T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

129508

YÜKSEK LİSANS TEZİ

^{240}Pu İZOTOPUNDAKİ OKTUPOL KORELASYONLARIN ve ^{178}Hf İZOTOPUNDAKİ YÜKSEK – K SEVİYELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Lidya AMON

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Fizik Anabilim Dalı
(Nükleer Fizik Programı)

Danışman : Prof. Dr. Baki AKKUŞ

Haziran – 2003

İSTANBUL

Prof. Dr. Baki Akkuş

129508

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma 11/07/2003 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Baki AKKUŞ

Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN

Prof. Dr. Ergun GÜLTEKİN

Prof. Dr. H. Hüseyin GÜVEN

Doç. Dr. Melih BOSTAN

ÖNSÖZ

- Aydın fikirleriyle çalışmalarıma ışık tutan, kendimi geliştirme olanağı sağlayan, daima koruyup kollayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Baki AKKUŞ'a yaptıklarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

- Tezimin konusu olan deneyi, Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan iThemba LABS da yapmama olanak sağlayan İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nden Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN'a ve Sofya Üniversitesi Fizik Fakültesinden Prof. Dr. Dimiter BALABANSKI'ye teşekkür ederim.

- Güney Afrika Cumhuriyeti'nde kaldığım süre boyunca yardımseverliğini hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim iThemba LABS direktörü Prof. Dr. John F. Sharpey SCHAFER ve eşine, deneysel fizik alanındaki bilgisini her fırsatta bana aktaran Dr. Simon MULLINS'e, projenin yürütülmesinde yardımcı ve destek olan Dr. Kobus LAWRIE ve Dr. Elena GUEORGUIEVA-LAWRIE'ye teşekkür ederim.

- Gerek tez aşamamda gerekse Güney Afrika Cumhuriyeti'nde kaldığım süre boyunca bana aile şefkati gösteren Marco BENATAR ve ailesine teşekkür ederim.

- Desteğiyle yanımda olan hocalarım, Prof. Dr. Ergun GÜLTEKİN ve Doç. Dr. Melih BOSTAN'a teşekkür ederim.

- Tezin yazım aşamasında, eksiklerimi tamamlamamı sağlayan Prof. Dr. Hasan Hüseyin GÜVEN'e ilgisinden dolayı teşekkür ederim.

- Deney analizi sırasında bilgisayarla ilgili herhangi bir sorunum olduğunda hiç üşenmeyip, işlerini bir kenara koyup bana yardımcı olan Sean MURRAY'a ve altı ay boyunca beni kollayan, yardım eden Judith NCAPAYI'ye teşekkür ederim. Veri toplama sisteminin bir diğer dahisi Caswell PIETERS'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ve elbette iThemba LABS'da tanıştığım içtenlikleri ve samimiyetleriyle hayran kaldığım tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

- Araş. Gör. Yeşim ÖKTEM ve Araş. Gör. Burcu ÇAKIRLI'ya, çalışma hayatımda gösterdikleri destek, iyi niyet ve samimiyetlerinden dolayı çok teşekkür ederim.

- Çalışma arkadaşlarım, Araş. Gör. Ela GANİOĞLU, Araş. Gör. Eda ŞAHİN, Araş. Gör. Elif İNCE, Araş. Gör. Özgür ÇOBANOĞLU, Araş. Gör. İbrahim YİĞİTOĞLU ve Didem YILDIRIM'a candan arkadaşlıklarından dolayı teşekkür ederim.

- Kelimelerin tarif edemeyeceği, emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim minnet ve şükran duyduğum yol göstericilerim sevgili annem Lüiza AMON, babam Sedat AMON ve kardeşim Yosi AMON'a çok teşekkür ederim. Bu tez onlara ithaf edilmiştir.

Lidya AMON

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ I

İÇİNDEKİLER II

ŞEKİL LİSTESİ V

TABLO LİSTESİ IX

ÖZET X

SUMMARY XI

I. GİRİŞ 1

II. MALZEME VE YÖNTEM 4

2.1 DEFORME ÇEKİRDEKLER 4

2.1.1 Nilsson Modeli 15

2.1.2 Spin Korunumu 19

2.1.3 İzomerlik 20

2.1.4 ^{240}Pu Çekirdeğindeki $K^{\pi} = 5^{-}$ Seviyesi 24

2.2 DENEYSEL TEKNİK 25

2.2.1 Ağır İyon Füzyon Buharlaşması Reaksiyonu 25

2.2.2 Gama Işınlarının Madde İle Etkileşmesi 28

2.2.3 Deneysel Düzenek 31

2.2.3.1 iThemba LABS 31

2.2.3.2 AFRODITE Dedektör Topluluğu 33

2.2.3.3 Compton Bastırılmış Zırhı 39

2.2.3.4 Elektronik ve Veri Toplama Sistemi 40

2.2.4 Hedef ve Mermi Özellikleri 43

2.2.5 Deneyler 47

III. BULGULAR 50

3.1 ANALİZ PROSEDÜRÜ 50

3.1.1 Enerji Kalibrasyonu 50

3.1.2 Kazanç Uyuşturulması 51

3.1.3 Veri Yapısı 51

3.1.4 LEPS Spektrumları 52

3.1.5 Gama-Gama ve Gama-Zaman Matrisleri 52

3.1.6 ^{240}Pu Çekirdeğinin LEPS Spektrumları 53

3.1.7 ^{240}Pu Çekirdeğinin Gama-Gama ve Gama-Zaman Matrisleri 53

3.1.7.1 ^{240}Pu Çekirdeğinin Gama - Gama Matrisi 53

3.1.7.2 ^{240}Pu Çekirdeğinin Gama - Zaman Matrisi 59

3.1.8 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin LEPS Spektrumları 61

3.1.9 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin Gama-Gama ve Gama-Zaman Matrisleri 68

3.1.9.1 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin Gama-Gama Matrisleri 68

3.1.9.2 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin Gama-Zaman Matrisleri 74

3.1.10 Şiddet Hesabı 83

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ 86

V. KAYNAKLAR 88

VI. ÖZGEÇMİŞ 90

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Farklı eksenel simetrik ($K = 0$) şekillere ait, potansiyel enerjinin β_3 deformasyonuna bağlı grafikleri ve enerji seviye şemaları. **2**

Şekil 2.1 : Şimdiye kadar gözlenmiş nükleer şekiller. **5**

Şekil 2.2 : Farklı β_λ değerlerine ait şekiller. **7**

Şekil 2.3 : Seviye aralıkları $\Delta j = \Delta l = 3$ olan, nötronlara ait kabuk model seviyelerinin relatif enerjilerini veren diyagram. **8**

Şekil 2.4 : Oktupol deforme "armut " şekli. **9**

Şekil 2.5 : Çift-çift Th izotoplarına ait düşük seviyeler. **10**

Şekil 2.6 : Basit harmonik osilatör için tek-parçacık enerjileri , l^2 terimi ile modifiye edilmiş harmonik osilatör ve l^2 ile spin-yörünge ($\vec{l}.\vec{s}$) terimlerine sahip realistik kabuk model potansiyeli. **11**

Şekil 2.7 : Bir aktinit çekirdeğe ait deformasyonun bağlanma enerjisinin hesaplanan kazancına bağlı fonksiyonu. **13**

Şekil 2.8 : Möller ve Nix'ten (Los Alamos) alınan, hesaplanmış bazı nükleer şekiller. **14**

Şekil 2.9 : Kuadrupol ve oktupol seviye şemalarına ait örnek. **14**

Şekil 2.10 : Prolate deforme çekirdeklerde açısal momentum vektörleri için kullanılan notasyonlar. **17**

Şekil 2.11 : Farklı Ω değerleri için enerji seviyeleri ayrımı. **18**

Şekil 2.12 : Nilsson modelinde tartışılan j, K ve θ nicelikleri. **19**

Şekil 2.13 : Farklı tipte izomerik seviyeler. **20**

Şekil 2.14 : K-seçim kuralı. **22**

Şekil 2.15 : Yüksek-K izomerik seviyeleri. **23**

Şekil 2.16 : ^{178}Hf çekirdeğine ait izomerik geçiş. **23**

Şekil 2.17 : Parçacık, boşluk ve kuasi parçacıkların seviye enerjileri. **24**

Şekil 2.18 : Ağır iyon füzyon buharlaşması reaksiyonunda bileşik çekirdeğin bozunumunun şematik gösterimi. **26**

Şekil 2.19 : Ağır iyon füzyon buharlaşmasıyla uyarılmış bir bileşik çekirdeğin oluşumunu gösteren diyagram. **28**

Şekil 2.20 : Fotoelektrik olay oluşumu. **29**

Şekil 2.21 : Compton saçılma olayı. **30**

Şekil 2.22 : Çift oluşum/anihilasyon olayı. **30**

Şekil 2.23 : iThemba LABS da gerçekleştirilen çalışmaların şematik gösterimi. **32**

Şekil 2.24 : EXOGAM dedektör topluluğu. **35**

Şekil 2.25 : LEPS ve BGO zırhları içerisinde yer alan CLOVER dedektörlerinden oluşan AFRODITE dedektör topluluğu. **36**

Şekil 2.26 : AFRODITE dedektör topluluğu ait konumlayıcı dairesel çerçeve ve deney sırasında geçerli olan dedektör konfigürasyonu. **37**

Şekil 2.27 : Silindirik sıvı nitrojen (LN_2) haznelerindeki (dewarları) ve tapered dikdörtgen kriostatın gösterildiği CLOVER dedektörü. **38**

Şekil 2.28 : ^{60}Co kaynağına ait Compton bastırılmış ve bastırılmamış spektrumları. **40**

Şekil 2.29 : AFRODITE alüminyum çerçevesinin sağ ve sol kısmı. **41**

Şekil 2.30 : AFRODITE dedektör topluluğuna ait elektronik düzenek. **42**

Şekil 2.31 : (a) Önceden kullanılan elle yönetilen çoklu çerçeveli hedef tutucu (b) otomatik olarak yönetilen çoklu çerçeveli hedef tutucu ve hidrolik konumlandırıcı. **44**

Şekil 3.1 : CLOVER-LEPS matrisin LEPS spektrumunda gözüken ^{240}Pu çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 103 keV ve ^{238}U çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 98 keV ve $K_{\alpha 2}$ = 94 keV X-ışınları. **54**

Şekil 3.2 : Nükleer Veri Dosyasından alınan ^{240}Pu çekirdeğinin seviye şeması. **55**

Şekil 3.3 : CLOVER-LEPS matrisinin LEPS spektrumunda 103 keV'e konulan gate'li spektrum. **56**

Şekil 3.4 : CLOVER-CLOVER matris sonucu üretilen toplam projeksiyon spektrumunda görülen fisyon fragment pikleri. **58**

Şekil 3.5 : CLOVER-CLOVER matrisinde üretilen toplam projeksiyon spektrumunda görülen alüminyum çekirdeğine ait 1014 keV. **60**

Şekil 3.6 : ^{177}Hf çekirdeğine ait seviye şeması. **62**

Şekil 3.7 : ^{178}Hf çekirdeğine ait seviye şeması. **63**

Şekil 3.8 : ^{199}Tl çekirdeğine ait seviye şeması. **64**

Şekil 3.9 : CLOVER-LEPS matrisinde üretilen LEPS spektrumunda görülen $^{177\text{-}178}$Hf ve ^{199}Tl çekirdeklerine ait X-ışınları. **65**

Şekil 3.10 : 72 keV'ye gate konulduğunda ^{199}Tl çekirdeğine ait görülen pikler. **66**

Şekil 3.11 : 55 keV'ye gate konulduğunda $^{177\text{-}178}$Hf çekirdeğine ait görülen pikler. **67**

Şekil 3.12 : CLOVER-CLOVER matrisinde 208 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf pikleri. **69**

Şekil 3.13 : CLOVER-CLOVER matrisinde 113 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf pikleri. **70**

Şekil 3.14 : CLOVER-CLOVER matrisinde 113 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf'un diğer bir kaskatına ait pikleri. **71**

Şekil 3.15 : CLOVER-CLOVER matrisinde 277 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf pikleri. **72**

Şekil 3.16 : CLOVER-CLOVER matrisinde 325 keV'ye gate konulunca görülen ^{178}Hf pikleri. **73**

Şekil 3.17 : CLOVER-CLOVER matrisine ait toplam projeksiyonda görülen ^{199}Tl pikleri. **75**

Şekil 3.18 : CLOVER-CLOVER matrisinde 369 keV'ye gate konunca görülen ^{199}Tl pikleri. **76**

Şekil 3.19 : CLOVER-CLOVER matrisinde 701 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri. **77**

Şekil 3.20 : CLOVER-CLOVER matrisinde 332 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri. **78**

Şekil 3.21 : CLOVER-CLOVER matrisinde 171 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri. **79**

Şekil 3.22 : CLOVER-CLOVER matrisinde 794 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri. **80**

Şekil 3.23 : CLOVER-CLOVER matrisinde 417 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri. **81**

Şekil 3.24 : GAMA-ZAMAN matrisinde 921 keV'ye gate konulunca görülen ^{178}Hf pikleri. **82**

Şekil 3.25 : Kalibrasyon kaynağı olarak her iki deneyde kullanılan ^{152}Eu çekirdeğinin CLOVER dedektörlerinden alınan verim eğrisi. **84**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 : iThemba LABS da SSC tarafından iletilen ağır iyon hüzmeleri. **45**

Tablo 2.2 : I. ve II. Deneylere ait bilgiler. **49**

Tablo 3.1 : ^{242}Pu çekirdeğinin olası fisyon ürünleri. **57**

Tablo 3.2 : ^{199}Tl çekirdeğine ait gama enerjilerinin şiddeti. **85**

^{240}Pu İZOTOPUNDAKİ OKTUPOL KORELASYONLARIN ve ^{178}Hf İZOTOPUNDAKİ YÜKSEK – K SEVİYELERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Temel seviyede, kapalı kabuklar arasında çekirdek deforme şekil alır. En çok rastlanan deformasyon formu, eksenel ve yansıma simetrikliğini içinde bulunduran prolate elipsoittir. Deforme şekil, çekirdeğin rotasyonel invaryansını kırar. Bundan dolayı genel olarak seviyeler karışık j değerlerine sahip olmakta ve parite değişmemektedir. Aktinit bölgesinde, pozitif pariteli düşük seviyelere karışan negatif pariteli seviyeler, nükleer alanın yansıma asimetrik olduğunu gösterir. Bu ifade, çekirdeklerin $\Delta j = \Delta l = 3$ olan tek–parçacık seviyeleri arasındaki büyük $Y_{3,0}$ matris elemanlarından dolayı güçlü oktupol korelasyonları ile karakterize edildiğini gösterir. $Y_{3,0}$ bozunması ve eksenel kuadropol deformasyonun ($Y_{2,0}$) kombinasyonu sonucu ortalama nükleer alan "armut" şeklini alır. $Y_{2,0}$ - $Y_{3,0}$ "armut" şekli eksenel simetriktir ve bundan ötürü açısal momentumun simetri ekseni üzerindeki izdüşümü (K) iyi bir kuantum sayısı verir. Bunun sonucu olarak, oktupol korelasyonlara sahip yüksek-K lı çok kuasi parçacık seviyeleri oluşması olasıdır. K seçim kuralından dolayı engellenen bozunma, yüksek-K nükleer "armut" şekli olarak ortaya çıkar. Böylece, aktinit bölge nükleer tabloda "armut" şekilli K-izomerlerin varolduğu tek bölgedir.

Tezin amacı, ^{240}Pu çekirdeğindeki $K^{\pi} = 5^{-}$ iki kuasi parçacık izomerinin koinsidansı ölçülerek yansıma asimetrik yüksek-K seviyesinin araştırılmasıdır.

iThemba LABS (Laboratory for Accelerator Based Sciences) da gerçekleştirilen bu deneyde, yedi adet CLOVER dedektörü ve sekiz adet düşük enerjili foton spektrometresi (Low Energy Photon Spectrometer; LEPS) içeren AFRODITE γ-ışın spektrometresi kullanılmıştır. Kalın ^{238}U hedefin 30 MeV enerjili ^{4}He iyonları ile bombardımanı sonucu, ^{242}Pu bileşik çekirdeğinden iki nötron buharlaşmasıyla oluşan ^{240}Pu çekirdeğinin popülasyon seviyeleri gözlenmiştir. Geri tepen iyonlar HPGe dedektörlerinde durdurulmuştur. Böylece $T_{1/2}$ = 165ns lik izomerle koinsidans, "erken-gecikmiş" ölçümler yapılmıştır. İkinci deneyde, ^{197}Au hedefi üzerine yerleştirilen ^{176}Yb çekirdeği, 30 MeV'lik ^{4}He iyonları ile bombardıman edilip, nötron buharlaşması sonucu ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl çekirdekleri popüle olmuştur. Bu çekirdeklere ait bugüne kadar bilinen gama geçişleri incelenmiş ve ^{199}Tl çekirdeğine ait üç adet yeni gama geçişi bulunmuştur.

TO SEARCH FOR OCTUPOLE CORRELATIONS IN ^{240}Pu ISOTOPE AND HIGH-K STATES IN ^{178}Hf ISOTOPE

SUMMARY

Between closed – shells nuclei take on deformed shapes in their ground states. The most common form of deformation is that of a prolate ellipsoid which retains axial and reflection symmetries. The deformed shape breaks rotational invariance in the body-fixed frame of the nucleus , so that in general the intrinsic states are characterized by a mixture of j values , but the parity remains unmixed. In the actinide region , the observation of low-lying negative–parity states which interleave with the positive – parity states leads to the interpretation that the nuclear mean-field is reflection asymmetric. This suggests that these nuclei are characterized by strong octupole correlations due to large $Y_{3,0}$ matrix elements between single-particle states which have $\Delta j = \Delta l = 3$. The combination of the $Y_{3,0}$ distortion and the axial quadrupole deformation ($Y_{2,0}$) leads to a distinctive pear-shape for nuclear mean-field. It should be noted that the $Y_{2,0}$ - $Y_{3,0}$ pear-shape retains axial symmetry , and hence the projection of the angular momentum onto the symmetry axis (K) remains a good quantum number. This suggests that it should be possible to form high-K multi-quasiparticle states which possess significant octupole correlations. One can picture as a high-K nuclear pear, the decay from which could be hindered due to the K selection rule. Thus, the actinide region is the only region in the nuclear chart where in principle pear-shaped K-isomers can exist.

The aim of this project is to search for reflection asymmetric high-K states in ^{240}Pu by measuring coincidences across the $T_{1/2}$ = 165 ns, $K^{\pi} = 5^{-}$ two-quasiparticle isomer.

In this experiment which was done at the iThemba LABS (**L**aboratory for **A**ccelerator **B**ased **S**ciences), the AFRODITE γ -ray spectrometer, which consists of seven CLOVER detectors and eight Low Energy Photon Spectrometers (LEPS), was used. The population of states in ^{240}Pu achieved through the bombardment of a thick ^{238}U target with ^{4}He ions at energy of 30 MeV, and evaporation of two neutrons from the ^{242}Pu compound system. The recoiling ions stopped in the focus of the HPGe detectors so that the measurement of "early-delayed" coincidences across the $T_{1/2}$ = 165 ns isomer was possible. Also the population of states in ^{177}Hf, ^{178}Hf and ^{199}Tl achieved through the bombardment of thin ^{176}Yb on ^{197}Au target with ^{4}He ions at energy of 30 MeV by evaporation of neutrons from the compound nuclei. The gamma transitions for ^{177}Hf, ^{178}Hf and ^{199}Tl were investigated was known from previous works and three new transitions were observed for ^{199}Tl.

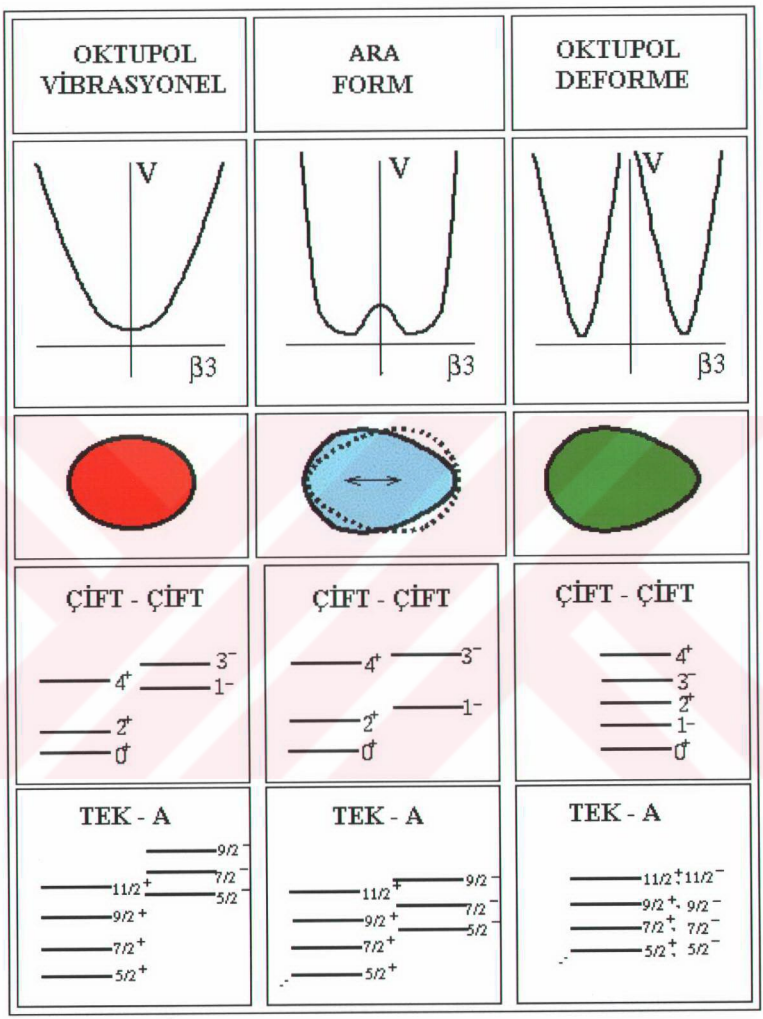
I. GİRİŞ

^{240}Pu çekirdeğinde, yarılanma ömrü $T_{1/2}$ = 165 ns olan $K^{\pi} = 5^{-}$ iki kuasi parçacık izomeri ile uyumlu yansıma asimetrik yüksek–K seviyelerini bulmak, yapılan deneylerin başlıca amacıdır. Darbe seçimli hüzme ve AFRODITE dedektör topluluğundaki LEPS dedektörleri tarafından elde edilen düşük foton enerjilerindeki geliştirilmiş çözme gücü ve verim kullanılarak, maksimum hassas ölçüm elde edilmiştir.

Kapalı kabuklar arasında çekirdek, taban seviyede deforme bir şekil alır. En genel deformasyon, eksenel ve yansıma simetrik olan prolate elipsoidal şekildir (Şekil 1.1a). Deforme şekil, sabit duran (body-fixed frame) çekirdekteki rotasyonel invaryansı kırar. Dolayısıyla seviye şemasındaki ilk seviyeler paritenin değişmediği, karışık j değerleri ile karakterize edilir. Aktinit bölgesinde, düşük negatif pariteli seviyeler ile pozitif pariteli seviyeler karışır ve bu da nükleer alanın yansıma asimetrik bir şekle sahip olduğunu gösterir. $\Delta j = \Delta l = 3$ olan tek parçacık seviyeleri arasındaki büyük $Y_{3,0}$ matris elemanlarından dolayı bu çekirdekler, güçlü oktupol korelasyon ile karakterize edilir. Tek parçacık diyagramına (Nilsson) bakıldığında, $N \sim 134$ ve $Z \sim 88$ için nötron ve proton Fermi yüzeylerinin, sırasıyla $g_{9/2}$ ile $j_{15/2}$ ve $f_{7/2}$ ile $i_{13/2}$ yörüngelerinde olacağı beklenmektedir [1].

