

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

A~80 BÖLGESİNDE BULUNAN ÇİFT-ÇİFT  $^{74-86}\text{Sr}$  İZOTOPLARININ  
YAPISININ İNCELENMESİ


Cem BİLİR

ARALIK 2019

**Fizik Anabilim Dalında Cem BİLİR tarafından hazırlanan A~80 BÖLGESİNDE ÇİFT-ÇİFT <sup>74-86</sup>Sr İZOTOPLARININ YAPISI** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylım.




  
Prof. Dr. Saffet NEZİR  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylım.

  
Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Abdullah AYDIN  
Üye : Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA  
Üye : Doç. Dr. Serkan AKKOYUN

11/12/2019

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### A~80 BÖLGESİNDE BULUNAN ÇİFT-ÇİFT $^{74-86}\text{Sr}$ İZOTOPLARININ YAPISININ İNCELENMESİ

BİLİR, Cem

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA

Aralık 2019, 68 sayfa

Bu çalışmada, Etkileşen Bozon Modeli-1 (IBM-1) kullanılarak çift-çift  $^{74-86}\text{Sr}$  izotoplarının bazı nükleer yapısal özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın ana amacı, bu izotopların bant yapılarını ve davranışlarını anlamak ve IBM-1 modeli ile enerji spektrumlarını,  $(R_{4+/2+})$  enerji oranlarını ve elektromanyetik geçiş olasılıklarını incelemektir. Öncelikle, bu izotopların temel durum (g.s) enerji bandında enerji oranlarına  $(R_{4+/2+})$  bakılmıştır. İncelenen izotopların bu oranları, U(5)-SU(3) simetrileri arasında 2 ile 3 değeri arasında değişmektedir. Bu nedenle, bu izotoplar küreselden deforme bölgeye doğru şekil geçişi sergilemektedir. Daha sonra, izotoplar için uygun model Hamiltonyeni oluşturulmuştur ve deneysel verilerle karşılaştırılarak bu izotopların enerji seviyeleri hesaplanmıştır. Ayrıca bilinmeyen enerji seviyelerin de tahmini yapılmıştır. Bunun için her bir çekirdek için Hamiltonyen parametreleri fit edilmiştir. Son olarak, bu izotopların B(E2) elektromanyetik geçiş olasılıkları hesaplanmış ve deneysel veriler ile

karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada hesaplamalar PHINT bilgisayar kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güncel deneysel veriler ise Amerika'ya ait ulusal nükleer veri merkezinden (NNDC) elde edilmiştir. Sonuç olarak, incelenen bu izotoplar için IBM-1 modeli uygulanabilmekte ve hesaplanan sonuçlar ile deneysel veriler uyumlu çıktığı görülmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Sr izotopları, küreselden prolate (puro şeklinde) bölgeye doğru şekil değişimi göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** enerji seviyesi, enerji oranı,  $B(E2)$  değeri, elektromanyetik geçiş olasılıkları, Sr çekirdeği, etkileşen bozon modeli-1

## ABSTRACT

### THE INVESTIGATION OF STRUCTURE OF EVEN-EVEN $^{74-86}\text{Sr}$ ISOTOPES IN THE A~80 REGION

BİLİR, Cem

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA

December 2019, 68 pages

In this study, some nuclear structural properties of even-even  $^{74-86}\text{Sr}$  isotopes were studied within the interacting boson model-1 (IBM-1). The main aim of this study is to understand the band structures and the behavior of these isotopes and to investigate their energy spectra,  $(R_{4^+ / 2^+})$  energy ratios and electromagnetic transition probabilities within the IBM-1 model. First of all, the ratio of the energy ratios  $(R_{4^+ / 2^+})$  in the ground-state (g.s.) band were investigated for these isotopes. These ratios of the investigated isotopes is changing from 2 to 3 in between U(5)-SU(3) symmetries. Therefore, these isotopes exhibit shape transition along to spherical to deformed region. Then, the suitable model Hamiltonian was established for isotopes and the energy levels of these isotopes were calculated by comparing experimental data. Furthermore, unknown energy levels were also predicted. For this aim, Hamiltonian's parameters were fitted for each isotopes. Finally, the B(E2) electromagnetic transition probabilities of these isotopes were calculated and

compared with the experimental data. The calculations were performed by using PHINT computer code in this study. The recent experimental data were obtained from National Nuclear Data Center (NNDC). As a result, IBM-1 model can be applied for these isotopes and it is seen that calculated results are in good agreement with the experimental data. According to the results of this study, Sr isotopes show the shape changing from spherical to prolate region.

**Key Words:** energy level, energy ratio, B(E2) values,  
electromagnetic transition probabilities, Sr nucleus,  
interacting boson model-1

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőmesinde değerli bilgilerini benimle paylaőan, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA'ya teőekkürü bir borç biliyor ve őükranlarımı sunuyorum. Yine çalıőmamda kaynak ve yöntem açısından benden bilgilerini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Abdullah AYDIN'a teőekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca zamanını ayırıp bu çalıőmamda bana yardımlarını esirgemeyen, arkadaőım Merve AYDOğAN'a teşekkür ediyorum.

Teőekkürlerin az kalacağı diğer niversite hocalarıma, niversite hayatım boyunca kazandırdıkları her őey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için, ayrı ayrı teőekkürlerimi sunuyorum.

Yoğun çalıőmalarım sırasında desteğini üzerimde her an hissettiğim, her zaman yanımda olup bana sabır gösteren ve bana katlanan arkadaőım Serpil AğLAYAN'a çok teşekkür ediyorum.

Ve son olarak çalıőmamda desteklerini ve bana olan güvenlerini hissettiren ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiőtirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen bu hayattaki en büyük őansım olan AİLEME sonsuz teőekkürler.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	x
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Literatür Taraması .....	4
1.2. Tezin Amacı ve Önemi .....	7
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	8
2.1. Etkileşen Bozon Modeli-1 (IBM-1) .....	8
2.2. Genel IBM Hamiltonyeni .....	8
2.3. Elektromanyetik Geçişler .....	9
2.4. Dinamik Simetriler .....	9
2.4.1. U(5) Limiti .....	14
2.4.1.1. B(E2) Geçişleri .....	16
2.4.2. SU(3) Limiti .....	17
2.4.2.1. B(E2) Geçişleri .....	20
2.4.3. O(6) Limiti .....	22
2.4.3.1. B(E2) Geçişleri .....	24
<b>3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR</b> .....	26
3.1. Hamiltonyen Ve Parametreler .....	27
3.1.1. <sup>74</sup> Sr İzotopunun İncelenmesi .....	28
3.1.2. <sup>76</sup> Sr İzotopunun İncelenmesi .....	30
3.1.3. <sup>78</sup> Sr İzotopunun İncelenmesi .....	31
3.1.4. <sup>80</sup> Sr İzotopunun İncelenmesi .....	32
3.1.5. <sup>82</sup> Sr İzotopunun İncelenmesi .....	33



3.1.6. $^{84}\text{Sr}$ İzotopunun İncelenmesi	34
3.1.7. $^{86}\text{Sr}$ İzotopunun İncelenmesi	36
3.2. B(E2) Geçiş Olasılıkları	37
<b>4. SONUÇ</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>46</b>
<b>EKLER</b>	<b>55</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Segre grafiğinin dinamik simetriler ile temsili .....	12
2.2. Yüksek uyarma enerjisinde U(5) dinamik simetri örneği: ${}_{48}^{112}Cd_{64}$ .....	13
2.3. IBM'in U(5) simetrisinin düşük seviyelerde harmonik limitte olması ...	15
2.4. U(5) dinamik simetri örneği: ${}_{48}^{110}Cd_{62}$ .....	15
2.5. Young tablosu yöntemi kullanılarak en düşük SU(3) gösterimlerinin ( $\lambda, \mu$ ) değerlerinin belirlenmesi örnekleri .....	19
2.6. IBM'in SU(3) simetrisinin düşük seviyelerde olması .....	19
2.7. SU(3) dinamik simetri örneği: ${}_{64}^{156}Gd_{92}$ .....	20
2.8. O(6) limitinin düşük seviyeleri, N=6 .....	23
2.9. O(6) dinamik simetri örneği: ${}_{78}^{196}Pt_{118}$ .....	24
3.1. İncelenen izotopların $R_{4^+/2^+}$ oranlarının değişim grafiği .....	26
3.2. ${}^{74}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	29
3.3. ${}^{76}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	30
3.4. ${}^{78}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	31
3.5. ${}^{80}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	32
3.6. ${}^{82}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	33
3.7. ${}^{84}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	35
3.8. ${}^{86}Sr$ izotopunun deneysel ve hesaplanan enerji değerleri .....	36
4.1. Deneysel ve hesaplanan $R_{4^+/2^+}$ oranlarının değişim grafiği .....	42
4.2. ${}^{84}Sr$ izotopunun deneysel, Hesap-1 ve Hesap-2 enerji değerleri .....	43
4.3. Deneysel ve hesaplanan $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ 'nin değişim grafiği .....	44

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Hamiltonyen parametreleri .....	27
3.2. Enerji değerlerinin hata hesapları .....	28
3.3. B(E2) değerleri için parametreler, E2DD ( $\beta_2$ )=0 alınmıştır .....	38
3.4. $^{78}\text{Sr}$ deneysel ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları .....	38
3.5. $^{80}\text{Sr}$ deneysel ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları .....	39
3.6. $^{82}\text{Sr}$ deneysel ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları .....	40
3.7. $^{84}\text{Sr}$ deneysel ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları .....	40
3.8. $^{86}\text{Sr}$ deneysel ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları .....	41
4.1. Dinamik simetrisi enerji oranları değerleri .....	42
4.2. $^{84}\text{Sr}$ izotopunun Hesap-1 ve Hesap-2 için parametreleri .....	43

## SİMGELER DİZİNİ

Z	Proton Sayısı, Atom Numarası
N	Nötron Sayısı
A	Atom Kütlesi
E2	Elektriksel Kuadropol
M1	Manyetik Dipol
B(E2)	E2 Geçiş Olasılığı
$N_{\pi}$	Proton Bozonu
$N_{\nu}$	Nötron Bozonu
$N = N_{\pi} + N_{\nu}$	Toplam Bozon Sayısı
SrSO <sub>4</sub>	Stronsiyum Sülfat
SrCO <sub>3</sub>	Stronsiyum Karbonat

## KISALTMALAR DİZİNİ

QRPA (Quasi-Particle-Random-Phase Approximation) Kuaziparçacık  
Rasgele Faz Yaklaşımı

QPNM (Quasi Particle Photon Nuclear Model) Kuaziparçacık Fonon  
Nükleer Model

IBA (Interacting Boson Approximation) Etkileşen Bozon Yaklaşımı

IBM (Interacting Boson Model) Etkileşen Bozon Modeli

IBFM (Interacting Boson-Fermion Model) Etkileşen Bozon-Fermiyon  
Modeli

IBFFM (Interacting Boson-Fermion-Fermion Model) Etkileşen Bozon-  
Fermiyon-Fermiyon Modeli

Sr Stronsiyum

## 1. GİRİŞ

Atomun çekirdeğinin keşfinden sonra nükleer fizik alanındaki çalışmalar, bilim insanları açısından ilgi çekici olmuştur. Günümüzde atom çekirdeğinin yapısını anlamak üzere bilimsel çalışmalar, deneysel ve teorik olarak devam etmekte ve bu alandaki bilimsel çalışmalar güncelliğini korumaktadır. Segre eğrisi boyunca kararlı ve uzun ömürlü olan çekirdeklerin yapısal özellikleri, büyük ölçüde deneysel veriler ve ayrıca çeşitli nükleer modeller ile açıklanabilmektedir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak, bu alandaki çalışmalar tekrarlanmakta ve özellikle kısa ömürlü olan egzotik çekirdekler için açıklanamayan problemler, deneysel ve teorik açıdan incelenerek çözüme kavuşturulmaya çalışılmaktadır. Bu tez çalışmasında ise proton sayısı  $Z=38$  olan Stronsiyum (Sr) çekirdeğinin, nötron sayısı  $36 \leq N \leq 48$  aralığında değişen çift-Z'li ve çift-N'li izotoplarının nükleer yapısal özellikleri, etkileşen bozon modeli-1 (IBM-1) kullanılarak incelenmiştir. Sr çekirdeği,  $36 \leq N \leq 48$  aralığında kararlı, uzun ömürlü ve kısa ömürlü olan izotoplara sahiptir.

Sr ilk olarak 1787 yılında İskoçya'da bir maden ocağındaki mineral örneklerini inceleyen Dr. Adair Crawford tarafından bulunmuştur. Bileşik halinde olduğu için Crawford bu bileşiğe stronsiyum oksit adını vermiştir. Sr 1808'de Sir Humphrey Davey tarafından element olarak ayrıştırılmıştır. 16. en zengin element olan Sr doğada stronsiyum sülfat ( $\text{SrSO}_4$ ) ve stronsiyum karbonat ( $\text{SrCO}_3$ ) cevherleri halinde bulunur. Sr insan vücudunda çoğunlukla kemiklerde yer alır ve parlak kırmızı renk ürettiği için, havai fişek ve işaret fişeklerinde kullanılır.  $^{90}\text{Sr}$  radyoizotopu, bir elektrik akımı üretmek için kullanılacak yüksek enerjili gama ışınları verdiği için uzak hava istasyonlarında ve uzay araçlarının bataryalarında kullanılmaktadır. Diğer izotopları ise tıpta tanı amaçlı kullanılmaktadır (RACI-Royal Australian Chemical Institute, 2019).

Teorik nükleer fizikle ilgili bilimsel çalışmalarda nükleer modeller oldukça önemli yer tutmaktadır. Atom çekirdeğini anlamak için geçmişten günümüze kadar birçok model ortaya konmuş ve geliştirilmiştir. Öne çıkan nükleer modellere örnekler; sıvı damlası modeli (Heyde, 2004), kabuk modeli (Talmi, 1993), geometrik kolektif model (Bohr ve Mottelson, 1975), Kuaziparçacık Rasgele Faz Yaklaşımı (QRPA) (Hernandez ve Palastino, 1972) ve Kuaziparçacık Fonon Nükleer Model (QPNM) (Soloviev vd., 1983) olarak verilebilir.

Bunların dışında grup teori üzerine kurulmuş olan etkileşen bozon modeli (IBM) nükleer yapı çalışmalarında oldukça başarılı sonuçlar vermekte ve U(6) grubu üzerine kurulduğu için, U(6) modeli olarak da adlandırılmaktadır. Bu modelin kendi içinde çeşitli versiyonları vardır. IBM-1 modeli, proton ve nötronları nükleon olarak ele almakta ve çekirdeklerin bozon sayılarını, proton bozonu ve nötron bozonu şeklinde ayrı ayrı ele almamaktadır. IBM-1 modeli sd-IBM olarak da adlandırılır. Proton ve nötronları ayrı ayrı ele alan ve incelenen çekirdeğin bozon sayılarını, proton bozonları ve nötron bozonları şeklinde ele alarak hesaba dahil eden versiyonu ise, IBM-2 veya np-IBM olarak adlandırılır. IBM-1 ve IBM-2, orta ve büyük kütle numaralı çift-çift çekirdeklerin incelenmesinde kullanılmaktadır. Daha hafif çekirdeklerin incelenmesinde ise, proton-nötron çiftlenimini ve izospini göz önünde tutan IBM-3 ve IBM-4 modelleri kullanılmaktadır (Iachello ve Arima, 1987). Tek-A'lı nükleer çekirdeklerin incelenmesinde ise, etkileşen bozon-fermion modeli (IBFM) ve bu modelin versiyonları kullanılmaktadır (Iachello ve Van Isacker, 1991).

IBM modelinin gelişimine bakacak olursak, 1974 yılında Arima, Iachello ve Feschbach tarafından yeni bir nükleer model olarak önerilmiştir (Feschbach ve Iachello 1974, Iachello ve Arima 1974). IBM'in temel fikri çift-çift çekirdeklere düşük kolektif bölgede etkileşen s- ve d- bozonlarının bir sistemi tarafından tanımlanabilir. Bu bozonların açısal momentumları, L=0 ve L=2'yi taşırlar (Arima ve Iachello, 1975, 1976; Iachello 1979). Bu varsayım yanlış değildir ve kabuk modeli şemasındaki genelleştirilmiş hesaplamaların

ve kapalı kabuk çekirdeklerinin arasındaki deneysel yapının bilinen özelliklerine dayanır. Burada  $0^+$  ve  $2^+$  durumları, daha yüksek açılal momentumlardakine kıyasla enerji bakımından oldukça düşüktür (Talmi 1983). Bu kabuk modelin karakteristik bir özelliği de kısa menzilli kalıntılardan kaynaklanan seviye hesaplamalarında iki parçalı bir konfigürasyon etkileşiminde özdeş nükleonlar ile aynı yörüngede olmasıdır. (deShalit ve Feshbach, 1974). IBM-1, protonlar ve nötronlar arasında hiçbir ayırım yapmaz; değlerlik sayısı hesabı her zaman en yakın kapalı kabuklara göre yapılır (Iachello ve Arima, 1987). Örneğin;  ${}_{38}^{78}\text{Sr}_{40}$  çekirdeği, 10 değlerlik protonuna ( $Z=28$ ' e göre) ve 10 nötrona ( $N=50$ 'ye göre) sahiptir ve bu nedenle bozon sayısı  $N=5+5=10$ 'dur.

İlerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacak olan IBM'in karakteristik özelliklerinin birçoğu grup teorik yöntemlerle türetilbilir ve analitik olarak ifade edilebilir. IBM çerçevesinde simetrierin varlığı ve rolü, en özgün ve karakteristik özelliğini temsil eder. Açıklamaları basit ve analitiktir; açık geometrik ilişkileri ve fiziksel yorumları vardır, tahminleri mutlak bir minimum parametreye bağlıdır ve E2 dallanma oranları gibi birçok parametre serbesttir. Simetri yapısı nedeniyle IBM, geçiş bölgelerinin hesaplanmasında özellikle uygun bir araçtır; çünkü bu tür hesaplamalar, simetri çiftleri arasındaki geçiş yolu boyunca görelil yapısal gelişmeyi belirleyen tek bir serbest parametre açısından gerçekleştirilebilir. Bu anlamda model, her biri farklı bir yapıya uygulanabilen birkaç geometrik modelin deneysel olarak gözlemlenen özelliklere göre uygulanacağı, daha önce var olan duruma alternatif oluşturmaktadır (Casten ve Warner, 1988).

IBM, öncelikle düşük seviye kollektif uyarmalar için bir model olmasına rağmen, modelin son gelişmeleri ile bu sınırları önemli ölçüde genişletmeye başlamıştır. IBM-1'in bu uzantılarından, belki de en doğal olanı, proton ve nötron serbestlik derecelerinin ayrı ayrı belirtildiği ve IBM-2 (Arima vd., 1977; Otsuka vd., 1978) olarak bilinen modeldir ve Hamiltonyen, proton-bozon-nötron-bozon etkileşimlerini içerir.



Bu gelişme, yalnızca daha iyi hesaplamaların yapılabilmesi değil, aynı zamanda daha ileri sistematik ve yeni ortak uyarma modları ortaya koyması ve daha da önemlisi, altta yatan kabuk modeline bağlantı yapılmasına izin verdiği için büyük bir gelişmedir (Casten ve Warner, 1988). IBM başlangıçta çift-çift çekirdekler için formüle edilmiştir (Iachello ve Arima, 1987). Tek-çift ve tek-tek çekirdekler için de geliştirilmiştir (Iachello ve Van Isacker, 1991).

## 1.1. LİTERATÜR TARAMASI

1974'de Iachello ve Arima yaptıkları çalışmalarında, sihirli sayılardan ve büyük deformasyon bölgelerinden uzakta bulunan atom çekirdeklerini incelemek üzere grup teoriksel bir bozon yaklaşım modeli önermişlerdir. Bunun için bozon Hamiltonyen'in özdeğeri için  $O(5)$  simetrisini kullanarak analitik olarak geçiş elemanları elde edilmiştir. Bahsi geçen bu çalışmanın sonucunda, oktopol bozon ve tek partikül fermiyonları gibi serbestlik dereceleri tanıtılmıştır (Iachello ve Arima, 1974).

Arima ve Iachello 1975'de,  $SU(6)$  bozon grubu üzerine kurulan model ile çift-çift çekirdeklere çoklu dört kutuplu durumlar için bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım ile hem titreşim hem de dönme sınırında yer alan çekirdekler incelenmiştir (Arima ve Iachello, 1975).

1977'de Arima ve Iachello tarafından yapılan çalışmada iki nükleon transfer reaksiyonunun  $SU(6)$  bozon modeli çerçevesinde ele alınabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu amaçla küresel  $SU(5)$  grubunu ve deforme  $SU(3)$  grubunu kullanmışlardır. Çalışmada, kesme faktörünün önemi vurgulanmıştır. Bu faktör, Pauli prensibinden kaynaklanmakta ve eşleştirme titreşim modelinde ihmal edileceği söylenmiştir. Ayrıca  $SU(6)$  bozon modelinin dikkat çekici bir özelliği de, küresel ve deforme bölgelerin yanı sıra, bu iki bölge arasında geçiş bölgesinde yer alan çekirdeklerin de incelenmesine olanak sağlamıştır (Arima ve Iachello, 1977).

1977'de gerçekleştirilen çalışmada, IBM modeli çerçevesinde  $O(6)$  grubu kullanılmış ve bu çekirdeklerin nükleer spektrumlarının sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Bu  $O(6)$  grubu ile nükleer çekirdeklerin enerji seviyeleri ve elektromanyetik geçiş olasılıklarının hesaplanması için analitik ifadeler kullanılmıştır. Ayrıca, bozonların etkileşmesinden oluşan sistemde,  $L=0$  açısız momentumlu durum s-bozon ve  $L=2$  açısız momentumlu durum ise d-bozonu olarak adlandırılmıştır. Çekirdeklerin özelliklerinin açıklanmasında diğer  $SU(5)$  ve  $SU(3)$ 'e ek olarak,  $O(6)$  dinamik simetrisi önerilmiştir. Ayrıca, hem proton hem de nötron bozonlarının kullanıldığı mikroskobik hesaplamalar için, Hamiltonyen ortaya konmuştur.  $O(6)$  grubu daha sonra, çekirdeklerin deneysel olarak gözlenen spektrumunun ana özelliklerini tanımlayan bir simetri olarak ortaya konmuştur (Arima ve Iachello, 1977).

