED LENGTH OF 34935 FOR THIS PROBLEM IS TOO MUCH

NO STATE WITH L= 8 AND PARITY -
/// WARNING FROM GENST /// 177 EXCEEDS MAXIMAL
DIMENSION OF H = 177 ,AT L= 9

NO STATE WITH L= 9 AND PARITY -

ENERGIES , L=10-

1.3778 1.6185 1.8148 1.8721 1.9706 2.0899 2.1551 2.2359 2.2482
2.3196 2.3800 2.3985 2.4236 2.4635 2.4654 2.5829

2.6190 2.6445 2.6604 2.6749 2.7269 2.7695 2.7752 2.7781 2.9007
2.9028 2.9195 2.9270 2.9412 2.9739 3.0272 3.0375

3.0551 3.0753 3.0826 3.1236 3.1529 3.1831 3.1957 3.1970 3.2351
3.2432 3.2818 3.2892 3.3074 3.3281 3.3444 3.3718

3.3923 3.3971 3.3983 3.4018 3.4600 3.4710 3.4829 3.5186 3.5324
3.5404 3.5508 3.5553 3.5847 3.5976 3.6041 3.6167

3.6464 3.6747 3.6837 3.7108 3.7250 3.7334 3.7400 3.7404 3.7413
3.7467 3.7894 3.7927 3.8012 3.8104 3.8135 3.8669

3.9091 3.9157 3.9220 3.9246 3.9335 3.9431 3.9458 3.9541 3.9550
3.9635 3.9735 3.9776 4.0525 4.0595 4.0803 4.0819

4.0834 4.1085 4.1128 4.1175 4.1297 4.1414 4.1556 4.1738 4.1740
4.1797 4.1835 4.2294 4.2375 4.2376 4.2455 4.2569

4.2683 4.2690 4.2881 4.3056 4.3104 4.3240 4.3334 4.3444 4.3620
4.3710 4.3924 4.4122 4.4221 4.4241 4.4567 4.4628

4.4656 4.4700 4.4751 4.4910 4.5326 4.5718 4.5971 4.6083 4.6134
4.6288 4.6512 4.6633 4.6734 4.6813 4.7166 4.7842

4.8127 4.8540 4.8663 4.9223 4.9742 4.9912 5.0654

ENERGIES , L=11-

1.3778 1.8148 1.8721 2.0899 2.1551 2.2359 2.3196 2.3800 2.4236
2.4635 2.4654 2.5829 2.6445 2.6604 2.6749 2.7695
2.7752 2.7781 2.9007 2.9028 2.9195 2.9270 2.9739 3.0375 3.0552
3.0753 3.0826 3.1236 3.1507 3.1529 3.1831 3.1957
3.2351 3.2818 3.2892 3.3074 3.3281 3.3444 3.3718 3.3923 3.3972
3.3983 3.4600 3.4710 3.4830 3.5323 3.5404 3.5508
3.5553 3.5976 3.6041 3.6137 3.6167 3.6464 3.6747 3.6837 3.7109
3.7250 3.7400 3.7404 3.7413 3.7467 3.7894 3.7927
3.8012 3.8104 3.8669 3.9091 3.9157 3.9220 3.9431 3.9458 3.9541
3.9550 3.9635 3.9735 3.9776 3.9985 4.0525 4.0803
4.0819 4.0834 4.1045 4.1085 4.1128 4.1175 4.1297 4.1414 4.1737
4.1740 4.1797 4.1835 4.2376 4.2376 4.2455 4.2569
4.2683 4.2690 4.2700 4.2881 4.3056 4.3104 4.3240 4.3334 4.3444
4.3532 4.3620 4.3710 4.3924 4.4122 4.4221 4.4241
4.4567 4.4627 4.4656 4.4700 4.4751 4.4910 4.5230 4.5326 4.5718
4.5971 4.6083 4.6134 4.6288 4.6512 4.6633 4.6734
4.6754 4.6813 4.7128 4.7166 4.7842 4.8127 4.8540 4.8663 4.8764
4.9223 4.9520 4.9742 4.9912 5.0654 5.0717 5.0944
5.1764 5.2289 5.3333

ENERGIES , L=12-

1.8721 2.0899 2.3196 2.4635 2.4654 2.6604 2.6749 2.7752 2.7781
2.9028 2.9195 2.9270 2.9739 3.0552 3.0753 3.1236
3.1507 3.1529 3.2351 3.2818 3.2892 3.3074 3.3281 3.3972 3.3983
3.4710 3.4830 3.5324 3.5404 3.5553 3.5976 3.6041
3.6137 3.6167 3.6464 3.7250 3.7400 3.7404 3.7413 3.7467 3.7927
3.8012 3.8104 3.9091 3.9157 3.9220 3.9457 3.9541
3.9550 3.9635 3.9776 3.9985 4.0803 4.0818 4.0834 4.0918 4.1045
4.1085 4.1128 4.1297 4.1414 4.1738 4.1797 4.2376
4.2376 4.2569 4.2683 4.2690 4.2700 4.3056 4.3104 4.3240 4.3334
4.3444 4.3531 4.3620 4.3923 4.4122 4.4241 4.4567
4.4628 4.4656 4.4700 4.4751 4.4910 4.5198 4.5230 4.5326 4.5718
4.5971 4.6083 4.6134 4.6289 4.6512 4.6633 4.6734
4.6754 4.6813 4.7128 4.7166 4.7842 4.8127 4.8540 4.8663 4.8764
4.9136 4.9223 4.9520 4.9742 4.9912 5.0212 5.0654
5.0717 5.0944 5.1764 5.2289 5.2861 5.3095 5.3333 5.4276

BINDING-ENERGY = -2.6195 , EPS-EFF = -0.2950

EK- 3 ¹⁵⁴Gd izotopu enerji seviyeleri verileri^[33]