$Y_{3,0}$ distorsiyonu ile eksenel kuadropol deformasyona ($Y_{2,0}$) bağlı olarak, çekirdeğin nükleer alanı (mean-field) özel "armut" şeklini alır (Şekil 1.1c). Oktupol korelasyon belirtilerini gösteren bir çok çekirdek için geçerli olan bir soru da, deformasyonun statik mi dinamik mi olduğudur. Örneğin, düşük spinlerde nükleer bir şekil, yansıma simetrik denge şekli etrafında dinamik oktupol vibrasyon yapmaktadır. Açısal momentum arttıkça, rotasyonun etkisine bağlı olarak, kararlı asimetrik bir şekil oluşur.

$Y_{2,0}$ - $Y_{3,0}$ "armut" şekli, eksenel simetriktir ve simetri ekseni (K) üzerindeki toplam açısal momentum izdüşümü iyi bir kuantum sayısına sahiptir. Bu, oktupol korelasyona sahip, bir çok kuasi parçacıklı yüksek-K seviyeleri oluşabileceğini gösterir. K seçim kuralında, yasaklı bozunmalar yüksek-K'lı nükleer "armut" şeklini oluşturur. Bundan dolayı, periyodik tabloda "armut" şekilli K izomerlerinin bulunduğu tek bölge, *aktinit* bölgesidir.



Şekil 1.1 Farklı eksenel simetrik ($K = 0$) şekillere ait, potansiyel enerjinin β_3 deformasyonuna bağlı grafikleri ve enerji seviye şemaları. (a) Eksenel ve yansıma simetrik olan sabit küresel bir çekirdeği, (b) $\beta_2 \approx 0.15$ ve $\beta_3 \approx 0.09$ iken hafif "armut" şekilli çekirdeği ve (c) *xy* doğrultusuna göre yansıma asimetrik fakat eksenel simetrik olan sabit "armut" şekilli çekirdeği göstermektedir.

^{240}Pu çift-çift (Z=94, N=146) çekirdeği, yarı ömrü 165 ns olan $K^{\pi} = 5^{-}$ iki kuasi proton seviyesine sahiptir. Negatif parite seviyelerinin, $\Delta j = \Delta l = 3$ olan $j_{15/2}$ ve $g_{9/2}$ bileşenlerinden dolayı oktupol korelasyona sahip olduğu düşünülmektedir. İki kuasi protonun K izomerine bozunacağı varsayıldığından, izomerden yayınlanan gecikmiş *E1* bozunması ile eş zamanlı "erken" bozunmaların gözlenmesi beklenmektedir. *E1* geçişleri ile beslenen temel seviye bandındaki *E2* geçişleri, yüksek ihtimalle iç elektron dönüşümüne (electron conversion) uğramıştır. Bunlar AFRODITE dedektör topluluğundaki LEPS dedektörlerinde, hüzme dışı güçlü Pu X-ışınları olarak gözlenmektedir. Böylece, gecikmiş Pu X-ışınlarına gate koymak mümkün olmaktadır.

Ölçümler AFRODITE γ-ışın spektrometresindeki yedi adet CLOVER ve sekiz adet LEPS'ten oluşan bir konfigürasyon ile yapıldı. Birinci deneyde ^{240}Pu çekirdeğine ait popülasyon seviyeleri, ^{238}U kalın hedefin 30 MeV enerjili ^{4}He iyonları ile bombardımanıyla oluşturuldu. Deneyde, düşük spin seviyelerini ($< 10\hbar$) oluşturmak hedeflenmiştir. Geri tepen iyonlar, HPGe dedektörünün fokusunda durdurularak yarılanma ömrü $T_{1/2}$ = 165 ns olan izomerden "erken - gecikmiş" eşzamanlı gama geçişlerinin bulunmasının mümkün olacağı düşünülmüştür. İki hüzme darbe aralığı, ~ 300 ns olarak alınmıştır. İkinci deneyde, ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl çekirdekleri, hedef olarak kullanılan ^{197}Au üzerine yerleştirilmiş olan ^{176}Yb çekirdeklerinin 30 MeV enerjili ^{4}He iyonları ile bombardımanıyla oluşturuldu. Yeterli bilgiye sahip olunan ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl çekirdeklerinin analizi yapılarak, deney sırasında kullanılan veri toplama sisteminin kontrol edilmesi sağlanmıştır.

Yeterli sayım alınabilmesi için iki hafta sonu süresince deney yapılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 DEFORME ÇEKİRDEKLER

Atom çekirdeği, içerisinde mevcut olan nükleon sayılarına bağlı olarak şekli ve özellikleri tanımlanan çok cisimli kuantal bir sistemdir. Soy gaz atomları gibi, belli sayıdaki nötron ve protonlara (sihirli sayılar) sahip çekirdekler, küresel bir şekle sahip ve kararlıdır. Sihirli sayılar üzerine nükleon eklendikçe, değerlik nükleonlar arasındaki uzun erimli efektif kuvvetler, şeklin küresel simetrikliğini bozar ve çekirdek deforme olur [2].

Sabit cisimlere ait nükleer deformasyon, kapalı kabuktan uzaktaki çekirdekler için büyük kuadropol momentler, oluşan rotasyonel bandlar ve küresel kabuk modeli çerçevesinde açıklanamayan tek-parçacık spektrumları ile açıklanır [3].

Bir nükleer şekil veya nükleer yüzey,

$$R(\theta,\phi)=R_0\left[1+\sum_{\lambda,\mu}\alpha_{\lambda\mu}Y_\lambda^\mu\right] \qquad (2\text{-}1)$$

ile ifade edilir [4]. $R(\theta, \phi)$, θ ve ϕ açılarının bir fonksiyonu; R_0 çekirdeğin yarıçapı; Y_λ^μ normalize edilmiş küresel harmonik ve $\alpha_{\lambda\mu}$ genleşme katsayısıdır.

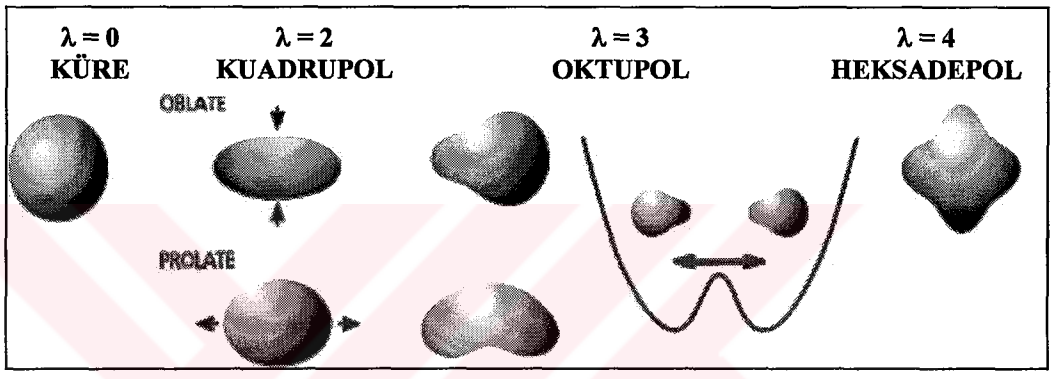
Simetrinin olduğu nükleer bir şekilde, genleşme sırasında katsayıların çoğu kaybolur. Eğer eksenel simetri varsa, $\mu = 0$ değerini alır. Eğer çekirdek yansıma simetrik ise, λ'lı terimler sıfır dışında değerler alırlar.

$\lambda = 0$ ve 1 spektroskopik bir bilgi vermemekte, duraklama modunu ($\lambda = 0$, bütün yüzey genişler ve büzülür) ve büyük dipol rezonansı (Giant Dipole Resonance; GDR) ($\lambda = 1$, protonların nötronlara karşı osilasyonunu) ifade etmektedirler. Nükleer maddenin sıkıştırılabilirliğini hesaplamak için, şekilde meydana gelen değişimlere karşı hacim korunmak istenmektedir.

Bunun için ilk başta $\alpha_{00} = 0$ alınmalıdır. $\alpha_{1\mu}$ katsayısı, kütle merkezinden olan kaymaları ifade eder. İncelemelerin kütle merkezi çerçevesinde yapılması istendiğinden,

$$\alpha_{1-1} = \alpha_{10} = \alpha_{11} = 0 \qquad (2\text{-}2)$$

olarak alınır. $\lambda = 2$ nükleer yüzeyin kuadropol osilasyonunu ve $\lambda = 3$ oktupol osilasyonu vermektedir. $\lambda \geq 3$ olduğu tek sayılar, yansıma asimetrik şekli tanımlar [5].



Şekil 2.1 Şimdiye kadar gözlenmiş nükleer şekiller. l'nin birbirinden farklı mümkün dağılım hallerini karakterize ettiği şekiller, küresel harmonik fonksiyonlarla parametrize edilebilir.

Şekil 1.1a da gösterilen küresel bir çekirdek için, yalnız α_{20} sıfırdan farklı bir değer alır ve Şekil 1.1c deki oktupol şekil için, α_{20} ve α_{30} dışındaki katsayılar sıfır değeri alır. Nükleer şeklin küresel simetriden sapmasına ait ölçümleri veren deformasyon parametresi β_λ, $\alpha_{\lambda 0}$ genleşme katsayısına bağlıdır.

$C(\alpha_{\lambda\mu})$ faktörü, hacmin korunmasını sağlamada kullanılır. Bu faktöre bağlı nükleer yüzey;

$$R(\theta,\phi)=C(\alpha_{\lambda\mu})R_0\left[1+\sum_{\lambda=0}^{\infty}\sum_{\mu=-\lambda}^{\lambda}\alpha_{\lambda\mu}\,Y_{\lambda}^{\mu}(\theta,\phi)\right] \qquad (2\text{-}3)$$

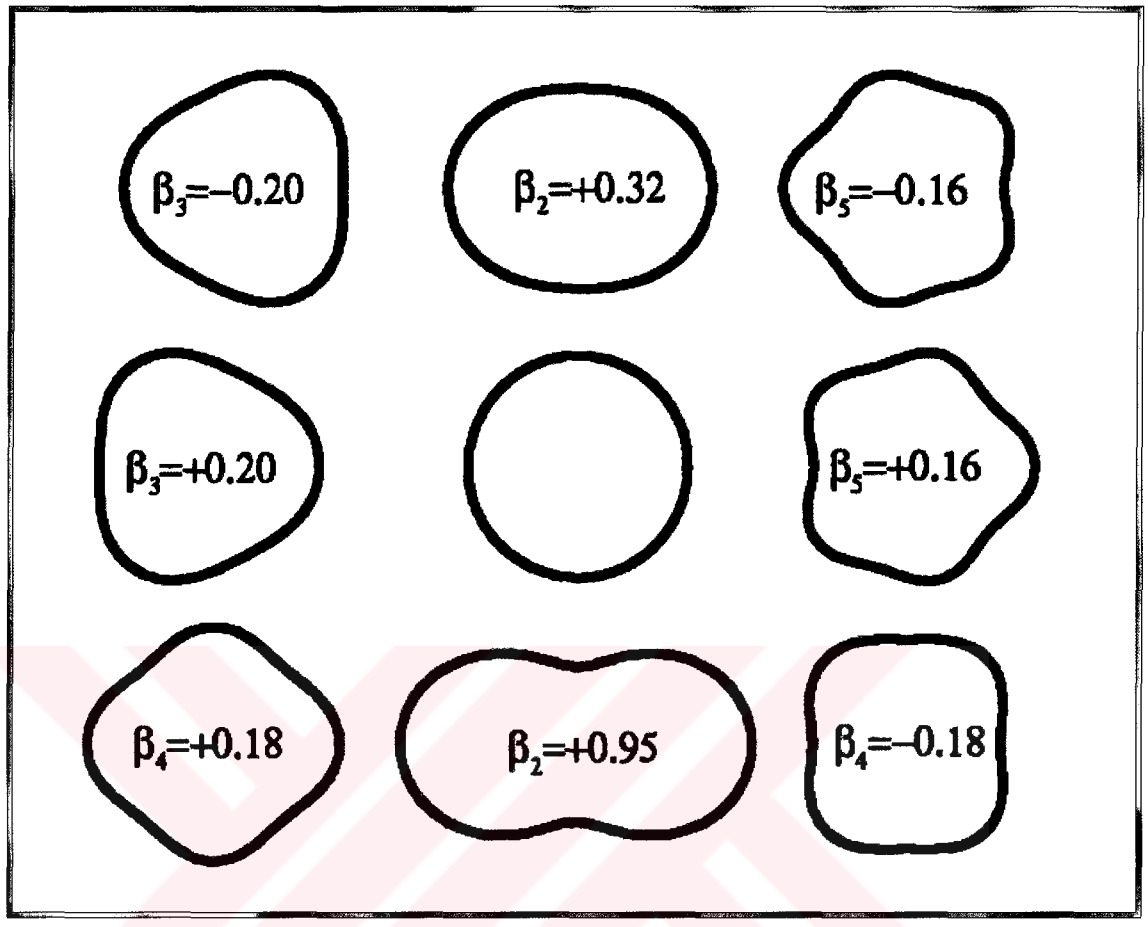
olarak ifade edilir.

Normal prolate eksenel simetrik bir çekirdek için $\mu = 0$ alındığında, çekirdeğin genişlemesi kuadropol ($\lambda = 2$) ve heksadepol ($\lambda = 4$) serbestlik derecesi ile sınırlıdır. O zaman nükleer yüzey aşağıdaki denkleme eşittir.

$$R(\theta)=C\,R_0\left[1+\sqrt{\frac{2\lambda+1}{4\Pi}}\sum_{\lambda}\beta_{\lambda}\,P_{\lambda}(\cos\theta)\right] \qquad (2\text{-}4)$$

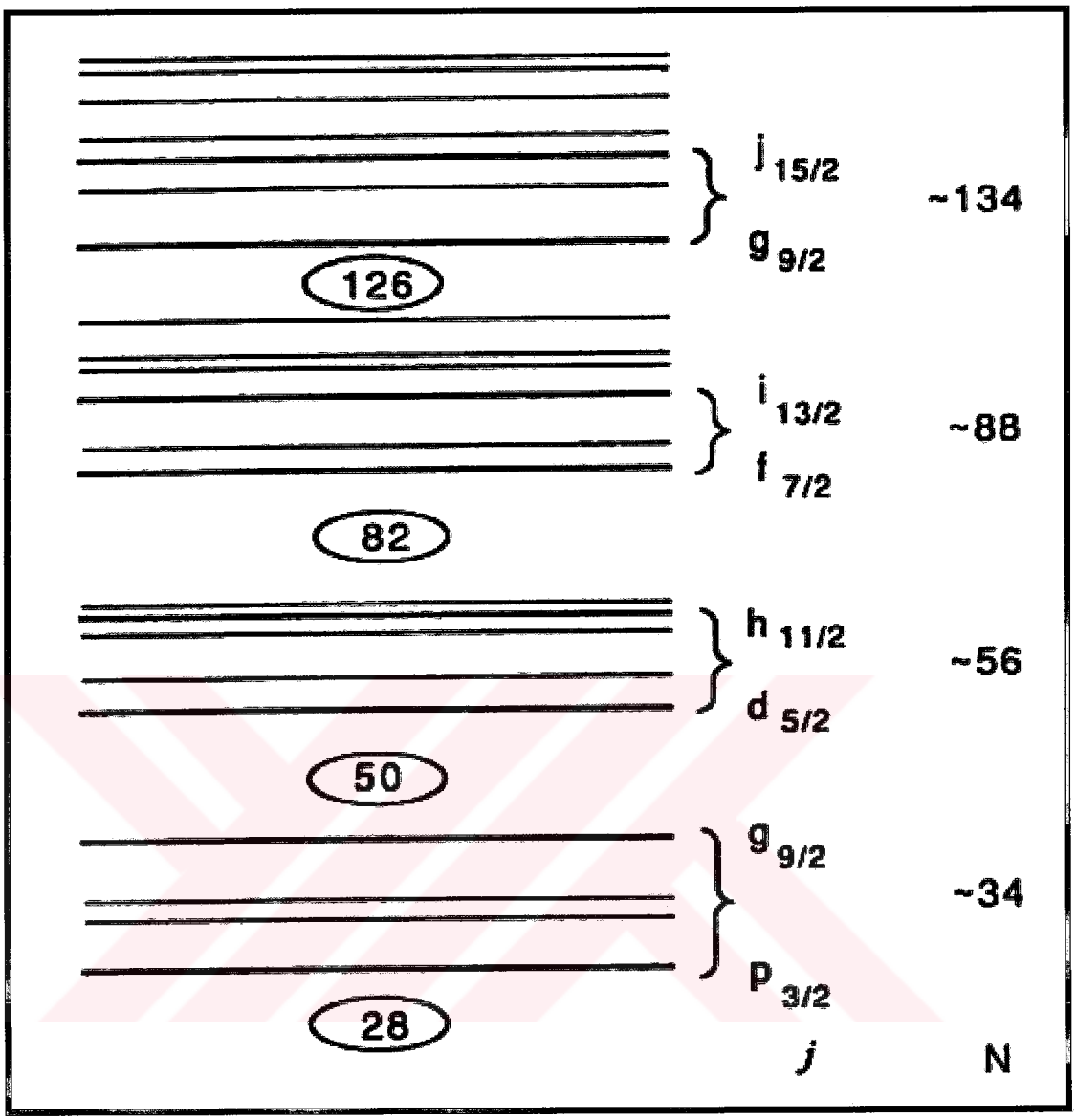
$$R(\theta)=C\,R_0\left[1+\sqrt{\frac{5}{4\Pi}}\,\beta_2\,P_2(\cos\theta)+\sqrt{\frac{9}{4\Pi}}\,\beta_4\,P_4(\cos\theta)\right] \qquad (2\text{-}5)$$

Simetri ekseninde rotasyon yapan kuadropolik şekli ifade eden bu denklemde, $P_{\lambda}(\cos\theta)$ Legendre polinomunu, β_{λ} ise deformasyon parametresini vermektedir.



Şekil 2.2 Farklı β_λ değerlerine ait şekiller.

Çekirdeklerdeki oktupol vibrasyon veya oktupol deformasyon, nükleonlar arasındaki uzun erimli oktupol – oktupol etkileşme sonucu oluşmaktadır. Bu dağılım, tek – parçacık seviyeleri arasında $\Delta j = \Delta l = 3$ olan, Y_3^0 matris elemanlarına ve seviyeler arasındaki boşluğa bağlıdır [6].



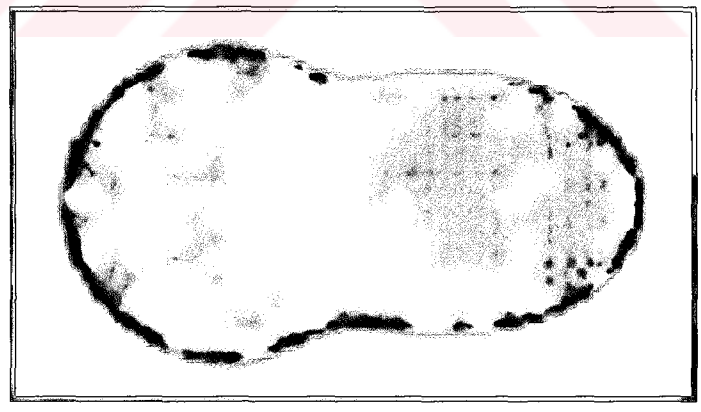
Şekil 2.3 Seviye aralıkları $\Delta j=\Delta l=3$ olan, nötronlara ait kabuk model seviyelerinin relatif enerjilerini veren diyagram. l çekirdeğe ait yörüngesel açısal momentumu ve j de çekirdeğe ait toplam açısal momentumu ifade eder. Daire içerisindeki sayılar, sihirli sayıları göstermektedir ve seviye şemasının sağında yer alan sayılar oktupol şeklin tercih ettiği nötron sayılarını vermektedir. Tek parçacık proton seviyeleri için de aynı şekil geçerlidir.

Şekil 1.1 deki üç şekil ve bu şekillere ait potansiyel enerji diyagramları şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 1.1a da görünen, temel seviyede küresel dengeye sahip şekil, ≈ 1 MeV'lik uyarılma durumunda $K^{\pi} = 0^{-}$ vibrasyonel bandına sahiptir. Bu şekil, ağır aktinit bölgesinde gözlenir.

Diğer bir sınır (Şekil 1.1c), çekirdeğin temel seviyesinde β_3 deformasyonuna sahip olduğunda oluşur ve yansıma asimetrik şekli ile aynadaki görüntüsü arasında sonsuz bir engel vardır. Böyle bir çekirdek, devamlı bir oktupol deformasyona sahiptir ve aynadaki görüntüsündeki tünelleme geçişine karşı tamamen kararlıdır.

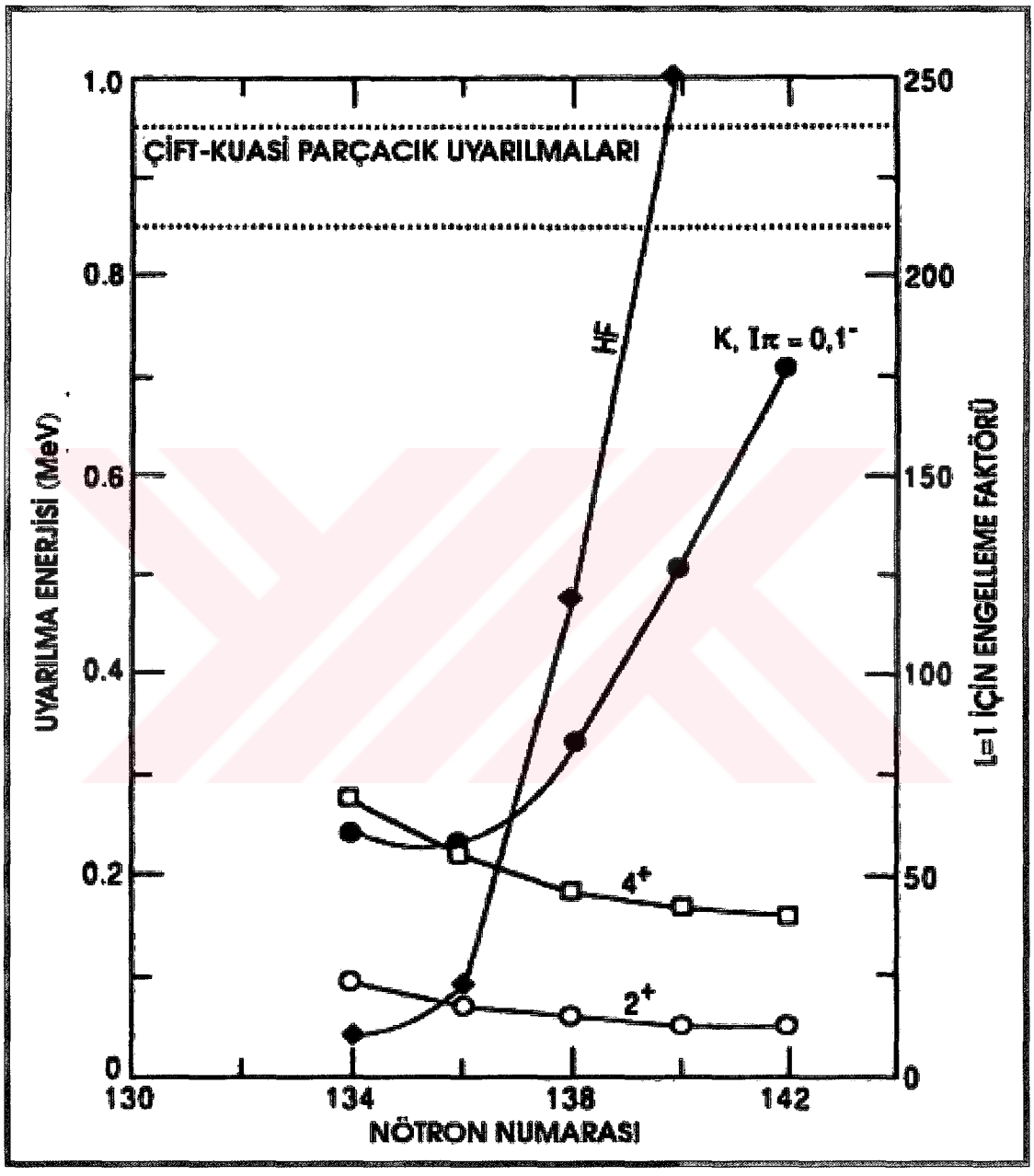
Bu çekirdeklere ait rotasyonel seviyelerin, HCl gibi bilenen asimetrik moleküllerin seviyelerine benzemesi beklenmektedir. Mümkün olan üçüncü şekil ise (Şekil 1.1b), iki limit arasında orta seviyede bulunan yansıma asimetrik şekil ve onun aynadaki görüntüsü ile arasında sınırlı bir engel olan ve iki ayna şekli arasındaki tünelleme hareketinin mümkün olduğunu gösterir. Bu üç şekle ait, rotasyonel seviyelerin sıklığı da Şekil 1.1 de verilmiştir.