1980'de Dieperink, Scholten ve Iachello gerçekleştirdikleri çalışmalarında, IBM modeli ile ilişkili bir dizi klasik değişkenler tanımlamışlardır. IBM modelinin üç limite karşılık gelen klasik denge 'şekilleri' analiz edilerek aralarında 'şekil' faz geçişlerinin yapısını incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen çekirdeklerin şekil-faz geçiş sergileyebileceğini gösterilmiştir (Dieperink vd., 1980).

Heyde, Van Isacker, Waroquier ve Moreau 1983'de yayınladıkları çalışmalarında, IBM modelinde kübik terimin kullanılmasını önermişlerdir. Bu kübik terimin, üç eksenli şekillerde ortaya çıkabileceğini göstermişlerdir. IBM modelinin Hamiltonyen'deki kübik terimleri dikkate alarak, IBM çerçevesinde bazı çekirdeklerin açıklanabileceğini göstermişlerdir. IBM'in  $U(5)$ ,  $O(6)$  ve  $SU(3)$  olan üç farklı limitlerini uygulamışlardır. Kübik terimlerin, sd-bozon model uzayında, model alanından daha yüksek açısız momentum bozonlarının hariç tutulmasının bir sonucu olarak, etkili bir etkileşim olarak ortaya çıktığını göstermişlerdir. Ayrıca enerji spektrumlarını,  $U(5)$ ,  $O(6)$  ve  $SU(3)$  limitleri ile incelemişlerdir (Heyde vd., 1983).

Van Isacker, Jolie, Heyde ve Frank 1984'de yayınladıkları çalışmalarında, IBM modeli üzerine kurulan süper simetri ile çift-çift çekirdeklerin eş zamanlı

olarak tek-çift, çift-tek ve tek-tek komşularını içeren  $^{196}\text{Pt}$ ,  $^{197}\text{Pt}$ ,  $^{197}\text{Au}$  ve  $^{198}\text{Au}$  çekirdeklerini incelemişlerdir. (Van Isacker vd., 1984).

Elliott, Evans ve Van Isacker tarafından 1986'de gerçekleştirilen çalışmada, IBM modeli,  $\gamma$ -kararlı şekil sergileyen çekirdeklerin incelenmesi için kullanılmıştır. IBM modeli çerçevesinde kuadrupol operatörü,  $d_{\mu}^{\dagger}s + s^{\dagger}\tilde{d}_{\mu} + \chi(d^{\dagger}d)_{2\mu}$  tanımlanmıştır. Burada ki  $\chi$  parametresinin seçiminin önemi vurgulanmıştır (Elliott vd., 1986).

Bonche, Dobaczewski, Flocard ve Heenen 1991 yılında yayınladıkları çalışmalarında, üç eksenli kuadrupol kolektif hareketi için jeneratör koordinat yönteminin cebirsel yapısını incelemişlerdir. Kolektif çözümler, iç eksenlerin permütasyon grubunun temsillerine göre sınıflandırılır. Metot yaklaşık bir açıl momentumun yansımaya dayanır.  $^{78-88}\text{Sr}$  izotoplarında, ışıkta küresel deforme olmuş şekle geçiş çalışmasında bile uygulanmıştır. Üç eksenli konfigürasyonların geçiş izotoplarının  $^{80-82}\text{Sr}$  yapısını açıklamada önemli bir rol oynadığı görülmüştür (Bonche vd., 1991).

Saxena, Gupta ve Mandal 2015 yılında yayınladıkları çalışmalarında,  $38 \leq N \leq 48$  ve  $Z=38$  olan  $A \sim 80$  bölgesindeki Sr izotoplarının sistematik bir çalışmasını yapmak için, proton-nötron etkileşimli bozon modelini (IBM-2) kullanmışlardır. Hesaplamaları yapmak için etkileşimli bozon modelinin proton-nötron versiyonu çerçevesinde, üç terimli Talmi-Otsuka genel Hamiltonyenini kullanmışlardır. Kesikli enerji seviyeleri yeniden üretilmiştir. Beta ve gama bandının enerji seviyeleri de çok iyi eşleşmektedir. İndirgenmiş geçiş olasılıkları da hesaplanmış ve deneysel değerlerle uyumlu olduğu bulunmuştur. Ayrıca,  $2_1^+$  durumu için g-faktörü değerlendirilmiştir. Bu izotopik zincirdeki bazı çekirdekler için karışık simetri durumları hem de adaylar tahmin edilmiştir (Saxena vd., 2015).

## 1.2. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ

Bu tez çalışmasının amacı, A~80 bölgesinde bulunan çift-çift Stronsiyum çekirdeğinin  $^{74}\text{Sr}$ ,  $^{76}\text{Sr}$ ,  $^{78}\text{Sr}$ ,  $^{80}\text{Sr}$ ,  $^{82}\text{Sr}$ ,  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  izotoplarının nükleer yapısal özelliklerini ve bu izotopların izotopik zincir boyunca davranışlarını, IBM modeli ile incelemektir.

Bu çerçevede, bu izotopların enerji oranlarına bakılarak hangi dinamik simetriye yakın oldukları tespit edilecek ve bu izotoplar için uygun Hamiltonyen oluşturularak enerji seviyeleri hesaplanacaktır. Gerekli parametreler deneysel verilerden fit edilecektir. Deneysel veriler ulusal nükleer veri merkezinden (NNDC-National Nuclear Data Center, 2019) sağlanacaktır. Proton sayısı  $Z=38$  olan bu izotopların nötron sayısına ya da bozon sayısına göre yapısal özelliklerinin ve Hamiltonyen parametrelerinin nasıl değiştiği gözlemlenecektir.

Ayrıca bu çekirdeklerin seviyeleri arasındaki elektromanyetik geçiş olasılıkları hesaplanacaktır. Yapılan hesaplarla elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılacaktır.  $Z=38$  zincirinde bulunan Stronsiyum çekirdeğinin izotoplarına bakıldığında kararlı olan izotop olduğu gibi ömrü kısa olan, bir nevi egzotik izotopların da var olduğu görülmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında bu çekirdekler üzerine yapılan deneysel çalışmalar olduğu gibi teorik çalışmalar da yoğunluk kazanmaktadır (Böyükata vd., 2010; Gladnishki vd., 2012; Albers vd, 2013; Duckwitz vd., 2013; Thomas vd., 2013; Garcia-Ramos ve Heyde, 2014; Kotila ve Lenzi, 2014; Böyükata vd., 2014; Nabi ve Böyükata, 2016, 2017). Teorik çalışmalar, kullanılan nükleer yapı modelleri ile gerçekleşmektedir. Bu tez çalışmasında, izotoplar IBM-1 modeli çerçevesinde incelenecek ve hesaplar için PHINT bilgisayar kodu (Scholten, PHINT, unpublished) kullanılacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. ETKİLEŞEN BOZON MODELİ-1 (IBM-1)

Atom çekirdekleri, yapısal özellikleri bakımından kararlılık eğrisi boyunca farklılıklar gösterirler. Çok karmaşık yapıda olan atom çekirdeklerinin nükleer özelliklerini açıklamak için çeşitli yaklaşımlar ve modeller ortaya konmuştur. Bunlardan bir tanesi de etkileşen bozon modelidir (IBM: interacting boson model) (Iachello ve Arima, 1987). IBM modeli çekirdeklerin özelliklerini incelemek için faydalı bir yaklaşım olup, nükleer fizik çalışmalarında kullanılmaktadır. Model, özellikle orta ve ağır kütleli çekirdekler için yapılan çalışmalarda oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

### 2.2. GENEL IBM HAMILTONYENİ

Bu çalışmada, altı parametrelili IBM-1 Hamiltonyeni kullanılmıştır. Bu Hamiltonyen (Iachello ve Arima, 1987), aşağıda verildiği gibidir.

$$H = [\varepsilon(\hat{n}_s + \hat{n}_d) + \alpha_0 \hat{P}^\dagger \cdot \hat{P} + \alpha_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + \alpha_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q} + \alpha_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3 + \alpha_4 \hat{T}_4 \cdot \hat{T}_4] \quad (2.1)$$

burada  $\varepsilon$  bozon enerjisi olup, diğer  $\hat{n}_s, \hat{n}_d, \hat{Q}, \hat{L}, \hat{P}, \hat{T}_3, \hat{T}_4$  terimleri sırasıyla  $\hat{n}_s$  ve  $\hat{n}_d$  bozon numaraları olmak üzere, kuadrupol, açısal momentum, bozon birleşme, oktupol, heksadekapol işlemcilerini temsil etmektedir. Aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{aligned} \hat{n}_s &= \hat{s}^\dagger \cdot \hat{s}; & \hat{n}_d &= \hat{d}^\dagger \cdot \hat{d}; \\ \hat{Q} &= \sqrt{5} [(\hat{d}^\dagger \times \hat{s}) + (\hat{s} \times \hat{d})]^{(2)} + \chi [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(2)}; \\ \hat{L} &= \sqrt{10} [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(1)}; & \hat{P} &= \frac{1}{2} (\hat{d} \cdot \hat{d}) - \frac{1}{2} (\hat{s} \cdot \hat{s}); \\ \hat{T}_3 &= [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(3)}; & \hat{T}_4 &= [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(4)} \end{aligned}$$

Hamiltonyende ki katsayılar ise serbest parametrelerdir. Bu parametreler, deneysel verilerden fit edilerek, nükleer çekirdeklerin özelliklerini tarif etmek için kullanılabilir. Fit işleminden sonra, enerji düzeyleri hesaplanabilir. U(6) grubunun ve alt gruplarının U(5), SU(3), O(6), O(5), O(3) lineer ve kuadratik operatörlerinin kombinasyonu; IBM-1 Hamiltoniyenin çok kutuplu şeklinde, operatör cinsinden yazılabilir. Enerji düzeylerine ilave olarak, elektrik kuadropol geçiş oranları da, kuadropol geçiş operatörü kullanılarak, IBM-1 modelinde hesaplanabilir.

### 2.3. ELEKTROMAGNETİK GEÇİŞLER

Elektrik kuadropol operatörü  $\hat{T}(E2)$ ,  $\gamma$ -ışını geçişlerinin analizinde yaygın bir uygulamaya sahiptir (Iachello ve Arima, 1987);

$$\hat{T}^{(E2)} = \alpha_2 \left[ \hat{d}^\dagger \times \hat{s}^\dagger \times \hat{d} \right]^{(2)} + \beta_2 \left[ \hat{d}^\dagger \times \hat{d} \right]^{(2)} \quad (2.2)$$

E2 polaritesi için, ilk ve son durumların dalga fonksiyonuna ek olarak iki parametre olan  $\alpha_2$  ve  $\beta_2$ 'ye ihtiyaç duyulduğu açıktır. B(E2) değerleri Iachello ve Arima tarafından, azaltılmış matris öğeleri ile aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Iachello ve Arima, 1987),

$$B(E2; L_i \rightarrow L_f) = \frac{1}{2L_i+1} \left| \langle L_f \parallel \hat{T}^{(E2)} \parallel L_i \rangle \right|^2 (eb)^2 \quad (2.3)$$

### 2.4. DİNAMİK SİMETRİLER

Dinamik simetriler, son 40 yılda yoğun bir şekilde kullanılmış ve çeşitli alanlarda birçok önemli keşiflere yol açmıştır. Birçok karmaşık sistemin dinamik simetri gösterdiği bulunmuştur. En iyi çalışan durumlarından biri, atom çekirdeğidir. Çekirdekdeki dinamik simetriler, daha çok Etkileşimli Bozon Modeli çerçevesinde ele alınmıştır (Arima ve Iachello, 1975; Iachello ve

Arima, 1987; Iachello, 2005). Bu modelde, çift-çift çekirdekler, bozonlar gibi işlem gören bağıntılı nükleon çiftlerinin bir tabakası olarak tanımlanmaktadır. Bozonların açısal momentumları  $J=0$  ve  $J=2'$  dir (s ve d bozonları) (Iachello, 2005).

Model  $U(6)$  cebirsel yapısına sahiptir, çünkü tüm operatörler,  $U(6)$ 'nın Lie cebirleri,  $G_{\alpha\beta} = b_{\alpha}^{\dagger}b_{\beta}$  Casimir formda oluşturulabilir (Iachello, 2005).

$$H = E_0 + \sum_{\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta} G_{\alpha\beta} + \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta\gamma\delta} U_{\alpha\beta\gamma\delta} G_{\alpha\gamma} G_{\beta\delta} \quad (2.4)$$

Etkileşen Bozon Modelinin dinamik simetrisi,  $U(6)$ 'dan kaynaklanan tüm olası alt cebir zincirleri, dönme değişmezliğinin korunma sınırları göz önünde bulundurularak incelenebilir. Zincirlere karşılık gelen sadece üç olasılık vardır (Iachello, 2005).

$$\begin{array}{ccc} & U(5) \supset SO(5) \supset SO(3) \supset SO(2) & (I) \\ \nearrow & & \\ U(6) \rightarrow & SU(3) \supset SO(3) \supset SO(2) & (II) \\ \searrow & & \\ & SO(6) \supset SO(5) \supset SO(3) \supset SO(2) & (III) \end{array} \quad (2.5)$$

$U(6)$ 'nın lineer ve kuadratik Casimir operatörleri ve çeşitli alt grupları, Denklem (2.1) operatörleri açısından yazılabilir (Casten ve Warner, 1988).

$$\begin{array}{ll} C_{1U6} = \hat{N} , & C_{2U6} = \hat{N}(\hat{N} + 5), \\ C_{1U5} = \hat{n}_d , & C_{2U5} = \hat{n}_d(\hat{n}_d + 4), \\ C_{2SU3} = \frac{4}{3} \hat{Q}^2 + \frac{1}{2} \hat{L}^2, & C_{2O6} = 2\hat{N}(\hat{N} + 4) - 8P^{\dagger}P, \\ C_{2O5} = \frac{2}{5} \hat{L}^2 + 4\hat{T}_3^2, & C_{2O3} = 2\hat{L}^2. \end{array} \quad (2.6)$$

Bu durumlarda tüm özellikler, açık analitik biçimde hesaplanabilir. Özellikle, durumların enerjileri, çeşitli terimlerin değişmez Casimir operatörlerinin uygun

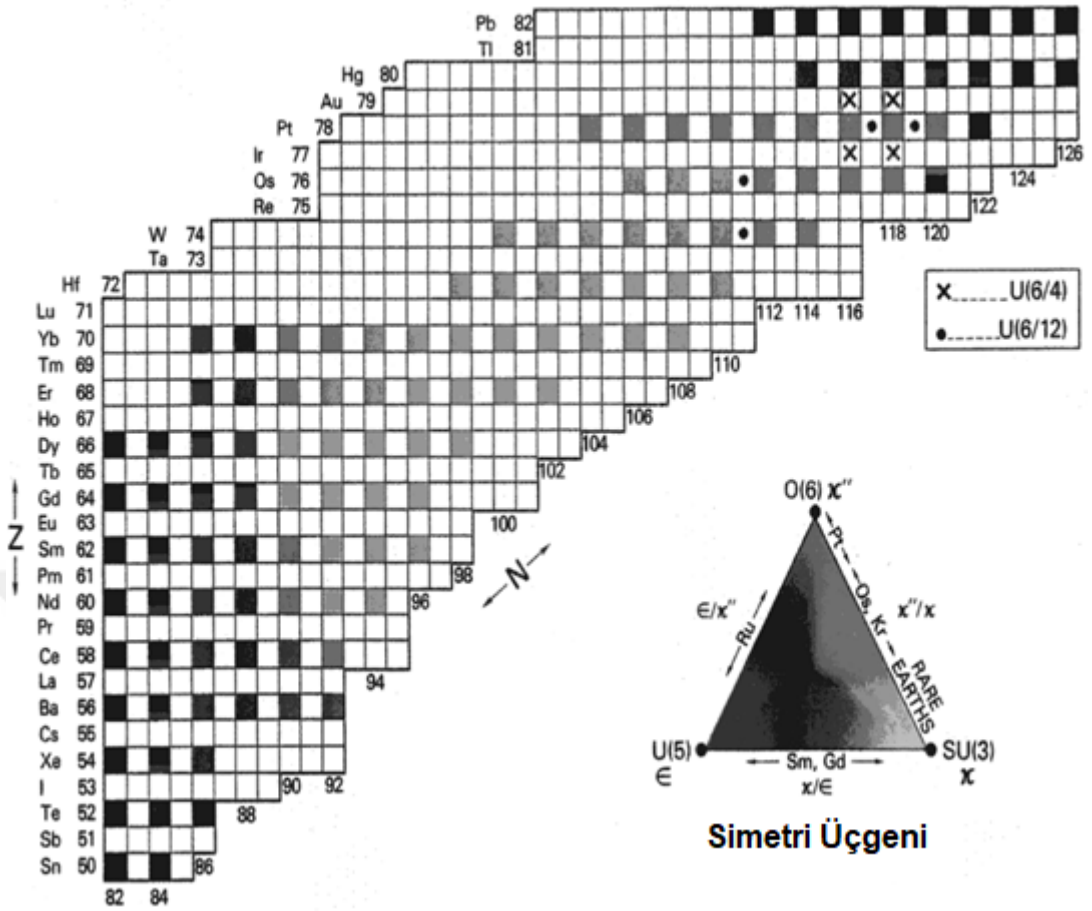
indirgenemez gösterimlerdeki özdeğerleri olduğu kuantum sayıları cinsinden verilmiştir (Casten ve Feng 1984).

$$\begin{aligned} E^{(I)}(N, n_d, v, n_\Delta, L, M_L) &= E_0 + \varepsilon n_d + \alpha n_d(n_d + 4) + \beta v(v + 3) + \gamma L(L + 1), \\ E^{(II)}(N, \lambda, \mu, K, L, M_L) &= E_0 + \kappa(\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3\lambda + 3\mu) + \kappa' L(L + 1), \\ E^{(III)}(N, \sigma, \tau, \nu_\Delta, L, M_L) &= E^0 + A\sigma(\sigma + 4) + B\tau(\tau + 3) + CL(L + 1), \end{aligned} \quad (2.7)$$

Bu enerji formülleri deneysel, verilerin analizi için kriterler sağlamıştır.

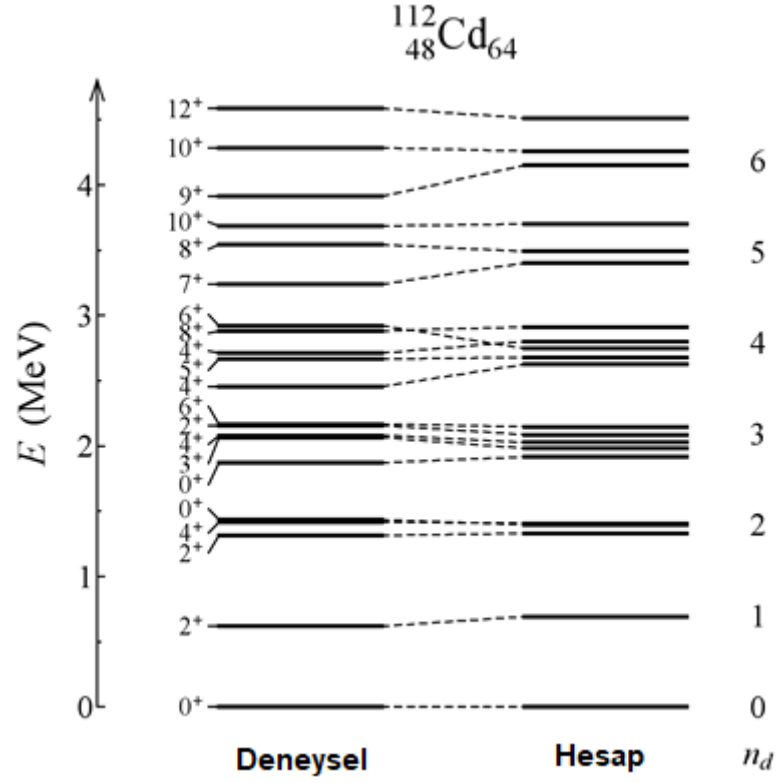
Etkileşen Bozon Modelinin dinamik simetrileri, uygulanabilirlik sınırlarının ne olduğunu belirlemek için birçok araştırmaya konu olmuştur. Buldukları bölgeleri belirlemek için, periyodik tablonun haritaları geliştirilmiştir. Proton sayısı 50-82 ve nötron sayısı 82-126 bölgesindeki çekirdek haritasının bir örneği, Şekil (2.1)'de gösterilmiştir (Casten ve Feng, 1984; Iachello, 2005). Ayrıca, uyarım enerjisi arttıkça simetrilerin devam ettiği süreçte birçok araştırmanın konusu olmuştur. Simetrinin yüksek uyarım enerjisine dayandığı görülmüştür, bununla birlikte bir simetriye, örneğin U(5)'e ait durumlar, yüksek uyarım enerjisinde, farklı bir simetri durumuyla, örneğin SO(6), bir arada bulunabilmektedir (Iachello, 2005)





**Şekil.2.1.** Segre grafiğinin dinamik simetriler ile temsili. (Casten ve Feng, 1984; Iachello, 2005).

U(5) simetrisinin durumlarının Denklem (2.7) ile karşılaştırıldığı Şekil (2.2)'de, (Deleze vd., 1993; Iachello, 2005) bir örnek gösterilmiştir. Simetri birlikteliği kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. DeCoster ve arkadaşları, I-spin adlı yeni bir simetri şeması geliştirilmiştir (DeCoster vd., 1999).