E(keV)	Jπ	T _{1/2}	E _γ (keV)	I _γ	γ geçiş.	γ karışım oranı	γ dönüşüm katsayısı
123.0696 10	2+	1.184 ns 5	123.071 1	100	E2		1.197 14
370.995 3	4+	45.2 ps 15	247.925 6	100	E2		0.111
680.656 3	0+	4.0 ps 6	557.581 7	100.0 9	E2		0.0106
680.656 3	0+	4.0 ps 6	680.652 7		E0		
717.655 4	6+	7.8 ps 4	346.643 5	100	E2		0.0391
815.480 3	2+	6.4 ps 5	134.8235 12	0.400 21	E2		0.868
815.480 3	2+	6.4 ps 5	444.484 6	31.4 3	E2		0.01924
815.480 3	2+	6.4 ps 5	692.421 7	100.0 3	E2+M1+E0	7.5 4	0.046 3
815.480 3	2+	6.4 ps 5	815.507 9	28.65 18	E2		0.00430
996.251 3	2+	0.95 ps 7	873.190 5	100.0 3	E2+M1+E0	-9.4 4	0.00373
1047.582 4	4+		676.593 6	100 2	E0+M1+E2	+2.9 4	0.053 3
1127.784 3	3+		131.544 5	0.062 3	E2+M1	-4.3 +21-94	0.95 4
1127.784 3	3+		756.763 6	25.4 3	E2+M1	-6.1 3	0.00520 1
1127.784 3	3+		1004.725 6	100.0 3	E2+M1	-7.4 4	0.00277
1251.625 4	3-		880.634 10	25.4 10	E1+M2	+0.07 3	0.00153 8
1251.625 4	3-		1128.558 7	100.0 11	E1		0.00091
1251.625 4	3-		1252.0 4	4.9 8			
1263.776 5	4+		267.499 16	≤2.8			
1263.776 5	4+		546.082 14	2.8 3			
1263.776 5	4+		892.780 7	100.0 7	E0+M1+E2	-3.8 3	0.00369 3
1365.869 8	6+		648.2 3	100 5	E0+M1+E2	+1.30 20	0.045 8
1397.524 5	2-		260.2	0.0062 16			
1397.524 5	2-		269.83	0.0205 23			
1397.524 5	2-		1274.436 6	100.0 5	E1+M2	+0.035 9	0.00074
1432.585 6	5+		1061.39 9	100 4	E2+M1	-4.3 +12-26	0.00253 7
1510.1 3	(1,2+)		1387.0 5	100 71			
1510.1 3	(1,2+)		1510.0 5	25 4			
1531.289 4	2+		116.868 4	1.0 3			
1531.289 4	2+		237.7	2.6 10			
1606.55 8	6+		888.69 13	100 15	E2+M1	>1.8	0.0039 3
1606.55 8	6+		1235.11 19	43 6			
1645.809 5	4+		518.011 16	58 3	E2+M1	-7 3	0.0131 5
1645.809 5	4+		598.22 2	10.5 20	M1+E2	0.65 20	0.0142 10
1701.98 3	(4)+		56.2168 17	70 18	M1+E2	0.30 7	12.0 5
1716.031 6	(2)+		588.254 7	73 3	E2		0.00929
1719.551 4	2-		591.763 5	24.68 12	E1(+M2)	+0.02 3	0.00329 10
1719.551 4	2-		723.304 5	100.0 4	E1+M2	+0.022 13	0.00216 2
1719.551 4	2-		904.076 6	4.440 23	E1(+M2)		0.00138
1719.551 4	2-		1596.495 18	8.89 5	E1(+M2)		
1756.45 9	8+		390.6 1	100 5			
1756.45 9	8+		612.1 2	33.0 20	E0+M1+E2	-0.69 14	0.061 8
1770.182 5	5+		337.35 9	35 10	(E0+M1+E2)		0.12
1911.538 24	6+		141.33 3	100 5	E2+M1	7 +6-3	0.7362 12
2137.47 4	7-	68 ns	992.92 12	78 5	E1(+M2)	-0.16 +16-23	0.00116

2137.47 4	7-	68 ns	1419.81 8	50 3	E1		0.00061
2148.79 6	(1,2)+		730.71 6	8 3	M1,E2		0.0078 23
2148.79 6	(1,2)+		2148.6 3	100 6			
2175.08 3	(1+)		62.2937 18	14 3	M1+E2	1.1 4	12.2 17
2175.08 3	(1+)		1359.9 2	109 12	(M1)		0.00227
2185.850 12	4-		415.85 6	10.8 7	E1		0.00721
2185.850 12	4-		540.18 6	100 5	E1		0.00400
2185.850 12	4-		753.1 9	1.2 6			
2185.850 12	4-		922.1 9	2.0 6			
2185.850 12	4-		1058.34 18	1.4 2			
2185.850 12	4-		1814.9 3	0.7 2			
2186.04 3	1+		945.8 4	3.6 9			
2186.04 3	1+		1191.2 8	9 3			
2186.04 3	1+		1371.6 5	7.8 21			
2194.12 12	10+		557.1 2	9 3	E0,M1+E2	1.1 +5-3	0.053 14
2532.87 16	(0+,1,2)		92.039 4	4.2 17			
2532.87 16	(0+,1,2)		2410.0 6	100 25			
2561.3 4	2,3-		2190.3 4	100 11			
2561.3 4	2,3-		2438.0 8	39 17			
2568.10 16	2		127.305 3	2.1 3	(E2,E1)		0.74 14
2568.10 16	2		2197.5 3	100 21			
2568.10 16	2		2445.1 6	52 15			
2579.61 19	10(-)		328.4 2	42			
2579.61 19	10(-)		942.6 2	100			
2585.5 4	(0+,1,2)		2462.4 4	100			
2590.30 5	(1,2)+		470.793 7	22.8 9	M1		0.0300
2590.30 5	(1,2)+		1593.4 3	46 5			
2590.30 5	(1,2)+		1774.4 8	22 3			
2590.30 5	(1,2)+		1909.3 3	100 8			
2590.30 5	(1,2)+		2466.9	38 11			
2695.5			886.5				
2695.5			1088.1				
2699.4 4	(0+,1,2)		1703.1 4	100			
2787.2			314.2				
2787.2			873.190	≤206			
2787.2			1421.3	100 6			
2788.46 6	1,2+		1068.78 7	35 12			
2788.46 6	1,2+		1374.2 3	74 6			
2788.46 6	1,2+		1391.04 11	57 5			
2788.46 6	1,2+		1792.6 3	24 3			
2788.46 6	1,2+		1973.1 4	16 3			
2788.46 6	1,2+		2108.3 3	46 4			
2788.46 6	1,2+		2666.0 5	60 5			
2788.46 6	1,2+		2788.7 5	100 7			
2850.3 3	2+		1802.5 3	62 6			
2850.3 3	2+		2727.8 9	94 6			
2850.3 3	2+		2851.2 9	100 17			
2872.37 24	2+		1631.2 3	48 5			
2872.37 24	2+		1824.7 6	38 17			
2872.37 24	2+		2499.8 8	433 89			
2872.37 24	2+		2750 1	100 33			

2872.37 24	2+		2873.1 10	73 5			
2934.2 6	1+		2811.3 10	25 8			
2934.2 6	1+		2934.1 6	100 10			
2948.33 4	2+		835.54 3	69 4			
2948.33 4	2+		2578.5 5	39 7			
2948.33 4	2+		2826.0 6	47 4			
2948.33 4	2+		2949.5 5	100 4			

EK- 4 ¹⁵⁸Gd izotopu enerji seviyeleri verileri^[33]