Deformasyon eksenine dik eksende (z) 180° rotasyon yapan çekirdek ile uyumlu, çift multipollere (2^n – poles, n = 2 : kuadropol, n = 4 : heksadekapol...) bağlı nükleer deformasyondaki genişleme ile yansıma simetri muhafaza edilir. Tek sayılı multipollerin (n = 3 : oktupol) hesaba katılması, yansıma simetriyi bozar. Oktupol deformasyonu ifade eden en önemli terim $Y_{3\mu}$ dür. Y_{30} , nükleer olarak "armut" şeklini tanımlar. Oktupol etki, statik (deformasyon) veya dinamik (oktupol şekilde vibrasyon) olabilir [7]. Yansıma simetrik şekildeki değişime bağlı olarak, deformasyon statik $<\beta_3> \neq 0$ veya dinamik $<\beta_3> = 0$ olabilir. Hızlı rotasyon, oktupol deformasyonu dengeleyebilir.



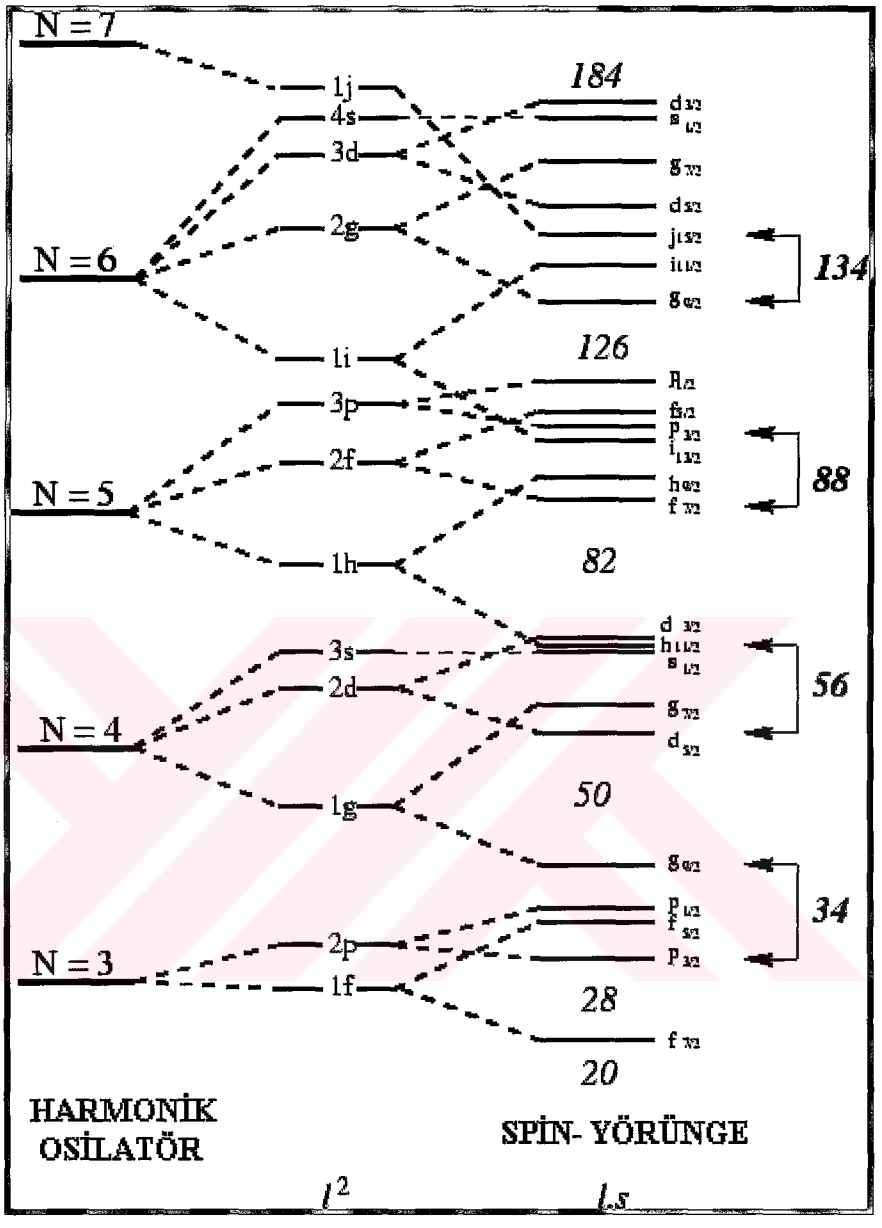
Şekil 2.4 Oktupol deforme "armut " şekli.

Şekil 2.3'te Fermi yüzeyi, $N \approx 134$ için $g_{9/2}$ ile $j_{15/2}$ yörüngeleri arasında, $Z \approx 88$ için de $f_{7/2}$ ile $i_{13/2}$ yörüngeleri arasındadır. Seviyeler arasındaki fark yaklaşık $\Delta j = \Delta l = 3$ olunca, $Z \approx 88$ ve $N \approx 134$'e sahip çekirdeklerin maksimum oktupol – oktupol dağılımı verdiği varsayılmaktadır.



Şekil 2.5 Çift-çift Th izotoplarına ait düşük seviyeler. Th çekirdeklerinin K, $I^{\pi} = 0, 1^-$ seviyelerine ait α-bozunumunu engelleme faktörleri de (Hindrance Factor) gösterilmektedir.

$\Delta j = \Delta l = 3$ yörüngeleri, oktupol etkileşim ($\propto Y_{30}$) sonucu çiftlenmiştirler.



Şekil 2.6 Basit harmonik osilatör için tek-parçacık enerjileri , l^2 terimi ile modifiye edilmiş harmonik osilatör ve l^2 ile spin-yörünge ($\vec{l}.\vec{s}$) terimlerine sahip realistik kabuk model potansiyeli. Burada $N = 2\,(n - 1) + l$, osilatör kabuğunu ifade eder.

En önemli çiftlenimler $g_{9/2} \leftrightarrow p_{3/2}$, $h_{11/2} \leftrightarrow d_{5/2}$, $i_{13/2} \leftrightarrow f_{7/2}$ ve $j_{5/2} \leftrightarrow g_{9/2}$ gibidir. Bu çiftlenmiş yörüngelere yakın Fermi yüzeyindeki çekirdekler, oktupol korelasyon etkisinden çok daha çabuk etkilenirler. Oktupol deformasyonun "sihirli sayıları", 34, 56, 88 ve 134'tür. Hem proton hem de nötron sayıları, bu sihirli sayılara yakın olanlar daha çok oktupol deforme olurlar.

Oktupol korelasyon etkileri, negatif parite seviyesi düşük olan çift – çift çekirdekler, değişen parite bandları, öz elektrik dipol momentleri, geliştirilmiş elektrik dipol (*E1*) geçişlerini içerir.

Çift – çift çekirdeklerde görünen oktupol deformasyon, pozitif ve negatif karışık parite seviyelerinin oluşturduğu rotasyonel bandın varlığıyla tanımlanır. Tek kütleli çekirdeklerde, oktupol deformasyonun ispatı, $K^{\pm}$, $(K+1)^{\pm}$, ... spin – parite sıralaması ile parite çiftidir. Temel seviyede tek kütleli çekirdeklerle, yüksek spinlerdeki çift – çift çekirdeklerde teorik olarak tanımlanan geniş oktupol – oktupol korelasyon özelliği deneysel olarak da keşfedilmiştir. Bu keşif, uygun enerji seviye sıralamasını, alfa bozunma olasılığını ve *E1* geçiş oranındaki artışı içerir.

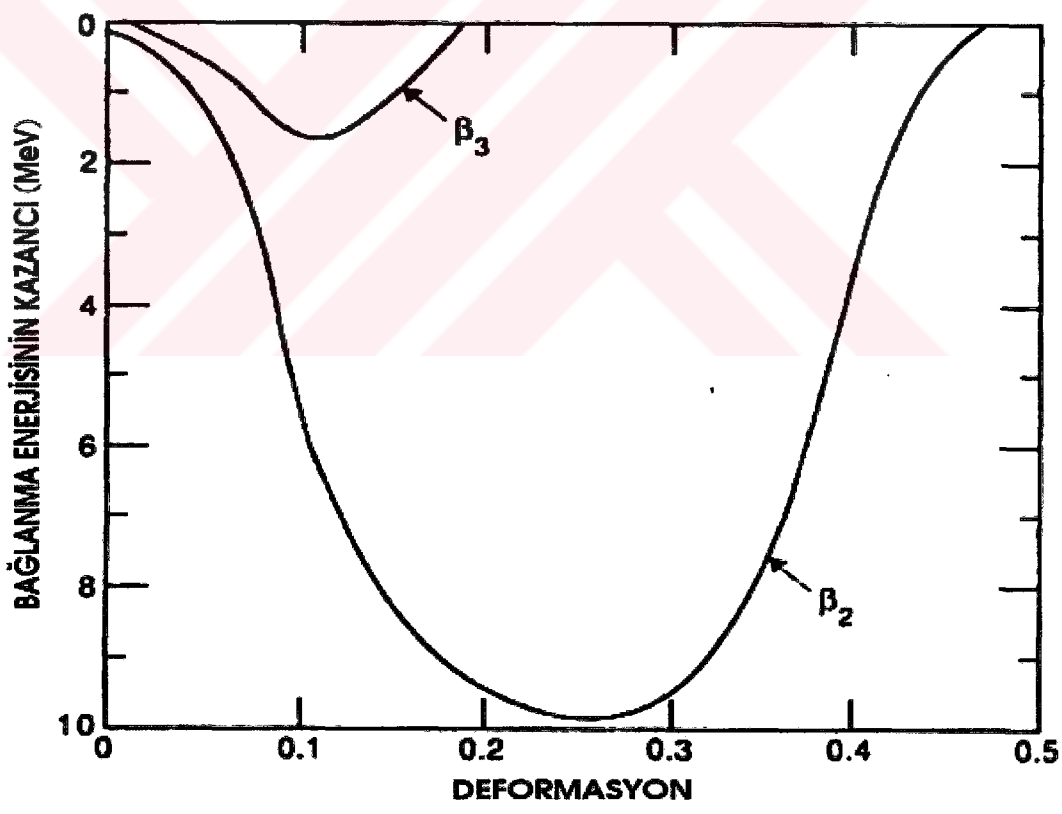
Bunlara ek olarak, kütlesi 224 civarındaki tek kütleli ve tek – tek çekirdeklerin temel seviyelerinde ve yüksek spin seviyelerinde geniş oktupol – oktupol korelasyon gözlenmiştir. Nötron sayısı azaldıkça, K, $I^{\pi} = 0, 1^-$ seviyesinin uyarılma enerjisi de azalır ve $N = 136$ da minimum değerini alır. Bu inceleme, $N = 136$ çekirdeklerinde oktupol korelasyonların en güçlü olduğunu gösterir. Aynı zamanda bu figür, K, $I^{\pi} = 0, 1^-$ seviyesine olan alfa bozunma oranının oktupol korelasyona bağlı olduğunu da gösterir. Periyodik tabloda, aktinit bölgesi dışında diğer bölgelerdeki çekirdeklerde de oktupol deformasyon gözlenmekte fakat daha az miktardadır.

Tez içerisinde geçen, oktupol, yansıma asimetrik ve "armut" terimleri aynı şekli ifade etmek için kullanılmıştır. Deformasyon parametresi olarak β kullanılmıştır. Bazı kaynaklarda, υ, ε, δ ve η da kullanılmaktadır. Bu deformasyon parametreleri arasındaki bağlantı Chasman ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır [6].

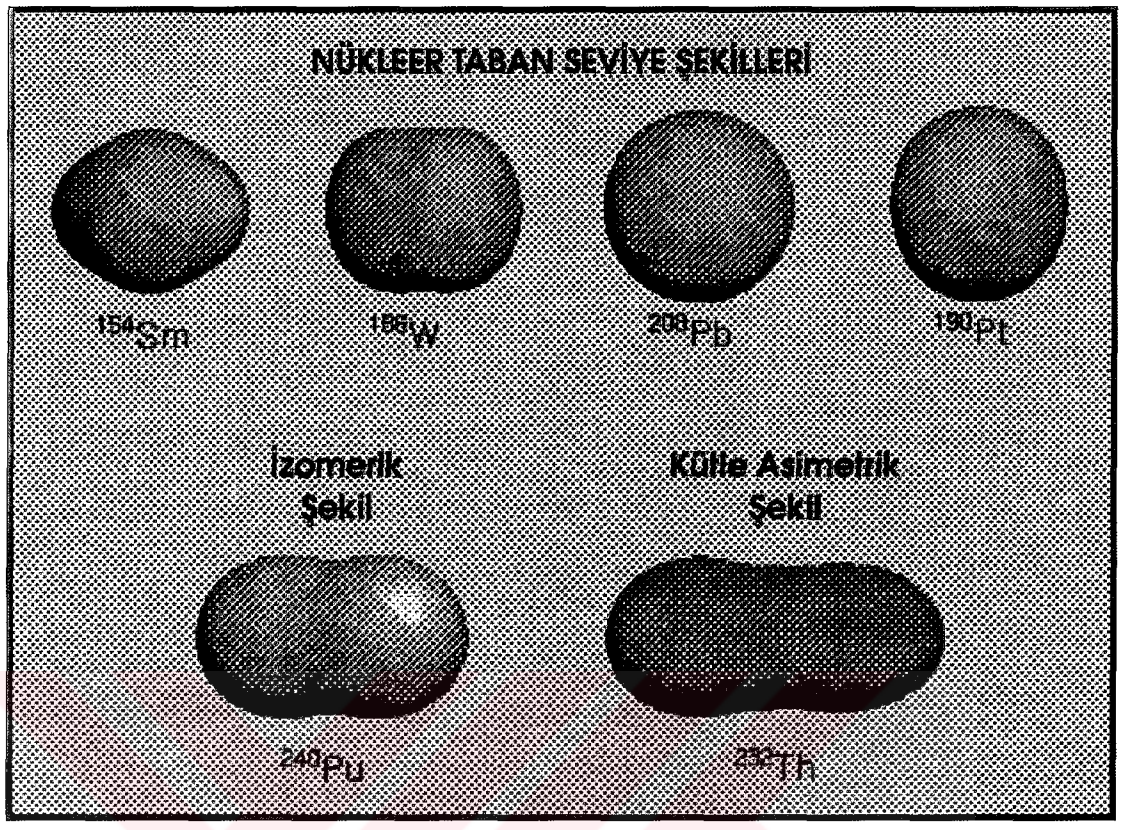
İki teorik yenilik sonucu, 1980'lerin başında oktupol korelasyon ile oktupol deformasyon arasındaki bağ gözlenmiştir. Önce, Chasman tarafından, mikroskobik çok cisim problemi ile tek – kütle numarasına sahip Th, Ac ve Pa çekirdeklerinin parite çiftleri öngörülmüştür. Parite çifti, tek kütle numarasına sahip çekirdeklerde oktupol deformasyonunun işaretidir; aynı spinli, zıt pariteli ve büyük bağlayıcı *E3* matris elemanlarına sahip dejenere seviye çifti olarak bilinir.

İkinci yenilik, atomik kütle hesaplamalarının yapıldığı Strutinsky metodudur. Kütle numarası 224 civarında olan çekirdeklerde, ~ 1.5 MeV lik ekstra bağlanma enerjisi, potansiyel parametrizasyonuna oktupol deformasyon eklenince aktarılır. Bu metot, ölçülenle hesaplanan kütlelerin iyi bir uyum içerisinde olmasını sağlar. Hesaplama üzerine oluşturulmuş bu teknik, Leander ve arkadaşlarının, hafif aktinit bölgesinde yaptıkları kapsamlı ölçüm ve bazı çekirdeklerin yansıma asimetrik taban seviye şekline sahip olduğunu bulmalarıyla genişletilmiştir [6].

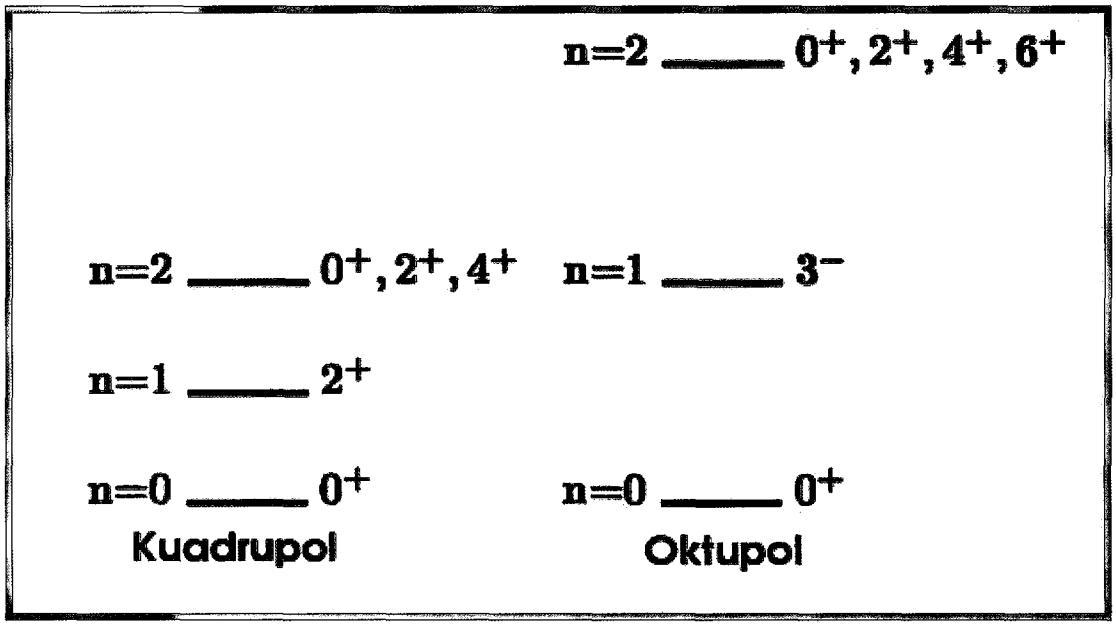
İlerleyen çalışmalarda, yüksek deformasyona uğramış şeklin bağlanma enerjisine etkisi keşfedilmiştir. β_3 deformasyonundan gelen katkı ile β_6 serbestlik derecesinden gelen katkının kıyaslanabilir olduğu bulunmuştur. β_2 - β_7 deformasyon parametrelerinin dahil olduğu ortalama potansiyel hesaplamalarında, β_5 modunun yansıma asimetrik şekli dengelemeye yardım ettiği ve kuyu derinliğinin ~ 1 MeV olarak belirlendiği bulunmuştur. Kuadrupol deformasyondan dolayı, bağlanma enerjisindeki 10 MeV lik kazanca nazaran bu oldukça küçük bir rakamdır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Bir aktinit çekirdeğe ait deformasyonun bağlanma enerjisinin hesaplanan kazancına bağlı fonksiyonu. Alttaki eğri, β_2 deformasyonuna ait küresel şekle bağlı bağlanma enerjisindeki kazancı verir. Üstteki eğri, az da olsa β_2 deformasyonuna sahip aktinit bir çekirdekteki β_3 deformasyonunun artışa bağlı kazancını göstermektedir.



Şekil 2.8 Möller ve Nix'ten (Los Alamos) alınan, hesaplanmış bazı nükleer şekiller. Üst sıra temel seviye deformasyonlarını vermektedir. Sağ alt sırada fisyonlaşmaya yakın kütle-asimetrik şekil ve sol alt sırada ikinci minimumda yakalanan fisyon izomeri gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Kuadrupol ve oktupol seviye şemalarına örnek.

Her bir oktupol fononun sahip olduğu açısal momentum 3 tür. İlk uyarılma seviyesinin (3^-) enerjisi, kuadropol durumun yaklaşık iki katı kadardır.

2.1.1 Nilsson Modeli

Kabuk Modeli, nükleer modellerin temeli olarak kabul edilir ve en iyi kapalı kabuklara yakın çekirdekleri açıklayabilir. Çünkü hafif çekirdeklerin, bir pertürbasyon terimi olan artık etkileşmesi daha azdır. Nükleer yapı ile ilgili birçok önemli bilgi nükleer reaksiyonlardan elde edilir. Bu tür reaksiyon için geçerli şart, gelen parçacığın enerjisinin Coulomb bariyerine yakın veya üzerinde olmasıdır. Daha ağır elementler için daha yüksek enerjiler gerekeceğinden düşük enerji hızlandırıcıları ile yapılan çalışmalar, hafif çekirdekler üzerinde odaklanmıştır. Nükleer modeller, deneysel tekniklerin gelişmesi ile paralel olarak gelişmiştir [2, 4].

Kabuk Modeli daha çok kor dışında tek parçacığın bulunduğu uygulamalar için kullanışlıdır. Hafif çekirdeklerin dışındaki çekirdeklerde, valans nükleonlar birden fazla *j* kabuğunu doldururlar. Kor dışında, valans nükleon sayısı arttıkça, artık etkileşme de o oranda artacaktır.

Böyle durumlar için Kabuk Model hesaplamaları, nükleer yapıyı açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Hesaplanan dalga fonksiyonlarını anlamak dahi zorlaşır. Birçok çekirdeğin, korun dışında fazla valans nükleona sahip olduğu göz önüne alındığında, bu çekirdeklere dair hesaplamalar yapılabilmesi için Kabuk Modelin konfigürasyonu veya alternatif modellerin geliştirilmesi yoluna gidilmiştir.

Orta ve ağır çekirdekler için nükleer yapıyı açıklayan yeni bir model oluşturulurken iki yol izlenmiştir. Bunların her ikisi de küresel olmayan yapılara ait kavramlardır. Bir tanesi nükleonların tek parçacık hareketlerini küresel olmayan yapıda dikkate alırken, diğeri ise makroskopik hareketleri ve küresel olmayan yapıdaki çekirdek uyarılmalarını dikkate alır. İdeal olarak bu yaklaşım **Deforme Kabuk Model** olarak bilinen yaklaşımdır ve mikroskopik yapıyı açıklasa da, pratikte bu iki model, mikroskopik ve makroskopik kombinasyonları ifade eder.

Küresel olmayan Kabuk Modeli veya Deforme Kabuk Modeli yaklaşımı genellikle **Nilsson Model** olarak isimlendirilir ve makroskopik kısmı Bohr ve Mottelson tarafından bulunmuş olan kollektif bir modeldir. Nükleer kollektif modeller deforme çekirdeğin, tek–parçacık özelliklerini ve deneysel olarak ölçülmüş kuadropol deformasyonu tanımlamak için üretilmiştir.

Tek parçacık modelinin, tüm deforme çekirdeklere uygulanması Nilsson Modeli olarak bilinmektedir. Bu model şu ana kadar geliştirilmiş modellerin en başarılı olanıdır. Yüzlerce deforme çekirdekte gözlenebilen tek parçacık seviyelerine ait özelliklerin büyük bir kısmını açıklayabilmektedir. Nilsson Modeli, deforme çekirdekler için bir Kabuk Modelidir. Ayrıca yeni seviyelere ait bilgi elde edinmek için ilk başvurulan modeldir.