**Şekil.2.2.** Yüksek uyarma enerjisinde U(5) dinamik simetri örneği:  $^{112}_{48}\text{Cd}_{64}$ . (Deleze vd., 1993).

Simetri ile ilişkili geometri var. Cebirsel bir yapı ile ilişkilendirilen geometri, eşkümeler uzayı olarak adlandırılır. Etkileşen Bozon Modeli söz konusu olduğunda, geometri dört kutuplu şekillerdir. Çekirdeklerdeki kolektif dört kutuplu hallerin geometrik tanımı, son yıllarda Nükleer Yapı'nın temel taşı olmuştur (Bohr ve Mottelson, 1975; Iachello, 2005). Çekirdek yarıçapı,  $R = R_0(1 + \sum_{\mu} \alpha_{\mu} Y_{2\mu}(\theta, \varphi))$  ile verilen bir sıvı damlası olarak görülür. Gerçek veya eş evreli haller yöntemi ile, üç simetri ile ilgili şekillerin aşağıdaki gibi olduğu anlaşılabilir (Dieperink vd., 1980; Ginocchio ve Kirson, 1980);

	U(5)	Küresel	
↗			
U(6) →	SU(3)	Eksenel olarak deforme	
↘			
	SO(6)	γ-kararsız	(2.8)

### 2.4.1. U(5) LİMİTİ

Denklem (2.5)' in grup ayrışması ile benzerlikleri şöyledir (Arima ve Iachello, 1976):

$$\begin{array}{ccccccc} U(6) & \supset & U(5) & \supset & O(5) & \supset & O(3) \\ [N] & & n_d & & v & & n_{\Delta}L \end{array} \quad (2.9)$$

Görülebileceği gibi, O(5)'den O(3)'e indirgeme işlemini tanımlamak için ek bir kuantum sayısı  $n_{\Delta}$  kullanılmaya başlanmıştır. Bu gereklilik, O(5)' in tasvirlerini tanımlayan temel  $|Nn_d v\rangle$  içinde belirli bir L değerine sahip birden fazla değerlerin olabileceğini gösterilmektedir.

Yukarıda işaret edildiği gibi, bu zincir, genel IBM-1 yaklaşımının temelini tanımlamak için seçilmiş ve kuantum sayılarının anlamları ve olası değerleri tarif edilmiştir. (I) zinciri için Hamiltonyen, Denklemler (2.6) ve (2.9)'un incelenmesiyle yazılabilir (Casten ve Warner, 1988):

$$H_I = \alpha C_{1U5} + \beta C_{2U5} + \gamma C_{2O5} + \delta C_{2O3}. \quad (2.10)$$

Bu Hamiltonyenin özdeğerleri aşağıdaki gibi verilir.

$$E = \alpha n_d + \beta n_d(n_d + 4) + 2\gamma v(v + 3) + 2\delta L(L + 1), \quad (2.11)$$

Denklem (2.11)'deki her terim, Denklem (2.10)'a tekabül eden Casimir operatörünün özdeğeridir. Çok kutuplu genişleme operatörleri açısından, Hamiltonyen  $H_I$  (Casten ve Warner, 1988),

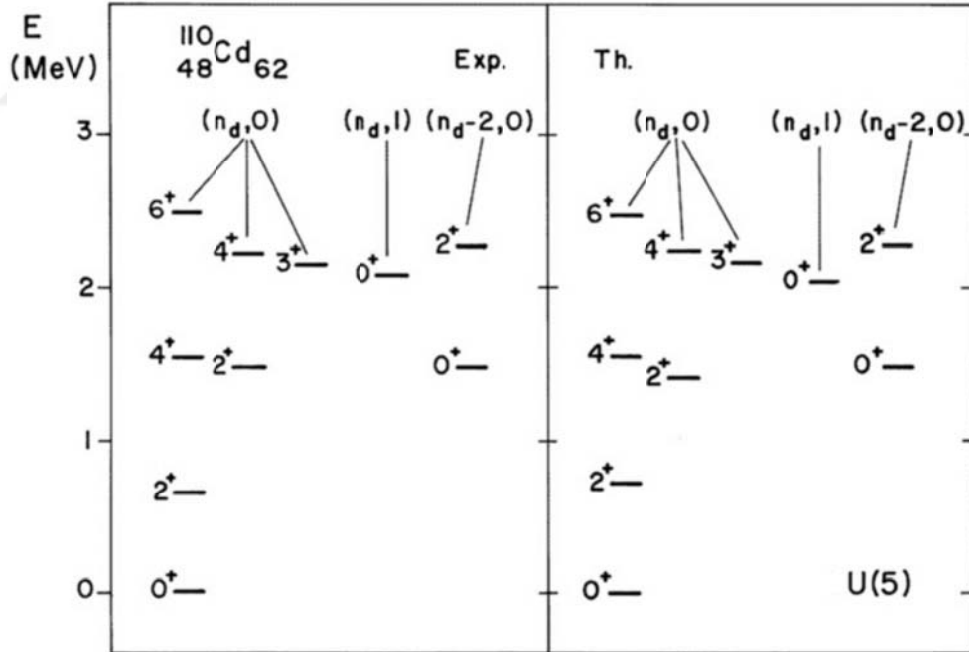
$$H_I = \varepsilon \hat{n}_d + \alpha_1 \hat{L}^2 + \alpha_3 T_3^2 + \alpha_4 T_4^2. \quad (2.12)$$

$H_I = \varepsilon \hat{n}_d$ 'in olduğu harmonik U(5) sınırındaki enerji spektrumunun tipik bir örneği Şekil (2.3)'de gösterilmiştir ve yüksek spin kesmeleri hariç, geometrik bir çerçevede bir harmonik salıncıya karşılık gelir. Karşılık gelen dalga

işlevlerinin karakteristik özellikleri, hepsi  $n_d$  kuantum sayısına göre diyagonal olan  $H_I$ 'de görünen terimlerden çıkarılabilir. Bu nedenle, U(5)'de, farklı d-bozon sayılarının karışık hallerine ilişkin bir terim bulunmamaktadır

$$\begin{array}{l}
 8^+ (400) \quad 6^+ (400) \quad 5^+ (400) \quad 4^+ (400) \quad 4^+ (410) \quad 2^+ (401) \quad 2^+ (410) \quad 0^+ (420) \\
 \\
 6^+ (300) \quad 4^+ (300) \quad 3^+ (300) \quad 2^+ (310) \quad 0^+ (301) \\
 \\
 4^+ (200) \quad 2^+ (200) \quad 0^+ (210) \\
 \\
 2^+ (100) \\
 \\
 0^+ (000)
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 U(5) \\
 (n_d \ n_\beta \ n_\Delta)
 \end{array}$$

**Şekil.2.3.** IBM'in U(5) simetrisinin düşük seviyelerde harmonik limitte olması (Casten ve Warner, 1988).



**Şekil.2.4.** U(5) dinamik simetri örneği:  $^{110}_{48}\text{Cd}_{62}$ . (Arima ve Iachello, 1976).

### 2.4.1.1. B(E2) GEÇİŞLERİ

$$\hat{T}(E2) = e_\beta [(s^\dagger \tilde{d} + d^\dagger s) + \chi (d^\dagger \tilde{d})^{(2)}] = e_\beta Q \quad (2.13)$$

Denklem (2.13)'ün  $\hat{T}(E2)$  operatörü,  $n_d$  değeri  $\pm 1$  ve  $\Delta n_d = 0$  ile değişen bir terimine sahiptir. Operatör, U(5) simetrisinin bir işlemcisi olarak seçilirse, yalnızca ikinci terim kullanılacaktır. Bununla birlikte, tahmin edilen E2 matris elemanları, o zaman sıfır olmayan köşegen katkılar (kuadrupol momenti) üretirken, 1 veya daha fazla d bozon tarafından farklı durumlar arasında 0 olur. Bu durum esas olarak titreşim çekirdeği için beklenen ve görülenin tersidir ve dolayısıyla E2 operatörünün ilk teriminin U(5) sınırında kullanılması alışılmış bir şeydir ve bu da geometrik titreşim şekline çok benzer sonuçlar verir ve genel bir sonuç elde eder (Casten ve Warner, 1988)

$$\sum_{L'} B(E2: L, n_d + 1 \rightarrow L', n_d) = e_\beta^2 (n_d + 1)(N - n_d), \quad (2.14)$$

burada  $e_\beta$ , etkin bir yük olan, bozon etkili bir yüküdür. Denklem (2.14)'ün sol tarafındaki toplam, açısal momentum seçim kuralları, bir sonraki daha düşük çarpanın birden fazla seviyesine kadar bozunmaya izin veriyorsa, kuvvetin verilen bir başlangıç durumundan dağılımını açıklar. Bu toplam, sadece  $n_d \geq 3$  durumlarının bozulması için birden fazla terim içerir.

Fonon modelinde (2.14)'e benzer ifade,  $(n_{ph} + 1)$  ile orantılıdır. IBM durumundaki faktör,  $(N - n_d)$  sonlu bozon sayısından kaynaklanır ve başlangıcı kolayca görülebilir. Örneğin, ilk birkaç U(5) durumunu yalnızca  $|n_d, n_s\rangle$  ile ifade edersek;  $b |n_b\rangle = \sqrt{n_b} |n_b - 1\rangle$  ve  $b^\dagger |n_b\rangle = \sqrt{n_b + 1} |n_b + 1\rangle$  ile kullanırsak, matris ögesi için  $\langle n_d, n_s | s^\dagger d | n_d + 1, n_s - 1 \rangle$ ,

$$\langle n_d, n_s | s^\dagger d | n_d + 1, n_s - 1 \rangle = \sqrt{(n_d + 1)} \sqrt{n_s} \langle n_d, n_s | n_d, n_s \rangle \quad (2.15)$$

$$\langle n_d, n_s | s^\dagger d | n_d + 1, n_s - 1 \rangle = \sqrt{n_d + 1} \sqrt{N - n_d}. \quad (2.16)$$

Bu sonuçların, sonlu N'nin IBM'e dahil edilmesi ile yakından bağlantılı olduğunu unutmamalıyım. Kuadropol uyarımlar açısından (yani d bozonları veya kuadropol fononlar), U(5) sınırı ve geometrik titreşimler aynıdır.  $2_1^+$  düzeyinde böyle bir uyarım vardır,  $0^+, 2^+, 4^+$  üçlüsünün seviyeleri iki ve daha fazlasına sahiptir. Aradaki fark, IBM'deki bu tür uyarmalarda, sonlu bir sabit N'ye yapılan kısıtlama, (2.14) ve (2.16) da ikinci faktöre yol açan ek bir kısıtlama getirmektedir (Casten ve Warner, 1988).

Denklem (2.14), en düşük seviyeler arasındaki geçişler için,

$$B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = e_B^2 N \quad (2.17)$$

ve

$$B(E2: 2_2^+ \rightarrow 2_1^+) = 2e_B^2(N - 1). \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu ikisinin oranı, şu yararlı sonuca neden olur (Casten ve Warner, 1988):

$$R = \left( \frac{B(E2: 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \right)_{U(5)} = \frac{N-1}{N} \left( \frac{B(E2: 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \right)_{ph} \quad (2.19)$$

#### 2.4.2. SU(3) LİMİTİ

SU(3) dinamik simetriye uygun gösterim sınıfları (Arima ve Iachello, 1978a);

$$U(6) \supset SU(3) \supset O(3) \quad .$$

$$[N] \quad (\lambda, \mu) \quad K' \quad L \quad (2.20)$$

Hamiltonyen, SU(3) ve O(3) Casimir operatörlerinin sadece lineer bir birleşimidir ve aşağıdaki gibi yazılabilir (Casten ve Warner, 1988);

$$H_{II} = \alpha_1 \hat{L}^2 + \alpha_2 Q^2 \quad . \quad (2.21)$$

Denklem (2.6) ile karşılaştırmak bu formun eşdeğer olduğunu gösterir;

$$H_{II} = \frac{3}{4} \alpha_2 C_{2SU3} + \left( \frac{\alpha_1}{2} - \frac{3}{16} \alpha_2 \right) C_{2O3} \quad . \quad (2.22)$$

Denklem (2.6)'da tanımlanan SU(3) Casimir operatörünün özdeğeri;

$$E_{C_{2SU3}}(\lambda, \mu) = \frac{2}{3} (\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3\lambda + 3\mu) \quad , \quad (2.23)$$

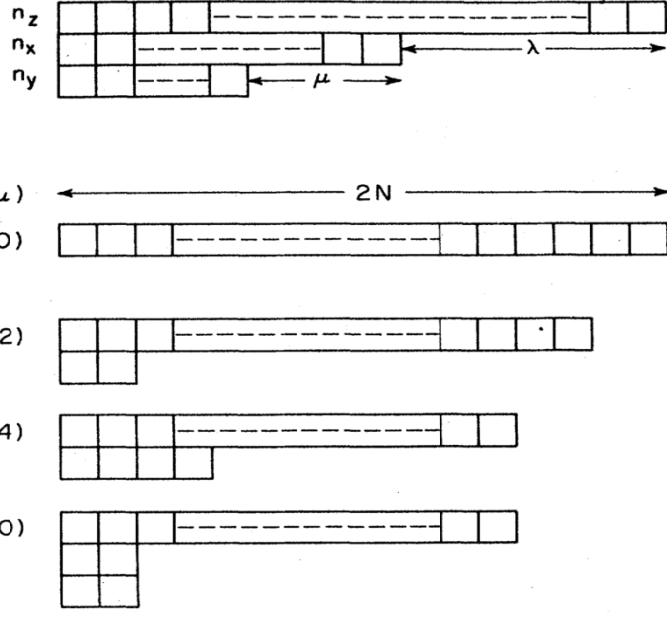
ve bu nedenle ortaya çıkan özdeğer ifadesi;

$$E = \frac{\alpha_2}{2} (\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3\lambda + 3\mu) + \left( \alpha_1 - \frac{3\alpha_2}{8} \right) L(L + 1) \quad . \quad (2.24)$$

olarak elde edilir.

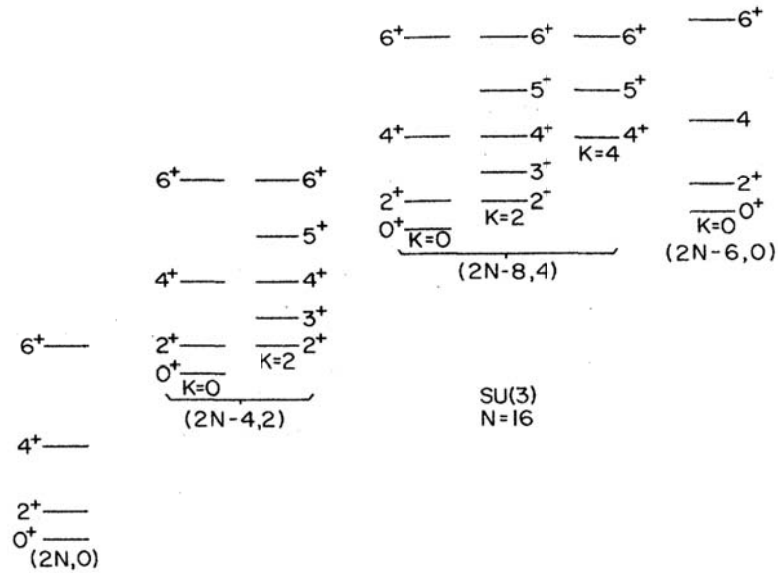
Denklem (2.21)'deki Q'nun, Denklem (2.1)'in belirli bir şeklini aldığını unutmamalıyız.

Kuantum sayıları  $(\lambda, \mu)$  en iyi şekilde, Şekil (2.5)'de gösterilen Young tablo yöntemi kullanılarak tanımlanır ve türetilir. Bozon sistemi, üç sıra arasında düzenlenmiş toplam 2N kutusu ile temsil edilir ve SU(3) kuantum numaraları  $\lambda$  ve  $\mu$ , bu düzenlemeyi şekilde gösterilen biçimde tarif eder. Fiziksel olarak, sıralar sistemde bulunan salınıcı miktarının z, x ve y yönlerini temsil ettiği düşünülür; böylece  $\lambda$ ,  $n_z - n_x$ , ve  $\mu$ ,  $n_x - n_y$ 'e eşittir. Bir prolate çekirdeğin temel-durum gösterimi, tek bir 2N kutu sırasıyla (z yönündeki tüm miktarlar) gösterilir ve dolayısıyla  $(\lambda, \mu) = (2N, 0)$  değerine sahiptir (Casten ve Warner, 1988).



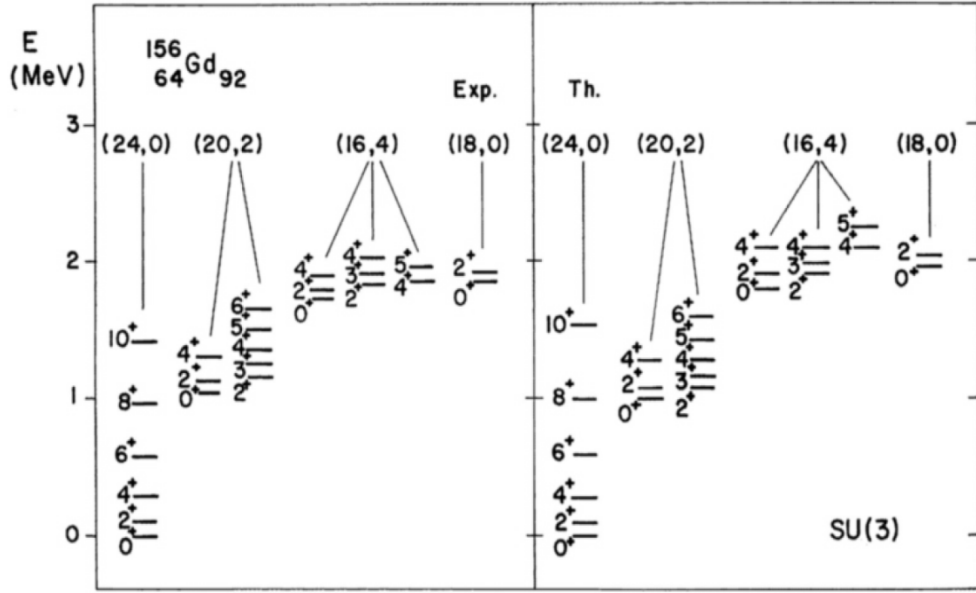
**Şekil.2.5.** Young tablosu yöntemi kullanılarak en düşük SU(3) gösterimlerinin  $(\lambda, \mu)$  değerlerinin belirlenmesi örnekleri (Casten ve Warner, 1988).

Tahmin edilen enerji spektrumu, Şekil (2.6)'da gösterilmektedir ve şaşırtıcı bir şekilde, aksenal olarak deforme olmuş bir simetrik rotordan bekleneninkine benzerdir.



**Şekil.2.6.** IBM'in SU(3) simetrisinin düşük seviyelerde olması (Casten ve Warner, 1988).





**Şekil.2.7.** SU(3) dinamik simetri örneği:  $^{156}_{64}\text{Gd}_{92}$ . (Arima ve Iachello, 1978).

### 2.4.2.1. B(E2) GEÇİŞLERİ

Kuadrupol operatörün belirli bir şekli olan

$$Q = (s^\dagger \tilde{d} + d^\dagger s) - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^\dagger \tilde{d})^{(2)}$$

kullanılırsa,  $\hat{T}(E2) = \alpha Q$ , bir SU(3) üreticidir ve bu nedenle farklı gösterimleri birbirine bağlayamaz. Böylece seçim kuralı  $\Delta(\lambda, \mu) = (0,0)$ 'dır ve sadece bant içi temsil geçişlerine izin verilir. Dolayısıyla harmonik geometrik modelin aksine,  $\gamma \rightarrow g.s.$  veya  $\beta \rightarrow g.s.$  temel band geçişleri yasaktır. Dahası, aynı seçim kuralı sadece bant içi geçişlere değil, aynı gösterimde farklı bantlar arasındaki geçişlere de izin verir. Önemli  $(2N - 4, 2)$  gösterim için, bu durum,  $\beta$  ve  $\gamma$  bantları arasında toplu geçişlere yol açar. Zamanda IBM'in başlangıç noktaları ile iyi deforme olmuş çekirdeklerin geometrik tanımlamaları arasındaki temel ve çarpıcı bir farkı da temsil eder. İlginç bir şekilde, bu şekildeki  $\beta \rightarrow \gamma$  kolektif geçişler gözlemlenmiştir ve bunların gözlemlenmesi, IBM tanımlamasının önemli bir kanıtını oluşturmaktadır (Casten ve Warner, 1988).

Sonlu bozon sayısı etkileri,  $B(E2)$  değerlerinin diğer değişikliklerini ortaya koyar ve örneğin, dönüşlerde kuvvetin zayıflaması  $L = 2N$ 'nin kesme değerine yaklaşır. Örneğin,  $\beta$  ve  $\gamma$  bantları arasındaki geçişler için bantlar arası dallanma oranları Alaga kurallarındaki sapmalara yaklaşır. Yavaş geçişler için,  $B(E2)$  değerleri,

$$B(E2: (2N, 0); L + 2 \rightarrow L) = e_B^2 \frac{3}{4} \left( \frac{(L+2)(L+1)}{(2L+3)(2L+5)} \right) \times (2N - L)(2N + L + 3). \quad (2.25)$$

şeklindedir. Bu, ilk  $2^+$  durum için,

$$B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = e_B^2 \frac{N(2N+3)}{5}. \quad (2.26)$$

Denklem (2.25)'in açıkça,  $L \rightarrow 2N$  olarak sifıra meyilli olduğunu ve zaten  $L \approx \frac{1}{2} L_{max}$ 'da kayda değer bir düşüş gösterdiğini unutmamalıyız. Tahmini azalma, sonlu  $N$ 'nin doğrudan bir sonucudur ve  $SU(3)$ 'den sapmalara bağlı değildir. Çoğu deforme olmuş çekirdekte bu indirgemelerin gözlemlenmediği görülmektedir.

Diğer ilginç sonuçlar,  $N \gg 1$  sınırında Denklem (25)'den açıkça görülmektedir. İlk olarak, spin bağıllığı, sadece Alaga kurallarını veren büyük parantez içindeki etken tarafından verilmektedir. Örneğin, geniş  $N$  sınırında, Denklem (2.25),

$$\frac{B(E2:4 \rightarrow 2)}{B(E2:2 \rightarrow 0)} = \frac{10}{7}. \quad (2.27)$$

halindedir. Bununla birlikte, Denklem (2.25), Alaga kurallarından sapmaların tam  $SU(3)$  sınırında bile görüldüğünü ve sonlu  $N$  etkilerinin doğrudan bir yansıması olduğunu da göstermektedir (Casten ve Warner, 1988).