E(keV)	Jπ	T _{1/2}	E _γ (keV)	I _γ	γ geçiş.	γ karışım oranı	γ dönüşüm katsayısı.
79.5128 15	2+	2.52 ns 3	79.513217	100	E2		6.02
261.4568 16	4+	0.14 ns 2	181.943 1	100	E2		0.308
539.021 7	6+		277.554 8	100	E2		0.0772
904.12 3	8+	5.1 ps 4	365.10 3	100	[E2]		0.0336
977.1453 19	1-	1.43 ps	897.62 13	76 4	E1		0.00140
977.1453 19	1-	1.43 ps	977.144 2	100 5	E1		0.00119
1023.697 22	2-	> 3.5 ps	944.181 2	100	E1		0.00127
1187.143 3	2+	0.61 ps 4	925.65 7	1.78 20	(E2)		0.00326
1187.143 3	2+	0.61 ps 4	1107.62 4	100 8	E2+M1	-9.0 15	0.00226 1
1187.143 3	2+	0.61 ps 4	1187.14 5	78.5 14	E2		0.00195
1196.165 8	0+	5.5 ps	219.023 7	0.083 10	[E1]		0.0359
1259.869 18	2+	3.6 ps 3	1180.35 9	40 3	M1+E2	-0.70 7	0.00277
1259.869 18	2+	3.6 ps 3	1259.86 3	72 4	E2		0.00174
1263.514 3	1-	13 fs 4	1184.01 8	100 6	E1+M2	+0.11 8	0.00092
1263.514 3	1-	13 fs 4	1263.50 3	66 4	E1		0.00075
1265.518 3	3+	1.11 ps	1004.04 8	22 2	E2+M1	-23 +19-7	0.00275 11
1265.518 3	3+	1.11 ps	1186.00 3	100 6	E2+M1	+30 +32-14	0.00196 24
1358.467 3	4+	0.69 ps	1097.00 3	100 6	E2+M1	+6.4 +14-10	0.00232 2
1358.467 3	4+	0.69 ps	1278.96 7	32.5 21	E2		0.00169
1380.626 6	4+		1119.20 6	100 6	E2+M1	-4.5 +20-17	0.00226 13
1380.626 6	4+		1300.9 12	20.5 18	E2		0.00163
1406.699 24	4+	1.11 ps	141.18 10	0.05 2	[M1,E2]		0.75 2
1406.699 24	4+	1.11 ps	146.831 5	0.57 6	[E2]		0.664
1406.699 24	4+	1.11 ps	219.547 8	0.12 2	[E2]		0.164
1406.699 24	4+	1.11 ps	230.233 7	6.6 5	[E1]		0.0315
1406.699 24	4+	1.11 ps	247.716 6	0.33 3	[E1]		0.0260
1406.699 24	4+	1.11 ps	365.063 9	19.9 12	E1		0.00984
1406.699 24	4+	1.11 ps	867.75 5	28.5 17	E2		0.00375
1406.699 24	4+	1.11 ps	1145.2 11	27 4	M1+E2	+1.0 2	0.00240
1499.096 5	5+		1237.56 9	100 5	E2(+M1)	>1	0.0023 5
1517.476 20	2+	1.39 ps 15	114.544 4	0.50 7	[E1]		0.203
1517.476 20	2+	1.39 ps 15	1437.96 3	100 6	E0+M1+E2	-1.5 4	0.0066 7
1930.200 24	1+		743.08 3	100 5	M1+E2	+0.17 15	0.0095 3
1930.200 24	1+		906.49 5	44 3	E1		0.00138
1930.200 24	1+		952.96 6	51 4	(E1)		0.00125
1930.200 24	1+		1850.3 4	4.2 8			
1930.200 24	1+		1930.2 6	1.25 25			
1941.26 3	3+		676.3 2	32 4			
1941.26 3	3+		782.31 4	100 6	E1		0.00183
1941.26 3	3+		899.69 9	25 5			
1941.26 3	3+		917.50 5	<217			
1952.424 25	(0)+		160.654 6	0.13 3			
1952.424 25	(0)+		434.91 11	0.36 18			
1952.424 25	(0)+		688.86 3	100 6	E1		0.00238

1952.424 25	(0)+		765.35 5	11.9 9			
1952.424 25	(0)+		975.43 8	41 5			
1953.761 23	4-		472.38 3	<3.5			
1953.761 23	4-		595.11 7	3.2 6			
1953.761 23	4-		688.25 5	16.8 20	E1		0.00238
1953.761 23	4-		794.73 7	<12.4			
1953.761 23	4-		1691.7 7	100 12			
1957.27 9	0+		1877.76 9	100	E2		
1964.104 24	2+		698.60 3	65 4	E2+M1		0.009 3
1964.104 24	2+		776.98 5	48 6	M1		0.00863
1964.104 24	2+		922.53 5	100 11	(E1)		0.00133
1964.104 24	2+		940.31 14	20 6			
1964.104 24	2+		986.87 6	83 6	E1		0.00117
1964.104 24	2+		1702.8 2	8.3 11			
1964.104 24	2+		1883.1 11	76 4	M1+E2		
1964.104 24	2+		1964.2 3	8.1 9			
1978.035 8	3-		116.758 4	1.12 16			
1978.035 8	3-		184.491 3	0.12 5			
1978.035 8	3-		619.52 3	12.2 8	E1		0.00297
1978.035 8	3-		712.52 5	13.6 12			
1978.035 8	3-		714.48 15	2.5 8			
1978.035 8	3-		790.89 4	33 3	E1		0.00180
1978.035 8	3-		936.30 6	37 3			
1978.035 8	3-		954.31 6	71 5	(E2)		0.00305
1978.035 8	3-		1000.82 7	100 7	E2		0.00276
2017.879 11	(5+)		203.718 4	1.6 6			
2017.879 11	(5+)		301.12520	8.0 15			
2017.879 11	(5+)		381.58118	7.6 8			
2017.879 11	(5+)		518.80 6	70 20	M1		0.0236
2017.879 11	(5+)		637.24 5	100 35			
2023.838 13	1+		231.98913	0.06 2			
2023.838 13	1+		571.80 3	<3.7			
2023.838 13	1+		763.98 4	16.5 10	E2		0.00499
2023.838 13	1+		827.78 5	11.4 10	E1		
2023.838 13	1+		1943.5 5	100 12			
2023.838 13	1+		2023.9 6	65 10			
2033.921 17	3+		675.45 3	36.4 22	M1+E2		
2033.921 17	3+		768.43 5	72 9	M1		0.00887
2033.921 17	3+		846.81 5	14.5 10	E2+M1		0.0055 16
2033.921 17	3+		875.00 4	79 5	E1		0.00147
2033.921 17	3+		1010.20 5	100 5	E1		0.00112
2035.69 4	(2+)		629.01 4	<2.4			
2035.69 4	(2+)		775.66 20	0.7 4			
2035.69 4	(2+)		1774.82 4	47 5			
2035.69 4	(2+)		1956.9 6	100 10	M1+E2		
2035.69 4	(2+)		2035.6 6	9.0 2			
2049.009 22	2-		646.08 3	26.5 17	M1		0.01360
2049.009 22	2-		785.49 4	63 4	M1		0.00840
2049.009 22	2-		1007.29 7	100 7	M1		0.00461
2049.009 22	2-		1025.33 7	52 4	M1		0.00442
2083.935 24	2+		680.72 3	59 4	E1		