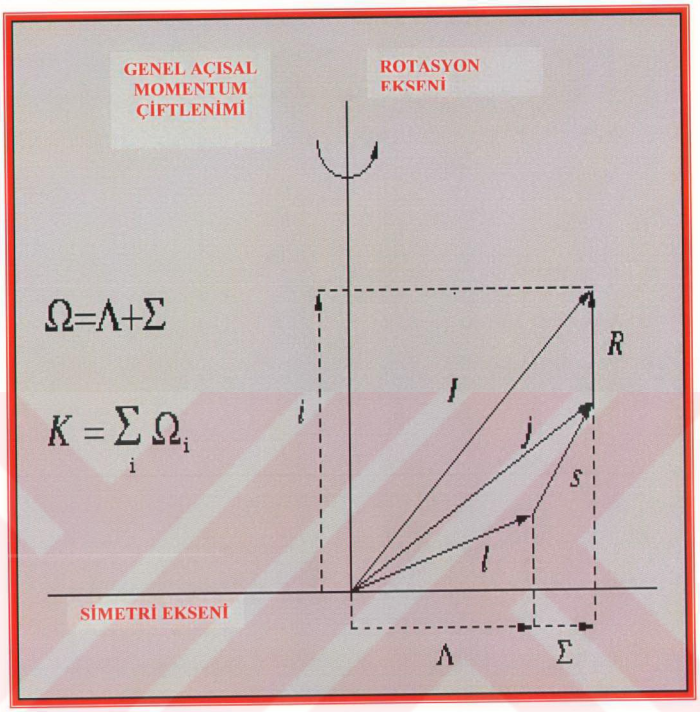
Küresel olmayan bir potansiyelde $(V = V_0(r) + V_2(r)P_2(Cos\theta))$, tek parçacık hareketinin açıklanmasını sağlar. Temel yapısı, sadece kuadropol deforme olan eksensel simetriye sahip şekiller içindir. Doğru kabuk yapısını bulmak için, Nilsson Kabuk Modeline, l^2 ve $(\vec{l}.\vec{s})$ terimleri eklenir. Modifiye Edilmiş Harmonik Osilatör (**M**odified **H**armonic **O**scillator; MHO) veya Nilsson potansiyeli :

$$V_{MHO} = V_{OSC} - \kappa\hbar\omega\left[2l_{\vec{l}.\vec{s}} + \mu\left(l_t^2 - \langle l_t^2\rangle_N\right)\right] \qquad (2\text{-}6)$$

ile ifade edilir. Deneysel enerji seviyelerine uygun olarak alınan, κ ve μ ayarlanabilir çiftlenim parametreleridir. Her bir ana osilatör kabuğu için farklı değer alırlar.

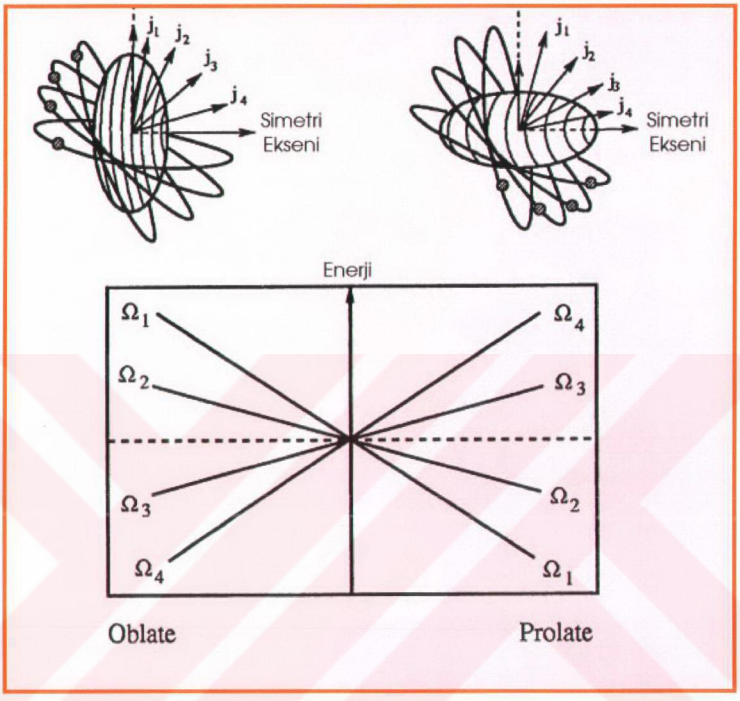
Son terim, nükleer yüzeye yakın bulunan parçacıklara ait efektif potansiyel kuyusunu derinleştirirken, $l_{\vec{l}.\vec{s}}$ terimi, (ξ, η, ζ) sistemindeki nükleer spin-yörünge etkileşmesini ifade eder.

$l_{\vec{l}.\vec{s}}$ ve $\left(l_t^2 - \langle l_t^2\rangle_N\right)$ terimleri, $N=n_\perp + n_z$ seviyelerinin $2(n_\perp + 1)$ dejenerasyonunu ortadan kaldırır. Farklı Ω'lara sahip seviyeler farklı enerjilere sahiptir ve her bir $[Nn_z\Lambda]\Omega^\Pi$ seviyesi $\pm\Omega$ olarak çift dejeneredir.



Şekil 2.10 Prolate deforme çekirdeklerde açısal momentum vektörleri için kullanılan notasyonlar. *I* çekirdeğin toplam açısal momentumu, *R* kollektif rotasyon ve *j* tek-parçacık bileşenini ifade eder. *K*, *I*'nın simetri ekseni üzerindeki ve *i* de *I*'nın rotasyon ekseni üzerindeki izdüşümüdür. Ω_i, *i.* parçacığın açısal momentum izdüşümünü verir. Nilsson modelinde, *j* simetri eksenini ve Ω da korunma değerini ifade eder.

Şekil 2.11, farklı Ω değerleri için enerji seviyelerinin ayrımını göstermektedir. Düşük - Ω seviyeleri prolate şekli, yüksek - Ω seviyeleri oblate şekli verir. Her bir Ω seviyesi ± Ω olmak üzere çift dejeneredir.



Şekil 2.11 Farklı Ω değerleri için enerji seviyeleri ayrımı.

Çoğu deforme çekirdek için geçerli olan, çekirdeğin simetri ekseni boyunca uzadığı ve oluşan şeklin prolate olarak isimlendirildiğidir. Simetri ekseni boyunca sıkışan yani kuzey ve güney kutuplarından bastırılmış, dünyaya benzer şekle ise oblate denir. Prolate yani simetri ekseni boyunca uzayan çekirdeğin, kuantum mekaniksel olarak, simetri eksenine dik eksen etrafında kollektif hareketle dönen bir çekirdek olduğu saptanmıştır.

Nilsson Diyagram Özellikleri

- Düşük - Ω yörüngeleri, prolate deformasyona uğramış kor ile geniş bir mekanda örtüşürler ve sonuç olarak artan prolate deformasyon ile enerjisi azalır. Yüksek - Ω yörüngeleri, oblate deformasyona uğramış kor ile geniş bir mekanda örtüşürler ve sonuç olarak artan oblate deformasyon ile enerjisi azalır.

- Aynı Ω^{π} değerine sahip iki seviye birbiri ile kesişmez, birbirlerini geri iterler ve herhangi bir deformasyon değerinde karakter değiştirirler.

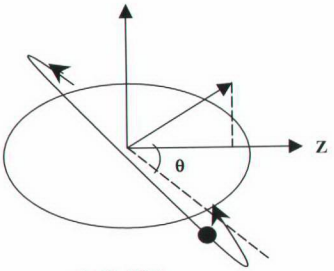
- Nilsson seviyelerinin eğimi kuadropol operatörün tek-parçacık matris elemanına bağlıdır :

$$\frac{dE_k}{d\beta} = -\langle k | r^2 Y_{20} | k \rangle, \qquad (2\text{-}7)$$

- Sıfır deformasyon olduğunda, sihirli sayılar seviye yoğunluğunun düşük olduğu yerlerde görülür. Deformasyon arttıkça, bu aralıklar yok olur, ama büyük eksenin küçük eksene oranı 3:2, 2:1, 3:1 olan şekle ait deformasyonlardaki parçacık sayıları için yeni aralıklar ortaya çıkar.

2.1.2 Spin Korunumu

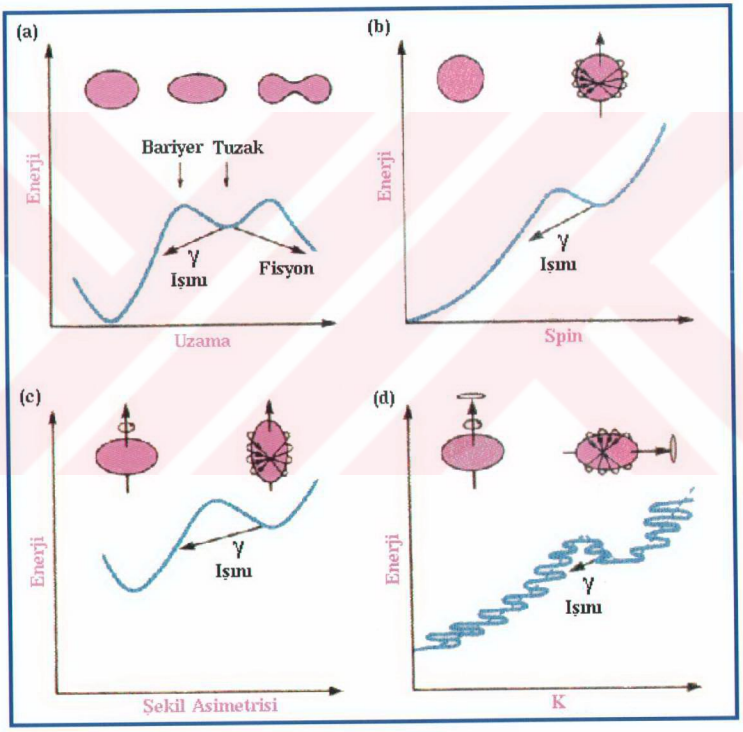
K, *J* olarak adlandırılan toplam açısal momentumun (veya spinin) eksenel simetrik olan deforme bir çekirdeğin simetri eksenine izdüşümüdür. Bu ifade, çekirdeğin bir doğrultuda uzadığını (veya sıkıştığını) gösterir. Simetri ekseni de aynı doğrultudadır.



Şekil 2.12 Nilsson modelinde tartışılan j, K ve θ nicelikleri.

2.1.3 İzomerlik

Bir nükleer "izomer", uzun-süre yaşayan bir nükleer seviye olarak tanımlanmaktadır. Hüzmeyi darbelendiren erken seviyelere gate koyarak, bir kaç nanosaniyeden uzun yaşayan bir seviye olan izomer seviyeden bozunan gecikmiş seviyeler gözlenebilir [8].



Şekil 2.13 Farklı tipte izomerik seviyeler.

Farklı tipte bir kaç tane izomerik seviye vardır. Şekil 2.13a, bir "fisyon" izomerini göstermektedir. Bu figürde çekirdek, uzatılmış ve uyarılmış nükleer bir seviyede (trapped) kıstırılmıştır. İki tane potensiyel bariyeri var; birincisi γ-ışını yayınlayarak temel seviyeye direk bozunmalara karşı, ikincisi de fisyona karşıdır. Çekirdekte, bu bariyerlerden tünel açmak için geçen zaman, ömrün uzamasına sebep olur.

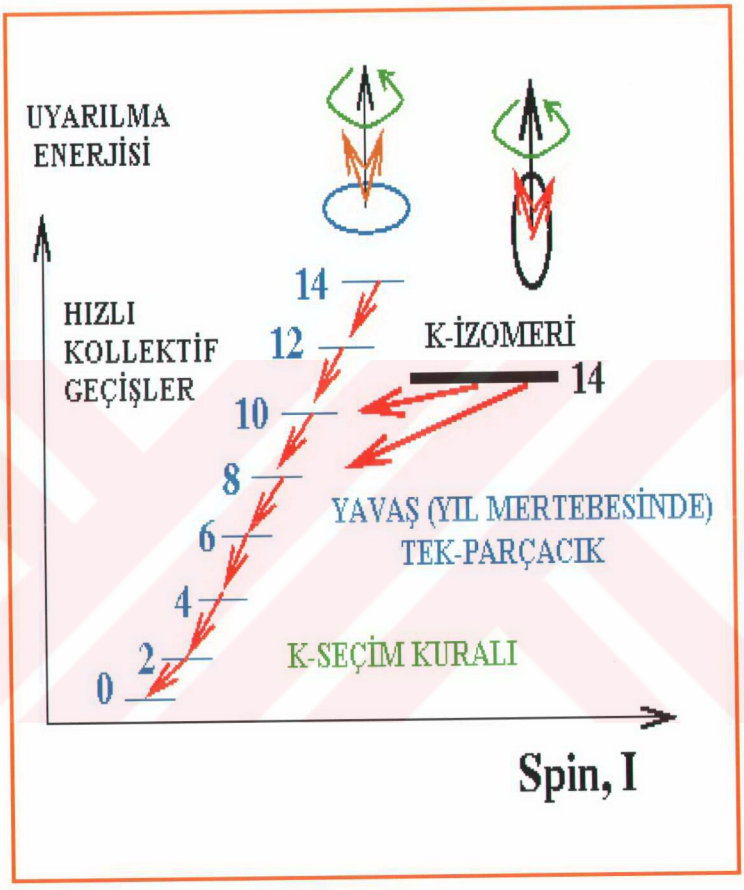
Şekil 2.13b, "spin-trap (tuzak,kapan)" izomerini göstermektedir. Bu durumda çekirdek, düşük spin seviyelerine bozunabilmek için enerji bariyeri ile yüksek spin seviyesinde (trapped) kıstırılmıştır. Bu durumda da, bu bariyerlerden tünel açmak için geçen zaman, ömrün uzamasına sebep olur.

Üçüncü tip izomerler, "*K*-izomerleri" veya "*K*-traps (tuzak, kapan)" olarak adlandırılır. Şekil 2.13c de, prolate şekilli çekirdeğin simetri ekseni boyunca izomerik seviye noktalarının açısal momentum vektörü gösterilmektedir. Açısal momentum vektörünün simetri eksenine dik olduğu durumdaki kollektif rotasyonel seviyelere bozunma için, açısal momentum vektörünün yönelimi 90 derece değişir.

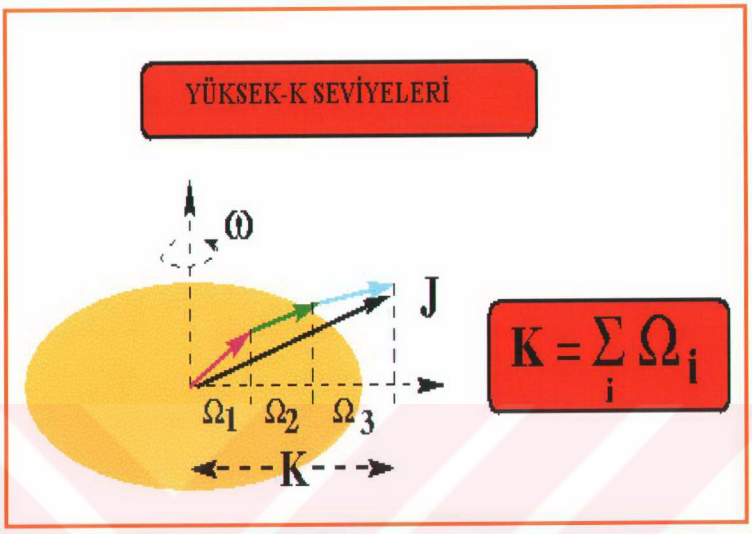
Nükleer simetri ekseni boyunca sivrilen açısal momentumun boyu veya büyüklüğü K ile tanımlanır. İyi deforme olmuş eksenel simetrik çekirdekler için, örneğin prolate şekiller gibi, K kısmen korunumludur. Diğer bir deyişle, 'iyi' kuantum sayısı olarak da adlandırılır. Büyük miktarlarla K yı değiştiren bozunmalar yasaklıdır. Bunların yavaş ilerlediği söylenebilir.

Şekil 2.13d, nükleer simetri ekseninin sallantıda olduğunu ve bu izomerlerin neden bozunduklarını gösterir. Sallantı ile, açısal momentumun (K) izdüşümü küçültülür, böylece düşük K'lı seviyelere olan bozunmanın yasaklılığı azalır. Yüksek-K izomerleri, büyük eksenel simetrik deformasyona sahip çekirdeklerde ortaya çıkar. Nükleer simetri ekseni boyunca sivrilen büyük açısal momentum izdüşümleri gereklidir.

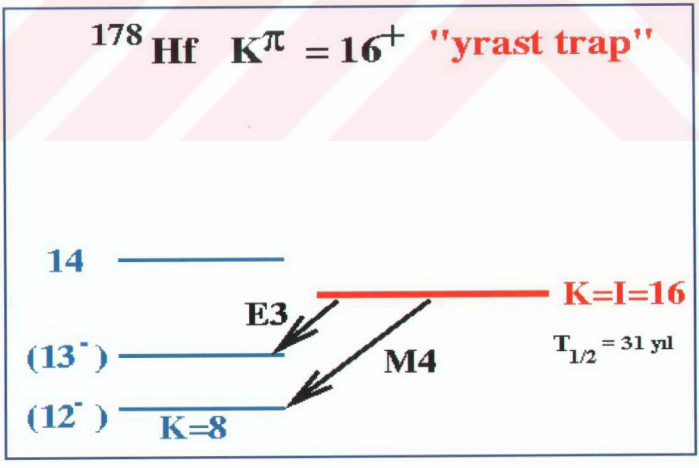
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 2.14 K-seçim kuralı.



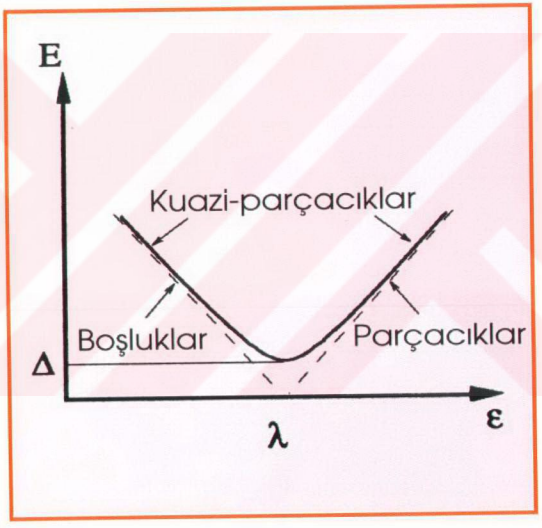
Şekil 2.15 Yüksek-K izomerik seviyeleri.



Şekil 2.16 ^{178}Hf çekirdeğine ait izomerik geçiş. K-seçim kuralı ΔK'nın büyük olması ve E_x (16) < E_x (14) olduğundan seviye "trapped" olarak adlandırılır.

2.1.4 ^{240}Pu Çekirdeğindeki $K^{\Pi} = 5^-$ Seviyesi

Bir *kuasi parçacık*, parçacık ve boşluk seviyelerinin bir karışımı olarak incelenir – doldurulmamış bir parçacık seviyesi doldurulmuş bir boşluk seviyesine eşittir. Parçacığın bulunduğu seviye arasında yapılan düzenleme, ona eş olan boşluklar arasında yapılan düzenleme ile olur. Parçacık anihilasyon (yok etme) operatörü, boşluk yaratma operatörüyle değiştirilir.



Şekil 2.17 Parçacık, boşluk ve kuasi parçacıkların seviye enerjileri. Kuasi parçacıkların enerjisi her zaman $\geq \Delta$.

^{240}Pu çift-çift çekirdeği, yarı ömrü 165 ns olan $K^{\pi} = 5^-$ iki kuasi proton seviyesine sahiptir. Temel seviye bandındaki, 6^+ ve 4^+ seviyesine sırasıyla 1014 ve 1167 keV lik elektrik dipol ($E1$) geçişi ile bozunurlar. İki kuasi proton seviyesinin Nilsson yörüngeleri $5/2^+$ [642] ve $5/2^-$ [523] dir. Bu yörüngeler $\Delta l = 1$, $\Delta j = 2$ ye karşılık gelen $i_{13/2}$ ve $h_{9/2}$ seviyelerine karşılık gelir. Eğer $5/2^-$ [523] yörüngesine $f_{7/2}$ ilave olursa, $K^{\pi} = 5^-$ seviyesindeki güçlü oktupol korelasyonlar gözlenmemektedir [1].

^{239}Pu ve ^{241}Pu çekirdeklerindeki tek kuasi nötron seviyeleri incelendiğinde, $7/2^-$ [743], $5/2^+$ [622] ve $7/2^+$ [624] Nilsson yörüngelerinin Fermi yüzeyine yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Negatif pariteli yörüngeler, küresel $j_{15/2}$ ara kabuğundan gelir ve tamamen saftır. Buna zıt olarak pozitif pariteli yörüngeler, $g_{9/2}$ ve $i_{13/2}$ bitişik küresel ara kabuklardan ortaya çıktığından, oldukça karışıktır. Bundan ötürü, ^{240}Pu çekirdeğindeki $K^\pi = 6^-$, 7^- ve 6^+ iki kuasi nötron seviyelerin uyarılma enerjileri daha düşük olmalıdır. Negatif parite seviyelerinin $\Delta j = \Delta l = 3$, $j_{15/2}$ ve $g_{9/2}$ bileşenlerinden dolayı oktupol korelasyona sahip olması beklenir [9].

$K^\pi = 5^-$ iki kuasi proton seviyesi temel seviye bandına $\Delta K = 5$ yasaklı geçişi ile bozunursa, iki kuasi nötron seviyesi onun altında olmalıdır. Bu yüzden, iki kuasi nötron seviyesinden, $K^\pi = 5^-$ iki kuasi proton seviyesine olan bozunma engellenmemiş geçişle olmaktadır. Öyleyse ^{240}Pu çekirdeğindeki yüksek – K oktupol iki kuasi nötron seviyesi K izomeri değildir. İki kuasi protonun K izomerine bozunacağı varsayıldığından, izomerden olacak gecikmiş $E1$ bozunması ile eş zamanlı "erken" bozunmalar gözlenmesi beklenmektedir. $E1$ geçişleri ile beslenen temel seviye bandındaki $E2$ geçişleri yüksek oranda iç elektron dönüştürülmüştür.

2.2 DENEYSEL TEKNİKLER

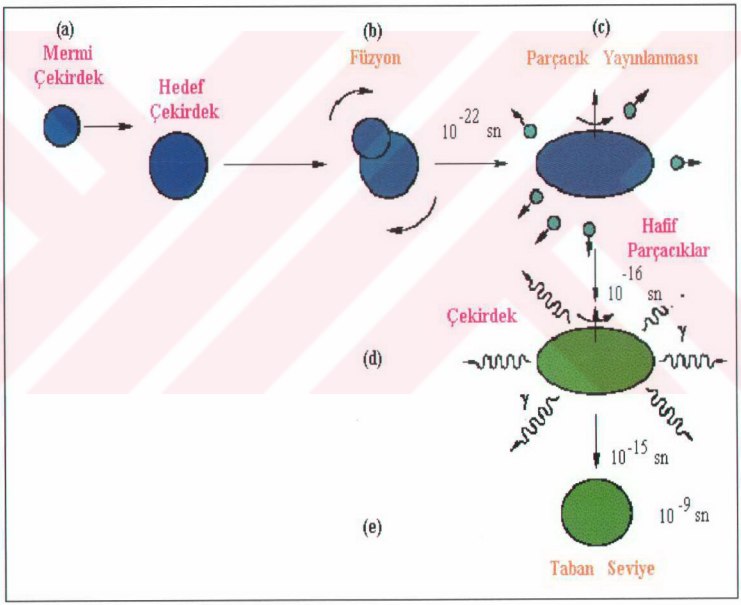
Bu bölümde ^{240}Pu, ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl çekirdeklerinin popüle olduğu reaksiyonlar, yayınlanan γ-ışınlarının dedekte edilmesi, γ-ışını enerjilerinin kaydedilme yöntemi ve hedef ile hüzme özellikleri belirtilmektedir.