### 2.4.3. O(6) LİMİTİ

O(6) dinamik simetriye uygun gösterim sınıfları (Arima ve Iachello, 1978b; Arima ve Iachello, 1979);

$$U(6) \supset O(6) \supset O(5) \supset O(3) \quad , \quad (2.28)$$

$$[N] \quad \sigma \quad \tau \quad v_{\Delta} \quad L$$

şeklinde dir. Zincir l'den gelen tek farkın, U(5) grubunun O(6) grubunun yer değiştirmesi olduğuna dikkat edin. Karşılık gelen kuantum sayısı  $\sigma$  değerleri alır (Casten ve Warner, 1988),

$$\sigma = N, N - 2, \dots, 0 \text{ or } 1 \quad , \quad (2.29)$$

O(5)'e indirgeme,

$$\tau = \sigma, \sigma - 1, \dots, 0 \quad (2.30)$$

her  $\sigma$  gösterimi için yapılır. Tarihsel nedenlerden dolayı,  $\tau, v_{\Delta}$  etiketleri, O(6) şeması için kullanılmıştır, ancak bunlar U(5) zincirinin  $v, n_{\Delta}$  etkileri ile aynıdır. Hamiltonyen  $H_{III}$ ,  $\alpha C_{1U5} + \beta C_{2U5}$ 'nin bir  $\alpha C_{2O6}$  Denklem (2.10) ile değiştirilmesi ile elde edilir ve özdeğer ifadesi daha sonra,

$$E = 2\alpha\sigma(\sigma + 4) + 2\gamma\tau(\tau + 3) + 2\delta L(L + 1) \quad . \quad (2.31)$$

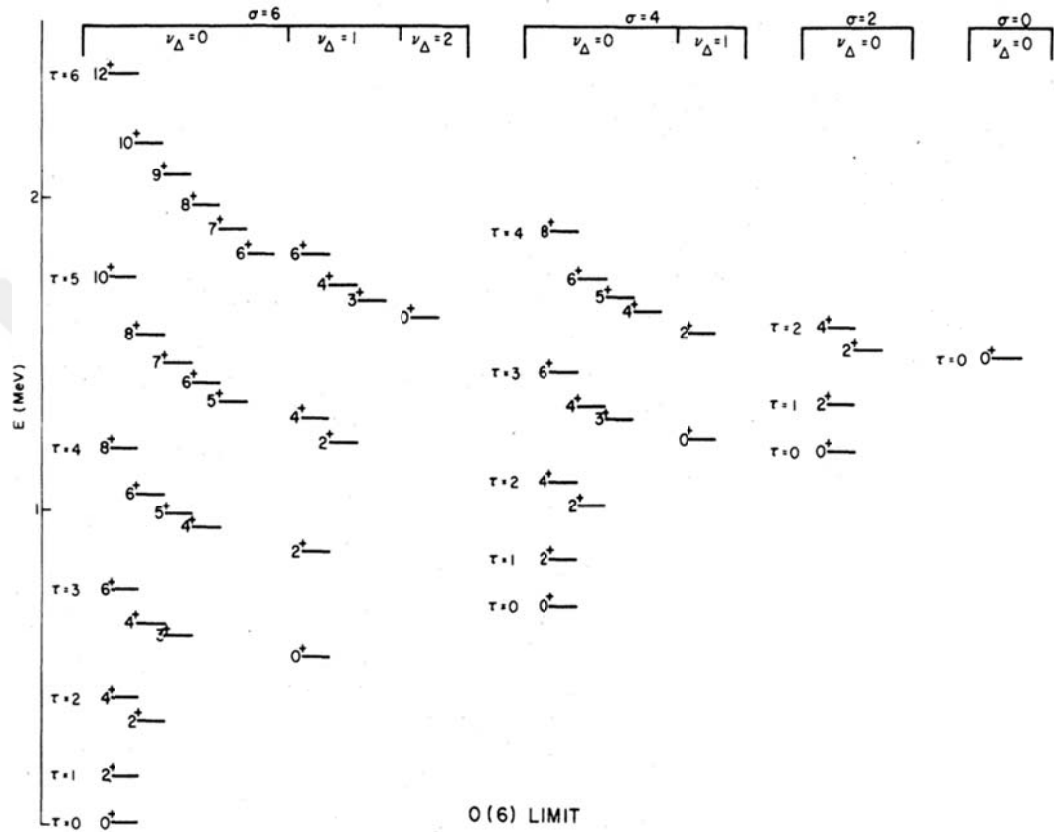
olarak yazılır. Yine, Casimir operatöründeki çeşitli terimler, çok kutuplu genişlemenin uygun biçimde  $H_{III}$  ifadesini, yazmak için bir araya getirilebilir;

$$H_{III} = \alpha_0 P^{\dagger}P + \alpha_1 \hat{L}^2 + \alpha_3 T_3^2 \quad . \quad (2.32)$$

Burada  $P^{\dagger}P$  terimi,  $C_{2O6}$  Casimir'den, yani O(6) alt grubunun varlığından kaynaklanmaktadır. Çok kutuplu Hamiltonyenin ortak kullanımı nedeniyle, literatürde en sık rastlanılan (eşdeğer) özdeğer ifadesi şekli şöyledir,

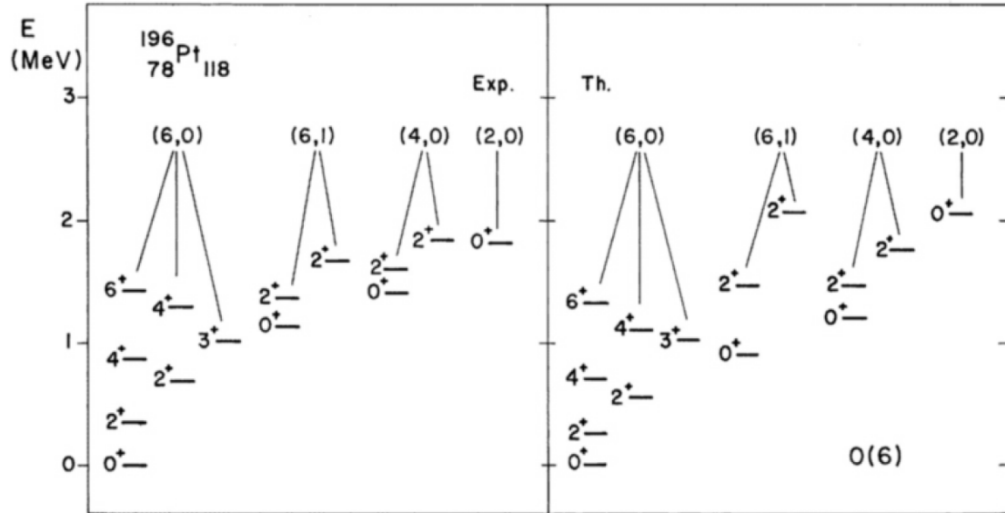
$$E = A(N - \sigma)(N + \sigma + 4) + \beta\tau(\tau + 3) + CL(L + 1) . \quad (2.33)$$

Daha yüksek, düşük  $\sigma$  gösterimlerinde, her durumda  $\tau_{max} = \sigma$  olduğu için, alt sınırlar haricinde seviyelerin dizileri tamamen özdeşdir.



**Şekil.2.8.** O(6) limitinin düşük seviyeleri, N=6 (Casten ve Warner, 1988).

O(6) sınırındaki dalga fonksiyonlarının yapısı, U(5) temelinde tek kenarsız olan Denklem (2.32)'deki  $P^{\dagger}P$  terimi ile saptanır. Daha önce belirtildiği gibi, bu operatör için  $\Delta n_d = 0$  ve  $\pm 2$  katkıları vardır ve bu nedenle d bozonlarının sıfır birleşim çiftleri ile farklı durumları bağlayabilir (Casten ve Warner, 1988). Tipik bir enerji spektrumu Şekil (2.8)'de gösterilmektedir.



**Şekil.2.9.** O(6) dinamik simetri örneği:  ${}^{196}_{78}\text{Pt}_{118}$ . (Arima ve Iachello, 1979).

### 2.4.3.1. B(E2) GEÇİŞLERİ

O(6) grubunun bir üretici olan kuadrupol operatörü, en genel formun yalnızca ilk bölümünden oluşur;

$$Q = e_B(s^\dagger \tilde{d} + d^\dagger s) \quad .$$

Tanımı gereği, bu operatör  $\Delta_\sigma = 0$  seçim kuralına yönlendirir. Yukarıda verilen  $Q$  formunun özelliği  $\Delta n_d = \pm 1$  olduğu için, tüm bileşen temel halleri  $\Delta n_d = 2$  ile farklı olduğu için, durumları aynı  $\tau$  değeriyle bağlayamayacağı açıktır. Dahası,  $Q$ , d-bozon dalga fonksiyonlarının tekrar birleşmesine izin veren bir terim içermediğinden, temel durumları  $n_\beta$  veya  $n_\Delta$ 'nin farklı değerleri ile bağlamaz. Böylece ek seçim kuralı  $\Delta_\tau = \pm 1$  olarak görülür. Bu kural ve çeşitli durumları etiketleyen belirli  $\tau$  değerleri, karakteristik bir O(6) ya işaret eder, yani  $0^+ - 2^+ - 2^+$  seviyeleri dizilimine, bunlara bağlanan izin verilen ardışık E2 geçişlerine, neden olur (Casten ve Warner, 1988).

$\sigma$  seçim kuralı, dalga fonksiyonları formundan da çıkarılabilir, zira farklı  $\sigma$  gruplarından olan durumlar için, ancak  $\pm 1$   $\tau$  değerlerine sahip olan E2 matris elemanına bireysel katkılar tam olarak iptal edilir. E2 seçim kuralları aynı

zamanda,  $O(6)$  limitinin kaybolduğu kuadropol momentlerine sahip olduğunu ima eder.

Kökenleri farklı olduğundan  $\sigma$  ve  $\tau$  seçim kurallarının beklenen güçlü yönleri birbirinden farklıdır.  $O(6)$  simetriği,  $\varepsilon n_d$  formundaki bir terimle hafifçe karışırsa,  $\sigma$  kuralı kapsamındaki sadeleşmeler artık kesin olmaktan çıkar. Bu nedenle,  $\sigma < \sigma_{max}$  olan durumlar, zayıf E2 matris elemanları ile,  $\Delta_\tau = \pm 1$  seçim kuralını koruyarak  $\sigma = \sigma_{max}$  seviyelerine düşecektir. Özellikle,  $\sigma < \sigma_{max}$  gösterimlerinin  $0^+$  'temel bandının',  $2_2^+$  durumunun aksine  $2_1^+$  seviyesine inmesi beklenir.

Son olarak,  $\sigma = \sigma_{max}$ ,  $L = 2\tau$  durumlarını bağlayan B(E2) değerleri ifadesi (Casten ve Warner, 1988), aşağıdaki gibi verilir.

$$B(E2: \tau + 1 \rightarrow \tau) = e_B^2 (N - \tau)(N + \tau + 4) \frac{(\tau+1)}{2\tau+5} . \quad (2.34)$$

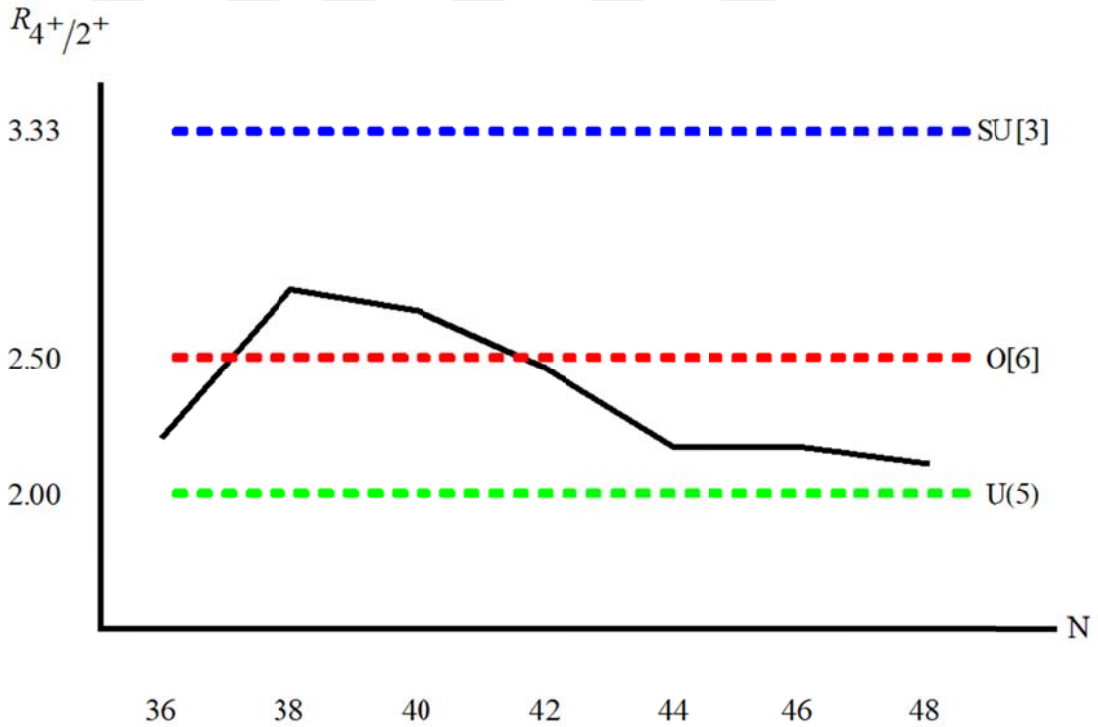
SU(3)'te olduğu gibi ve aynı nedenlerden dolayı, bu B(E2) değerlerinin büyük  $N$  için yaklaşık  $N^2$  olarak ölçeklendiği unutulmamalıdır.  $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$  geçişinin özel durumu için, Denklem (2.34),

$$B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = e_B^2 \frac{N(N+4)}{5} . \quad (2.35)$$

şeklini alır.

### 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu tez çalışmasında,  $A \sim 80$  deforme bölgesinde  $Z=38$  izotop serisinde bulunan çift-çift  $^{74}\text{Sr}$ ,  $^{76}\text{Sr}$ ,  $^{78}\text{Sr}$ ,  $^{80}\text{Sr}$ ,  $^{82}\text{Sr}$ ,  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  izotoplarının yapısal özellikleri ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Bu izotopların enerji seviyeleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlarla enerji spektrumları çizilmiştir. Daha sonra bu çekirdeklerin elektromanyetik geçiş olasılıkları ve  $R_{4^+/2^+} = E_4^+/E_2^+$  oranları hesaplanmıştır. İncelenen izotopların enerji seviyelerinin ve elektromanyetik geçiş olasılıkları hesabında PHINT bilgisayar kodu kullanılmıştır. Enerji spektrumları ve grafiklerin çiziminde ise Mathematica 7.0 programından yararlanılmıştır.



**Şekil.3.1.** İncelenen izotopların  $R_{4^+/2^+}$  oranlarının değişim grafiği.

Öncelikle incelenen izotopların davranışlarını görmek için, temel banttaki izotopların  $R_{4^+/2^+}$  oranları hesaplanmış ve şekli çizilmiştir. Yapılan hesaplamalar ile deneysel verilerin şekli ise sonuç kısmında açıklanacaktır.

### 3.1. HAMILTONYEN VE PARAMETRELER

Hesaplamalar için aşağıda verilen Hamiltonyen kullanılmıştır.

$$\hat{H} = (eps)\hat{n}_d + (ell)\hat{L}^2 + (qq)\hat{Q}^2 + (oct)\hat{T}_3^2 \quad (3.1)$$

eps, ell, qq, oct parametreleri, serbest parametrelerdir. Hamiltonyen için fit edilen parametreler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge.3.1.** Hamiltonyen parametreleri.

Parametreler	<sup>74</sup> Sr	<sup>76</sup> Sr	<sup>78</sup> Sr	<sup>80</sup> Sr	<sup>82</sup> Sr	<sup>84</sup> Sr	<sup>86</sup> Sr
eps	0,3952	1,219	0,1483	0,257	0,7070	0,6901	1,0601
ell	0,0252	0,051	0,0494	0,0458	0,0224	0,0354	0,0352
qq	0	0	0	0	-0,014	0	0
oct	0	0	0	0	-0,00924	-0,0066	-0,01792
N*	9	10	10	9	8	7	6

\* N\_bozon sayısı

Bu çalışmada, teorik ve deneysel veriler arasındaki uyumu belirlemek için Ki-kare ( $\chi^2$ ) testi kullanılmıştır. Bu testteki gözlenen değerler, deneysel olarak doğrudan elde edilen değerlerdir; teorik ya da beklenen değerler ise, bazı modeller ile hesaplanan değerlerdir (Applied Statistics by Hinkle, Wiersma, Jurs).



$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.2)$$

$O$ = beklenen (deneysel) değer,

$E$ = gözlenen (hesaplanan) değer,

$k$ = kategori sayısı, gruplandırma veya olası sonuç sayısı.

Bu çalışmada elde edilen hata hesaplarının değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge.3.2.** Enerji değerlerinin hata hesapları.

	<sup>74</sup> Sr	<sup>76</sup> Sr	<sup>78</sup> Sr	<sup>80</sup> Sr	<sup>82</sup> Sr	<sup>84</sup> Sr	<sup>86</sup> Sr
$\chi^2$	0,0009	0,769	1,439	0,656	26,322	32,135	2,266
$k$	2	5	5	5	15	8	6
$\frac{\chi^2}{k}$	0,00045	0,153	0,287	0,131	1,754	4,016	0,377

### 3.1.1. <sup>74</sup>Sr izotopunun İncelenmesi

Bozon tam sayı spine sahip olan ve Bose-Einstein istatistiğine uyan temel parçacıklara verilen isimdir. Bozonların kuantum spinleri ..., -2, -1, 0, 1, 2, ... şeklinde tam sayılardır. Toplam bozon sayısı, 'N' sembolü ile gösterilir. Bozon sayıları bulunurken, nötron ve proton sayılarına ve bunların sihirli sayıya yakınlığına bakılır. Burada proton bozon sayısı ve nötron bozon sayısı olarak ayrı ayrı hesap yapılır ve sonra bunların toplamı, bozon sayısını verir.

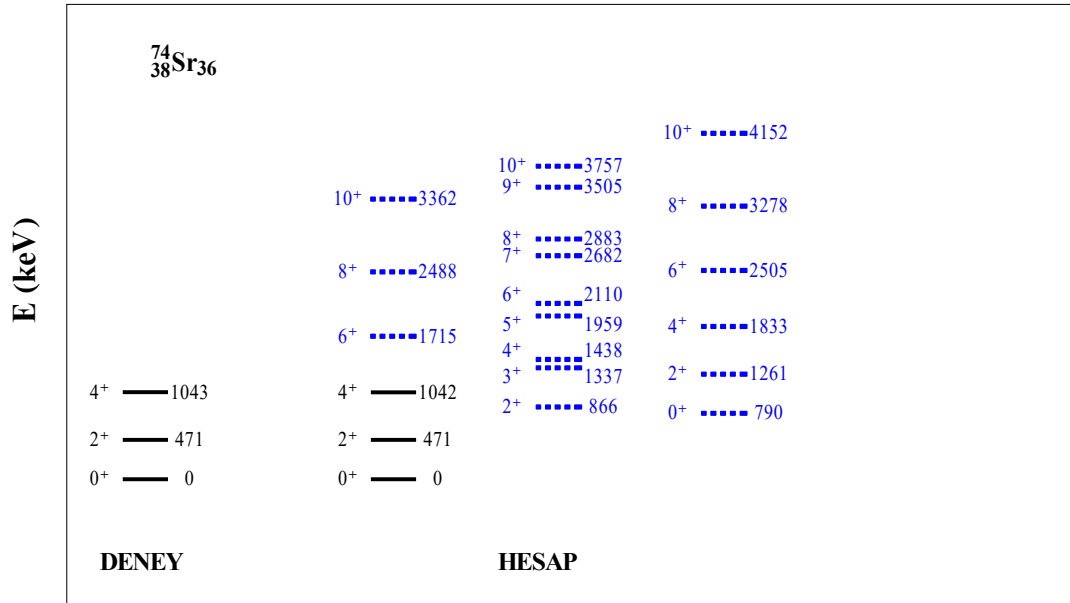
$$N = N_{\pi} + N_{\nu} \quad (3.3)$$

Burada  $N$ 'toplam bozon sayısı,  $N_{\pi}$ 'proton bozon sayısı ve  $N_{\nu}$ 'nötron bozon sayısıdır. Bozon sayısını bulmak için, proton sayısı ve nötron sayısı ayrı ayrı

ele alınır. Proton ve nötron sayılarının en yakın sihirli sayıyla arasındaki farkı alıp, bu fark 2 ye bölüldüğünde, proton ve nötron bozon sayıları bulunur.

Sihirli sayılar olarak bilinen 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 proton veya nötron sayılarına sahip atomik çekirdekler küresel olarak kabul edilirler (126 sadece nötrona aittir). Örnek olarak proton sayısı 38 ve nötron sayısı 36 olan  $^{74}\text{Sr}$  izotopunun bozon sayısını hesaplanmak için, hem proton sayısının hem de nötron sayısının en yakın olduğu sihirli sayı olan 28'e göre işlem yapılır. Buna göre;

$$\begin{aligned} \text{Proton bozon sayısı} & : N_{\pi} = \frac{38-28}{2} = \frac{10}{2} = 5 \\ \text{Nötron bozon sayısı} & : N_{\nu} = \frac{36-28}{2} = \frac{8}{2} = 4 \\ \text{Toplam bozon sayısı} & : N = N_{\pi} + N_{\nu} = 5 + 4 = 9. \end{aligned}$$



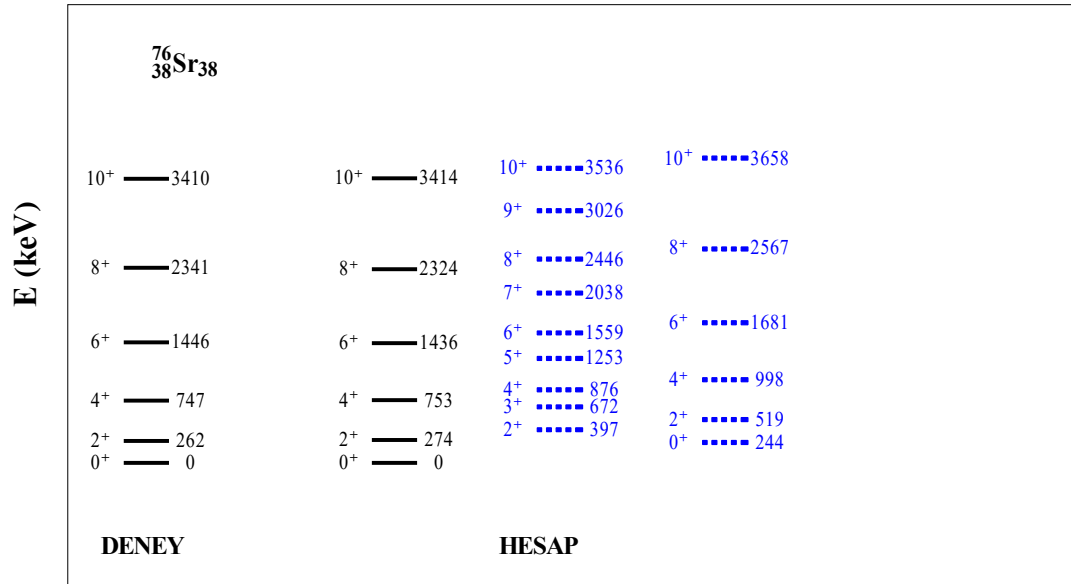
**Şekil.3.2.**  $^{74}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

$^{74}\text{Sr}$  izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak elde edilen enerji spektrumları Şekil (3.2)'de çizilmiştir. Şekil (3.2)'den de

görüldüğü üzere, temel banttaki deneysel değerler ile hesaplanan değerler genel olarak uyumludur. Bu uyum kullanılan Hamiltonyen parametrelerinin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Deneysel değerlerde olmayan ama IBM-1’de tahmin edilen beta ve gama bandındaki değerler ise kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Tahmin edilen gama bandın yapısına bakıldığında ( $2^+$ ), ( $3^+$ ,  $4^+$ ), ( $5^+$ ,  $6^+$ ), ( $7^+$ ,  $8^+$ ),... şeklinde bir çiftlenme vardır. Bu tür yapıya sahip olan izotoplar gama-yumuşak (gamma-softness) olarak adlandırılır (Casten, 1990). Bu banttaki çiftlenimi ayırmak için Hamiltonyende kübik terimi kullanmak gerekir.