2083.935 24	2+		820.08 4	100 6			
2083.935 24	2+		887.51 14	33 3			
2089.251 8	2+		227.973 8	1.37 14			
2089.251 8	2+		295.677 8	6.7 5	E1		0.0166
2089.251 8	2+		571.80 3	<12.7			
2089.251 8	2+		686.36 4	25.2 20	E1		0.00239
2089.251 8	2+		825.70 10	22 5			
2089.251 8	2+		902.07 6	100 10	M1+E2	+1.5 7	

EK- 5 ¹⁵⁴Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları PHINT ⁽¹⁹⁾ program verileri

&IOFILES

OUTPUT = 154GdB.out ,

PHWAVE = 154Gd.WAV ,

TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/

FBEM, run on 22/ 6/2007 , started at 15:43:13.843 -----

1 PROGRAM FBEM

VERSION FEBRUARY 1987

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

Gd 154

\$INPT E2SD=0.2233, E2DD=-0.2233,E1QE3=1, E1DF=1 \$

SLCT 2 2+ 0+

SLCT 2 2+ 2+

SLCT 2 6+ 2+

SLCT 1 2+ 2+

SLCT 1 6+ 2+

ONLY 1 1- 0+

\$ RUN THEOIBAP:FBEM

TEST CASE

\$INPT E2SD=0.1433 \$

SLCT 2 2+ 0+

!\$ DEASSIGN PHWAVE

RUN ON =22-JUN-07 , STARTED AT =15:43:13

154 Gd

SD EQUALS SF

TOTAL NUMBER OF BOSONS = 11

TRUNCATION AT ND = 11

MULTIPOLE EXPANTION :

EPS= 0.0224 , PAIR= 0.0040 , ELL= 0.0018

QQ =-0.0240 , OCT = 0.0170 , HEX=-0.0110

CHQ=-2.9580

CH1 = 0.00400 , 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 | 2+_2+ INTER. | 2+_3- INTER. ONE PHONON
 TWO PHONON F3 (S+F+DF)

0.07480 0.00000 0 -0.46880 1 0.00000 0.07099 -0.03130
 0.00000

2 0.08303 2 0.00000
 4 0.01063 3 0.00000
 4 0.00000
 5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.2233 E2DD = -0.2233 TRNSV = 1.000 M3DD =
 1.0000 E4DD = 1.0000
 M1 = 1.0000 M1N = 0.0000 M1ND = 0.0000 M1E2 = 0.0000
 E0 = 1.0000

E1DF = 1.0000 E1SD = 0.0000 E1DD = 0.0000
 E1D4F = 0.0000 E1QE3 = 1.0000
 M2DF = 1.0000 M2SD = 0.0000 M2DD = 0.0000
 E3 = 1.0000 E3DF = 1.0000 E3SD = 0.0000 E3DD = 0.0000
 M4DF = 1.0000 M4SD = 0.0000 M4DD = 0.0000
 E5DF = 1.0000 E5SD = 0.0000 E5DD = 0.0000

E1DF = 0.5156, INCLUDING HERMITICITY CORRECTION
 FOR (Q2XO3)1

REDUCED MATRIX ELEMENTS ARE LABELLED RE OR RM. THEIR
 VALUES ARE DEVIDED BY SQRT(2*I+1), I=L INITIAL

L,P(ST#)=>L,P(ST#) BE= /;/ L,P(ST#)=>L,P(ST#) BE= /;/
 L,P(ST#)=>L,P(ST#) BE= /;/ L,P(ST#)=>L,P(ST#) BE= /;/

2+(1)=> 0+(1)BE2= 0.7841 /;/ 2+(1)=> 0+(2)BE2= 0.0157 /;/ 2+(1)=>
 0+(3)BE2= 0.0006 /;/ 2+(1)=> 0+(4)BE2= 0.0007 /;/
 2+(2)=> 0+(1)BE2= 0.2213 /;/ 2+(2)=> 0+(2)BE2= 0.4158 /;/ 2+(2)=>
 0+(3)BE2= 0.0298 /;/ 2+(2)=> 0+(4)BE2= 0.0010 /;/
 2+(3)=> 0+(1)BE2= 0.0188 /;/ 2+(3)=> 0+(2)BE2= 0.2900 /;/ 2+(3)=>
 0+(3)BE2= 0.0000 /;/ 2+(3)=> 0+(4)BE2= 0.0320 /;/
 2+(4)=> 0+(1)BE2= 0.0012 /;/ 2+(4)=> 0+(2)BE2= 0.2656 /;/ 2+(4)=>
 0+(3)BE2= 0.0359 /;/ 2+(4)=> 0+(4)BE2= 0.2911 /;/

4+(1)=> 2+(1)BE2= 1.0623 /;/ 4+(1)=> 2+(2)BE2= 0.3393 /;/ 4+(1)=>
 2+(3)BE2= 0.0200 /;/ 4+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0004 /;/

4+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0217 /;/ 4+(2)=> 2+(2)BE2= 0.3023 /;/ 4+(2)=>
2+(3)BE2= 0.4003 /;/ 4+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0956 /;/
4+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0059 /;/ 4+(3)=> 2+(2)BE2= 0.3222 /;/ 4+(3)=>
2+(3)BE2= 0.0084 /;/ 4+(3)=> 2+(4)BE2= 0.4790 /;/
4+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 4+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0077 /;/ 4+(4)=>
2+(3)BE2= 0.2730 /;/ 4+(4)=> 2+(4)BE2= 0.0990 /;/

6+(1)=> 4+(1)BE2= 1.1233 /;/ 6+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0795 /;/ 6+(1)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0023 /;/
6+(2)=> 4+(1)BE2= 0.3520 /;/ 6+(2)=> 4+(2)BE2= 0.2892 /;/ 6+(2)=>
4+(3)BE2= 0.4938 /;/ 6+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0399 /;/
6+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0001 /;/ 6+(3)=> 4+(2)BE2= 0.4579 /;/ 6+(3)=>
4+(3)BE2= 0.0172 /;/ 6+(3)=> 4+(4)BE2= 0.4958 /;/
6+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0008 /;/ 6+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0527 /;/ 6+(4)=>
4+(3)BE2= 0.4433 /;/ 6+(4)=> 4+(4)BE2= 0.0440 /;/