2.2.1 Ağır-İyon Füzyon Buharlaşması Reaksiyonu

Günümüze kadar ağır-iyon reaksiyonlarında, uyarılmış seviye oluşumu bir çok makalede incelenmiştir. Ağır iyon reaksiyonlarında, hüzme parçacıkları ağır iyon içerir. Ağır iyon, kütlesi $A \geq 4$ olan çekirdeklerdir. Yapılan çalışmada, ^{238}U (^{4}He, 2n) ^{240}Pu ve ^{197}Au hedefi üzerine konmuş ^{176}Yb (^{4}He, xn) ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl ağır-iyon füzyon buharlaşma reaksiyonları incelenmiştir.

Ağır-iyon füzyon buharlaşma reaksiyonları, ilk başta 1936 da Niels Bohr tarafından keşfedilmiş ve daha sonra (1963) Morinaga ve Gugelot tarafından geliştirilmiştir. Bu reaksiyonlar, hüzme ve hedef çekirdeklerin birbirini etkilemesi ile oluşur. Hüzme tarafından büyük miktarlarda açısal momentum hedef çekirdeğe verilir. Coulomb bariyerini aşan enerjiyi taşıyan hüzme parçacıkların, hedefle etkileşmesi sonucu füzyon olayı olur.

Ağır-iyon füzyon buharlaşması, Şekil 2.18 de gösterilmekte ve aşağıda tanımlanmaktadır [10].



Şekil 2.18 Ağır iyon füzyon buharlaşması reaksiyonunda bileşik çekirdeğin bozunumunun şematik gösterimi.

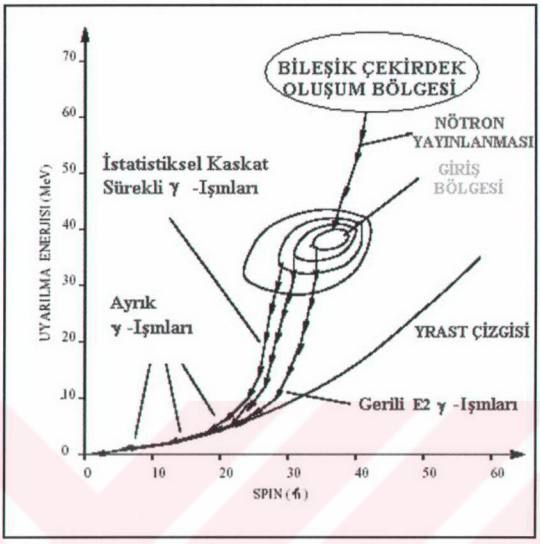
(a) Hüzme çekirdeği, hedef çekirdekle arasındaki Coulomb bariyerini aşmak için gerekli enerji ile hızlandırılır.

(b) Yüksek uyarılmış ve hızlı dönen bileşik çekirdek oluşturmak için, hüzme ve hedef çekirdekler tamamen kendi kimliklerini kaybederek kaynaşır.

(c) Bileşik çekirdek, parçacık (çoğunlukla nötronlar, protonlar ve α parçacıkları) yayınlanmasıyla enerji kaybeder ve uyarılma enerjisinin çoğunu alır.

(d) Bileşik çekirdek gerekli enerjiyi kaybeder, böylece uyarılma enerjisi yrast çizgisi üzerindeki parçacık yayınlanmasına ($\leq$ 10 MeV) ait eşik seviyesinin altında kalır. Artık çekirdeğin tekrar uyarılması, Şekil 2.19 da gösterildiği gibi istatistiksel ("cooling") ve aralıklı yayınlanma olarak iki evrede incelenen γ-ışını yayınlanması ile devam eder. İstatistiksel yayınlanma sırasında, artık çekirdekten çok küçük miktarda açısal momentum yayınlandığı halde, *E1* γ-ışınları ile büyük miktarlarda enerji taşınır. Aralıklı yayınlanma safhası, sistemden büyük miktarda açısal momentum alarak yrast çizgisi boyunca γ-ışınlarının kaskat şeklinde yayınlanmasını içerir. Bu fazda seviyelerin yoğunluğu düşük olduğundan, aralıklı bozunma sıklığı belirgindir. Bu seviye,

(e) Şekil 2.18e de gözüktüğü gibi, artık çekirdeğin γ bozunmasıyla temel seviyeye inmesine kadar devam eder.



Şekil 2.19 Ağır iyon füzyon buharlaşmasıyla uyarılmış bir bileşik çekirdeğin oluşumunu gösteren diyagram.

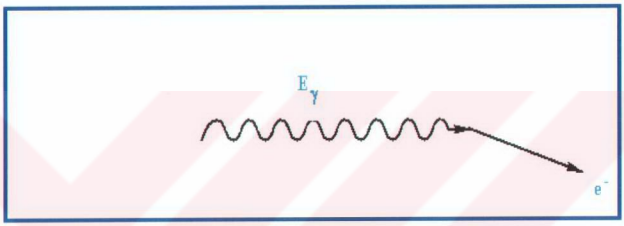
2.2.2 Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi

Bölüm 2.18 de bahsedilen, yayınlanan γ radyasyon (bileşik çekirdeğin bozunması sırasında) enerjisinin ölçülebilmesi için, açığa çıkan radyasyonun dedektör materyaliyle etkileşmesi gerekmektedir. Bunlar ;

1. Fotoelektrik Olay : Şekil 2.20 de gösterildiği gibi başlangıçta foton bir atomik elektronla (e^-) etkileşir ve E_γ enerjisinin tümü absorblanır (yutulur). Elektron atomdan, E_e kinetik enerjisiyle dışarı atılır [11].

$$E_e = E_\gamma - E_b \tag{2-8}$$

E_b elektronun bağlanma enerjisini verir. Fotoelektrik olay düşük enerjilerde (< 200 keV) en güçlü etkileşme olayıdır ve enerji arttıkça bu olay hızla azalır.

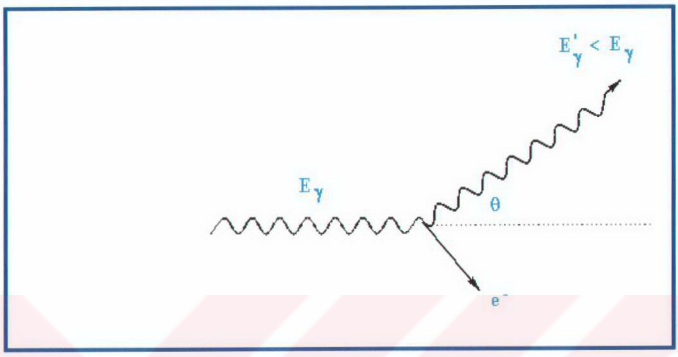


Şekil 2.20 Fotoelektrik olay oluşumu.

2. Compton Saçılması : E_γ enerjili başlangıç fotonu bir elektrondan saçılır ve E_e enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır (Şekil 2.21). Geri kalan enerji $E_\gamma^{'}$, foton tarafından taşınır [11]. Enerji ve momentum korunumundan faydalanarak enerjiler arasındaki ilişki :

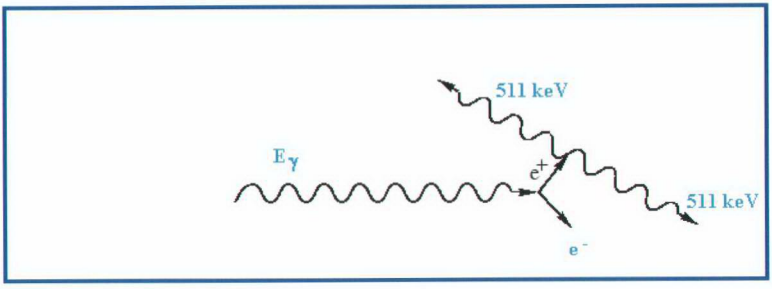
$$E_\gamma^{'} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2}(1 - \cos\theta)} \tag{2-9}$$

olarak ifade edilir. Bu denklemde, $m_e c^2$ (= 511 keV) elektronun durgun kütle enerjisine eşit olup, θ ; γ ışınlarının saçılma açısını vermektedir. Maksimum enerji transferi, $\theta = 180^\circ$ de olmaktadır. Bu olay, 200-1000 keV enerji aralığı için daha etkilidir ve artan enerjiyle azalır.



Şekil 2.21 Compton saçılma olayı.

3. Çift Oluşum : Bu yöntem (Şekil 2.22) yalnızca atomun Coulomb alan içerisinde kullanılır. Elektron-pozitron çifti üretmek için gerekli olan eşik γ ışını "eşik" enerjisi $2m_ec^2$ (> 1022 keV) den büyüktür. Eşiğin üzerindeki artık enerji, elektron ve pozitronun (e^+) kinetik enerjisidir. Böylece hem elektron hem de pozitron materyalde yavaşlatılacak ve sonuç olarak pozitron elektronla reaksiyona girerek yok olacaktır. Çok yüksek enerjilerde çift oluşum yaygındır ve artan enerjiyle artar [11].



Şekil 2.22 Çift oluşum/anihilasyon olayı.

AFRODITE dedektör topluluğunda kullanılan germanyum dedektörlerinin, γ-ışınlarını dedekte edebilmesi için bu üç yöntem kullanılmaktadır [10]. Bu nedenle, ağır-iyon füzyon buharlaşması reaksiyonlarını inceleyebilmek için aşağıda belirtilen araçlar kullanılmaktadır :

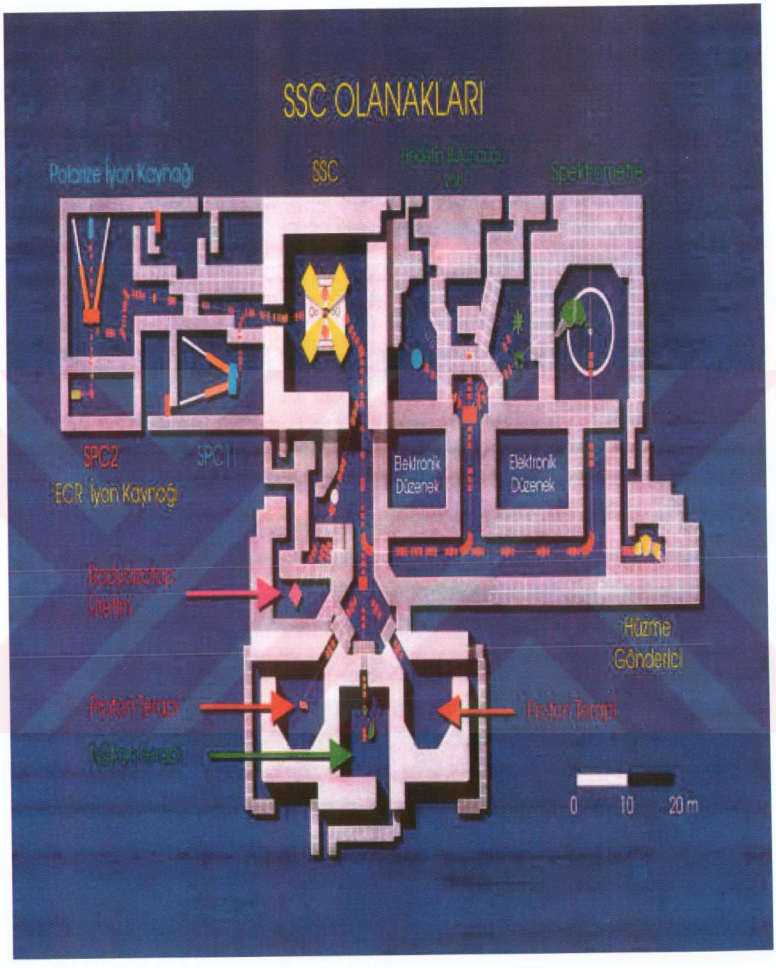
- Hızlandırıcı,
- Hüzme yolu (beam line),
- Zenginleştirilmiş hedef ve
- Dedektörler.

2.2.3 Deneysel Düzenek

2.2.3.1 iThemba LABS

iThemba LABS (**L**aboratory for **A**ccelerator **B**ased **S**ciences) Şekil 2.23' ten de görüleceği gibi iki adet solid-pole injektör hızlandırıcısına sahiptir. Bunlar, hafif-iyonları hızlandırmak için kullanılan K = 8 MeV (SPC1) ve ağır-iyon ile polarize edilmiş hidrojen-iyon hüzmesi için kullanılan K = 10 MeV (SPC2) dir.

K = 200 MeV Separated-Sector Cyclotron (SSC) (ölçüleri : çapı 13.2 m ve yüksekliği 7 m) dört sector magnete sahiptir. SPC2, SSC ile birlikte deneyde kullanılması istenen $\approx$ 30 MeV enerjili ^{4}He hüzmesini iletmekte kullanılmıştır. Yapılan her iki deney için, hüzme X, P_1 ve R hüzme yolları (Şekil 2.23) boyunca SSC tarafından yönetildi. Ve sonuç olarak hüzme, Şekil 2.23 te gösterilen, F-yolundan, AFRODITE dedektör topluluğuna gönderildi.



Şekil 2.23 iThemba LABS da gerçekleştirilen çalışmaların şematik gösterimi.

2.2.3.2 AFRODITE Dedektör Topluluğu

Ağır iyon demetleri kullanılarak oluşturulan reaksiyonlar sonucu açığa çıkan çekirdeklere ait yüksek spin seviyelerinin incelenmesi, uyarılmış çekirdeklerin yayınlamış olduğu γ-ışınlarının saptanması ile mümkündür. Reaksiyon sonucu meydana gelen birçok nükleer durumun bozunması sonucu γ-ışınlarından oluşan geniş bir background meydana gelir. Bu γ-ışınlarını ayırt edebilmek için çok dedektörlü sistemler kullanılır.

Hızlandırıcı teknolojisinin gelişmesiyle yüksek kaliteli ve çok çeşitli hüzmelerin üretilmesi mümkün olmuştur. Yüksek şiddetteki demetler zayıf gama ışınlarının ve iç dönüşüm elektronlarının algılanmasında kullanılmaktadır. Nükleer özelliklerin sayısında gözlenen artış ile hızlandırıcı teknolojisi ve dedeksiyon teknikleri de gelişmiştir.

Birçok dedektörden oluşmuş dedektör toplulukları, gama ışınlarının çoğalmasını (multiplicity), açısal dağılımını ve gama ışınları topluluğunun koinsidansını verimli bir şekilde ölçebilmektedirler. Dedektör konfigürasyonu, gama-ışın spektrumundaki Compton kuyruklarını bastırmak, düşük ve orta enerjideki gama ışınlarını seçmekte kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak 4π katı açısını kaplayan dedektörler, yayınlanan gama ışınlarının toplam enerjisini ölçmede kullanılır. Gama ışınının enerjisi modüllerden alınan tüm sinyallerin toplamından, gama ışınının yönü ise açısal dağılımlardan elde edilir.

Nükleer reaksiyonlarla geri tepen çekirdeğe verilen büyük açısal momentum ile gama ışınlarındaki Doppler etkisi kullanılarak yarı ömür hesaplamaları yapılır. Çoklu Coulomb uyarılması, yüksek spin durumlarına kadar elektromagnetik geçiş momentlerinin belirlenmesinde ve artık çekirdeğin açısal momentumunun sıralanması da açısal korelasyon çalışmaları için kullanılır. Böylece spin ve multipolaritelerle ilgili bilgiler elde edilir.

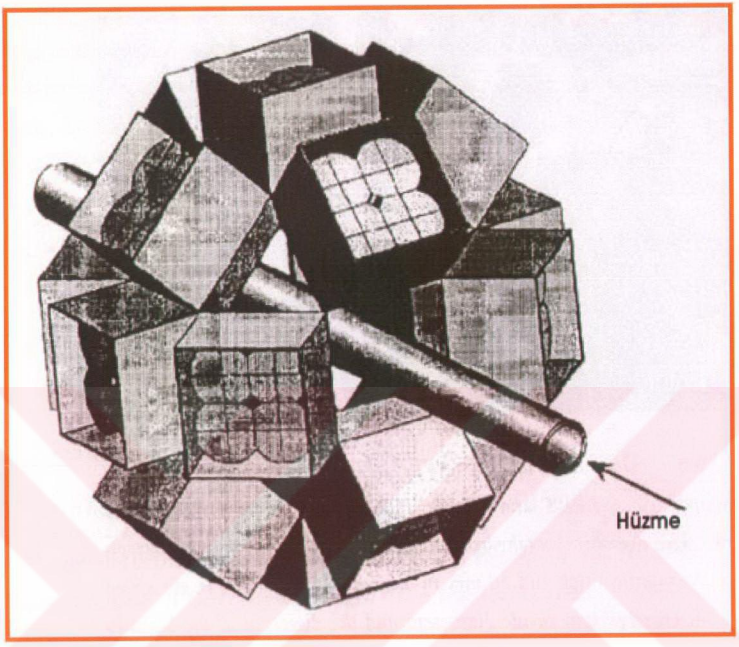
Dedektör toplulukları yüksek verim, iyi enerji rezolüsyonu, gama ve nötron backgroundlarında azalma sağlarlar. En iyi enerji rezolüsyonu Ge(Li) ve ya HPGe dedektörleri ile elde edilir. Bütün gama ışın enerjilerini dedekte edebilmek için HPGe kristalleri birden fazla segmente ayrılmışlardır.

Tezin deneysel kısmı, Güney Afrika Cumhuriyeti (Cape Town) iThemba LABS siklotron kompleksi içindeki nükleer fizik deneyleri için kurulmuş olan çok dedektörlü gama ışın spektrometresi AFRODITE'de yapılmıştır. AFRODITE, "**AFR**ican **O**mnipurpose **D**etector for **I**nnovative **T**echniques and **E**xperiments"ın kısaltılmasıdır. Şekil 2.25 te gösterildiği gibi, LEPS ve CLOVER olarak adlandırılan, iki tip yüksek saflıkta germanyum (High-Purity Germanium; HPGe) dedektörü içermektedir. AFRODITE dedektör topluluğunun alüminyum çerçevesi, 18 kare ve 8 üçgen kesimli rombokübikoktahedrondan oluşur [10].

Şekil 2.24 te gösterildiği gibi dedektör topluluğunun şekli, "Grand Accelerateur National d'Ions Lourds" (GANIL) deki "Systeme de Production d'Ions Radiactifs et d'Acceleration en Ligne" (SPIRAL) ile taşınan egzotik hüzme parçacıklarının nükleer spektroskopi için kullanıldığı EXOGAM dedektör topluluğuna benzer.

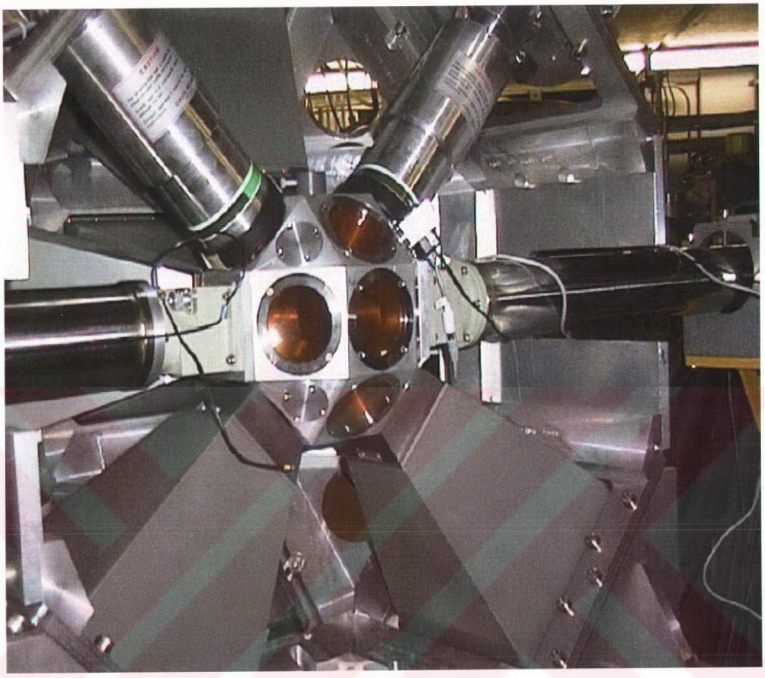
Fotonların kolayca geçebilmesi için 16 kare yüzü üzerinde 25 μm'lık ince KAPTON (mylar) penceresi vardır. Hüzme doğrultusunda olduğundan, 0° ve 180° deki iki kare kesitten hüzme yolu geçer (EXOGAM için şekil 2.24, AFRODITE için şekil 2.25 te gözükmektedir).

Bu konfigürasyon, saçılan hüzmenin yaydığı radyasyona karşı en verimli korunmayı sağlar. Hüzme doğrultusu ile 90° lik açı yapan AFRODITE'nin en üst kare kesitine hidrolik hedef konumlandırıcı yerleştirilmiştir. Diğer 15 kare yüzeye de Şekil 2.25 te görüleceği gibi dedektörler yerleştirilmiştir. CLOVER dedektörleri, γ-ışınlarını algılamada yüksek verimli bir sintilatör olan BGO (**B**izmut **G**ermanyum-**O**ksid) içeren Compton bastırılmış zırhının (Şekil 2.25) içine yerleştirilir [10].



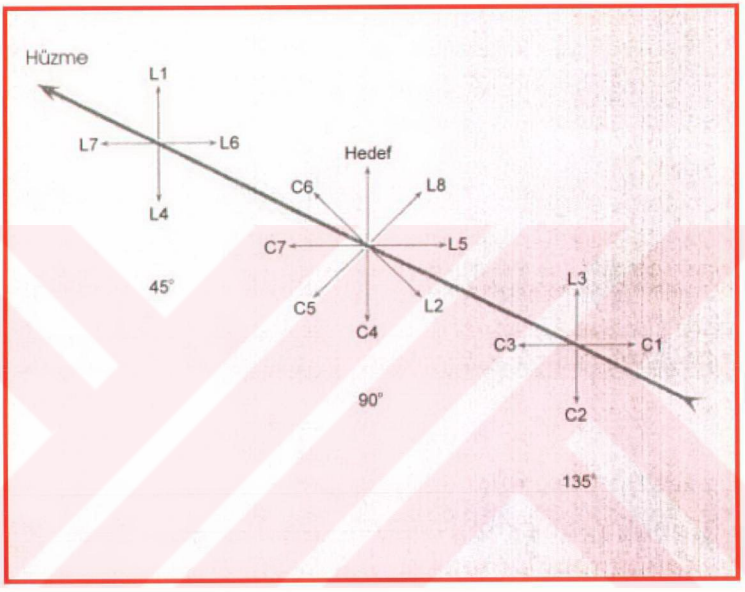
Şekil 2.24 EXOGAM dedektör topluluğu. Bu şekil AFRODITE dedektör topluluğunda yer alan rombokübikoktahedron şekle benzer. EXOGAM dedektör topluluğu aynı AFRODITE dedektör topluluğu gibi 45°, 90° ve 135° de bulunan üç dedektör konumlayıcı dairesel çerçeveden oluşur.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 2.25 LEPS ve BGO zırhları içerisinde yer alan CLOVER dedektörlerinden oluşan AFRODITE dedektör topluluğu. Rombokübikoktahedron şekilli hedef odası toplam 16 kapton cama sahiptir. Şekilde gözüken hüzme yolunda, hüzmenin doğrultusu sağdan sola doğrudur.

Şekil 2.26'dan da görüldüğü gibi, dört adet LEPS dedektörü hüzme yoluyla 45^0 açı yapacak şekilde, üç adet LEPS ve dört adet CLOVER dedektörü hüzme yoluyla 90^0 açı yapacak şekilde ve bir adet LEPS ve üç adet CLOVER dedektörü hüzme yoluyla 135^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.