### 3.1.2. $^{76}\text{Sr}$ İzotopunun İncelenmesi

$^{74}\text{Sr}$  izotopunda yapılan toplam bozon sayısı hesabı bu izotopta da aynı şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam bozon sayıları Çizelge (3.1)’de verilmiştir.

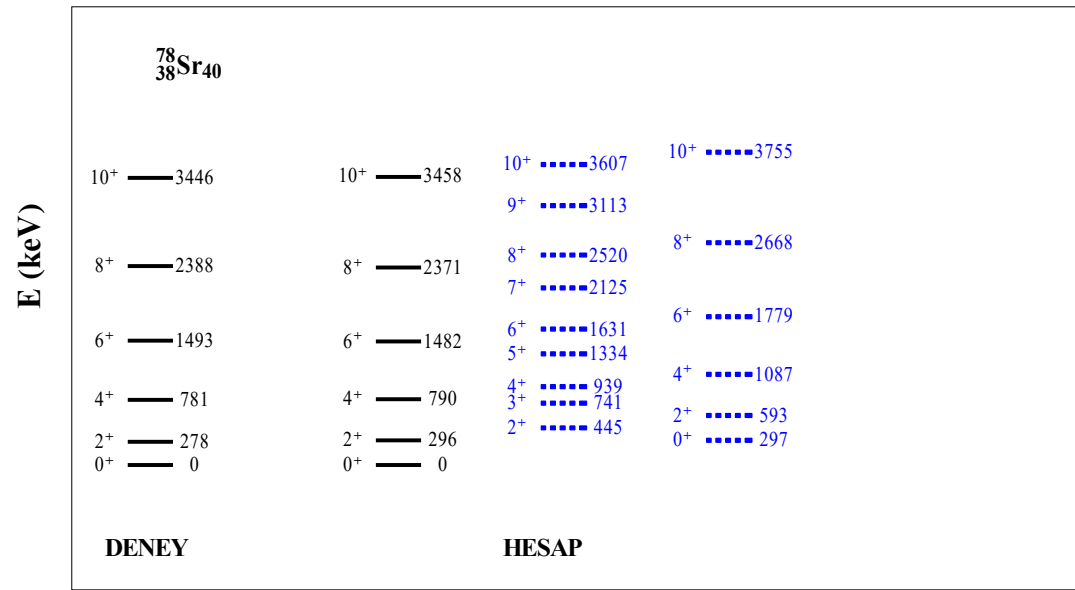


**Şekil.3.3.**  $^{76}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

$^{76}\text{Sr}$  izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak enerji spektrumları Şekil (3.3)'de çizilmiştir. Şekil (3.3)'ten de görüldüğü gibi temel banttaki deneysel değerler ile hesaplanan değerler birbiriyle genel olarak uyumludur.

### 3.1.3. $^{78}\text{Sr}$ İzotopunun İncelenmesi

$^{74}\text{Sr}$  izotopunda yapılan toplam bozon sayısı hesabı bu izotopta da aynı şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam bozon sayıları Çizelge (3.1)'de verilmiştir.



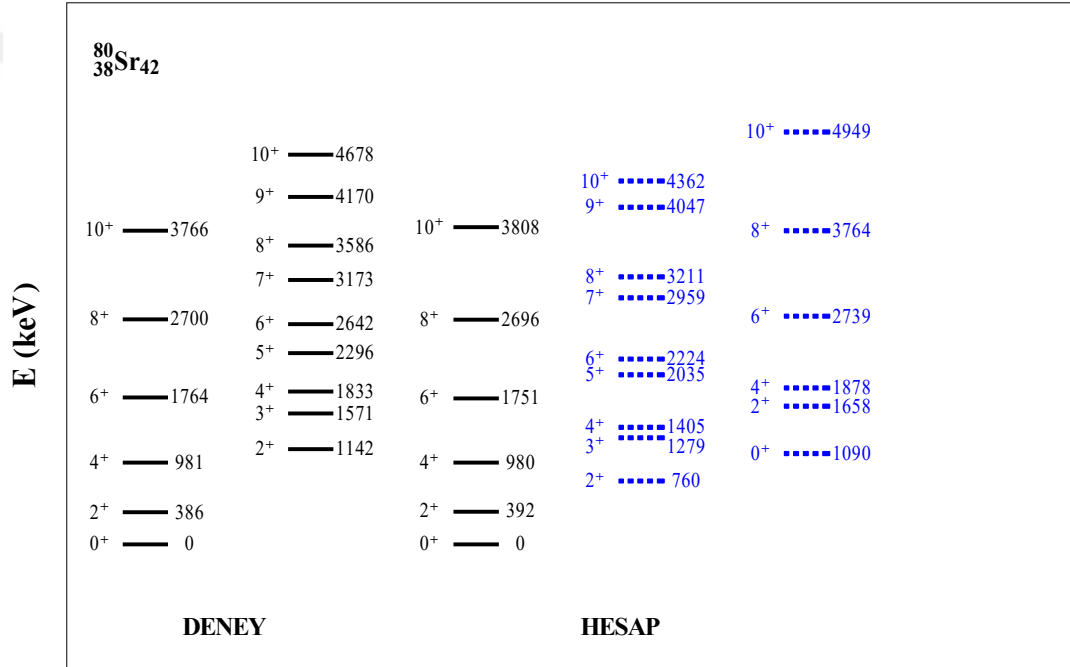
**Şekil.3.4.**  $^{78}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

$^{78}\text{Sr}$  izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak enerji spektrumları Şekil (3.4)'de çizilmiştir. Deneysel değerler ile hesaplanan değerler karşılaştırıldığında şekilden de anlaşılacağı gibi deneysel değerler

ile yapılan hesaplar genel olarak uyumludur. Bu uyum kullanılan Hamiltonyen parametrelerinin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

### 3.1.4. $^{80}\text{Sr}$ izotopunun İncelenmesi

$^{74}\text{Sr}$  izotopunda yapılan toplam bozon sayısı hesabı bu izotopta da aynı şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam bozon sayıları Çizelge (3.1)'de verilmiştir.



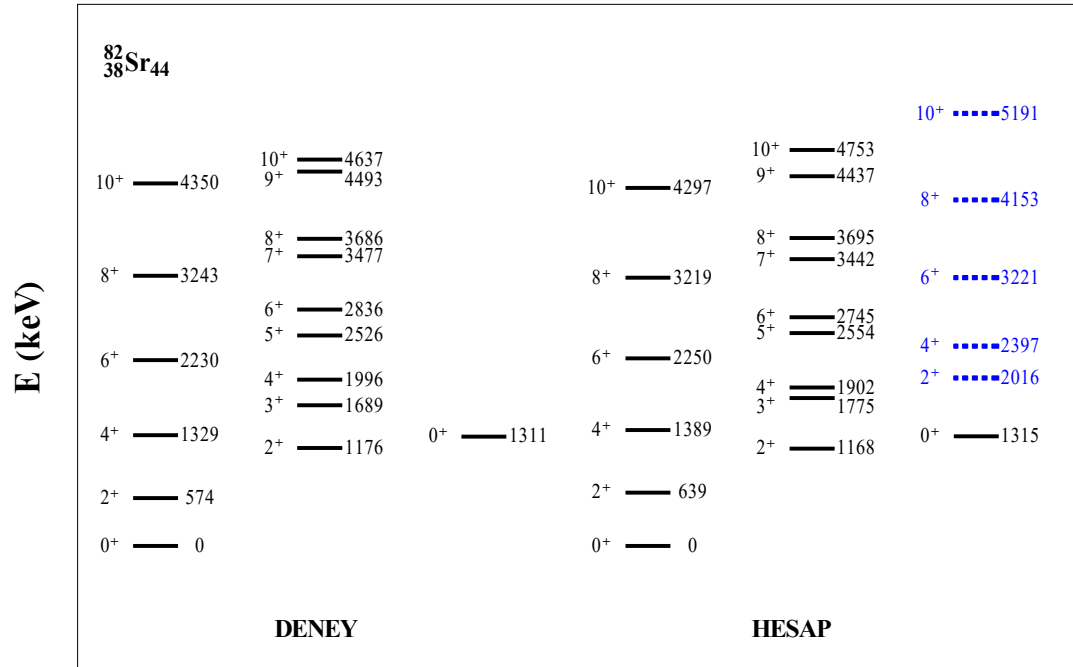
**Şekil.3.5.**  $^{80}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

$^{80}\text{Sr}$  izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak enerji spektrumları Şekil (3.5)'de çizilmiştir. Burada görüldüğü üzere temel bandın deneysel değerleri ile hesaplanan değerleri karşılaştırıldığında şekilden de anlaşılacağı gibi deneysel değerler ile yapılan hesaplar genel olarak uyumludur. Ancak burada  $\gamma$  bandının uyumsuz olduğunu görmekteyiz. Bu uyumsuzluk  $^{80}\text{Sr}$  çekirdeğinin  $\gamma$  bandında bulunan  $2^+$  değerinin genel

bandta bulunan  $4^+$  değerinden daha büyük olmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı, deneysel değerleri ve hesaplanan değerleri fit ederken sadece genel banttaki değerler kullanılmıştır. Bu izotopun deneysel gama bandın yapısına bakıldığında ( $2^+$ ), ( $3^+$ ,  $4^+$ ), ( $5^+$ ,  $6^+$ ), ( $7^+$ ,  $8^+$ ),... şeklinde bir çiftlenme vardır. Hesaplanan sonuçta da benzer durum söz konusudur.  $^{74}\text{Sr}$  izotopunun gama bandı için yapılan tahmin hesabında da sonuçlarında aynı durum gözlenmişti. Bu çiftlenimin olması yapıya sahip olan bu izotopun gama-yumuşak yapıda olabileceğinin bir göstergesidir. Hamiltonyene kübik terim ekleyerek farklı bir hesap yapılabilir.

### 3.1.5. $^{82}\text{Sr}$ izotopunun İncelenmesi

$^{74}\text{Sr}$  izotopunda yapılan toplam bozon sayısı hesabı bu izotopta da aynı şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam bozon sayıları Çizelge (3.1)'de verilmiştir.

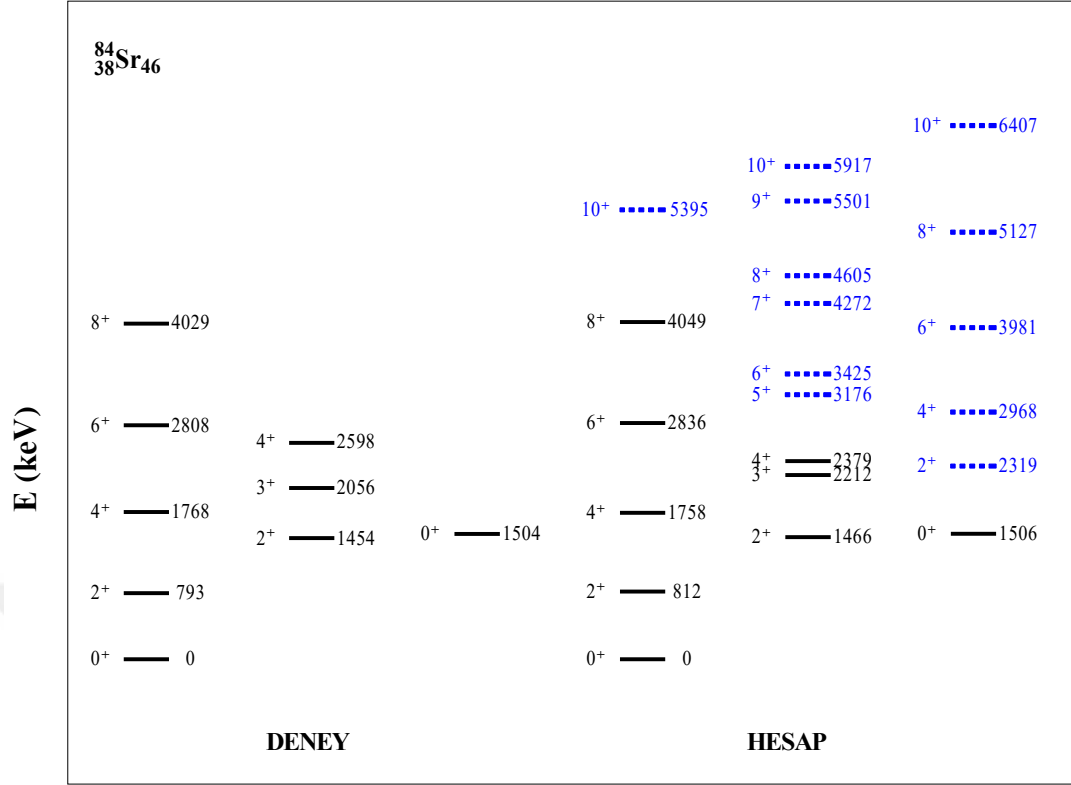


**Şekil.3.6.**  $^{82}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

$^{82}\text{Sr}$  izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak enerji spektrumları Şekil (3.6)'de çizilmiştir. Genel bant, gama bandı ve beta banttaki deneysel değerler ile hesaplanan genel bant, gama bandı ve beta bandındaki değerler karşılaştırıldığında Şekil (3.6)'dan da anlaşılacağı gibi deneysel değerler ile yapılan hesaplar genel olarak uyumludur.  $^{80}\text{Sr}$  izotoplarında olduğu gibi bu izotopun deneysel gama bandında da ( $2^+$ ), ( $3^+$ ,  $4^+$ ), ( $5^+$ ,  $6^+$ ), ( $7^+$ ,  $8^+$ ),... şeklinde bir çiftlenim gözlemlenmiştir. Bu izotop için de gama-yumuşak yapıda olabileceğini söylemek mümkündür. Hesaplanan sonuçlarında bu şekilde çıkması bu durumu desteklemektedir.

### 3.1.6. $^{84}\text{Sr}$ İzotopunun İncelenmesi

$^{74}\text{Sr}$  izotopunda yapılan toplam bozon sayısı hesabı bu izotopta da aynı şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam bozon sayıları Çizelge (3.1)'de verilmiştir.



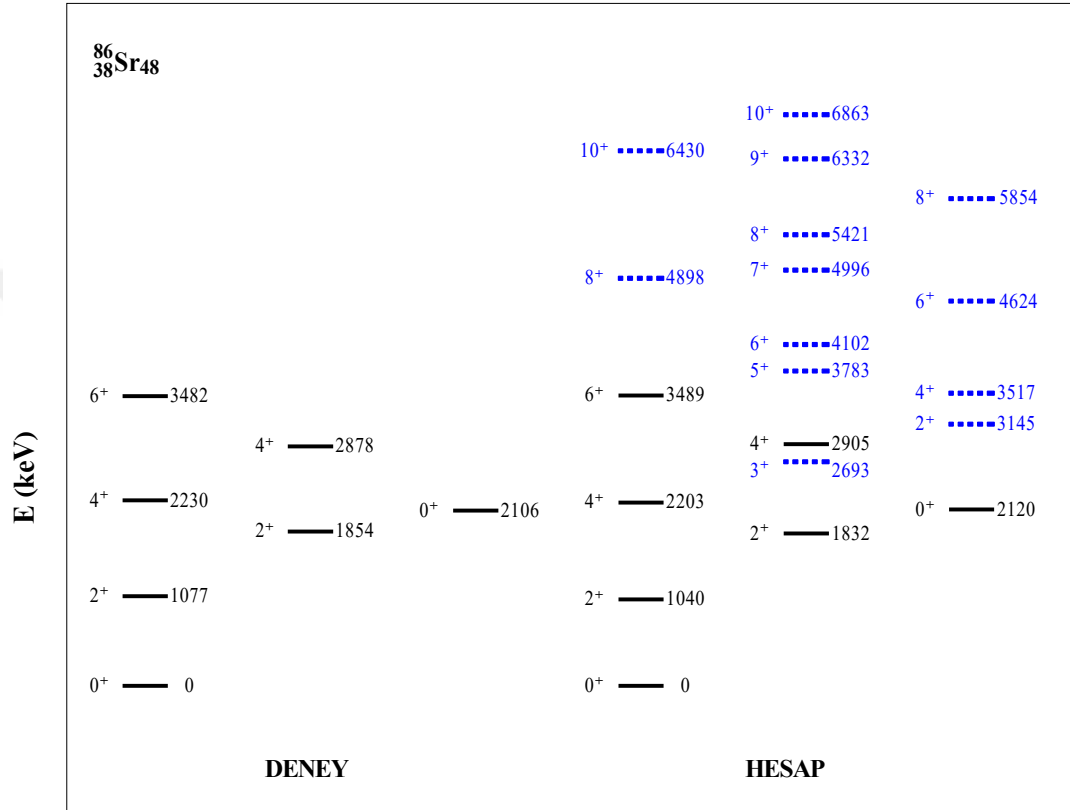
**Şekil.3.7.** <sup>84</sup>Sr izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

<sup>84</sup>Sr izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak enerji spektrumları Şekil (3.7)'da çizilmiştir. Deneysel değerler ile hesaplanan değerler karşılaştırıldığında Şekil (3.7)'den de anlaşılacağı gibi deneysel değerler ile yapılan hesaplar genel olarak uyumludur. Bu uyum kullanılan Hamiltonyen parametrelerinin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu izotopun gama bandı için yapılan hesaba bakıldığında (2<sup>+</sup>), (3<sup>+</sup>, 4<sup>+</sup>), (5<sup>+</sup>, 6<sup>+</sup>), (7<sup>+</sup>, 8<sup>+</sup>),... şeklinde bir çiftlenme vardır. Ancak deneysel kısımda gama bantta bu çiftlenme yoktur.



### 3.1.7. $^{86}\text{Sr}$ İzotopunun İncelenmesi

$^{74}\text{Sr}$  izotopunda yapılan toplam bozon sayısı hesabı bu izotopta da aynı şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam bozon sayıları Çizelge (3.1)'de verilmiştir.



**Şekil.3.8.**  $^{86}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan enerji değerleri.

$^{86}\text{Sr}$  izotopu için deneysel veriler ve Çizelge (3.1)'de verilen parametreler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler kullanılarak enerji spektrumları Şekil (3.8)'de çizilmiştir. Genel bant, gama bandı ve beta banttaki deneysel değerler ile hesaplanan genel bant, gama bandı ve beta bandındaki değerler karşılaştırıldığında Şekil (3.8)'den de anlaşılacağı gibi deneysel değerler ile yapılan hesaplar genel olarak uyumludur. Bu uyum kullanılan Hamiltonyen parametrelerinin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.  $^{74}\text{Sr}$  ve  $^{84}\text{Sr}$  izotoplarında olduğu gibi bu izotopun da

hesaplanarak tahmin edilen gama bandının  $(2^+)$ ,  $(3^+, 4^+)$ ,  $(5^+, 6^+)$ ,  $(7^+, 8^+)$ ,... şeklinde bir çiftlenme vardır. Ancak bu izotopun gama-yumuşak yapıda olabileceğini destekleyen yeterli deneysel veri henüz yoktur.

### 3.2. B(E2) Geçiş Olasılıkları

Deforme bölgede bulunan çekirdeklerin elektromanyetik geçiş olasılıklarını, IBM-1 ile hesaplayabiliriz. A~80 deforme bölgesinde bulunan  $^{74}\text{Sr}$ ,  $^{76}\text{Sr}$ ,  $^{78}\text{Sr}$ ,  $^{80}\text{Sr}$ ,  $^{82}\text{Sr}$ ,  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  izotoplarının enerji düzeyleri arasında gözlenen elektromanyetik geçişlerin B(E2) değerlerinin hesaplamasında E2 operatörüne ihtiyaç vardır. Bölüm (2.3)'te de gösterildiği gibi  $\hat{T}(E2)$  operatörü (Iachello ve Arima, 1987) aşağıdaki verilir.

$$\hat{T}(E2) = \alpha_2 [\hat{d}^\dagger \times \hat{s}^\dagger \times \hat{d}]^{(2)} + \beta_2 [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(2)}. \quad (3.4)$$

$\hat{T}(E2)$  polaritesi için ilk ve son durumların dalga fonksiyonuna ek olarak, iki parametre olan  $\alpha_2$  ve  $\beta_2$ 'ye ihtiyaç duyulduğu açıktır. Bölüm (2.3)'te de gösterildiği gibi, B(E2) değerleri Iachello ve Arima tarafından azaltılmış matris öğeleri ile tanımlanmıştır (Iachello ve Arima, 1987):

$$B(E2; L_i \rightarrow L_s) = \frac{1}{2L_i+1} |\langle L_s || \hat{T}(E2) || L_i \rangle|^2 (eb)^2. \quad (3.5)$$

Uygun parametrelerin seçilmesiyle Çizelge (3.3) düzeyler arasında meydana gelen B(E2) geçiş olasılıklarının hesaplamaları, Denklem (3.5) kullanılarak, her bir izotop için ayrı ayrı yapılmış olup, tablolarda verilmiştir.