8+(1)=> 6+(1)BE2= 1.0924 /;/ 8+(1)=> 6+(2)BE2= 0.4663 /;/ 8+(1)=>
6+(3)BE2= 0.0325 /;/ 8+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0009 /;/
8+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0141 /;/ 8+(2)=> 6+(2)BE2= 0.3395 /;/ 8+(2)=>
6+(3)BE2= 0.5382 /;/ 8+(2)=> 6+(4)BE2= 0.2593 /;/
8+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0074 /;/ 8+(3)=> 6+(2)BE2= 0.2949 /;/ 8+(3)=>
6+(3)BE2= 0.0634 /;/ 8+(3)=> 6+(4)BE2= 0.5112 /;/
8+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0007 /;/ 8+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0002 /;/ 8+(4)=>
6+(3)BE2= 0.3861 /;/ 8+(4)=> 6+(4)BE2= 0.0287 /;/

10+(1)=> 8+(1)BE2= 0.9963 /;/ 10+(1)=> 8+(2)BE2= 0.0503 /;/ 10+(1)=>
8+(3)BE2= 0.0056 /;/ 10+(1)=> 8+(4)BE2= 0.0015 /;/
10+(2)=> 8+(1)BE2= 0.4385 /;/ 10+(2)=> 8+(2)BE2= 0.4848 /;/ 10+(2)=>
8+(3)BE2= 0.4354 /;/ 10+(2)=> 8+(4)BE2= 0.0330 /;/
10+(3)=> 8+(1)BE2= 0.0021 /;/ 10+(3)=> 8+(2)BE2= 0.3894 /;/ 10+(3)=>
8+(3)BE2= 0.0688 /;/ 10+(3)=> 8+(4)BE2= 0.7276 /;/
10+(4)=> 8+(1)BE2= 0.0016 /;/ 10+(4)=> 8+(2)BE2= 0.0926 /;/ 10+(4)=>
8+(3)BE2= 0.4010 /;/ 10+(4)=> 8+(4)BE2= 0.0158 /;/

2+(1)=> 2+(1)BE2= 0.9008 /;/ 2+(1)=> 2+(2)BE2= 0.1919 /;/ 2+(1)=>
2+(3)BE2= 0.0208 /;/ 2+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0046 /;/
2+(2)=> 2+(1)BE2= 0.1919 /;/ 2+(2)=> 2+(2)BE2= 0.6309 /;/ 2+(2)=>
2+(3)BE2= 0.1772 /;/ 2+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0788 /;/
2+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0208 /;/ 2+(3)=> 2+(2)BE2= 0.1772 /;/ 2+(3)=>
2+(3)BE2= 0.4556 /;/ 2+(3)=> 2+(4)BE2= 0.4891 /;/
2+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0046 /;/ 2+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0788 /;/ 2+(4)=>
2+(3)BE2= 0.4891 /;/ 2+(4)=> 2+(4)BE2= 0.5680 /;/

4+(1)=> 4+(1)BE2= 1.1014 /;/ 4+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0333 /;/ 4+(1)=>
4+(3)BE2= 0.0623 /;/ 4+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0170 /;/
4+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0333 /;/ 4+(2)=> 4+(2)BE2= 0.1340 /;/ 4+(2)=>
4+(3)BE2= 0.2572 /;/ 4+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0664 /;/
4+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0623 /;/ 4+(3)=> 4+(2)BE2= 0.2572 /;/ 4+(3)=>
4+(3)BE2= 0.4995 /;/ 4+(3)=> 4+(4)BE2= 0.0064 /;/
4+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0170 /;/ 4+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0664 /;/ 4+(4)=>
4+(3)BE2= 0.0064 /;/ 4+(4)=> 4+(4)BE2= 0.0399 /;/

6+(1)=> 6+(1)BE2= 0.7243 /;/ 6+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0968 /;/ 6+(1)=>
6+(3)BE2= 0.0038 /;/ 6+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0006 /;/
6+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0968 /;/ 6+(2)=> 6+(2)BE2= 0.7780 /;/ 6+(2)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0941 /;/
6+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0038 /;/ 6+(3)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
6+(3)BE2= 0.2353 /;/ 6+(3)=> 6+(4)BE2= 0.0332 /;/
6+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0006 /;/ 6+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0941 /;/ 6+(4)=>
6+(3)BE2= 0.0332 /;/ 6+(4)=> 6+(4)BE2= 0.7522 /;/

8+(1)=> 8+(1)BE2= 0.9295 /;/ 8+(1)=> 8+(2)BE2= 0.0139 /;/ 8+(1)=>
8+(3)BE2= 0.0445 /;/ 8+(1)=> 8+(4)BE2= 0.0151 /;/
8+(2)=> 8+(1)BE2= 0.0139 /;/ 8+(2)=> 8+(2)BE2= 0.3552 /;/ 8+(2)=>
8+(3)BE2= 0.1528 /;/ 8+(2)=> 8+(4)BE2= 0.0070 /;/
8+(3)=> 8+(1)BE2= 0.0445 /;/ 8+(3)=> 8+(2)BE2= 0.1528 /;/ 8+(3)=>
8+(3)BE2= 0.4414 /;/ 8+(3)=> 8+(4)BE2= 0.0397 /;/
8+(4)=> 8+(1)BE2= 0.0151 /;/ 8+(4)=> 8+(2)BE2= 0.0070 /;/ 8+(4)=>
8+(3)BE2= 0.0397 /;/ 8+(4)=> 8+(4)BE2= 0.2846 /;/

10+(1)=>10+(1)BE2= 0.5625 /;/ 10+(1)=>10+(2)BE2= 0.0507 /;/ 10+(
1)=>10+(3)BE2= 0.0078 /;/ 10+(1)=>10+(4)BE2= 0.0015 /;/
10+(2)=>10+(1)BE2= 0.0507 /;/ 10+(2)=>10+(2)BE2= 0.7815 /;/ 10+(
2)=>10+(3)BE2= 0.0053 /;/ 10+(2)=>10+(4)BE2= 0.0518 /;/
10+(3)=>10+(1)BE2= 0.0078 /;/ 10+(3)=>10+(2)BE2= 0.0053 /;/ 10+(
3)=>10+(3)BE2= 0.2786 /;/ 10+(3)=>10+(4)BE2= 0.0194 /;/
10+(4)=>10+(1)BE2= 0.0015 /;/ 10+(4)=>10+(2)BE2= 0.0518 /;/ 10+(
4)=>10+(3)BE2= 0.0194 /;/ 10+(4)=>10+(4)BE2= 0.8734 /;/

6+(1)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
6+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
6+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
6+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/

8+(1)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(1)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(2)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(3)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/

10+(1)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(1)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(2)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/

2+(1)=> 2+(1)BM1= 6.0000 /;/ 2+(1)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 2+(1)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 2+(1)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
2+(2)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 2+(2)=> 2+(2)BM1= 6.0000 /;/ 2+(2)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 2+(2)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
2+(3)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 2+(3)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 2+(3)=>
2+(3)BM1= 6.0000 /;/ 2+(3)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
2+(4)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 2+(4)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 2+(4)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 2+(4)=> 2+(4)BM1= 6.0000 /;/