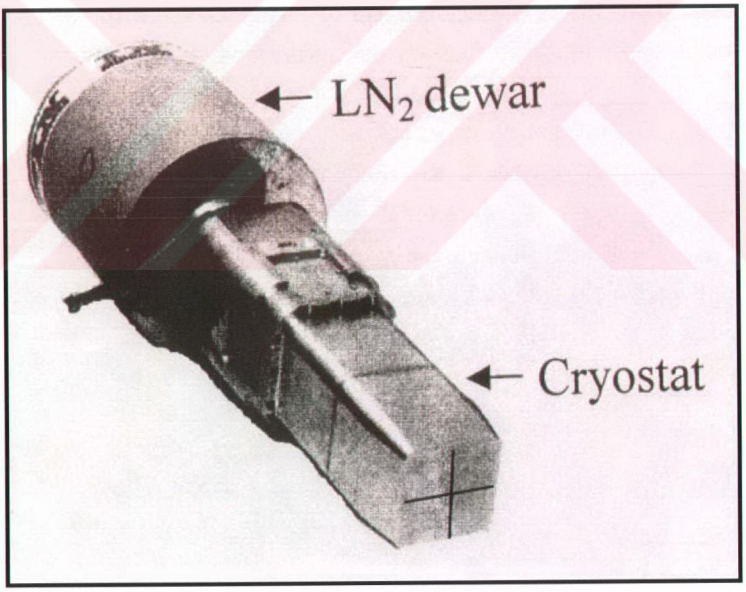
Şekil 2.26 AFRODITE dedektör topluluğuna ait konumlayıcı dairesel çerçeve ve deney sırasında geçerli olan dedektör konfigürasyonu.

LEPS ve CLOVER Dedektörleri

LEPS dedektörleri, kalınlığı 10 mm ve çapı 60 mm olan tek kristalli p-tipi HPGe dan oluşur. Her bir kristal elektriksel olarak dört kuadranta ayrılmıştır. 8 LEPS dedektörünün hepsi, dedektör topluluğunda farklı açılara yerleştirilmiştir. LEPS dedektörlerinin dewar (hazne) kapları, muhafaza edilen tanklardan her 24 saatte bir bağlantı borularıyla sıvı nitrojenle (LN_2) doldurulur [10].

AFRODITE dedektör topluluğunda, hedefin durdurulmasında kullanılan end-capla hedef odası arasındaki uzaklık 4 mm ve kristal yüzeyinden hedefin merkezine olan uzaklık ise D_{tc} = 119 mm dir. Dedektör end-capından kristal yüzeyine olan uzaklık D_{ec} = 15 mm dir. Dedektörlerin toplam açılma açısı $T_{ang} = 28.3^{\circ}$ olup dedektör başına katı açı S_{ang} = 1.57 % dir.

CLOVER dedektörleri – Şekil 2.27 de gösterildiği gibi, dört yapraklı bir yoncaya (CLOVER) benzer şekilde dizayn edilen dört n-tipi koaksiyel HPGe kristalinden oluşur. Kristallerin aralığı 0.2 mm dir. Kristallerin boyu 70 mm, çapı 50 mm, tapering uzunluğu 36 mm ve kristal yüzeyin köşegeni 50 mmdir. Kristaller tapered dikdörtgen şekilli bir kriostat içinde bulundurulmaktadır (Şekil 2.27). Deneyler sırasında kullanılan CLOVER dedektörlerinin hüzme doğrultusuna göre konumları Tablo 2.2 de gösterilmektedir. CLOVER dedektörleri, her 12 saatte bir otomatik olarak muhafaza edilen tanklardan LN_2 ile doldurulur. D_{tc} = 196 mm, D_{ec} = 20 mm, $T_{ang} = 23.2^{\circ}$ ve S_{ang} = 1.34 % dir [10].



Şekil 2.27 Silindirik sıvı nitrojen (LN_2) haznelerindeki (dewarları) ve tapered dikdörtgen kriostatın gösterildiği CLOVER dedektörü.

2.2.3.3 Compton Bastırılmış Zırhı

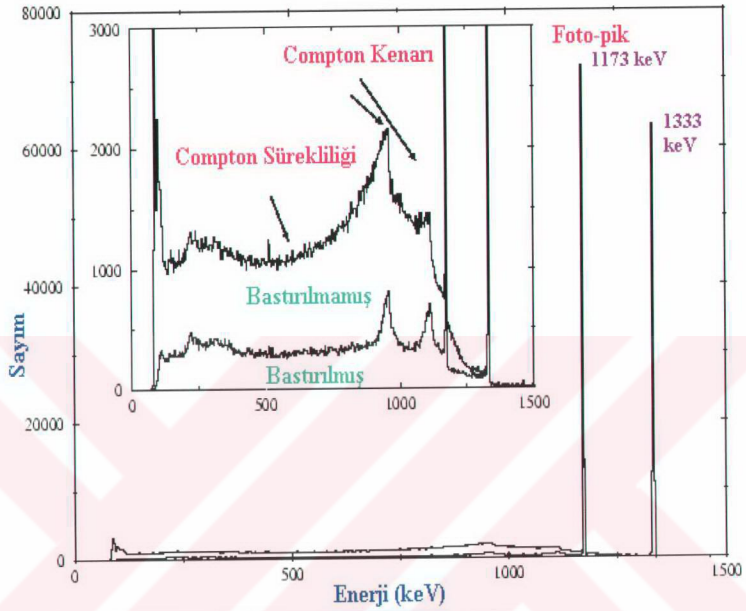
BGO (boyu ≈ 26 cm) Compton bastırılmış zırhı, istenmeyen γ-ışını Compton background'unu elimine etmeyi sağlar. Bu yöntem, Compton bastırılması (supressed) olarak adlandırılır. Kaynak, hedef odası içinde hedef ladder (çoklu çerçeveli hedef tutucu)'a yerleştirilir. Tetikleme şartı (trigger logic) olarak dedektörlerin $\frac{1}{15}$'i, yani dedektör topluluğunda bulunan on beş dedektörden en az birine bir γ geldiğinde, bunun bir olay olarak teybe kaydedilmesini ayarlar. Bastırılmış zırh ile, germanyum kristalinden saçılmış Compton γ-ışınları BGO zırhı tarafından engellenir. Bastırılmamış zırh ile, BGO zırhına saçılmış olan ve olmayan, CLOVER lar tarafından dedekte edilen tüm γ-ışınları gösterilir. Foto-pik sayım sayıları aynı olduğu takdirde bastırılmamış ve bastırılmış spektrumlar normalize edilir. Bastırılmamış spektrumun bastırılmış spektruma oranından Compton bastırılma faktörü (**C**ompton **S**upression **F**actor; CSF) elde edilir ve bunun içinde background çıkartılması gerekmektedir [10]. 100 keV üzerindeki enerjiler için, bir foto-pikin sayım sayısının (N_{peak}) spektrumdaki toplam sayım sayısına (N_{total}) oranı olan P/T (Peak-to-Total):

$$P/T = \frac{N_{peak}}{N_{total}} \tag{2-10}$$

formülü ile ifade edilir.

Compton saçılması olayında da belirtildiği gibi, germanyum dedektörüne gelen γ-ışınları enerjilerinin tamamını dedektöre aktarmazlar böylece geniş bir Compton sürekliliğine (Şekil 2.28) sebep olurlar.

Compton kenarı, Compton saçılması deneyinde $\theta = \Pi$ olduğunda maksimum enerji kaybının olduğu bölgeyi ifade eder. Bir foto-pik, γ- ışını spektroskopisi ile ilgili çalışanlara yönelik bir alandır. Dedektöre gelen γ-ışın enerjisinin tamamını germanyum dedektörüne aktardığının göstergesidir.

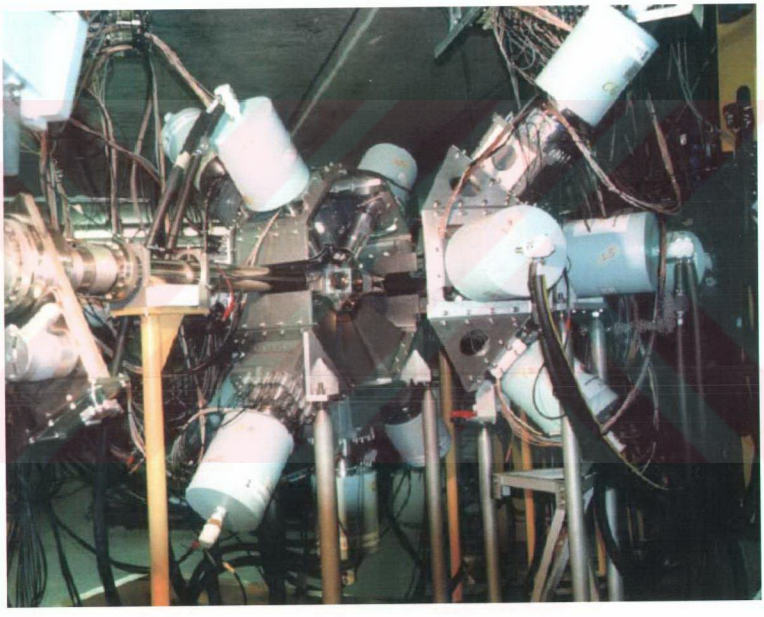


Şekil 2.28 ^{60}Co kaynağına ait Compton bastırılmış ve bastırılmamış spektrumları.

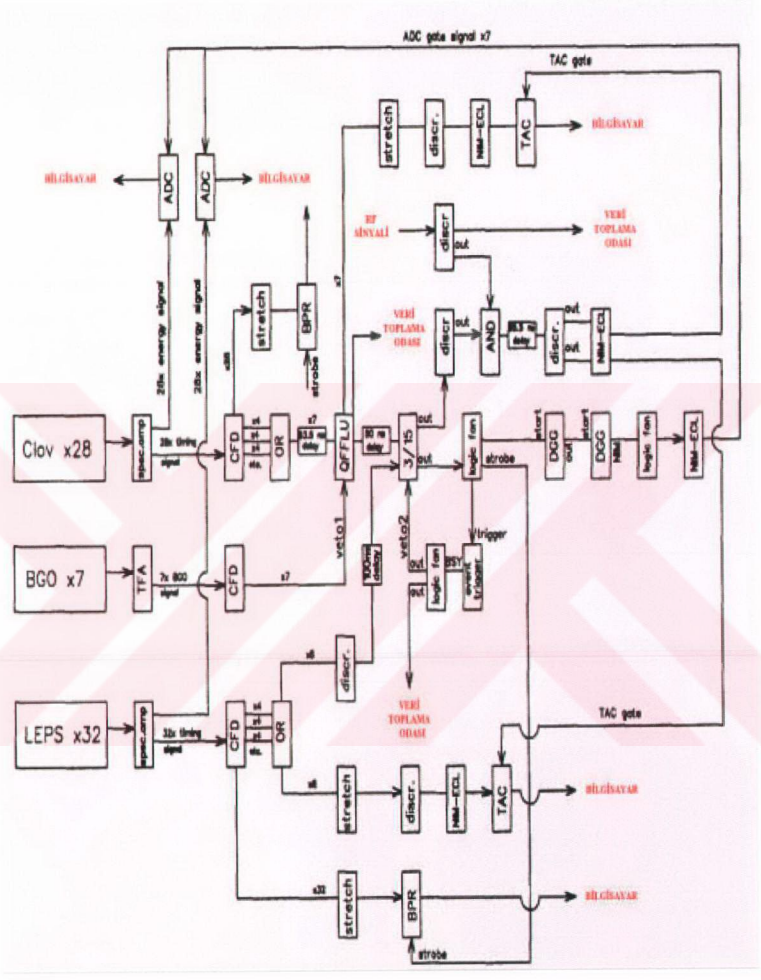
2.2.3.4 Elektronik ve Veri Toplama Sistemi

Şekil 2.23 te gösterilen, F hüzme yolu ile belirtilen AFRODITE vaultunda, Şekil 2.30 daki, standart NIM (Nuclear Instrumentation Method) ve CAMAC (Computer Automated Measurement and Control) üniteleri kullanılmaktadır. Vault içindeki 4000-VLC VAX-istasyonu, VMS operasyon sistemi ve XSYS software paketi ile çalışır. XSYS software paketinin deney öncesi ADC thresholdu, sıfır başlangıcı (zero offset) düzeltmesi, statü kelimesini (status word) ayarlama ve deney sonrası veri toplama, ışınlama anı spektrumları ve elde edilen olay sayımını görüntüleme gibi görevleri vardır [10].

Enerji ve zamanlama devresi olarak adlandırılan iki alt devreden oluşan elektronik devreye ait diyagram Şekil 2.30 da gösterilmektedir. Deneyde, CLOVER dedektörlerinin sahip olduğu her bir segmentten gelen 32 adet, LEPS dedektörlerinin sahip olduğu her bir segmentten gelen 28 adet yani toplam 60 elektronik sinyal ve 7 BGO dedektör elemanı (Şekil 2.29) kullanılmıştır .



Şekil 2.29 AFRODITE alüminyum çerçevesinin sağ ve sol kısmı. Çerçeve LEPS ve CLOVER dedektörlerini taşımaktadır. Sıvı Nitrojenlerin dewar'a bağlantı boruları gözükmektedir.



Şekil 2.30 AFRODITE dedektör topluluğuna ait elektronik düzenek.

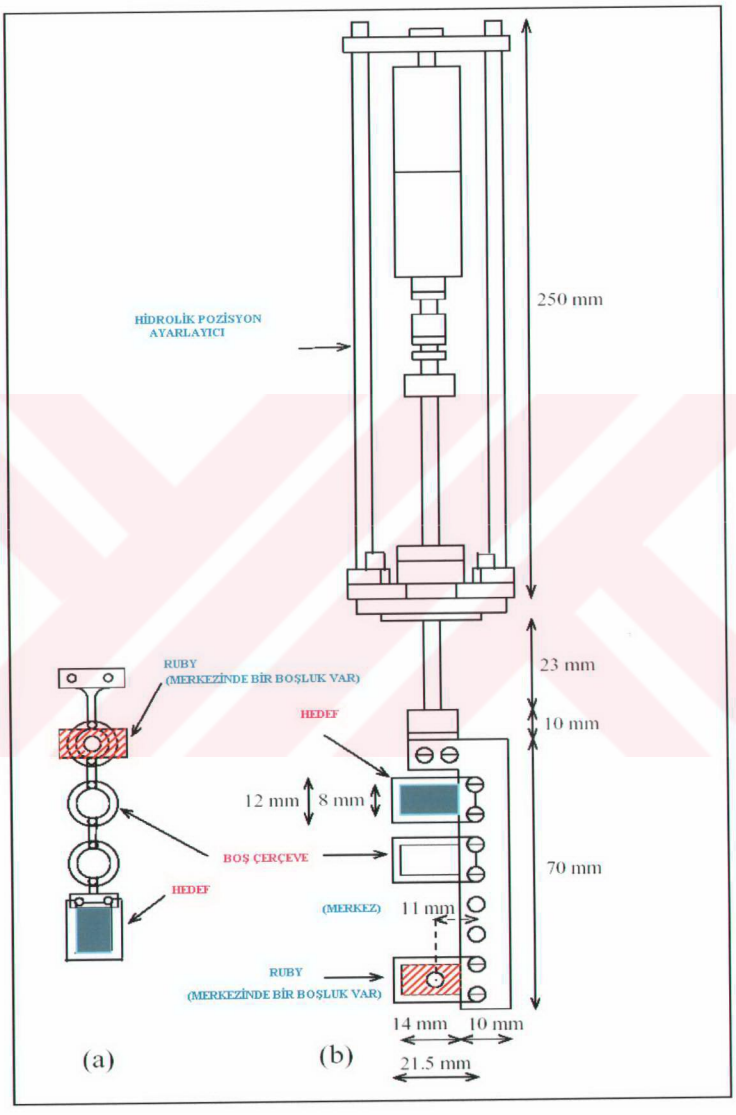
2.2.4 Hedef ve Hüzme Özellikleri

Deneyler için, iThemba LABS daki Materyal Araştırma Grubu tarafından, hedef kalınlığı ve materyal, PIXE (Particle Induced X-ray Emission) yöntemiyle test edildi. Birinci deneyde, hedef olarak ~300 mg/cm^2 kalınlıklı ^{238}U kullanılırken ikinci deneyde hedef olarak ~3 mg/cm^2 kalınlıklı ^{197}Au üzerine konmuş ^{176}Yb kullanılmıştır. Çoklu çerçeveli hedef tutucuya hedef, yakut (ruby) ve bir boş çerçeve yerleştirilir (Şekil 2.31).

Deneyde Şekil 2.31b de gösterildiği gibi, çoklu çerçeveli hedef tutucu ve hidrolik konumlandırıcı kullanılmıştır. Hidrolik konumlandırıcı yerleştirilen çoklu çerçeveli hedef tutucu, hüzme ayarı sırasında otomatik olarak veri toplama odasından veya vaulttan kontrol edilmektedir. Şekli rombokübikoktahedron olan hedef odasının, hüzme doğrultusundan 90° uzaklıkta bulunan on altıncı kesitine çoklu çerçeveli hedef tutucu veya hem çoklu çerçeveli hedef tutucu hem de hidrolik konumlandırıcı yerleştirilir (Şekil 2.31b).

Hüzme ayarı yapılmadan önce, hedef odası ve hüzme yolu boşaltıldı. Kontrol odasından, çapı 3 mm olan yakutun merkez-boşluğuna yapılan fokuslamayla hüzme ayarlandı. Hedef odasına yerleştirilmiş bir kamera, hüzme yakut materyaline çarpınca kontrol odasındaki bilgisayar monitöründe fluoresans gözlenmesine yol açar. Dipol magnetler, kuadropol magnetler ve solenoid lenslerde ayarlamalar yapılarak yakut merkez-boşluğunda hiç fluoresans gözlenmeyecek şekilde hüzme yönlendirildi.

Hüzmenin çevresinde bir daire şeklinde *halo* denen parçacıklar bulunur. Halo'yu kontrol etmek için, hüzme boş çerçeveyi vuracak şekilde ayarlanır. Halo ; maksimum şiddette gelen hüzmenin hedef çerçevesine çarpıp çarpmadığını ve ayrıca background sayım miktarını ölçer. Ardından sırasıyla her iki deneye ait hedef çekirdekleri hüzme geliş doğrultusunda olacak şekilde ayarlandı. Deneylerin sayım hızına göre hüzme şiddeti ayarlandıktan sonra, veri toplamaya başlandı.



Şekil 2.31 (a) Önceden kullanılan elle yönetilen çoklu çerçeveli hedef tutucu (b) otomatik olarak yönetilen çoklu çerçeveli hedef tutucu ve hidrolik konumlandırıcı.

iThemba LABS da bulunan SSC, Tablo 2.1 de gösterilen bütün hüzmeleri taşıyabilmektedir. Bu hüzmeler, fizik deneylerinde, radyoizotop üretiminde, proton ve nötron terapisinde kullanılmaktadır.

Tablo 2.1 iThemba LABS da SSC tarafından iletilen ağır iyon hüzmeleri.

İyon	Yük	Hüzme Enerjisi (MeV)
$^{1}_{1}H$	1+ 2+	66, 200 32
$^{4}_{2}He$	2+	65, 160, 200
$^{11}_{5}B$	2+	55, 60
$^{12}_{6}C$	3+ 4+ 5+	58, 150 100, 150, 180, 200, 230 300, 320, 360, 380, 400
$^{13}_{6}C$	3+	82
$^{14}_{7}N$	4+ 5+ 6+	140 250 400
$^{16}_{8}O$	3+ 5+ 6+	100 200, 250, 300 400
$^{18}_{8}O$	4+	85, 90, 110

$^{20}_{10}Ne$	4+	110, 115, 120, 125
$^{22}_{10}Ne$	4+	125
$^{24}_{12}Mg$	5+	SSC de gözlenmedi
$^{27}_{13}Al$	7+	150, 155
$^{28}_{14}Si$	5+	141
$^{32}_{16}S$	11+ 9+	250, 205
$^{40}_{18}Ar$	8+	280, 380
$^{40}_{20}Ca$	8+	SSC de gözlenmedi
$^{56}_{26}Fe$	11+	SSC de gözlenmedi
$^{64}_{30}Zn$	10+	165, 260
$^{79}_{35}Br$	14+	SSC de gözlenmedi

$^{84}_{36}Kr$	13+ 14+ 15+	420 462 420, 450, 530
$^{121}_{51}Sb$	22+	700
$^{127}_{53}I$	22+	730
$^{129}_{54}Xe$	17+ 22+	460 790
$^{131}_{54}Xe$	16+	350
$^{136}_{54}Xe$	22+	757, 750
$^{184}_{74}W$	17+	SSC de gözlenmedi
$^{202}_{80}Hg$	21+	SSC de gözlenmedi

2.2.5 Deneyler

Bu deneyde, Güney Afrika Cumhuriyeti iThemba LABS da bulunan siklotrondan elde edilen yaklaşık 30 MeV enerjili ^{4}He hüzmesiyle, doğal bolluğu %99.7 olan 300 mg/cm^{2} kalınlığında ^{238}U hedefi ve yine yaklaşık 30 MeV enerjili ^{4}He hüzmesiyle 3mg/cm^{2} kalınlığında ^{176}Yb (^{197}Au üzerinde) hedefleri ile meydana gelen reaksiyonlar incelenmektedir.

Reaksiyon sonucunda açığa çıkacak olan ürün çekirdeklerin gama bozunmalarını ve karakteristik X ışınlarını gözlemleyebilmek için çok dedektörlü gama ışın spektrometresi AFRODITE kullanılmıştır.

Deneyler sırasında, dedektör topluluğuna birbiriyle eş zamanlı gelen veriler manyetik DLT (Digital Linear Tapes) teyplerine işlem görmemiş darbe yüksekliği olarak kaydedilir. Analiz prosedürünü kolaylaştırmak için, deneylerin sonunda teyplerdeki veriler uygun formata dönüştürülür.

^{238}U (^{4}He, 2n) ^{240}Pu (1. deney) ve ^{197}Au üzerinde ^{176}Yb (^{4}He, xn) $^{177\text{-}178}Hf$, ^{199}Tl (2. deney) çekirdekleri, ağır-iyon füzyon buharlaşma reaksiyonunu gerçekleştirmektedir. Birinci deney için elde edilen spektrumların backgroundunda fazla miktarda fisyon ürünleri açığa çıkmaktadır. Bu durum, merkezkaç kuvvetine karşı artık çekirdeğin kararlılığını yitirmesinden kaynaklanır.

$^{238}U + {}^{4}He$ reaksiyonu sonucunda açığa çıkabilecek izotoplardan sadece iki nötron buharlaşması ile ^{240}Pu çekirdeği açığa çıktığı gözlenmiştir. İkinci deneyde gerçekleştirilen ^{197}Au üzerinde $^{176}Yb + {}^{4}He$ reaksiyonu sonucunda ise $^{177\text{-}178}Hf$ ve ^{199}Tl çekirdeklerinin açığa çıktığı gözlenmiştir. Her iki deney için geçerli olan reaksiyon mekanizması, "kütle transferi" olarak ta bilinen **tamamlanmamış füzyondur**.

Eğer mermi-hedef sistemi şiddetli asimetrik ise mermi çekirdekten hedef çekirdeğe büyük miktarda kütle transferi olur. Artık parçacığın hızı ise mermi hızına çok yakın bir değerde kalır. Bu olay "kütle transferi" veya tamamlanmamış füzyon olarak adlandırılır.

Deneyler sırasında, hüzme enerjisi ($\approx$ 30 MeV) düşük olduğundan, bileşik çekirdeğin toplam hızı da düşük olacaktır ve çabuk yavaşlayacaktır. Tablo 2.2 de deneylere ait detaylı bilgi verilmektedir. Birinci ve ikinci deney için, mermi olarak kullanılan ^{4}He hüzme enerjisi yaklaşık 30 MeV dir. Hüzme, SSC tarafından taşındı. Birinci deneye ait hüzme akımı yaklaşık 0.2 – 0.5 nA arasında, ikinci deney için ise 0.7-0.9 nA arasında değişiklik göstermiştir. Temel darbe ayırımı (basic pulse seperation) yaklaşık 57.6 ns olarak hesaplanmıştır. Darbe seçimi 5 te 1 alındığından yaklaşık her iki darbe aralığı 300 ns dir.

Tablo 2.2 I. ve II. Deneylere ait detayların bir özeti.