**Çizelge.3.3.** B(E2) değerleri için parametreler, E2DD ( $\beta_2$ )=0 alınmıştır.

	E2SD ( $\alpha_2$ )
$^{78}\text{Sr}$	0,14
$^{80}\text{Sr}$	0,144
$^{82}\text{Sr}$	0,11
$^{84}\text{Sr}$	0,09
$^{86}\text{Sr}$	0,0585

Yapılan çalışmada en uygun değerlere en az parametre kullanarak ulaşılması hedeflendiği için; B(E2) geçişlerinde  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçişleri temel alınmıştır.

Kullanılan deneysel değerler W.u formunda olup bu değerler;

$$(5.9435 \times 10^{-6}). (A)^{4/3}. W.u$$

birim dönüşümünü kullanarak  $e^2b^2$  formuna çevrilmiştir.

$^{74}\text{Sr}$  ve  $^{76}\text{Sr}$  izotoplarının deneysel B(E2) geçiş değerleri olmadığı için bu çekirdeklerin B(E2) geçiş olasılıkları değerlendirilememiştir.

**Çizelge.3.4.**  $^{78}\text{Sr}$  deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları.

B(E2)	DENEY		IBM
$L_i^\pi \rightarrow L_s^\pi$	W.u	$e^2b^2$	$e^2b^2$
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	103 (13)	0,204 (0,025)	0,196
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	169 (17)	0,334 (0,033)	0,352

Çizelge (3.4) incelendiğinde;  $^{78}\text{Sr}$  izotopunun deneysel verileri ile üretilen parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçiş değerlerinin uyumlu deneysel sonuçlarla olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge.3.5.**  $^{80}\text{Sr}$  deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları.

B(E2)	DENEY		IBM
$L_i^\pi \rightarrow L_s^\pi$	W.u	$e^2b^2$	$e^2b^2$
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	94 (4)	0,192 (0,008)	0,187
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	128 (7)	0,262 (0,014)	0,331
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	168 (18)	0,344 (0,036)	0,435
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	137 (15)	0,280 (0,030)	0,497
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	161 (18)	0,329 (0,036)	0,518

Çizelge (3.5) incelendiğinde;  $^{80}\text{Sr}$  izotopunun deneysel verileri ile üretilen parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçiş değerlerinin deney ile birbirinden çok uzak olmadığı görülmüştür.

**Çizelge.3.6.**  $^{82}\text{Sr}$  deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları.

B(E2)	DENEY		IBM
$L_i^\pi \rightarrow L_s^\pi$	W.u	$e^2b^2$	$e^2b^2$
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	48,4 (22)	0,102 (0,046)	0,111
$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.15 (5)	0,0003 (0,010)	0
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	109 (22)	0,230 (0,046)	0,191
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	$1.2 \times 10^2 \begin{pmatrix} +4 \\ -5 \end{pmatrix}$	0,254	0,239
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	$1.0 \times 10^2 \begin{pmatrix} +3 \\ -5 \end{pmatrix}$	0,211	0,259
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	$1.1 \times 10^2 \begin{pmatrix} +4 \\ -5 \end{pmatrix}$	0,232	0,254

Çizelge (3.6) incelendiğinde;  $^{82}\text{Sr}$  izotopunun deneysel verileri ile üretilen parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçiş değerlerinin birbirine oldukça yakın oldukları görülmüştür.

**Çizelge.3.7.**  $^{84}\text{Sr}$  deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları.

B(E2)	DENEY		IBM
$L_i^\pi \rightarrow L_s^\pi$	W.u	$e^2b^2$	$e^2b^2$
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	26 (3)	0,056 (0,006)	0,056
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	21 (6)	0,045 (0,013)	0,097
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	21 (5)	0,045 (0,010)	0,121
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	4,18 (14)	0,009 (0,030)	0,129
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	6,7 (11)	0,014 (0,024)	0,121

Çizelge (3.7) incelendiğinde;  $^{84}\text{Sr}$  izotopunun deneysel verileri ile üretilen parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçiş değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

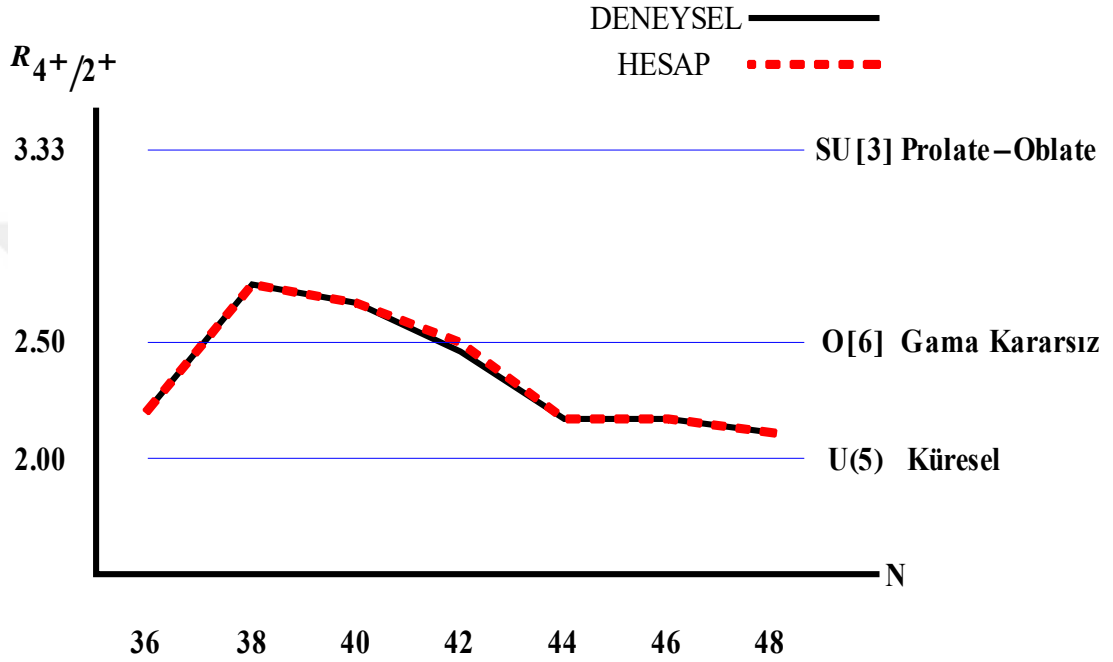
**Çizelge.3.8.**  $^{86}\text{Sr}$  deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan B(E2) geçiş olasılıkları.

B(E2)	DENEY		IBM
$L_i^\pi \rightarrow L_s^\pi$	W.u	$e^2b^2$	$e^2b^2$
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	11,9 (7)	0,026 (0,015)	0,021
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	7,1 (9)	0,016 (0,020)	0,034
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	>0.052	>0,0001	0,041
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	2,85 (5)	0,006 (0,011)	0,041
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	>0,11	>0,0002	0,034

Çizelge (3.8) incelendiğinde;  $^{86}\text{Sr}$  izotopunun deneysel verileri ile üretilen parametreler kullanılarak elde edilen hesaplamalar karşılaştırılmış ve  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçiş değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Deneysel olarak kesin olmayan sonuçlar, teorik hesaplama ile ( $6_1^+ \rightarrow 4_1^+$ ;  $10_1^+ \rightarrow 8_1^+$ ) için belirlenmiştir

#### 4. SONUÇ

A~80 deforme bölgesinde bulunan Z=38 izotop serisinden çift-çift  $^{74}\text{Sr}$ ,  $^{76}\text{Sr}$ ,  $^{78}\text{Sr}$ ,  $^{80}\text{Sr}$ ,  $^{82}\text{Sr}$ ,  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  izotopları, IBM-1 çerçevesinde detaylı olarak incelenmiştir.



**Şekil.4.1.** Deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan  $R_{4+/2+}$  oranlarının değişim grafiği.

**Çizelge.4.1.** Dinamik simetri enerji oranları değerleri (Casten, 2006).

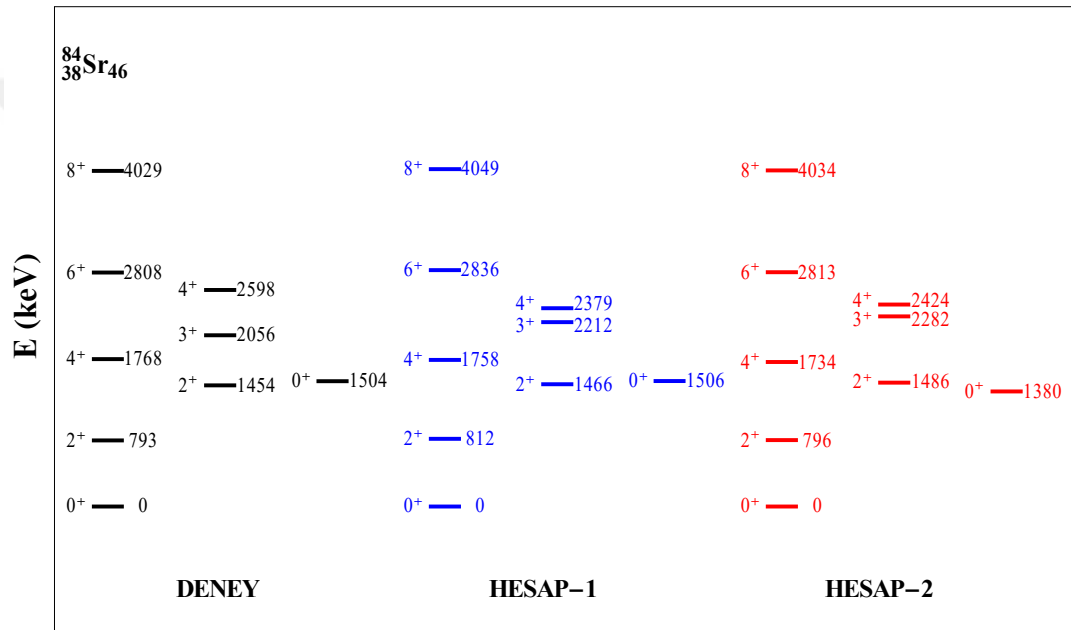
	U(5)	O(6)	SU(3)
$R_{4+/2+}$	2	2,5	3,33

Şekil (4.1) ve Çizelge (4.1) incelendiğinde,  $^{74}\text{Sr}$  izotopu  $\gamma$ -kararsız ve küresel arasında bir şekle sahip olduğu görülmektedir.  $^{76}\text{Sr}$  ise  $\gamma$ -kararsız ile prolate şekiller arasındadır.  $^{78}\text{Sr}$  de  $\gamma$ -kararsız ile prolate arasındadır, fakat  $\gamma$ -kararsıza daha yakındır. Bu orana bakıldığında  $^{80}\text{Sr}$  ise  $\gamma$ -kararsız bir şekle

yakındır.  $^{82}\text{Sr}$  izotopu  $\gamma$ -kararsız ve küresel arasında bir şekilde sahip olup küresel şekilde daha yakındır.

**Çizelge.4.2.**  $^{84}\text{Sr}$  izotopunun Hesap-1 ve Hesap-2 için parametreleri.

	HESAP-1	HESAP-2
EPS	0,7534	0,6901
ELL	0,035	0,0354
OCT	-0,0066	-

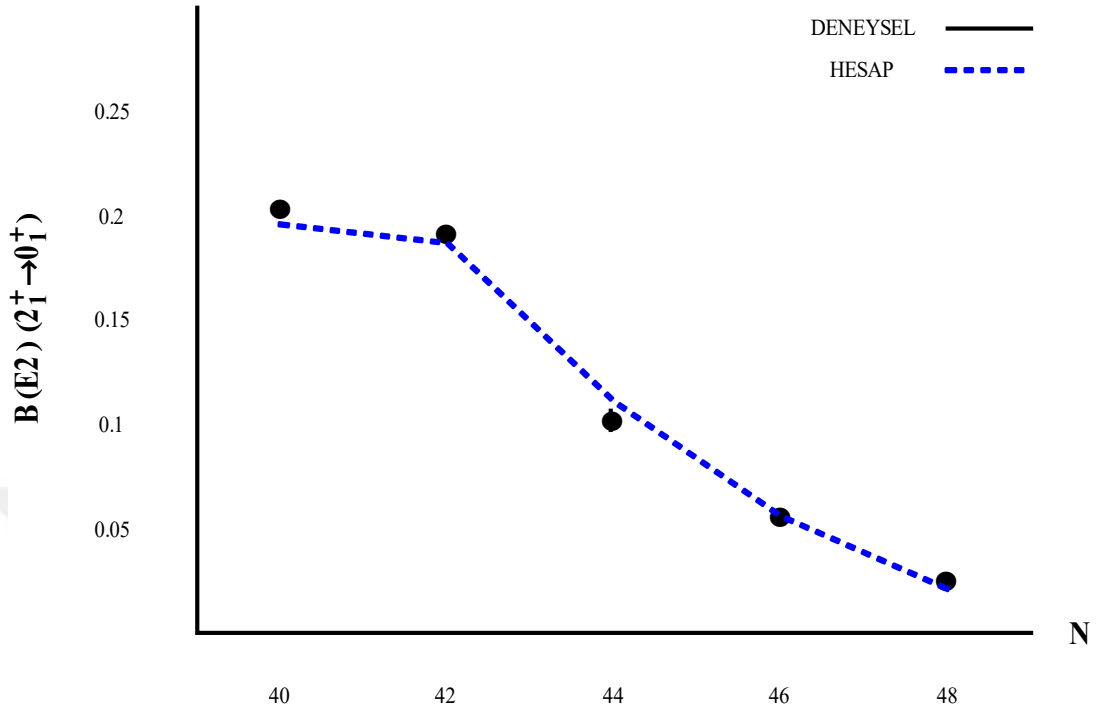


**Şekil.4.2.**  $^{84}\text{Sr}$  izotopunun deneysel (NNDC, 2019), Hesap-1 ve Hesap-2 enerji değerleri.

Hesap-2 de iki parametre kullanıldığında Denklem (3.2) kullanılarak yapılan hata hesabında hata payı 48,07 çıkmaktadır.  $^{84}\text{Sr}$  izotopuna OCT değerini ekleyip üç parametre kullanılarak yapılan Hesap-1'de de yine Denklem (3.2) kullanılarak yapılan hata hesabında hata payı 31,24 çıkmaktadır. Şekil (4.2)' den de görüldüğü üzere OCT eklenen değer 2.  $0^+$  ve 1.  $4^+$  değerleri etkileyerek artırmıştır.  $T_3 \rightarrow OCT$  olduğu için  $\beta$  ve  $\gamma$  bantta  $4^+$ 'yı etkilemektedir. Bu durum  $^{84}\text{Sr}$ 'nin tipik bir U(5) çekirdeği olduğunu göstermektedir.



<sup>86</sup>Sr çekirdeğinin küresel şekle daha yakın olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 4.3.** Deneysel (NNDC, 2019) ve hesaplanan  $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  'nin değişim grafiği.

Şekil (4.3) incelendiğinde, hesaplanan  $B(E2) (2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  geçiş olasılıklarının, deneysel (NNDC, 2019) verilerle uyumlu olduğu görülmektedir.

Deneysel verilerden yola çıkarak her bir çekirdek için ayrı ayrı Hamiltonyen ve Hamiltonyen parametreleri oluşturulmuştur. Yapılan işlemler sonucunda da elde edilen değerler kullanılarak enerji düzeyleri hesaplanmış ve enerji spektrumları oluşturulmuştur. Deneysel veriler ile yapılan hesapların birbirleriyle uyumu sağlanmıştır.

İncelenen izotopların enerji düzeyleri hesaplandıktan sonra, düzeyler arasında meydana gelen elektromanyetik geçişleri ( $B(E2)$ ) değerleri hesaplanmıştır. Hamiltonyende olduğu gibi deneysel verilerden yola çıkarak  $B(E2)$  geçişlerinin hesaplanması için gerekli parametreler elde edilmiştir. Deneysel veriler ile yapılan hesapların birbirleriyle uyumu sağlanmıştır.

İncelenen Sr izotoplar için elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında;  $^{80}\text{Sr}$  ve  $^{82}\text{Sr}$  izotoplarının deneysel gama bandında ortaya çıkan  $(2^+)$ ,  $(3^+, 4^+)$ ,  $(5^+, 6^+)$ ,  $(7^+, 8^+)$ ,... şeklindeki çiftlenimler bu izotopların gama-yumuşak yapıda olabileceğini göstermektedir. IBM-1 modeli ile elde edilen hesaplamalar bunu destekler niteliktedir. Ayrıca  $^{74}\text{Sr}$ ,  $^{84}\text{Sr}$  ve  $^{86}\text{Sr}$  izotopları için yapılan IBM-1 modeli sonuçlarına bakıldığında da gama bandı için  $(2^+)$ ,  $(3^+, 4^+)$ ,  $(5^+, 6^+)$ ,  $(7^+, 8^+)$ ,... şeklinde bir çiftlenim vardır. Ancak bu izotopun gama-yumuşak yapıda olabileceğini destekleyen yeterli deneysel veri henüz yoktur. Bu izotoplar için Hamiltonyene kübik terim eklenerek farklı hesaplamalar gerçekleştirilebilir. Nükleer kararlılık eğrisinin farklı bölgelerinde bu yapıda çekirdekler için yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur (Zamfir, 1991; Stefanescu vd. 2007; Sorgunlu, 2008; Bihari vd., 2008; Fortunato, vd. 2011; Nabi vd. 2017). İncelenen bu izotoplarının için de bulunduğu deforme bölge için de Hamiltonyende kübik terim kullanılarak daha ayrıntılı çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

Albers, M., Nomura, K., Warr, N., Blazhev, A., Jolie, J., Mucher, D., Bastin, B., Bauer, C., Bernards, C., Bettermann, L., Bildstein, V., Butterworth, J., Cappellazzo, M., Cederkall, J., Cline, D., Darby, I., Das Gupta, S., Daugas, J. M., Davinson, T., De Witte, H., Diriken, J., Filipescu, D., Fiori, E., Fransen, C., Gaffney, L. P., Georgiev, G., Gernhauser, R., Hackstein, M., Heinze, S., Hess, H., Huyse, M., Jenkins, D., Konki, J., Kowalczyk, M., Kroll, T., Krucken, R., Litzinger, J., Lutter, R., Marginean, N., Mihai, C., Moschner, K., Napiorkowski, P., Nara Singh, B. S., Nowak, K., Pakarinen, J., Pfeiffer, M., Radeck, D., Reiter, P., Rigby, S., Robledo, L. M., Rodriguez-Guzman, R., Rudigier, M., Scheck, M., Seidlitz, M., Siebeck, B., Simpson, G., Thole, P., Thomas, T., Van de Walle, J., Van Duppen, P., Vermeulen, M., Voulot, D., Wadsworth, R., Wenander, F., Wimmer, K., Zell, K. O., Zielinska, M., Shape dynamics in neutron-rich Kr isotopes: Coulomb excitation of  $^{92}\text{Kr}$ ,  $^{94}\text{Kr}$  and  $^{96}\text{Kr}$ , Nuclear Physics A, 899, 1, 2013.

Al-Maqtary, K. A., Al-Zuhairy, M. H., Al-Sharaby, M.N. ve Shamlan, N.A., IBM-1 calculations of low-lying excited levels and electric transition probabilities B(E2) on the even-even  $^{174-180}\text{Hf}$  isotopes", Jordan Journal of Physics. 4 (1), 51, 2011.

Al-Maqtary, K. A., IBM-1 calculations of energy levels and electric transition probabilities B(E2) in  $^{158-160}\text{Gd}$  isotopes", Jordan Journal of Physics. 6 (2), 95, 2013.

Anonim, Nuclear Data Center, <https://www.nndc.bnl.gov> (Erişim tarihi: 09.09.2019)

Anonim, Royal Australian Chemical Institute, <http://www.raci.org.au> (Erişim tarihi: 03.12.2019).

Arima, A., Iachello, F., Collective nuclear states as representations of a SU(6) group, Physical Review Letter, 35, 1069, 1975.

Arima, A., Iachello, F., Interacting boson model of collective states I. the vibrational limit, Annals of Physics (N. Y), 99, 253, 1976.

Arima, A., Iachello, F., Two - nucleon transfer reactions in the SU(6) boson model, Physical Review C, 16, 2085, 1977.

Arima, A., Iachello, F., New symmetry in the sd boson model of nuclei: the group O(6), Physical Review Letter 40, 358, 1978.

Arima, A., Iachello, F., Interacting boson model of collective nuclear states II. the rotational limit, Annals of Physics (N.Y), 111, 201, 1978.

Arima, A., Iachello, F., Interacting boson model of collective nuclear states IV. the O(6) limit, Annals of Physics (N. Y), 123, 468, 1979.

Bohr, A., Mottelson, B. R., Nuclear Structure: II. Nuclear Deformations, New York: Benjamin, 1975.

Bonche, P., Dobaczewski, J., Flocard, H., Heenen, P.-H., Generator coordinate method for triaxial quadrupole collective dynamics in strontium isotopes, Nuclear Physics A, 530, 1, 1991.

Böyükata, M., Van Isacker, P. ve Uluer, İ., Description of nuclei in the  $A \sim 100$  mass region with the interacting boson model, Journal of Physics G, 37, 105102, 2010.

Böyükata, M., Ellinger, E., Fransen, C. ve Jolie, J., Extended interacting boson model description of Pd nuclei in the  $A \sim 100$  transitional region EPJ Web of Conferences, 66, 02013, 2014.

Casten, R. F., Nuclear Structure From a Simple Perspective, Oxford U.P., Oxford, 1990.

Casten, R. F., Warner, D. D., in Progress in particle and nuclear physics. Vol. 9. Collective bands in nuclei. Ed: D. Wilkinson, Pergamon, Oxford, p. 311, 1983.

Casten, R. F., Warner, D. D., The interacting boson approximation, Reviews of Modern Physics, 60, 389, 1988.

Casten, R. F., Shape phase transitions and critical- point phenomena in atomic nuclei, Nature Physics, 2, 811- 820, 2006.