4+(1)=> 4+(1)BM1= 20.0000 /;/ 4+(1)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 4+(1)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 4+(1)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
4+(2)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 4+(2)=> 4+(2)BM1= 20.0000 /;/ 4+(2)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 4+(2)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
4+(3)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 4+(3)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 4+(3)=>
4+(3)BM1= 20.0000 /;/ 4+(3)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
4+(4)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 4+(4)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 4+(4)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 4+(4)=> 4+(4)BM1= 20.0000 /;/

6+(1)=> 6+(1)BM1= 42.0000 /;/ 6+(1)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(2)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 6+(2)BM1= 42.0000 /;/ 6+(2)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(3)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
6+(3)BM1= 42.0000 /;/ 6+(3)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(4)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 6+(4)BM1= 42.0000 /;/

8+(1)=> 8+(1)BM1= 72.0000 /;/ 8+(1)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=>
8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(2)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 8+(2)BM1= 72.0000 /;/ 8+(2)=>
8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(3)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=>
8+(3)BM1= 72.0000 /;/ 8+(3)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(4)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=>
8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 8+(4)BM1= 72.0000 /;/

10+(1)=>10+(1)BM1=110.0000 /;/ 10+(1)=>10+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
1)=>10+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=>10+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(2)=>10+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=>10+(2)BM1=110.0000 /;/ 10+(
2)=>10+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=>10+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(3)=>10+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(3)=>10+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
3)=>10+(3)BM1=110.0000 /;/ 10+(3)=>10+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(4)=>10+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=>10+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
4)=>10+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=>10+(4)BM1=110.0000 /;/

6+(1)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(2)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(3)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(4)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/

8+(1)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(2)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(3)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(4)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/

10+(1)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
1)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(2)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
2)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(3)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
3)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(4)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
4)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/

EK- 6 ¹⁵⁸Gd izotopuna ait B(E2) geçiş olasılıkları PHINT ⁽¹⁹⁾ program verileri

&IOFILES

OUTPUT = 158GdB.out ,
PHWAVE = 158Gd.WAV ,
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/

FBEM, run on 22/ 6/2007 , started at 17:53:32.890 -----
1 PROGRAM FBEM
VERSION FEBRUARY 1987

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

Gd 158

\$INPT E2SD=0.150, E2DD=-0.150,E1QE3=0, E1DF=1. \$

SLCT 2 2+ 0+

SLCT 2 2+ 2+

SLCT 2 6+ 2+

SLCT 1 2+ 2+

SLCT 1 6+ 2+

ONLY 1 1- 0+

\$ RUN THEOIBAP:FBEM

TEST CASE

\$INPT E2SD=0.1433 \$

SLCT 2 2+ 0+

!\$ DEASSIGN PHWAVE

RUN ON =22-JUN-07 , STARTED AT =17:53:32

158 Gd

SD EQUALS SF

TOTAL NUMBER OF BOSONS = 13

TRUNCATION AT ND = 13

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 | 2+_2+ INTER. | 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 = -0.1500 TRNSV = 1.000 M3DD =
1.0000 E4DD = 1.0000
M1 = 1.0000 M1N = 0.0000 M1ND = 0.0000 M1E2 = 0.0000
E0 = 1.0000

E1DF = 1.0000 E1SD = 0.0000 E1DD = 0.0000
E1D4F = 0.0000 E1QE3 = 0.0000
M2DF = 1.0000 M2SD = 0.0000 M2DD = 0.0000
E3 = 1.0000 E3DF = 1.0000 E3SD = 0.0000 E3DD = 0.0000
M4DF = 1.0000 M4SD = 0.0000 M4DD = 0.0000
E5DF = 1.0000 E5SD = 0.0000 E5DD = 0.0000

2+(1)=> 0+(1)BE2= 1.0954 /;/ 2+(1)=> 0+(2)BE2= 0.0012 /;/ 2+(1)=>
0+(3)BE2= 0.0000 /;/ 2+(1)=> 0+(4)BE2= 0.0000 /;/
2+(2)=> 0+(1)BE2= 0.0370 /;/ 2+(2)=> 0+(2)BE2= 0.0731 /;/ 2+(2)=>
0+(3)BE2= 0.0013 /;/ 2+(2)=> 0+(4)BE2= 0.0007 /;/
2+(3)=> 0+(1)BE2= 0.0009 /;/ 2+(3)=> 0+(2)BE2= 0.7691 /;/ 2+(3)=>
0+(3)BE2= 0.0053 /;/ 2+(3)=> 0+(4)BE2= 0.0056 /;/
2+(4)=> 0+(1)BE2= 0.0000 /;/ 2+(4)=> 0+(2)BE2= 0.0463 /;/ 2+(4)=>
0+(3)BE2= 0.1490 /;/ 2+(4)=> 0+(4)BE2= 0.1639 /;/

4+(1)=> 2+(1)BE2= 1.5535 /;/ 4+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0037 /;/ 4+(1)=>
2+(3)BE2= 0.0019 /;/ 4+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
4+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0103 /;/ 4+(2)=> 2+(2)BE2= 0.5660 /;/ 4+(2)=>
2+(3)BE2= 0.0619 /;/ 4+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0026 /;/
4+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0001 /;/ 4+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0894 /;/ 4+(3)=>
2+(3)BE2= 0.0674 /;/ 4+(3)=> 2+(4)BE2= 0.1404 /;/
4+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0008 /;/ 4+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0039 /;/ 4+(4)=>
2+(3)BE2= 1.0161 /;/ 4+(4)=> 2+(4)BE2= 0.0014 /;/

6+(1)=> 4+(1)BE2= 1.6854 /;/ 6+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0103 /;/ 6+(1)=>
4+(3)BE2= 0.0002 /;/ 6+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0020 /;/
6+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0034 /;/ 6+(2)=> 4+(2)BE2= 1.0951 /;/ 6+(2)=>
4+(3)BE2= 0.0053 /;/ 6+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0473 /;/

6+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0002 /;/ 6+(3)=> 4+(2)BE2= 0.0099 /;/ 6+(3)=>
4+(3)BE2= 0.4058 /;/ 6+(3)=> 4+(4)BE2= 0.2290 /;/
6+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0004 /;/ 6+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0049 /;/ 6+(4)=>
4+(3)BE2= 0.0088 /;/ 6+(4)=> 4+(4)BE2= 0.8871 /;/