	I. Deney	II. Deney
45° deki dedektörler	4 LEPS	4 LEPS
90° deki dedektörler	4 CLOVER, 3 LEPS	4 CLOVER, 3 LEPS
135° deki dedektörler	3 CLOVER, 1 LEPS	3 CLOVER, 1 LEPS
Hedef	^{238}U	^{197}Au üzerine ^{176}Yb
Hedef Kalınlığı	300 mg/cm^2	3 mg/cm^2
Hüzme	^{4}He	^{4}He
İki Darbe Aralığı	~300ns	~300ns
Darbe seçimi	1/5	1/5
Hüzme enerjisi	~30 MeV	~30 MeV
Hüzme akımı	0.2 – 0.5 nA	0.7 – 0.9 nA
Bileşik Çekirdek	^{242}Pu	^{180}Hf , ^{201}Tl
Artık Çekirdekler	$^{240}Pu + 2n$	$^{177}Hf + 3n$, $^{178}Hf + 2n$, $^{199}Tl + 2n$
Logic şart	≥ 3	≥ 3
Readout	Ferabus	Ferabus

III. BULGULAR

3.1 ANALİZ PROSEDÜRÜ

AFRODITE dedektör topluluğunda gerçekleştirilen deney sırasında MIDAS veri toplama sistemi ile olay-olay exabyte teyplere kaydedilen veriler, deney sonrası yine aynı veri toplama sistemine uygun olarak yazılmış, MTsort programı kullanılarak sort edilmiştir. Sort işleminden sonra analizin yapılabilmesi için, hem VMS hem de UNIX işletim sistemleri altında çalışabilen, RADWARE çok dedektörlü spektroskopik analiz programı kullanılmıştır [12].

Elde edilen verilerin okunması, ayrıştırılması (*sorting*) ve düzenlenmesi; XSYS formatında olay-olay elde edilen verilerin okunması, tek spektrumların üretilmesi, kazanç uyuşturulma katsayıları kullanılarak oluşturulan yeni sıkıştırılmış formatın elde edilmesi, matris dosyalarının oluşturulması, oluşturulan matris dosyalarına ait spektrumların incelenip analizinin yapılmasını içermektedir [10].

3.1.1 Enerji Kalibrasyonu

Enerji kalibrasyon verileri, her hafta sonu yapılan deney öncesi ve sonrasında, hedef yerine sırasıyla ^{152}Eu ve ^{133}Ba radyoaktif kaynakları konularak elde edilmiştir. ^{133}Ba kaynağı, düşük enerjili LEPS dedektörlerinin kalibrasyonu için, ^{152}Eu kaynağı ise, yüksek enerjili gama ışınlarının kalibrasyonu için kullanılmıştır. Böylece her bir deney öncesi ve sonrası radyoaktif kaynak verilerine ait enerji kalibrasyon parametreleri elde edilmiştir. AUTOCAL-NEW adlı bir peak-fitting programı kullanılarak spektrumlardaki her bir kaynağın (^{152}Eu ve ^{133}Ba) foto-pik merkezleri elde edilmektedir [12]. Bu program, başlangıçtaki lineer enerji kalibrasyon parametrelerini (Linear Energy Calibration Parameters, LECP) bulmak için

$$T_e = a\,M_e + b \tag{3-1}$$

formundaki lineer fonksiyona uygundur. Denklemde yer alan a ve b katsayıları, deney sırasında kullanılan LEPS ve CLOVER dedektörlerinin her bir elemanı için ayrı bir değer alır. Gerçek γ-ışın enerjisi T_e ile ve ölçülmüş darbe yüksekliği M_e ile ifade edilir [10].

3.1.2 Kazanç Uyuşturulması

Deneyler sırasında, AFRODITE dedektör topluluğunun bulunduğu vaulttaki sıcaklık değişimlerinin, dedektörlerin ön elektroniğine ve dedektörlere etkisi ile her bir dedektöre ait farklı segmentlerde, belli bir enerjiye karşılık gelen piklerin birbirlerine göre biraz kaymış olduğu gözlenmiştir. Bu kaymaları düzeltebilmek ve belli bir enerji değerine sahip bir pikin, bir dedektöre ait bütün segmentlerde aynı pozisyona gelmesini sağlamak için kazanç uyuşturulması yapılmaktadır. β bozunması yapan radyoaktif kaynak kullanılarak, elde edilen spektrumlarda kazanç uyuşturulması yapılmıştır. Kullanılan kaynak hedef pozisyonunda sabit ise, o zaman Doppler kaymasına uğramamıştır. Bu kaynağın pik enerjileri bilindiğinden, enerji farkına karşı kanal numara dağılımını veren her bir enerji spektrumu için ayrı ayrı kuadratik fonksiyon uygulanabilmektedir.

Kullanılan kuadratik denklem;

$$E_n = A_n + B_n E_n(kanal) \tag{3-2}$$

şeklindedir. CLOVER dedektörlerinin, her bir kanal aralığı 0.5 keV/kanal olduğu için, A_n ve B_n katsayıları 2 ile, LEPS dedektörlerinin her bir kanal aralığı 0.2 keV/kanal olduğundan 5 ile çarpılması gerekmektedir [10].

3.1.3 Veri Yapısı

XSYS formatındaki, olay-olay elde edilen veriler, XSYS analiz dili (**E**vent **A**nalysis **L**anguage; EVAL) kodları yardımıyla farklı veri yapılarında sort edilmektedir. İstenen veri yapısını elde edebilmek için, EVAL kodları yenilenmiştir. Sort işlemi sırasında üretilen veri yapısına, istenen olayları kaydedebilmek için gerekli gateler konulmuştur.

Sorting işleminden sonra analize başlanmıştır.

3.1.4 LEPS Spektrumları

Bir eksene CLOVER dedektörleri, diğer eksene ise LEPS dedektörleri tarafından algılanan gama enerjileri konularak, iki boyutlu γ-γ matrisi üretilmiştir. LEP spektrometresinin genel özelliği, düşük enerjili fotonları algılamak olduğundan, üretilen matriste elde edilen LEPS spekrumunda, her iki deneyde de hedef olarak kullanılan çekirdeklerin ve deneyler sonucu açığa çıkan çekirdeklerin X-ışınları gözlenmiştir. LEPS spektrumlarında, gözlemlediğimiz çekirdeklere ait X-ışınlarının görülebilmesi, deneylerin amacına bir adım daha yaklaşıldığını göstermektedir. Teorik olarak reaksiyon sonucu açığa çıkması beklenen çekirdeklerin, deneysel olarak ta gözlenebildiği doğrulanmıştır.

3.1.5 Gama-Gama ve Gama-Zaman Matrisleri

Sort sırasında üretilen iki boyutlu histogramlara (matris), farklı gateler konularak, spektrumların analizi yapılmıştır. İki boyutlu histogramda CLOVER – CLOVER matrisi oluşturulmuştur. Bu matrislerden elde edilen toplam projeksiyon üzerinde, GF3 programı yardımıyla gateler konulmuştur. GF3 programı; Radware paketi içerisinde bulunan, germanyum dedektörleri tarafından algılanan gama ışını spektrumları analizi için kullanılan bir programdır. SLICE programı kullanılarak oluşturulan matris dosyalarının bir boyutuna gate konularak, o gate ile uyumlu (eş zamanlı) olan gama enerjileri bulunmuştur [12].

CLOVER dedektörlerine ait TDC spektrumları sayesinde, "Erken" ve "Gecikmiş" gama enerjilerinin gözüktüğü zaman aralıklarına gate konup, Gama-Zaman matrisi üretilmiştir.

3.1.6 ^{240}Pu Çekirdeğinin LEPS Spektrumları

^{238}U (^{4}He, 2n) ^{240}Pu ağır-iyon füzyon buharlaşması reaksiyonu sonucu açığa çıkan ^{240}Pu çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ X-ışını (103 keV), ^{238}U hedef çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ (98 keV) ve $K_{\alpha 2}$ (94 keV) X-ışınları, üretilen CLOVER-LEPS matrisinin x – projeksiyon spektrumunda görülmektedir.

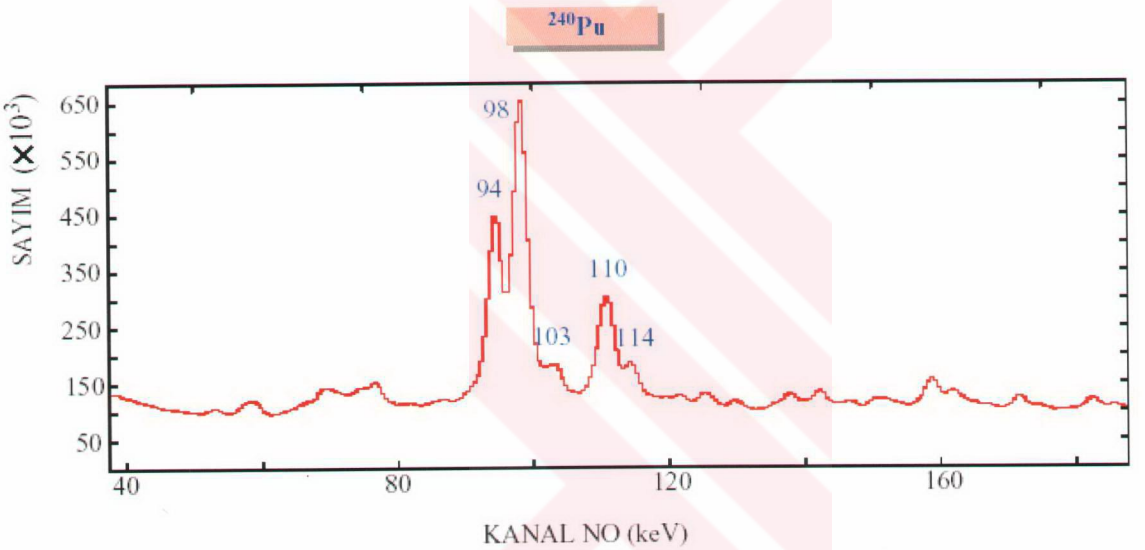
^{240}Pu çekirdeğinin temel seviye bandında bulunan ilk üç gama geçişi, 43, 99 ve 153 keV iç elektron koparılma enerjisinden büyük olduğundan, iç elektron dönüşüm olayı gerçekleşmektedir. İç elektron dönüşümü; koparılan elektronun yerini başka bir yörüngedeki elektronun doldurup, açığa çıkan elektronun bir X-ışını yayınlaması olayıdır. Dolayısıyla bu üç temel seviye geçişi, spektrumlarda kolay gözlenememektedir.

^{240}Pu çekirdeğinin $K_{\alpha 1}$ X-ışını olan 103 keV'ye gate konulduğunda, $K_{\alpha 2}$ (99 keV) ve $K_{\alpha 3}$ (98 keV) X-ışınları popüle olmaktadır. K_{α} X-ışınları, birbirleri ve kendileriyle koinsidanstır. 103 keV'ye gate konulduğunda diğer K_{α} lardan şiddetli görülmediğinden $K^{\pi} = 5^{-}$ izomerinin zayıf popüle olmuş bir seviye olduğu ortaya çıkmıştır.

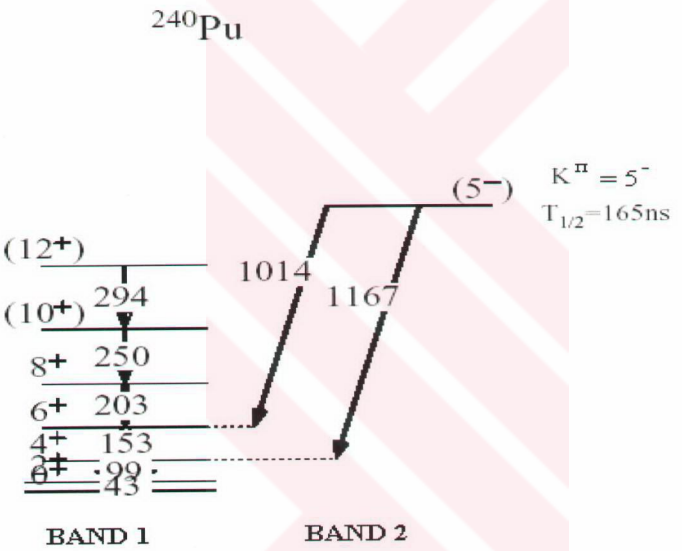
3.1.7 ^{240}Pu Çekirdeğinin Gama-Gama ve Gama-Zaman Matrisleri

3.1.7.1 ^{240}Pu Çekirdeğinin Gama - Gama Matrisi

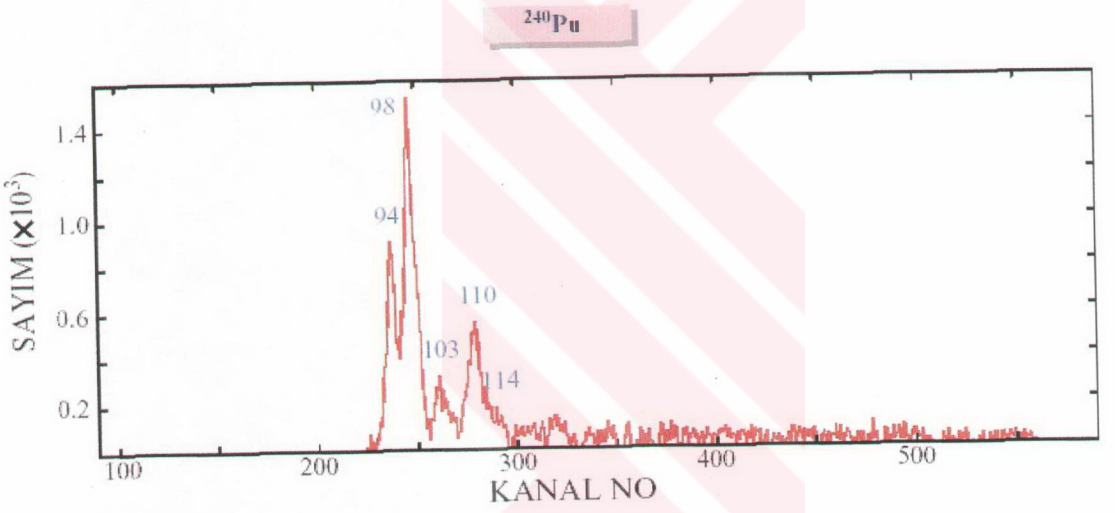
$^{4}He + {}^{238}U \rightarrow {}^{242}Pu^{*} \rightarrow {}^{240}Pu + 2n$ ağır-iyon reaksiyonunda füzyon buharlaşmasının yanı sıra ^{242}Pu çekirdeğinde yaklaşık %90 oranında fisyon olayı gerçekleşmektedir. Fisyon olayı, bileşik çekirdeğin biri ağır diğeri hafif iki çekirdeğe ayrılması olayıdır. ^{242}Pu çekirdeğine ait spektrumdaki geniş background, fisyon ürünleri sonucu oluşmaktadır. Değerlendirilmiş Nükleer Veri Dosyası (**E**valuated **N**uclear **D**ata **F**ile) olarak bilinen ENDF yardımıyla, ^{242}Pu çekirdeğine ait mümkün fisyon ürünleri bulunmuştur. CLOVER-CLOVER matrisindeki spektrumda bu fisyon ürünlerinin analizi yapılmıştır. Deney reaksiyonu sonucu açığa çıkabilecek, Tablo 3.1 de gösterilen fisyon ürünlerine ait seviye şemaları bulunup üretilen spektrumlarda incelenmiştir. Şekil 3.4 deki spektrumda CLOVER-CLOVER matrisine ait spektrumda gözüken bazı fisyon ürünleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1 CLOVER-LEPS matrisin LEPS spektrumunda gözüken ^{240}Pu çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 103 keV ve ^{238}U çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 98 keV ve $K_{\alpha 2}$ = 94 keV X-ışınları.



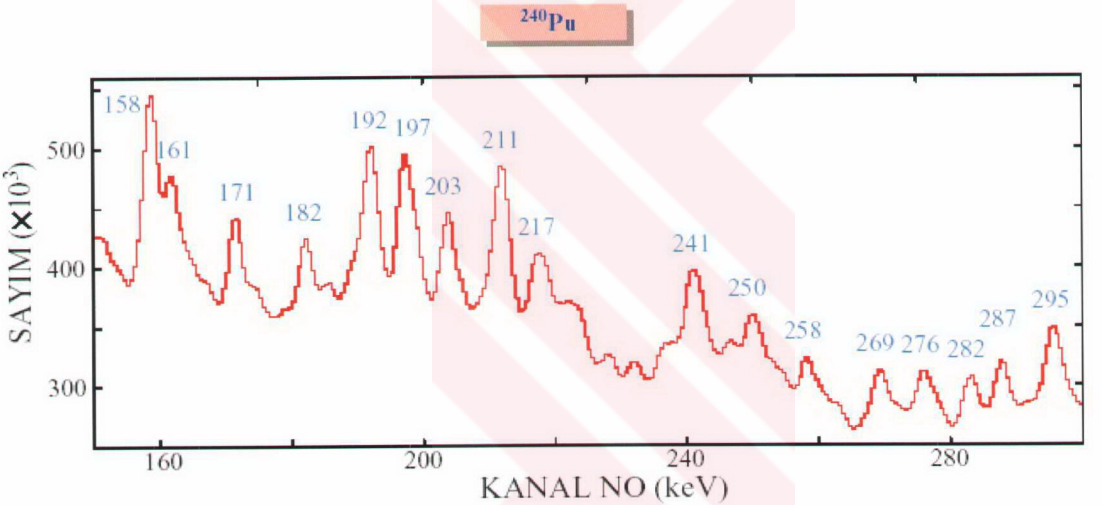
Şekil 3.2 Nükleer Veri Dosyasından alınan ^{240}Pu çekirdeğinin seviye şeması.



Şekil 3.3 CLOVER-LEPS matrisinin LEPS spektrumunda 103 keV'e konulan gate'li spektrum.

Tablo 3.1 ^{242}Pu çekirdeğinin olası fisyon ürünleri.

^{242}Pu Çekirdeğine Ait Fisyon Fragmentleri	
a	+ b + 2n
^{91}Kr	^{149}Ce
^{92}Rb	^{148}La
^{93}Rb	^{147}La
^{94}Rb	^{146}La
^{95}Sr	^{145}Ba
^{96}Sr	^{144}Ba
^{97}Sr	^{143}Ba
^{97}Y	^{143}Cs
^{98}Y	^{142}Cs
^{98}Zr	^{142}Xe
^{99}Y	^{141}Cs
^{99}Zr	^{141}Xe
^{100}Y	^{140}Cs
^{100}Zr	^{140}Xe
^{101}Zr	^{139}Xe
^{101}Nb	^{139}I
^{102}Zr	^{138}Xe
^{102}Nb	^{138}I
^{103}Zr	^{137}Xe
^{103}Nb	^{137}I
^{104}Nb	^{136}I
^{104}Mo	^{136}Te
^{105}Nb	^{135}I
^{105}Mo	^{135}Te
^{106}Mo	^{134}Te
^{106}Tc	^{134}Sb
^{107}Mo	^{133}Te
^{107}Tc	^{133}Sb
^{108}Mo	^{132}Te
^{108}Tc	^{132}Sb
^{109}Tc	^{131}Sb
^{109}Ru	^{131}Sn
^{110}Ru	^{130}Sn
^{111}Ru	^{129}Sn



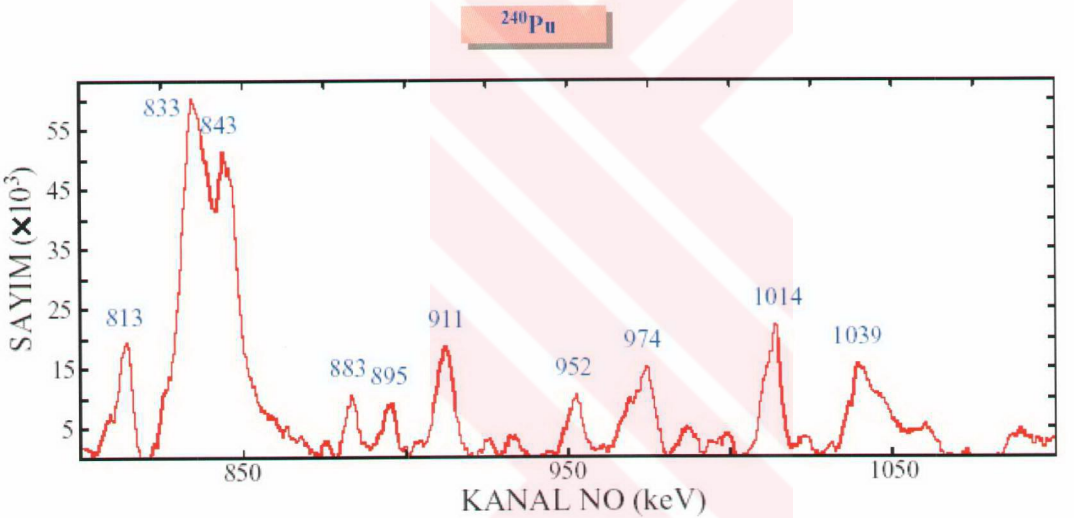
Şekil 3.4 CLOVER-CLOVER matris sonucu üretilen toplam projeksiyon spektrumunda görülen fisyon ürün pikleri.

^{238}U hedef çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 98.4 keV, $K_{\alpha 2}$ = 94.6 keV, $K_{\alpha 3}$ = 93.844 keV, $K_{\beta 1}$ = 111.2 keV ve $K_{\beta 2}$ = 114.4 keV gama geçişleri gözlenmektedir. ^{240}Pu çekirdeğine ait, $K_{\alpha 1}$ = 103.7 keV, $K_{\alpha 2}$ = 99.5 keV, $K_{\alpha 3}$ = 98.6 keV gama geçişleri görülmüştür. Temel seviye bandında, 6^+ seviyesi üzerindeki diğer 203, 250 ve 294 keV gama geçişleri görülmektedir. 99 keV'ye gate koyduğumuzda, U ve Pu'a ait X-ışınları haricinde bir geçiş gözlenmemektedir.

CLOVER-CLOVER matrisine ait *x*-projeksiyonunda gözüken bir diğer gama geçişi ise 1014 keV dir. Bu geçişin, $K^{\pi} = 5^-$ izomerinden temel seviye bandındaki 6^+ seviyesine yan geçiş olma olasılığı oldukça düşüktür, çünkü 1014 keV'ye gate konulduğunda çözme gücü iyi olmayan bir spektrum görülmektedir. Dolayısıyla matrisin *x*-projeksiyonuna ait spektrumda gözüken 1014 keV gama geçişi, dedektörlerin etrafının kaplı olduğu alüminyum metalinin bilinen bir pikidir.

3.1.7.2 ^{240}Pu Çekirdeğinin Gama - Zaman Matrisi

^{240}Pu çekirdeğine ait üretilen "Erken-Gecikmiş" matrisinde ^{242}Pu'a ait fisyon ürünleri görülmektedir.



Şekil 3.5 CLOVER-CLOVER matrisinde üretilen toplam projeksiyon spektrumunda gözüken alüminyum çekirdeğine ait 1014 keV.

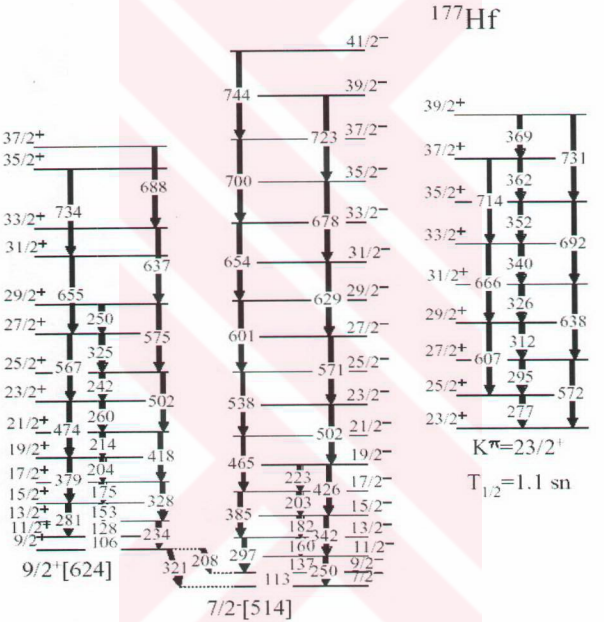
3.1.8 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin LEPS Spektrumları

^{197}Au üzerindeki ^{176}Yb çekirdeğinin ^{4}He iyonlarıyla bombardımanı sonucu; ^{176}Yb (^{4}He, 2n) ^{178}Hf, ^{176}Yb (^{4}He, 3n) ^{177}Hf ve ^{197}Au (^{4}He, 2n) ^{199}Tl, oluşabilecek ağır-iyon füzyon buharlaşması reaksiyonlarıdır.