Cejnar, P., Jolie, J., Casten, R. F., Quantum phase transitions in the shapes of atomic nuclei, Reviews of Modern Physics, 82, 2155, 2010.

Bihari, C., Singh, M., Singh, Y., Varshney, A. K., Gupta, K. K., Gupta, D. K., A new signature of the triaxial region in even nuclei, Physica Scripta, 77, 055201, 2008.

Davidson, W. F., Warner, D. D., Casten, R. F., Schreckenbach, K., Borner, H. G., Simic, J., Stojanovic, M., Bogdanovic, M., Koicki, S., Gelletly, W., Orr, G. B., Stelts. M. L., Identification of all intrinsic excitations below 2 MeV in  $^{168}\text{Er}$ . Journal of Physics G, 7, 843, 1981.

de Shalit, A., Feshbach, H., Theoretical nuclear physics, New York, 1974.

Dieperink, A. E. L., Scholten, O., Classical limit of the interacting-boson model, Physical Review Letters, 44, 1747, 1980.

Duckwitz, H., Pfeiffer, M., Albers, M., Bernards, C., Fransen, C., Jolie, J., Petkov, P., Radeck, D., Thomas, T., Zell., K. O., Study of vibrational signatures in  $^{102}\text{Ru}$ , Nuclear Physics A, 903, 18, 2013.

Elliott, J. P., Collective motion in the nuclear shell model, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 245, 128- 562, 1958.

Elliott, J. P., Collective motion in the nuclear shell model. II. The introduction of intrinsic wave-functions, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 245, 562, 1958.

Elliott, J. P., Harvey, M., Collective motion in the nuclear shell model. III. The calculation of spectra, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 272, 557, 1963.

Elliott, J. P., The interacting boson model of nuclear structure. Reports on Progress in Physics, 48, 171- 221, 1985.

Elliott, J. P., Evans, J. A., Van Isacker, P., Definition of the shape parameter  $\gamma$  in the interacting-boson model, Physical Review Letters, 57, 1124, 1986.

Feshbach, H., Iachello, F., The interacting boson model, Annals of Physics, 84, 1-2, 1974.

Fortunato, L., Alonso, C. E., Arias, J. M., García-Ramos, J. E., Vitturi, A., Phase diagram for a cubic- Q interacting boson model Hamiltonian Signs of triaxiality, Physical Review C, 84, 014326, 2011.

Garcia-Ramos, J. E., Heyde, K., Nuclear shape coexistence: A study of the even-even Hg isotopes using the interacting boson model with configuration mixing, Physical Review C, 89, 014306, 2014.

Gelletly, W., Larysz, J. R., Borner, H. G., Casten, R. F., Davidson, W. F., Mampe, W., Schreckenbach, K., Warner, D. D., The  $^{173}\text{Yb}(n, \gamma)^{174}\text{Yb}$  reaction and the level scheme of  $^{174}\text{Yb}$ , Journal of Physics G, 11, 1055, 1985.

- Gladnishki, K. A., Petkov, P., Dewald, A., Fransen, C., Hackstein, M., Jolie, J., Pissulla, Th., Rother, W., Zell, K. O., Yrast electromagnetic transition strengths and shape coexistence in  $^{182}\text{Pt}$ , Nuclear Physics A, 877, 19, 2012.
- Greenwood, R. C., Reich, C. W., Baader, H. A., Koch, H. R., Breitig, D., Schult, O. W. B., Fogelberg, B., Bäcklin, A., Mampe, W., Von Egldy, T., Schreckenbach, K., Collective and two- quasiparticle states in  $^{158}\text{Gd}$  observed through study of radiative neutron capture in  $^{157}\text{Gd}$ , Nuclear Physics A, 304, 327, 1978.
- Grosse, E., Balanda, A., Emling, H., Folkmann, F., Fuchs, P., Piercey, R. B., Schwalm, D., Simon, R. S., Wollersheim, H. J., Evers, D., Ower, H., Collective rotation of  $^{238}\text{U}$  high spins, Physica Scripta, 24, 337, 1981.
- Haque, A. M. I., Casten, R. F., Förster, I., Gelberg, A., Rascher, R., Richter, R., Von Brentano, P., Berreau, G., Börner, H. G., Kerr, S. A., Schreckenbach, K., Warner, D. D., A study of the low-lying states in  $^{178}\text{Hf}$  through the  $(n, \gamma)$  reaction, Nuclear Physics A, 455, 231, 1986.
- Hernandez, E.S., Palastino, A., On the consistency of the quasi particle random phase approximation, Physics Letters B, 39, 2, 1972.
- Heyde, K., Van Isacker, P., Waroquier, M., Moreau, J., Triaxial shapes in the interacting boson model, Physical Review C, 29, 1420, 1984.
- Heyde, K., Basic ideas and concepts in nuclear physics-An introductory approach, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2004.
- Iachello, F., Arima, A., Boson symmetries in vibrational nuclei, Physics Letters B, 53(4), 309- 312, 1974.

Iachello, F., Scholten, O., Interacting boson-fermion model of collective states in odd-A nuclei, *Physical Review Letters*, 40, 679, 1979.

Iachello, F., *Interacting bosons in nuclear physics*. Ed: F. Iachello, New York, 1979.

Iachello, F., Talmi, I., Shell-model foundations of the interacting boson model, *Reviews Of Modern Physics*, 59, 339, 1987.

Iachello, F., Arima, A., *The Interacting Boson Model*, Cambridge University Press, 1987.

Iachello, F., Van Isacker, P., *The interacting boson-fermion model*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

Iachello, F., Zamfir, N. V., Casten, R. F., Phase coexistence in transitional nuclei and the interacting-boson model, *Physics Review Letter*, 81, 1191, 1998.

Iachello, F., Symetry in Nuclei and beyond, *Nuclear Physics A*, 751, 329c-342c, 2005.

Iachello, F., *Lie algebras and applications-Lecture notes in physics*. Springer, 2006.

Kotila, J., Lenzi, S. M., Collective features of Cr and Fe isotopes, *Physical Review C*, 89, 064304, 2014.

Lipas, P. O., *International review of nuclear physics*. Vol. 2. Edited by T. Engeland, J. Rekstad and J. S. Vaagen, Singapore, 1984.



- McGowan, F. K., Interacting boson approximation model analysis of E2 transition probabilities for transitions in  $^{166-170}\text{Er}$ , Physical Review C, 24, 1803, 1981.
- Nabi, J.-Un, Büyükata, M.,  $\beta$ -Decay half-lives and nuclear structure of exotic proton-rich waiting point nuclei under rp-process conditions, Nuclear Physics A, 947, 182, 2016.
- Nabi, J.-Un, Büyükata, M., Nuclear structure and weak rates of heavy waiting point nuclei under rp -process conditions, Astrophys Space Science, 362, 9, 2017.
- Nabi, J.-Un, Ishfaq, M., Büyükata, M., Riaz, M., Nuclear structure properties and stellar weak rates for  $^{76}\text{Se}$ : Unblocking of the Gamow Teller strength, Nuclear Physics A 966, 1, 2017.
- Saxena, M., Gupta, J.B., Mandal, S., Study of nuclear structure of  $^{76-86}\text{Sr}$  isotopes in the pn interacting boson model, Physica Scripta, 90, 8, 2015.
- Scholten, O., Iachello, F., Arima, A., Interacting boson model of collective nuclear states III. the transition from SU(5) to SU(3), Annals of Physics (N.Y), 115, 325, 1978.
- Scholten, O., The program package PHINT, Internal Report KVI-63. Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen, The Netherlands, 1979.
- Scholten, O., Ph. D thesis. Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen, 1980.
- Scholten, O., Microscopic calculations for the interacting boson model, Physics Review C, 28, 1783, 1983.

- Soloviev, V.G., Stoyanov, Ch., Voronov, V.V., Nuclear properties in the lead region within the quasiparticle-phonon nuclear model, Nuclear Physics A, 339, 1, 1983.
- Sorgunlu, B., Van Isacker, P., Triaxiality in the interacting boson model, Nuclear Physics A 808, 27, 2008.
- Stefanescu, I., Gelberg, A., Jolie, J., Van Isacker, P., Von Brentano, P., Luod, Y. X., Zhuf, S.J., Rasmussene, J. O., Hamilton, J. H., Ramayya, A.V., Che, X.L., IBM-1 description of the fission products  $^{108,110,112}\text{Ru}$ , Nuclear Physics A 789, 125, 2007.
- Talmi, I., Simple models of complex nuclei: the Shell model and interacting boson model, Harwood Academic Publishers, Churc, 1993.
- Thomas, T., Nomura, K., Werner, V., Ahn, T., Cooper, N., Duckwitz, H., Hinton, M., Ilie, G., Jolie, J., Petkov, P., Radeck, D., Evidence for shape coexistence in  $^{98}\text{Mo}$ , Physical Review C, 88, 044305, 2013.
- Van Isacker, P., Dynamical symmetries in the structure of nuclei, Reports on Progress in Physics, 62, 1661, 1999.
- Warner, D. D., Description of M1 transitions in deformed even- even nuclei with the interacting boson approximation, Physics Review Letters, 47, 1819, 1981.
- Warner, D. D., Casten, R. F., Reply to "Properties of the intrinsic matrix elements of the interacting-boson-approximation E2 operator in the rotational limit", Physics Review C 26, 2690, 1982.
- Wood, L., Morrison, I., g-factor variations in the interacting boson model, Journal of Physics G 11, L201, 1985.

Zamfir, N. V., Casten, R. F., Signatures of gamma softness or triaxiality in low energy nuclear spectra, Physics Letter B, 260, 265, 1991.



# EKLER

## <sup>74</sup>Sr Çekirdeği

&IOFILES

OUTPUT = SR74E.out  
PHWAVE = SR74.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/  
PHINT, run on 5/ 7/2018 , started at 20: 7: 6.667 -----

1 PROGRAM PHINT  
VERSION JANUARY 1982  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

SR74  
\$INPT EPS=0.3952,PAIR=0.0,OCT=0.0,ELL=0.0252,  
QQ=0.0,HEX=0.0,CHQ=0.0,MULT=.T.,NPHMAX=9,NPHMSU=9 \$  
PLAT 55 55  
\*\*\*\*\*

RUN ON =05-JUL-18 , STARTED AT =20:07:06  
ARRAY SPACE IN USE = 34567

SR74

SD EQUALS SF  
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 9  
TRUNCATION AT ND = 9  
MULTIPOLE EXPANTION :  
EPS= 0.3952 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0252  
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000  
CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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	1 2+ 2+ INTER.	1 2+ 3- INTER.	ONE PHONON	TWO PHONON	F3 (S+F+DF)
0.47080	0.00000	0 -0.15120	1 0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		2 -0.07560	2 0.00000			
		4 0.10080	3 0.00000			
			4 0.00000			
			5 0.00000			

ENERGIES , L= 0+

0.0000 0.7904 1.1856 1.5808 1.9760 2.3712 2.3712 2.7664 3.1616 3.1616 3.5568 3.5568

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+

0.4708 0.8660 1.2612 1.6564 1.6564 2.0516 2.0516 2.4468 2.4468 2.8420 2.8420 2.8420 3.2372 3.2372

ENERGIES , L= 3+

1.3368 2.1272 2.5224 2.9176 3.3128 3.7080 3.7080

ENERGIES , L= 4+

1.0424 1.4376 1.8328 1.8328 2.2280 2.2280 2.6232 2.6232 2.6232 3.0184 3.0184 3.0184 3.4136 3.4136

ENERGIES , L= 5+

1.9588 2.3540 2.7492 3.1444 3.1444 3.5396 3.5396 3.9348 3.9348

ENERGIES , L= 6+

1.7148 2.1100 2.5052 2.5052 2.9004 2.9004 2.9004 3.2956 3.2956 3.2956 3.6908 3.6908 3.6908 3.6908

ENERGIES , L= 7+

2.6816 3.0768 3.4720 3.4720 3.8672 3.8672 4.2624 4.2624 4.2624

ENERGIES , L= 8+

2.4880 2.8832 3.2784 3.2784 3.6736 3.6736 3.6736 4.0688 4.0688 4.0688 4.0688 4.4640 4.4640 4.4640

ENERGIES , L= 9+

3.5052 3.9004 4.2956 4.2956 4.6908 4.6908 4.6908

ENERGIES , L=10+

3.3620 3.7572 4.1524 4.1524 4.5476 4.5476 4.5476 4.9428 4.9428 4.9428 4.9428

```

&IOFILES
OUTPUT = SR74B.out
PHWAVE = SR74.WAV
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
FBEM, run on 5/ 7/2018 , started at 20: 7: 6.823 -----
1 PROGRAM FBEM
VERSION FEBRUARY 1987
***** INPUT CARD IMAGES *****
Sr 74
$INPT E2SD=0.258 , E1QE3=0, E1DF=1. $
SLCT 2 2+ 0+
ONLY 1 1- 0+
$ RUN THEOIBAP:FBEM
TEST CASE
$INPT E2SD=0.258 $
SLCT 2 2+ 0+
!$ DEASSIGN PHWAVE
*****
RUN ON =05-JUL-18 , STARTED AT =20:07:06
SR74
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 9
TRUNCATION AT ND = 9
MULTIPOLE EXPANTION :
EPS= 0.3952 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0252
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000
CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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)
0.47080 0.00000 0 -0.15120 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
2 -0.07560 2 0.00000
4 0.10080 3 0.00000
4 0.00000
5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.2580 E2DD = 0.0000 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= 0.5991 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.2130 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/
2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.2796 /;/
2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.6523 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/
2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.4961 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 1.0650 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.2663 /;/
4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.7322 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/
4+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 3)BE2= 0.5135 /;/
4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.5135 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 1.3978 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.1954 /;/
6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 1.0892 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/
6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 0.9719 /;/
6+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 3)BE2= 0.9719 /;/

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 1.5975 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.1837 /;/
8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 1.2647 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/
8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 1.1173 /;/
8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 1.1173 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 1.6641 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.1552 /;/
10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 1.2892 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/
10+( 3)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 3)BE2= 1.0637 /;/
10+( 4)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 3)BE2= 1.0637 /;/

```

# <sup>76</sup>Sr Çekirdeği

&IOFILES

OUTPUT = SR76E.out  
PHWAVE = SR76.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP  
/

PHINT, run on 14/11/2019, started at 13:50:45. 49 -----

1 PROGRAM PHINT  
VERSION JANUARY 1982  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

SR76  
\$INPT EPS=0.1219,PAIR=0.0,OCT=0.0,ELL=0.051,  
QQ=0.0,HEX=0.0,CHQ=0.0,MULT=.T.,NPHMAX=10,NPHMSU=10 \$  
PLAT 55 55  
\*\*\*\*\*

RUN ON =14-NOV-19, STARTED AT =13:50:45  
ARRAY SPACE IN USE = 34567

SR76

SD EQUALS SF  
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 10  
TRUNCATION AT ND = 10  
MULTIPOLE EXPANTION :  
EPS= 0.1219, PAIR= 0.0000, ELL= 0.0510  
QQ = 0.0000, OCT = 0.0000, HEX= 0.0000  
CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000, CH2 = 0.00000, 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 12+ 2+ INTER. 12+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)  
0.27490 0.00000 0 -0.30600 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000  
2 -0.15300 2 0.00000  
4 0.20400 3 0.00000  
4 0.00000  
5 0.00000

ENERGIES, L= 0+  
0.0000 0.2438 0.3657 0.4876 0.6095 0.7314 0.7314 0.8533 0.9752 0.9752 1.0971 1.0971 1.2190 1.2190

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES, L= 2+  
0.2749 0.3968 0.5187 0.6406 0.6406 0.7625 0.7625 0.8844 0.8844 1.0063 1.0063 1.0063 1.1282 1.1282  
1.1282 1.2501 1.2501 1.2501 1.3720 1.3720 1.3720 1.3720

ENERGIES, L= 3+  
0.6717 0.9155 1.0374 1.1593 1.2812 1.4031 1.4031 1.5250

ENERGIES, L= 4+  
0.7538 0.8757 0.9976 0.9976 1.1195 1.1195 1.2414 1.2414 1.2414 1.3633 1.3633 1.3633 1.4852 1.4852  
1.4852 1.4852 1.6071 1.6071 1.6071 1.6071 1.7290 1.7290 1.7290 1.7290 1.7290

ENERGIES, L= 5+  
1.2526 1.3745 1.4964 1.6183 1.6183 1.7402 1.7402 1.8621 1.8621 1.9840 1.9840 1.9840

ENERGIES, L= 6+  
1.4367 1.5586 1.6805 1.6805 1.8024 1.8024 1.8024 1.9243 1.9243 1.9243 2.0462 2.0462 2.0462 2.0462  
2.1681 2.1681 2.1681 2.1681 2.1681 2.2900 2.2900 2.2900 2.2900 2.2900

ENERGIES, L= 7+  
2.0375 2.1594 2.2813 2.2813 2.4032 2.4032 2.5251 2.5251 2.5251 2.6470 2.6470 2.6470

ENERGIES, L= 8+  
2.3236 2.4455 2.5674 2.5674 2.6893 2.6893 2.6893 2.8112 2.8112 2.8112 2.8112 2.9331 2.9331 2.9331  
2.9331 3.0550 3.0550 3.0550 3.0550 3.0550 3.0550

ENERGIES, L= 9+  
3.0264 3.1483 3.2702 3.2702 3.3921 3.3921 3.3921 3.5140 3.5140 3.5140

ENERGIES, L=10+  
3.4145 3.5364 3.6583 3.6583 3.7802 3.7802 3.7802 3.9021 3.9021 3.9021 3.9021 4.0240 4.0240 4.0240  
4.0240 4.0240

&IOFILES

OUTPUT = SR76B.out  
PHWAVE = SR76.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/

FBEM, run on 14/11/2019 , started at 13:50:45.190 -----

1 PROGRAM FBEM  
VERSION FEBRUARY 1987  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

Sr 76  
\$INPT E2SD=0.258 , E1QE3=0, E1DF=1. \$

SLCT 2 2+ 0+

ONLY 1 1- 0+

\$ RUN THEOIBAP:FBEM

TEST CASE

\$INPT E2SD=0.258 \$

SLCT 2 2+ 0+

!\$ DEASSIGN PHWAVE

\*\*\*\*\*

RUN ON =14-NOV-19 , STARTED AT =13:50:45

SR76

SD EQUALS SF

TOTAL NUMBER OF BOSONS = 10

TRUNCATION AT ND = 10

MULTIPOLE EXPANTION :

EPS= 0.1219 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0510

QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000

CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 , FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000

RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 , CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000

2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+ 2+ INTER. I 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)

0.27490 0.00000 0 -0.30600 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

2 -0.15300 2 0.00000

4 0.20400 3 0.00000

4 0.00000

5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.2580 E2DD = 0.0000 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= 0.6656 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.2396 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/

2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.3195 /;/

2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.7455 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/

2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.5788 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 1.1982 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.3043 /;/

4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.8368 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/

4+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 3)BE2= 0.5991 /;/

4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.5991 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 1.5975 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.2280 /;/

6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 1.2708 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/

6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 1.1663 /;/

6+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 3)BE2= 1.1663 /;/

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 1.8638 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.2204 /;/

8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 1.5177 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/

8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 1.3966 /;/

8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 1.3966 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 1.9969 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.1941 /;/

10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 1.6115 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/

10+( 3)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 3)BE2= 1.4183 /;/

10+( 4)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 3)BE2= 1.4183 /;/

# <sup>78</sup>Sr Çekirdeği

```
&IOFILES
OUTPUT = SR78E.out
PHWAVE = SR78.WAV
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 15/11/2019 , started at 11:55:14.880 -----
1 PROGRAM PHINT
  VERSION JANUARY 1982
  ***** INPUT CARD IMAGES *****
  SR78
  $INPT EPS=0.1483,PAIR=0.0,OCT=0.0,ELL=0.0494,
  QQ=0.0,HEX=0.0,CHQ=0.0,MULT=.T.,NPHMAX=10,NPHMSU=10 $
  PLAT 55 55
  *****
  RUN ON =15-NOV-19 , STARTED AT =11:55:15
  ARRAY SPACE IN USE = 34567
SR78
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 10
TRUNCATION AT ND = 10
MULTIPOLE EXPANTION :
EPS= 0.1483 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0494
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000
CHQ= 0.0000
CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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 12+_2+ INTER. 12+_3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)
0.29650 0.00000 0 -0.29640 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
2 -0.14820 2 0.00000
4 0.19760 3 0.00000
4 0.00000
5 0.00000

ENERGIES , L= 0+
0.0000 0.2966 0.4449 0.5932 0.7415 0.8898 0.8898 1.0381 1.1864 1.1864 1.3347 1.3347 1.4830 1.4830
NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+
0.2965 0.4448 0.5931 0.7414 0.7414 0.8897 0.8897 1.0380 1.0380 1.1863 1.1863 1.1863 1.3346 1.3346
1.3346 1.4829 1.4829 1.4829 1.6312 1.6312 1.6312 1.6312

ENERGIES , L= 3+
0.7413 1.0379 1.1862 1.3345 1.4828 1.6311 1.6311 1.7794

ENERGIES , L= 4+
0.7906 0.9389 1.0872 1.0872 1.2355 1.2355 1.3838 1.3838 1.3838 1.5321 1.5321 1.5321 1.6804 1.6804
1.6804 1.6804 1.8287 1.8287 1.8287 1.8287 1.9770 1.9770 1.9770 1.9770

ENERGIES , L= 5+
1.3342 1.4825 1.6308 1.7791 1.7791 1.9274 1.9274 2.0757 2.0757 2.2240 2.2240 2.2240

ENERGIES , L= 6+
1.4823 1.6306 1.7789 1.7789 1.9272 1.9272 1.9272 2.0755 2.0755 2.2238 2.2238 2.2238 2.2238
2.3721 2.3721 2.3721 2.3721 2.3721 2.5204 2.5204 2.5204 2.5204 2.5204

ENERGIES , L= 7+
2.1247 2.2730 2.4213 2.4213 2.5696 2.5696 2.7179 2.7179 2.7179 2.8662 2.8662 2.8662

ENERGIES , L= 8+
2.3716 2.5199 2.6682 2.6682 2.8165 2.8165 2.8165 2.9648 2.9648 2.9648 2.9648 3.1131 3.1131 3.1131
3.1131 3.2614 3.2614 3.2614 3.2614 3.2614 3.2614

ENERGIES , L= 9+
3.1128 3.2611 3.4094 3.4094 3.5577 3.5577 3.5577 3.7060 3.7060 3.7060

ENERGIES , L=10+
3.4585 3.6068 3.7551 3.7551 3.9034 3.9034 3.9034 4.0517 4.0517 4.0517 4.0517 4.2000 4.2000 4.2000
4.2000 4.2000
```