8+(1)=> 6+(1)BE2= 1.7196 /;/ 8+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0140 /;/ 8+(1)=>
6+(3)BE2= 0.0010 /;/ 8+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0014 /;/
8+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0010 /;/ 8+(2)=> 6+(2)BE2= 1.2861 /;/ 8+(2)=>
6+(3)BE2= 0.0234 /;/ 8+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0213 /;/
8+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0002 /;/ 8+(3)=> 6+(2)BE2= 0.0010 /;/ 8+(3)=>
6+(3)BE2= 0.9059 /;/ 8+(3)=> 6+(4)BE2= 0.0627 /;/
8+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0002 /;/ 8+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0019 /;/ 8+(4)=>
6+(3)BE2= 0.0001 /;/ 8+(4)=> 6+(4)BE2= 0.9473 /;/

10+(1)=> 8+(1)BE2= 1.6991 /;/ 10+(1)=> 8+(2)BE2= 0.0153 /;/ 10+(1)=>
8+(3)BE2= 0.0014 /;/ 10+(1)=> 8+(4)BE2= 0.0010 /;/
10+(2)=> 8+(1)BE2= 0.0002 /;/ 10+(2)=> 8+(2)BE2= 1.3393 /;/ 10+(2)=>
8+(3)BE2= 0.0279 /;/ 10+(2)=> 8+(4)BE2= 0.0095 /;/
10+(3)=> 8+(1)BE2= 0.0001 /;/ 10+(3)=> 8+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=>
8+(3)BE2= 1.0466 /;/ 10+(3)=> 8+(4)BE2= 0.0101 /;/
10+(4)=> 8+(1)BE2= 0.0001 /;/ 10+(4)=> 8+(2)BE2= 0.0005 /;/ 10+(4)=>
8+(3)BE2= 0.0009 /;/ 10+(4)=> 8+(4)BE2= 0.9789 /;/

12+(1)=>10+(1)BE2= 1.6374 /;/ 12+(1)=>10+(2)BE2= 0.0151 /;/ 12+(
1)=>10+(3)BE2= 0.0016 /;/ 12+(1)=>10+(4)BE2= 0.0007 /;/
12+(2)=>10+(1)BE2= 0.0000 /;/ 12+(2)=>10+(2)BE2= 1.3148 /;/ 12+(
2)=>10+(3)BE2= 0.0252 /;/ 12+(2)=>10+(4)BE2= 0.0050 /;/
12+(3)=>10+(1)BE2= 0.0001 /;/ 12+(3)=>10+(2)BE2= 0.0002 /;/ 12+(
3)=>10+(3)BE2= 1.0391 /;/ 12+(3)=>10+(4)BE2= 0.0013 /;/
12+(4)=>10+(1)BE2= 0.0001 /;/ 12+(4)=>10+(2)BE2= 0.0001 /;/ 12+(
4)=>10+(3)BE2= 0.0011 /;/ 12+(4)=>10+(4)BE2= 0.9576 /;/

2+(1)=> 2+(1)BE2= 1.5295 /;/ 2+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0810 /;/ 2+(1)=>
2+(3)BE2= 0.0008 /;/ 2+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0003 /;/
2+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0810 /;/ 2+(2)=> 2+(2)BE2= 1.2972 /;/ 2+(2)=>
2+(3)BE2= 0.0363 /;/ 2+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0030 /;/
2+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0008 /;/ 2+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0363 /;/ 2+(3)=>
2+(3)BE2= 0.8272 /;/ 2+(3)=> 2+(4)BE2= 0.3762 /;/
2+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0003 /;/ 2+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0030 /;/ 2+(4)=>
2+(3)BE2= 0.3762 /;/ 2+(4)=> 2+(4)BE2= 0.6224 /;/

4+(1)=> 4+(1)BE2= 1.3115 /;/ 4+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0935 /;/ 4+(1)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 4+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0003 /;/

4+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0935 /;/ 4+(2)=> 4+(2)BE2= 0.1353 /;/ 4+(2)=>
4+(3)BE2= 0.0963 /;/ 4+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0287 /;/
4+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 4+(3)=> 4+(2)BE2= 0.0963 /;/ 4+(3)=>
4+(3)BE2= 1.5171 /;/ 4+(3)=> 4+(4)BE2= 0.1750 /;/
4+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0003 /;/ 4+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0287 /;/ 4+(4)=>
4+(3)BE2= 0.1750 /;/ 4+(4)=> 4+(4)BE2= 0.5157 /;/

6+(1)=> 6+(1)BE2= 1.1842 /;/ 6+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0901 /;/ 6+(1)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0001 /;/
6+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0901 /;/ 6+(2)=> 6+(2)BE2= 0.3748 /;/ 6+(2)=>
6+(3)BE2= 0.1696 /;/ 6+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0004 /;/
6+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 6+(2)BE2= 0.1696 /;/ 6+(3)=>
6+(3)BE2= 0.0013 /;/ 6+(3)=> 6+(4)BE2= 0.1711 /;/
6+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0001 /;/ 6+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0004 /;/ 6+(4)=>
6+(3)BE2= 0.1711 /;/ 6+(4)=> 6+(4)BE2= 0.2793 /;/

8+(1)=> 8+(1)BE2= 1.0630 /;/ 8+(1)=> 8+(2)BE2= 0.0842 /;/ 8+(1)=>
8+(3)BE2= 0.0001 /;/ 8+(1)=> 8+(4)BE2= 0.0001 /;/
8+(2)=> 8+(1)BE2= 0.0842 /;/ 8+(2)=> 8+(2)BE2= 0.4216 /;/ 8+(2)=>
8+(3)BE2= 0.1717 /;/ 8+(2)=> 8+(4)BE2= 0.0018 /;/
8+(3)=> 8+(1)BE2= 0.0001 /;/ 8+(3)=> 8+(2)BE2= 0.1717 /;/ 8+(3)=>
8+(3)BE2= 0.0535 /;/ 8+(3)=> 8+(4)BE2= 0.0859 /;/
8+(4)=> 8+(1)BE2= 0.0001 /;/ 8+(4)=> 8+(2)BE2= 0.0018 /;/ 8+(4)=>
8+(3)BE2= 0.0859 /;/ 8+(4)=> 8+(4)BE2= 0.2945 /;/

10+(1)=>10+(1)BE2= 0.9430 /;/ 10+(1)=>10+(2)BE2= 0.0774 /;/ 10+(
1)=>10+(3)BE2= 0.0002 /;/ 10+(1)=>10+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(2)=>10+(1)BE2= 0.0774 /;/ 10+(2)=>10+(2)BE2= 0.3923 /;/ 10+(
2)=>10+(3)BE2= 0.1603 /;/ 10+(2)=>10+(4)BE2= 0.0038 /;/
10+(3)=>10+(1)BE2= 0.0002 /;/ 10+(3)=>10+(2)BE2= 0.1603 /;/ 10+(
3)=>10+(3)BE2= 0.0803 /;/ 10+(3)=>10+(4)BE2= 0.0562 /;/
10+(4)=>10+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=>10+(2)BE2= 0.0038 /;/ 10+(
4)=>10+(3)BE2= 0.0562 /;/ 10+(4)=>10+(4)BE2= 0.3364 /;/