&IOFILES

OUTPUT = SR78B.out  
PHWAVE = SR78.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/

FBEM, run on 15/11/2019 , started at 11:55:17. 94 -----

1 PROGRAM FBEM  
VERSION FEBRUARY 1987  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

Sr 78  
\$INPT E2SD=0.14 , E1QE3=0, E1DF=0, E2DD=0. \$  
SLCT 2 2+ 0+  
ONLY 1 1- 0+  
\$ RUN THEOIBAP:FBEM  
TEST CASE  
\$INPT E2SD=0.14 \$  
SLCT 2 2+ 0+  
!\$ DEASSIGN PHWAVE  
\*\*\*\*\*

RUN ON =15-NOV-19 , STARTED AT =11:55:17

SR78

SD EQUALS SF  
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 10  
TRUNCATION AT ND = 10  
MULTIPOLE EXPANTION :  
EPS= 0.1483 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0494  
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000  
CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 , FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000  
RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 , CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000  
2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+ 2+ INTER. I 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)  
0.29650 0.00000 0 -0.29640 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000  
2 -0.14820 2 0.00000  
4 0.19760 3 0.00000  
4 0.00000  
5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.1400 E2DD = 0.0000 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 = 0.0000 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= 0.1960 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.0706 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.0941 /;/  
2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.2195 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.1704 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 0.3528 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.0896 /;/  
4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.2464 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
4+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 3)BE2= 0.1764 /;/  
4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.1764 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 0.4704 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.0671 /;/  
6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 0.3742 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 0.3434 /;/  
6+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 3)BE2= 0.3434 /;/

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 0.5488 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.0649 /;/  
8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 0.4469 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 0.4112 /;/  
8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 0.4112 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 0.5880 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.0571 /;/  
10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 0.4745 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
10+( 3)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 3)BE2= 0.4176 /;/  
10+( 4)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 3)BE2= 0.4176 /;/

# <sup>80</sup>Sr Çekirdeği

```
&IOFILES
OUTPUT = SR80E.out
PHWAVE = SR80.WAV
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 28/11/2019 , started at 14: 7:40.455 -----
1 PROGRAM PHINT
  VERSION JANUARY 1982
  ***** INPUT CARD IMAGES *****
  SR80
  $INPT EPS=0.257,PAIR=0,OCT=0,ELL=0.0458,
  QQ=0,HEX=0,CHQ=0,MULT=.T.,NPHMAX=9,NPHMSU=9 $
  PLAT 55 55
  *****
  RUN ON =28-NOV-19 , STARTED AT =14:07:40
  ARRAY SPACE IN USE = 34567
SR80
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 9
TRUNCATION AT ND = 9
MULTIPOLE EXPANTION :
EPS= 0.2570 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0458
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000
CHQ= 0.0000
CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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 12+ 2+ INTER. 12+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)
0.39440 0.00000 0 -0.27480 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
2 -0.13740 2 0.00000
4 0.18320 3 0.00000
4 0.00000
5 0.00000

ENERGIES , L= 0+
0.0000 0.5140 0.7710 1.0280 1.2850 1.5420 1.5420 1.7990 2.0560 2.0560 2.3130 2.3130

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+
0.3944 0.6514 0.9084 1.1654 1.1654 1.4224 1.4224 1.6794 1.6794 1.9364 1.9364 1.9364 2.1934 2.1934
2.1934 2.4504 2.4504 2.4504

ENERGIES , L= 3+
1.0458 1.5598 1.8168 2.0738 2.3308 2.5878 2.5878

ENERGIES , L= 4+
0.9720 1.2290 1.4860 1.4860 1.7430 1.7430 2.0000 2.0000 2.0000 2.2570 2.2570 2.2570 2.5140 2.5140
2.5140 2.5140 2.7710 2.7710 2.7710 2.7710

ENERGIES , L= 5+
1.7150 1.9720 2.2290 2.4860 2.4860 2.7430 2.7430 3.0000 3.0000

ENERGIES , L= 6+
1.7328 1.9898 2.2468 2.2468 2.5038 2.5038 2.5038 2.7608 2.7608 2.7608 3.0178 3.0178 3.0178 3.0178
3.2748 3.2748 3.2748 3.2748 3.2748

ENERGIES , L= 7+
2.5674 2.8244 3.0814 3.0814 3.3384 3.3384 3.5954 3.5954 3.5954

ENERGIES , L= 8+
2.6768 2.9338 3.1908 3.1908 3.4478 3.4478 3.4478 3.7048 3.7048 3.7048 3.7048 3.9618 3.9618 3.9618
3.9618

ENERGIES , L= 9+
3.6030 3.8600 4.1170 4.1170 4.3740 4.3740 4.3740

ENERGIES , L=10+
3.8040 4.0610 4.3180 4.3180 4.5750 4.5750 4.5750 4.8320 4.8320 4.8320 4.8320
```

&IOFILES

OUTPUT = SR80B.out  
PHWAVE = SR80.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/

FBEM, run on 28/11/2019 , started at 14: 7:40.487 -----

1 PROGRAM FBEM  
VERSION FEBRUARY 1987  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

Sr 80  
\$INPT E2SD=0.144,E2DD=0 , E1QE3=0, E1DF=0. \$  
SLCT 2 2+ 0+  
ONLY 1 1- 0+  
\$ RUN THEOIBAP:FBEM  
TEST CASE  
\$INPT E2SD=0.143 \$  
SLCT 2 2+ 0+  
!\$ DEASSIGN PHWAVE  
\*\*\*\*\*

RUN ON =28-NOV-19 , STARTED AT =14:07:40

SR80

SD EQUALS SF  
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 9  
TRUNCATION AT ND = 9

MULTIPOLE EXPANTION :

EPS= 0.2570 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0458  
QQ = 0.0000 , OCT = 0.0000 , HEX= 0.0000  
CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 , FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000  
RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 , CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000  
2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+ 2+ INTER. I 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)  
0.39440 0.00000 0 -0.27480 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000  
2 -0.13740 2 0.00000  
4 0.18320 3 0.00000  
4 0.00000  
5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.1440 E2DD = 0.0000 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 = 0.0000 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= 0.1866 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.0664 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.0871 /;/  
2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.2032 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.1546 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 0.3318 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.0829 /;/  
4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.2281 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
4+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 3)BE2= 0.1600 /;/  
4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.1600 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 0.4355 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.0609 /;/  
6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 0.3393 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 0.3028 /;/  
6+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 3)BE2= 0.3028 /;/

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 0.4977 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.0572 /;/  
8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 0.3940 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 0.3481 /;/  
8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 0.3481 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 0.5184 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.0484 /;/  
10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 0.4016 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
10+( 3)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 3)BE2= 0.3314 /;/  
10+( 4)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 3)BE2= 0.3314 /;/

## <sup>82</sup>Sr Çekirdeği

```
&IOFILES
OUTPUT = SR82E.out
PHWAVE = SR82.WAV
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 15/11/2019 , started at 11:23:37.374 -----
1 PROGRAM PHINT
  VERSION JANUARY 1982
  ***** INPUT CARD IMAGES *****
  SR82
  $INPT EPS=0.7070,PAIR=0.0,OCT=-0.00924,ELL=0.0224,
  QQ=-0.014,HEX=0.0,CHQ=0.0,MULT=.T.,NPHMAX=8,NPHMSU=8 $
  PLAT 55 55
  *****
  RUN ON =15-NOV-19 , STARTED AT =11:23:37
  ARRAY SPACE IN USE = 34567
SR82
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 8
TRUNCATION AT ND = 8
MULTIPOLE EXPANTION :
EPS= 0.7070 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0224
QQ =-0.0140 , OCT =-0.0092 , HEX= 0.0000
CHQ= 0.0000
CH1 = 0.00000 , CH2 =-0.01400 , 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 12+ 2+ INTER. 12+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)
0.73752 0.00000 0 -0.00504 1 0.00000 0.00000 -0.01565 0.00000
2 -0.14112 2 0.00000
4 0.08036 3 0.00000
4 0.00000
5 0.00000

ENERGIES , L= 0+
0.0000 1.3150 1.5856 2.7452 3.0135 3.0751 4.2785 4.6556 4.6618 5.9063

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+
0.6394 1.1683 2.0157 2.1751 2.6026 2.6513 3.5001 3.5459 3.7175 3.9631 4.1391 4.2445 5.0828 5.3527
5.7696

ENERGIES , L= 3+
1.7755 3.2034 3.2649 4.8455 4.8517

ENERGIES , L= 4+
1.3898 1.9020 2.3966 2.8241 2.8728 3.3299 3.3915 3.7674 3.9390 4.1846 4.3606 4.4659 4.9720 4.9782
5.5742 5.9911

ENERGIES , L= 5+
2.5548 3.0310 3.9256 4.0972 4.3428 4.6241 5.7324

ENERGIES , L= 6+
2.2500 2.7447 3.2209 3.6780 3.6780 3.7395 4.1154 4.2870 4.5326 4.8140 5.3200 5.3201 5.3263 5.9222

ENERGIES , L= 7+
3.4423 3.8995 4.3369 4.7541 5.0355 5.5415

ENERGIES , L= 8+
3.2193 3.6955 4.1526 4.5900 4.5900 4.7616 5.0072 5.0072 5.2886 5.7947 6.3968

ENERGIES , L= 9+
4.4374 4.8748 5.2920 6.0794

ENERGIES , L=10+
4.2966 4.7538 5.1912 5.6084 5.6084 5.8897 6.3958
```

&IOFILES

OUTPUT = SR82B.out  
PHWAVE = SR82.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/  
FBEM, run on 15/11/2019 , started at 11:23:38.421 -----

1 PROGRAM FBEM  
VERSION FEBRUARY 1987  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

Sr 82  
\$INPT E2SD=0.11 ,E2DD=0 ,E1QE3=0, E1DF=0. \$  
SLCT 2 2+ 0+  
SLCT 2 2+ 2+  
ONLY 1 1- 0+  
\$ RUN THEOIBAP:FBEM  
TEST CASE  
\$INPT E2SD=0.11 \$  
SLCT 2 2+ 2+  
!\$ DEASSIGN PHWAVE

\*\*\*\*\*

RUN ON =15-NOV-19 , STARTED AT =11:23:38

SR82

SD EQUALS SF  
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 8  
TRUNCATION AT ND = 8  
MULTIPOLE EXPANTION :  
EPS = 0.7070 , PAIR = 0.0000 , ELL = 0.0224  
QQ = -0.0140 , OCT = -0.0092 , HEX = 0.0000  
CHQ = 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = -0.01400 , 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 1 2+ 2+ INTER. 1 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)  
0.73752 0.00000 0 -0.00504 1 0.00000 0.00000 0.00000 -0.01565 0.00000  
2 -0.14112 2 0.00000  
4 0.08036 3 0.00000  
4 0.00000  
5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.1100 E2DD = 0.0000 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 = 0.0000 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= 0.1119 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.0336 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.0478 /;/  
2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.1068 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.0953 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 0.1905 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.0386 /;/  
4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.1252 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
4+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.1604 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 0.2391 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.0019 /;/  
6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 0.1772 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 0.1040 /;/  
6+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 0.2599 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.0020 /;/  
8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 0.1936 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 0.1277 /;/  
8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 0.2547 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.0015 /;/  
10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 0.1816 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
10+( 3)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 3)BE2= 0.1126 /;/  
10+( 4)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/

2+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.1905 /;/ 4+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.1138 /;/ 6+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0827 /;/

# 84Sr Çekirdeği

```
&IOFILES
OUTPUT = SR84E.out
PHWAVE = SR84.WAV
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 24/11/2019 , started at 15:48:19.411 -----
1 PROGRAM PHINT
  VERSION JANUARY 1982
  ***** INPUT CARD IMAGES *****
  SR84
  $INPT EPS=0.7534,PAIR=0.0,OCT=-0.0066,ELL=0.035,
  QQ=0.0,HEX=0.0,CHQ=0.0,MULT=.T.,NPHMAX=7,NPHMSU=7 $
  PLAT 55 55
  *****
  RUN ON =24-NOV-19 , STARTED AT =15:48:19
  ARRAY SPACE IN USE = 34567
SR84
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 7
TRUNCATION AT ND = 7
MULTIPOLE EXPANTION :
EPS= 0.7534 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0350
QQ = 0.0000 , OCT =-0.0066 , HEX= 0.0000
CHQ= 0.0000
CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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 1 2+ 2+ INTER. 1 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)
0.81220 0.00000 0 -0.11760 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
2 -0.15780 2 0.00000
4 0.13340 3 0.00000
4 0.00000
5 0.00000

ENERGIES , L= 0+
0.0000 1.5068 1.9632 3.0136 3.4700 3.6294 4.5204 4.9768

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+
0.8122 1.4666 2.3190 2.6764 2.9734 3.2318 3.8258 4.1832 4.2436 4.4802 4.7386 5.3326

ENERGIES , L= 3+
2.2128 3.7196 3.8790 5.2264

ENERGIES , L= 4+
1.7578 2.3792 2.9676 3.2646 3.5230 3.8860 4.0454 4.4744 4.5348 4.7714 5.0298 5.3928

ENERGIES , L= 5+
3.1756 3.7310 4.6824 4.7428 5.2378

ENERGIES , L= 6+
2.8368 3.4252 3.9806 4.3436 4.5030 4.5030 4.9320 4.9924 5.4874 5.8504

ENERGIES , L= 7+
4.2718 4.7942 5.2836 5.7786

ENERGIES , L= 8+
4.0492 4.6046 5.1270 5.5560 5.6164 5.6164 6.1114

ENERGIES , L= 9+
5.5014 5.9908

ENERGIES , L=10+
5.3950 5.9174 6.4068 6.9018
```

&IOFILES

OUTPUT = SR84B.out  
PHWAVE = SR84.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/

FBEM, run on 24/11/2019 , started at 15:48:19.442 -----

1 PROGRAM FBEM  
VERSION FEBRUARY 1987  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

Sr 84  
\$INPT E2SD=0.09,E2DD=0 , E1QE3=0, E1DF=0. \$  
SLCT 2 2+ 0+  
ONLY 1 1- 0+  
\$ RUN THEOIBAP:FBEM  
TEST CASE  
\$INPT E2SD=0.070 \$  
SLCT 2 2+ 0+  
!\$ DEASSIGN PHWAVE  
\*\*\*\*\*

RUN ON =24-NOV-19 , STARTED AT =15:48:19

SR84

SD EQUALS SF  
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 7  
TRUNCATION AT ND = 7

MULTIPOLE EXPANTION :

EPS= 0.7534 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0350  
QQ = 0.0000 , OCT=-0.0066 , HEX= 0.0000  
CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , EPSD = 0.00000 , FELL = 0.00000 , FQQ = 0.00000 , FEX = 0.00000  
RKAP3 = 0.00000 , CHO = 0.00000 , CHON= 0.00000 , CHOP= 0.00000  
2+ ENERGY 3- ENERGY I 2+ 2+ INTER. I 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)  
0.81220 0.00000 0 -0.11760 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000  
2 -0.15780 2 0.00000  
4 0.13340 3 0.00000  
4 0.00000  
5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.0900 E2DD = 0.0000 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 = 0.0000 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= 0.0567 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.0194 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.0243 /;/  
2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.0567 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.0475 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 0.0972 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.0231 /;/  
4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.0636 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
4+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 3)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.0833 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 0.1215 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.0010 /;/  
6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 0.0884 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 0.0496 /;/  
6+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 4)=> 4+( 3)BE2= 0.0001 /;/

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 0.1296 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.0010 /;/  
8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 0.0923 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 0.0552 /;/  
8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 0.0001 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 0.1215 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.0007 /;/  
10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 0.0784 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/  
10+( 3)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 3)=> 8+( 3)BE2= 0.0371 /;/  
10+( 4)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 4)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/

# <sup>86</sup>Sr Çekirdeği

```
&IOFILES
OUTPUT = SR86E.out
PHWAVE = SR86.WAV
TAPE3 = ../TAPE3.CFP
/
PHINT, run on 15/11/2019 , started at 12: 6:14.105 -----
1 PROGRAM PHINT
  VERSION JANUARY 1982
  ***** INPUT CARD IMAGES *****
  SR86
  $INPT EPS=1.0601,PAIR=0.0,OCT=-0.01792,ELL=0.0352,
  QQ=0.0,HEX=0.0,CHQ=0.0,MULT=.T.,NPHMAX=6,NPHMSU=6 $
  PLAT 55 55
  *****
  RUN ON =15-NOV-19 , STARTED AT =12:06:14
  ARRAY SPACE IN USE = 34567
SR86
SD EQUALS SF
TOTAL NUMBER OF BOSONS = 6
TRUNCATION AT ND = 6
MULTIPOLE EXPANTION :
EPS= 1.0601 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0352
QQ = 0.0000 , OCT =-0.0179 , HEX= 0.0000
CHQ= 0.0000
CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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 1 2+ 2+ INTER. 1 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)
1.04026 0.00000 0 0.03968 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
2 -0.24896 2 0.00000
4 0.12288 3 0.00000
4 0.00000
5 0.00000

ENERGIES , L= 0+
0.0000 2.1202 2.3739 3.9414 4.2404 4.4941 6.3606

NO STATE WITH L= 1 AND PARITY +

ENERGIES , L= 2+
1.0403 1.8316 3.1454 3.1605 3.6679 3.9518 5.2656 5.2807 6.0720

ENERGIES , L= 3+
2.6926 4.2601 4.8128

ENERGIES , L= 4+
2.2034 2.9051 3.5172 4.0397 4.3236 4.4726 5.0253 5.6374 6.4438

ENERGIES , L= 5+
3.7828 4.3053 5.9030

ENERGIES , L= 6+
3.4894 4.1015 4.6240 5.0569 5.0569 5.6096 6.2217

ENERGIES , L= 7+
4.9959 5.4288

ENERGIES , L= 8+
4.8983 5.4208 5.8537 7.0185

ENERGIES , L= 9+
6.3318

ENERGIES , L=10+
6.4301 6.8630
```



&IOFILES

OUTPUT = SR86B.out  
PHWAVE = SR86.WAV  
TAPE3 = ../TAPE3.CFP

/

FBEM, run on 15/11/2019 , started at 12: 6:14.136 -----

1 PROGRAM FBEM  
VERSION FEBRUARY 1987  
\*\*\*\*\* INPUT CARD IMAGES \*\*\*\*\*

Sr 86  
\$INPT E2SD=0.0585, E2DD=0, E1QE3=0, E1DF=0. \$

SLCT 2 2+ 0+

SLCT 2 2+ 2+

SLCT 2 2+ 4+

ONLY 1 1- 0+

\$ RUN THEOIBAP:FBEM

TEST CASE

\$INPT E2SD=0.0585 \$

SLCT 2 2+ 0+

!\$ DEASSIGN PHWAVE

\*\*\*\*\*

RUN ON =15-NOV-19 , STARTED AT =12:06:14

SR86

SD EQUALS SF

TOTAL NUMBER OF BOSONS = 6

TRUNCATION AT ND = 6

MULTIPOLE EXPANTION :

EPS= 1.0601 , PAIR= 0.0000 , ELL= 0.0352

QQ = 0.0000 , OCT =-0.0179 , HEX= 0.0000

CHQ= 0.0000

CH1 = 0.00000 , CH2 = 0.00000 , 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 1 2+ 2+ INTER. 1 2+ 3- INTER. ONE PHONON TWO PHONON F3 (S+F+DF)

1.04026 0.00000 0 0.03968 1 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

2 -0.24896 2 0.00000

4 0.12288 3 0.00000

4 0.00000

5 0.00000

TRANSITION RATES

E2SD = 0.0585 E2DD = 0.0000 TRNSV = 1.000 M3DD = 1.000 E4DD = 1.000

M1 = 1.0000 M1N = 0.0000 M1ND = 0.0000 M1E2 = 0.0000 E0 = 1.0000

E1DF = 0.0000 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= 0.0205 /;/ 2+( 1)=> 0+( 2)BE2= 0.0068 /;/ 2+( 1)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/

2+( 2)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 2)=> 0+( 3)BE2= 0.0082 /;/

2+( 3)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 3)=> 0+( 3)BE2= 0.0151 /;/

2+( 4)=> 0+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 0+( 2)BE2= 0.0192 /;/ 2+( 4)=> 0+( 3)BE2= 0.0000 /;/

4+( 1)=> 2+( 1)BE2= 0.0342 /;/ 4+( 1)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 1)=> 2+( 3)BE2= 0.0000 /;/

4+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 2)=> 2+( 2)BE2= 0.0215 /;/ 4+( 2)=> 2+( 3)BE2= 0.0040 /;/

4+( 4)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 4+( 4)=> 2+( 3)BE2= 0.0173 /;/

6+( 1)=> 4+( 1)BE2= 0.0411 /;/ 6+( 1)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 1)=> 4+( 3)BE2= 0.0003 /;/

6+( 2)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 2)=> 4+( 2)BE2= 0.0280 /;/ 6+( 2)=> 4+( 3)BE2= 0.0000 /;/

6+( 3)=> 4+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 6+( 3)=> 4+( 3)BE2= 0.0140 /;/

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

8+( 1)=> 6+( 1)BE2= 0.0411 /;/ 8+( 1)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 1)=> 6+( 3)BE2= 0.0003 /;/

8+( 2)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 2)=> 6+( 2)BE2= 0.0260 /;/ 8+( 2)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/

8+( 3)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 3)=> 6+( 3)BE2= 0.0117 /;/

8+( 4)=> 6+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 8+( 4)=> 6+( 3)BE2= 0.0000 /;/

10+( 1)=> 8+( 1)BE2= 0.0342 /;/ 10+( 1)=> 8+( 2)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 1)=> 8+( 3)BE2= 0.0001 /;/

10+( 2)=> 8+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 10+( 2)=> 8+( 2)BE2= 0.0166 /;/ 10+( 2)=> 8+( 3)BE2= 0.0000 /;/

2+( 2)=> 2+( 1)BE2= 0.0342 /;/ 2+( 3)=> 2+( 1)BE2= 0.0000 /;/ 2+( 4)=> 4+( 1)BE2= 0.0141 /;/