12+(1)=>12+(1)BE2= 0.8264 /;/ 12+(1)=>12+(2)BE2= 0.0701 /;/ 12+(
1)=>12+(3)BE2= 0.0003 /;/ 12+(1)=>12+(4)BE2= 0.0000 /;/
12+(2)=>12+(1)BE2= 0.0701 /;/ 12+(2)=>12+(2)BE2= 0.3398 /;/ 12+(
2)=>12+(3)BE2= 0.1445 /;/ 12+(2)=>12+(4)BE2= 0.0045 /;/
12+(3)=>12+(1)BE2= 0.0003 /;/ 12+(3)=>12+(2)BE2= 0.1445 /;/ 12+(
3)=>12+(3)BE2= 0.0802 /;/ 12+(3)=>12+(4)BE2= 0.0448 /;/
12+(4)=>12+(1)BE2= 0.0000 /;/ 12+(4)=>12+(2)BE2= 0.0045 /;/ 12+(
4)=>12+(3)BE2= 0.0448 /;/ 12+(4)=>12+(4)BE2= 0.3666 /;/

6+(1)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/

6+(2)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
6+(3)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/
6+(4)=> 2+(1)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(2)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=>
2+(3)BE2= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(4)BE2= 0.0000 /;/

8+(1)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(1)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(2)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(2)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(3)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(3)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/
8+(4)=> 4+(1)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(2)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=>
4+(3)BE2= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(4)BE2= 0.0000 /;/

10+(1)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(1)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(2)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(2)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(3)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/
10+(4)=> 6+(1)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(2)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=>
6+(3)BE2= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(4)BE2= 0.0000 /;/

12+(1)=> 8+(1)BE2= 0.0000 /;/ 12+(1)=> 8+(2)BE2= 0.0000 /;/ 12+(1)=>
8+(3)BE2= 0.0000 /;/ 12+(1)=> 8+(4)BE2= 0.0000 /;/
12+(2)=> 8+(1)BE2= 0.0000 /;/ 12+(2)=> 8+(2)BE2= 0.0000 /;/ 12+(2)=>
8+(3)BE2= 0.0000 /;/ 12+(2)=> 8+(4)BE2= 0.0000 /;/
12+(3)=> 8+(1)BE2= 0.0000 /;/ 12+(3)=> 8+(2)BE2= 0.0000 /;/ 12+(3)=>
8+(3)BE2= 0.0000 /;/ 12+(3)=> 8+(4)BE2= 0.0000 /;/
12+(4)=> 8+(1)BE2= 0.0000 /;/ 12+(4)=> 8+(2)BE2= 0.0000 /;/ 12+(4)=>
8+(3)BE2= 0.0000 /;/ 12+(4)=> 8+(4)BE2= 0.0000 /;/

2+(1)=> 2+(1)BM1= 6.0000 /;/ 2+(1)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 2+(1)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 2+(1)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
2+(2)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 2+(2)=> 2+(2)BM1= 6.0000 /;/ 2+(2)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 2+(2)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
2+(3)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 2+(3)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 2+(3)=>
2+(3)BM1= 6.0000 /;/ 2+(3)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
2+(4)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 2+(4)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 2+(4)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 2+(4)=> 2+(4)BM1= 6.0000 /;/

4+(1)=> 4+(1)BM1= 20.0000 /;/ 4+(1)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 4+(1)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 4+(1)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/

4+(2)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 4+(2)=> 4+(2)BM1= 20.0000 /;/ 4+(2)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 4+(2)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
4+(3)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 4+(3)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 4+(3)=>
4+(3)BM1= 20.0000 /;/ 4+(3)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
4+(4)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 4+(4)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 4+(4)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 4+(4)=> 4+(4)BM1= 20.0000 /;/

6+(1)=> 6+(1)BM1= 42.0000 /;/ 6+(1)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(2)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 6+(2)BM1= 42.0000 /;/ 6+(2)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(3)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
6+(3)BM1= 42.0000 /;/ 6+(3)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(4)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 6+(4)BM1= 42.0000 /;/

8+(1)=> 8+(1)BM1= 72.0000 /;/ 8+(1)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=>
8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(2)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 8+(2)BM1= 72.0000 /;/ 8+(2)=>
8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(3)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=>
8+(3)BM1= 72.0000 /;/ 8+(3)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(4)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=>
8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 8+(4)BM1= 72.0000 /;/

10+(1)=>10+(1)BM1=109.9999 /;/ 10+(1)=>10+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
1)=>10+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=>10+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(2)=>10+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=>10+(2)BM1=110.0000 /;/ 10+(
2)=>10+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=>10+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(3)=>10+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(3)=>10+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
3)=>10+(3)BM1=110.0001 /;/ 10+(3)=>10+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(4)=>10+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=>10+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
4)=>10+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=>10+(4)BM1=110.0000 /;/

12+(1)=>12+(1)BM1=156.0000 /;/ 12+(1)=>12+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
1)=>12+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(1)=>12+(4)BM1= 0.0000 /;/
12+(2)=>12+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(2)=>12+(2)BM1=156.0000 /;/ 12+(
2)=>12+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(2)=>12+(4)BM1= 0.0000 /;/
12+(3)=>12+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(3)=>12+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
3)=>12+(3)BM1=156.0000 /;/ 12+(3)=>12+(4)BM1= 0.0000 /;/
12+(4)=>12+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(4)=>12+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
4)=>12+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(4)=>12+(4)BM1=156.0000 /;/

6+(1)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(1)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/

6+(2)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(2)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(3)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(3)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/
6+(4)=> 2+(1)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(2)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=>
2+(3)BM1= 0.0000 /;/ 6+(4)=> 2+(4)BM1= 0.0000 /;/

8+(1)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(1)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(2)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(2)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(3)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(3)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/
8+(4)=> 4+(1)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(2)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=>
4+(3)BM1= 0.0000 /;/ 8+(4)=> 4+(4)BM1= 0.0000 /;/

10+(1)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=>
6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(1)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(2)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
2)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(2)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(3)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
3)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(3)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/
10+(4)=> 6+(1)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(2)BM1= 0.0000 /;/ 10+(
4)=> 6+(3)BM1= 0.0000 /;/ 10+(4)=> 6+(4)BM1= 0.0000 /;/

12+(1)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(1)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
1)=> 8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(1)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
12+(2)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(2)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
2)=> 8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(2)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
12+(3)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(3)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
3)=> 8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(3)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/
12+(4)=> 8+(1)BM1= 0.0000 /;/ 12+(4)=> 8+(2)BM1= 0.0000 /;/ 12+(
4)=> 8+(3)BM1= 0.0000 /;/ 12+(4)=> 8+(4)BM1= 0.0000 /;/