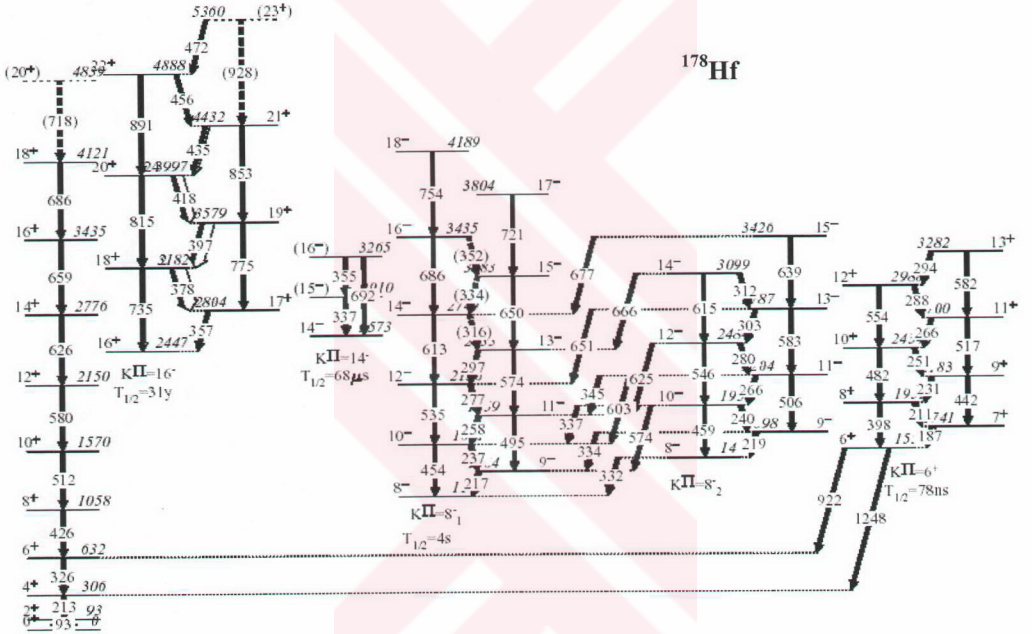
Oluşturulan CLOVER-LEPS matrisinde, LEPS spektrumunda Hf çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 55.790 keV, $K_{\alpha 2}$ = 54.611 keV, $K_{\alpha 3}$ = 54.080 keV ve $K_{\beta 1}$ = 63.243 keV gama geçişleri ile ^{199}Tl çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 72.873 keV, $K_{\alpha 2}$ = 70.832 keV, $K_{\alpha 3}$ = 70.184 keV ve $K_{\beta 1}$ = 82.574 keV gama geçişleri görülmektedir.

^{199}Tl çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 72.873 keV X-ışınına gate konulduğunda 332, 366, 369, 353, 381, 416, 534, 363, 598, 629, 700, 748 ve 645 keV gama geçişleri görülmektedir.

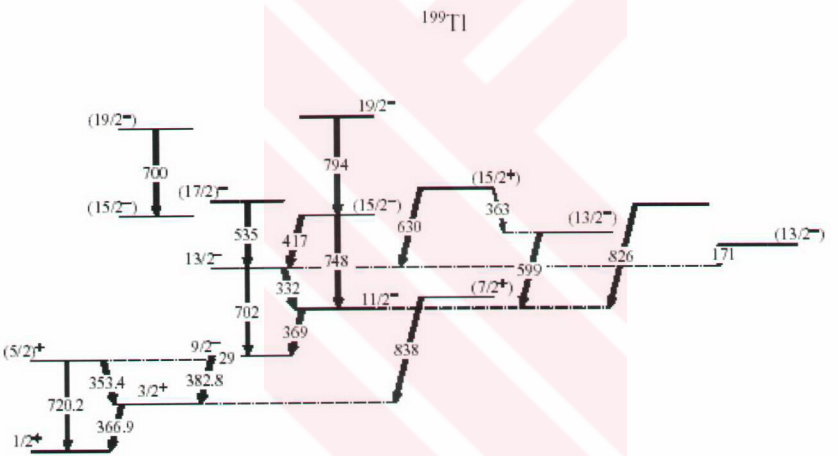
Hf çekirdeğine ait $K_{\alpha 1}$ = 55 keV'ye gate konulduğunda, $K_{\alpha 2}$ = 54.611 keV, $K_{\alpha 3}$ = 54.080 keV, $K_{\beta 1}$ = 63.243 keV gama geçişleri görülmektedir.



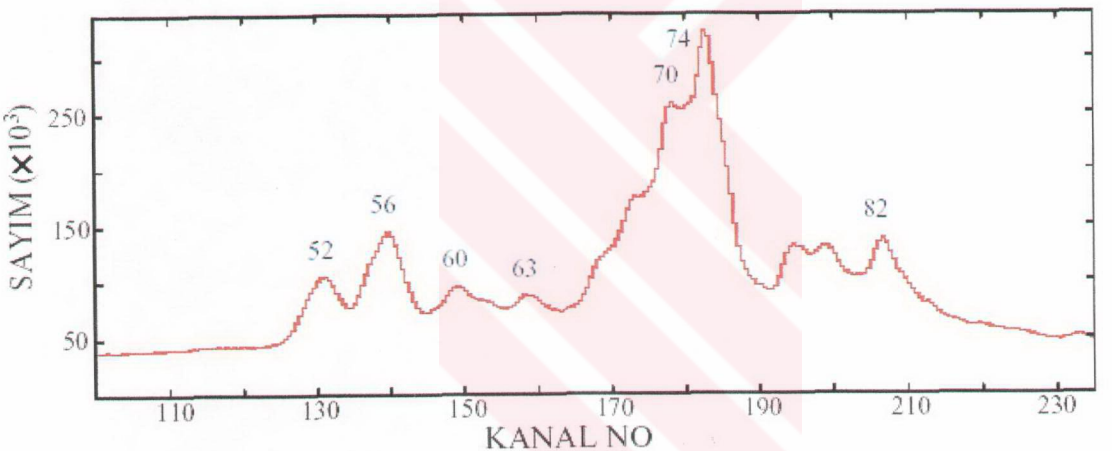
Şekil 3.6 ^{177}Hf çekirdeğine ait seviye şeması [13].



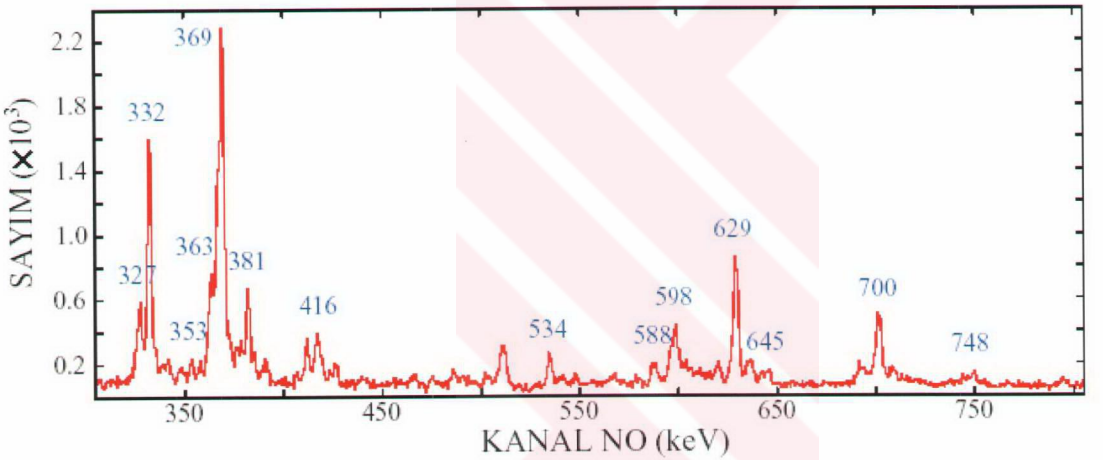
Şekil 3.7 ^{178}Hf çekirdeğine ait seviye şeması [14].



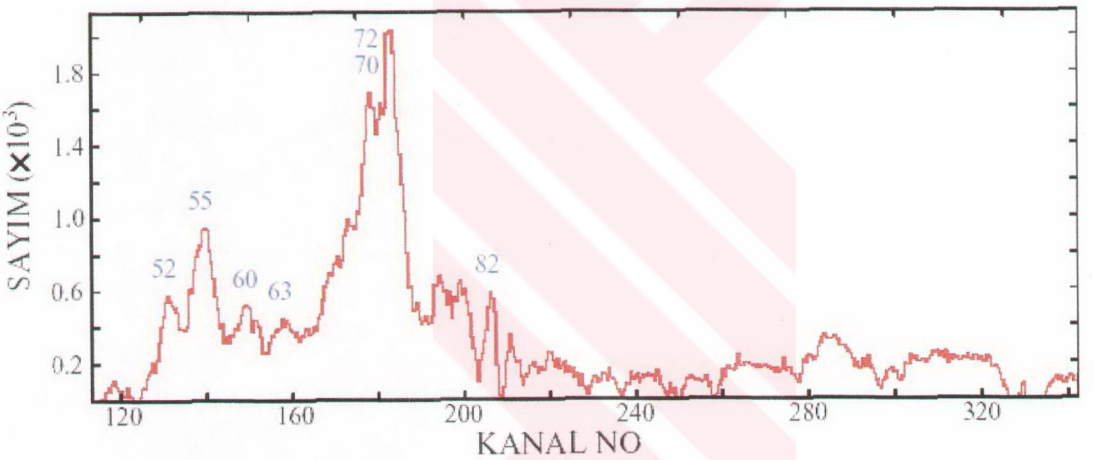
Şekil 3.8 ^{199}Tl çekirdeğine ait seviye şeması.



Şekil 3.9 CLOVER-LEPS matrisinde üretilen LEPS spektrumunda gözüken $^{177\text{-}178}$Hf ve ^{199}Tl çekirdeklerine ait X-ışınları.



Sekil 3.10 72 keV'ye gate konulduğunda ^{199}Tl cekirdeğine ait görülen pikler.



Şekil 3.11 55 keV'ye gate konduğunda $^{177-178}$Hf çekirdeğine ait görülen pikler.

3.1.9 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin Gama-Gama ve Gama-Zaman Matrisleri

3.1.9.1 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin Gama-Gama Matrisleri

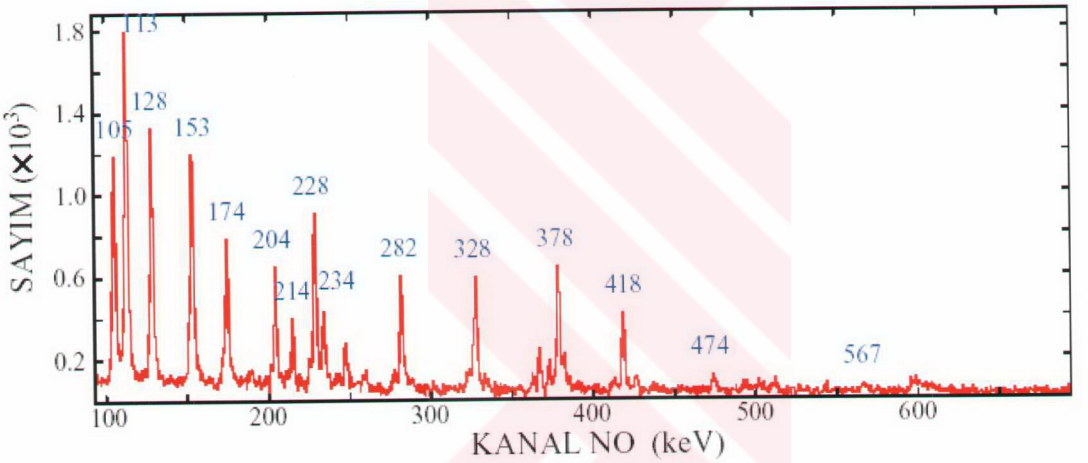
Seviye şemasındaki $K^{\pi} = 8^{-}$ seviyesi ile başlayan birinci izomer bandı ^{178m1}Hf ile, $K^{\pi} = 16^{+}$ seviyesi ile başlayan ikinci izomer bandı ^{178m2}Hf ile tanımlanır. ^{178m2}Hf ifadesinde yer alan *m*, izomerliği ifade eder.

^{177}Hf çekirdeği için, CLOVER-CLOVER matrisine ait *x*-projeksiyonunda $9/2^{+}$ [624] bandına ait bir yan geçiş olan 208 keV'ye gate konulunca, 113, 234, 328, 418 keV, 105, 128, 153, 174, 204, 214 keV ve 282, 378, 474 ve 567 keV gama geçişleri görülmektedir. $7/2^{-}$ [514] bandının taban seviye geçiş enerjisi olan 113 keV'ye gate konulunca, 208, 234, 328, 418 keV ile 105, 128, 153, 174, 204, 214 keV ve 282, 378 ve 474 keV gama geçişleri görülmektedir. 137, 160, 182 ve 223 keV çok zayıf, 203 keV gama geçişi ise, $9/2^{+}$[624] bandında 204 keV gama geçişi olduğu için şiddetli gözükmektedir. 113, 137, 160, 182, 203 ve 223 keV'nin bulunduğu bu kaskatın şiddeti düşük olduğu için, spektrumda güçlü birer pik olarak görülmemektedir. Ayrıca, 113 keV'ye gate konulunca, $7/2^{-}$[514] bandında 296, 385, 466, 538, 601 keV ile 342, 426, 503 keV gama geçişleri görülmektedir.

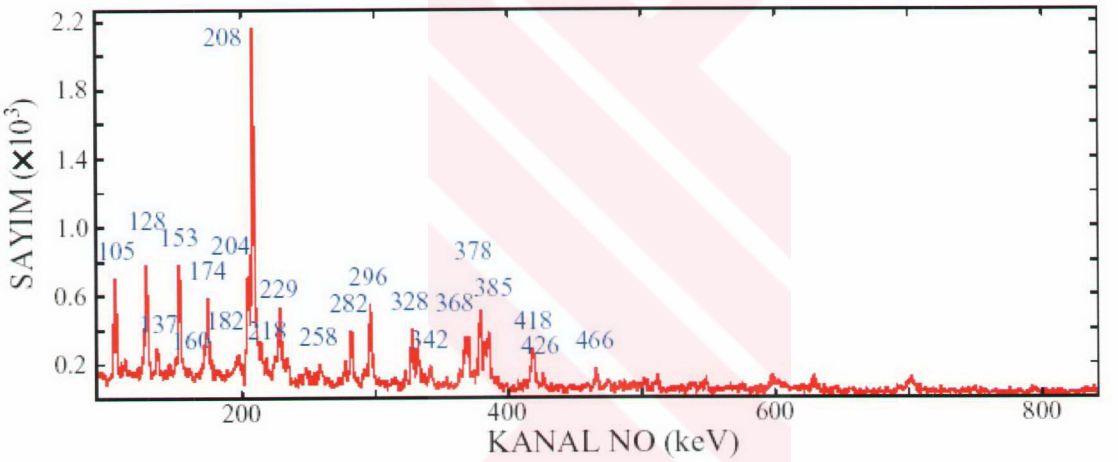
^{177}Hf çekirdeğine ait seviye şemasının ikinci bölümünde yer alan $K^{\pi} = 23/2^{+}$ bandına ait temel seviye geçiş enerjisi 277 keV'ye gate konulunca, 295, 311, 327 keV ile 120, 255, 281, 305 keV gama geçişlerini görmek mümkündür.

Yarılanma ömrü $T_{1/2} = 31$ yıl olduğundan, ^{178}Hf çekirdeğine ait seviye şemasında 16^{+} seviyesinin görülememesi doğaldır. 325 keV'ye gate konulduğunda, 93, 213, 426, 512 keV gama geçişleri görülmektedir. $K^{\pi} = 8_{1}^{-}$'de 216, 237, 258, 277, 297 keV geçişler görülmektedir. 7^{+} seviyesinden, yarılanma ömrü $T_{1/2} = 78$ ns olan $K^{\pi} = 6^{+}$ seviyesine, 87 keV ve 8^{+} seviyesinden 7^{+} seviyesine 210 keV gama geçişleri görülmektedir.

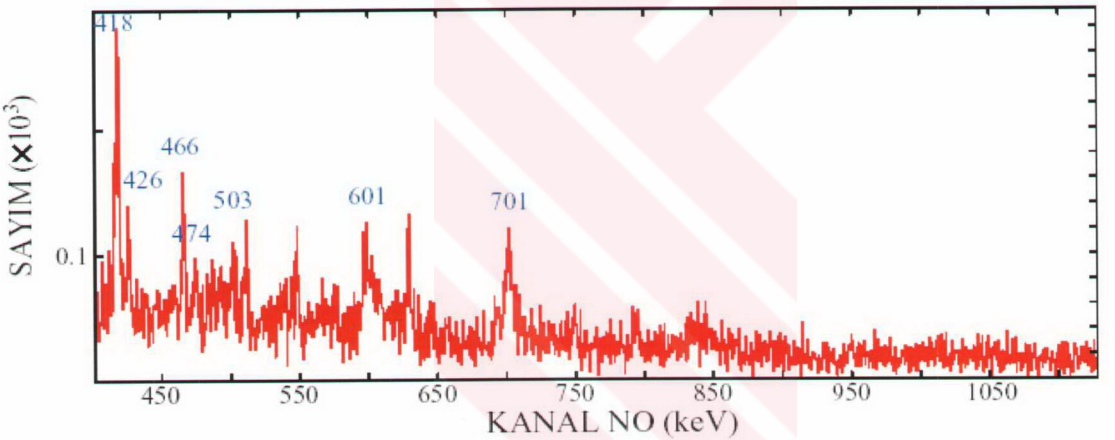
Nükleer Veri Dosyasından (Nuclear Data Sheets) alınan ^{199}Tl çekirdeğine ait seviye şemasına, gözlenen üç adet yeni geçiş eklenmiş ve seviye şemasında şiddet hesabı ile kaskatlar düzenlenmiştir [15].



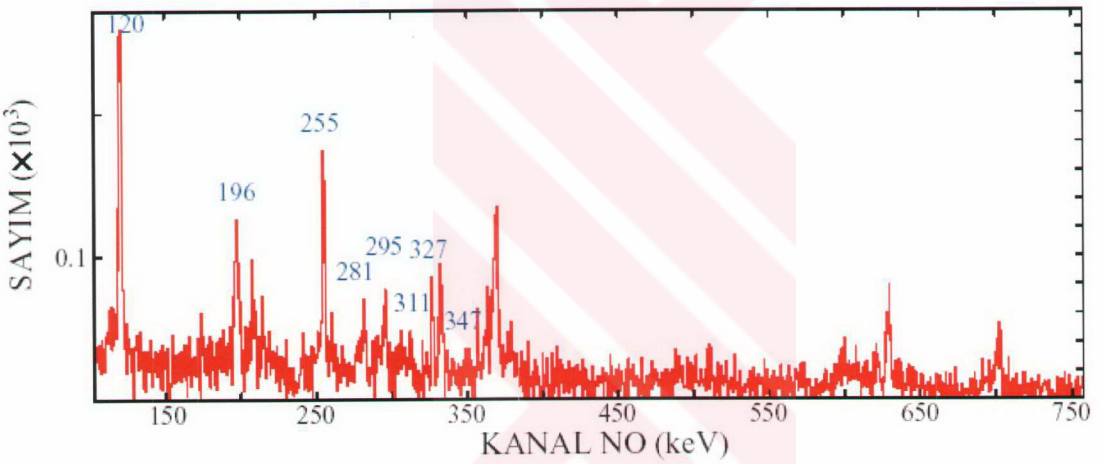
Şekil 3.12 CLOVER-CLOVER matrisinde 208 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf pikleri.



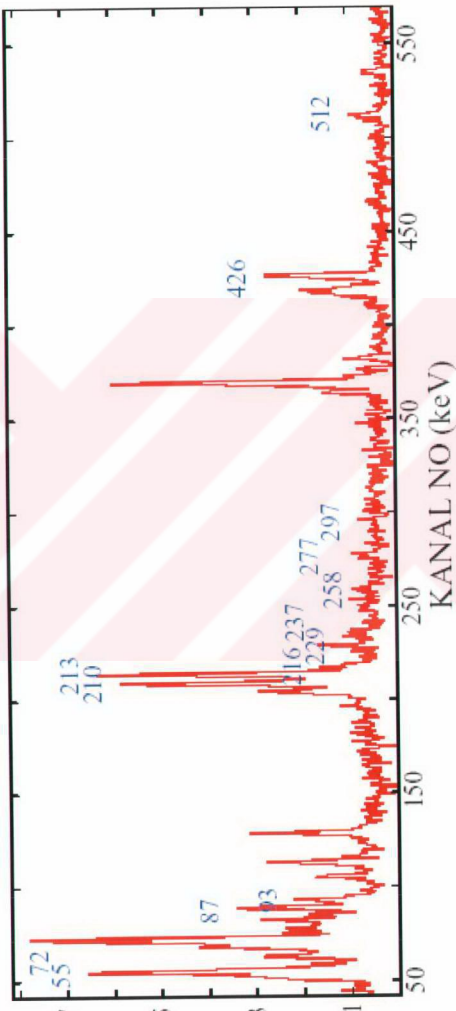
Şekil 3.13 CLOVER-CLOVER matrisinde 113 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf pikleri.



Şekil 3.14 CLOVER-CLOVER matrisinde 113 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf'un diğer bir kaskatına ait pikleri.



Şekil 3.15 CLOVER-CLOVER matrisinde 277 keV'ye gate konulunca görülen ^{177}Hf pikleri.



Şekil 3.16 CLOVER-CLOVER matrisinde 325 keV'ye gate konulunca görülen ^{178}Hf pikleri.

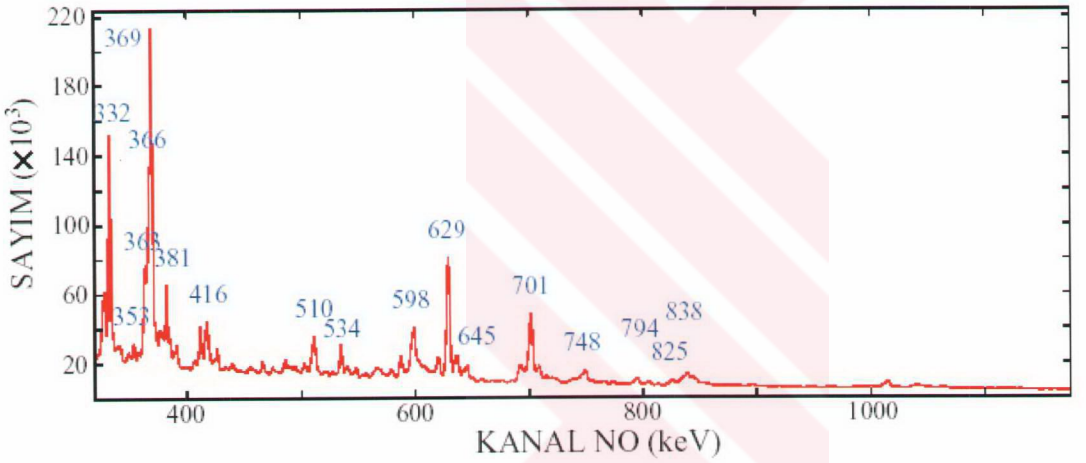
Toplam projeksiyonda, ^{199}Tl çekirdeğine ait, 366, 353, 381, 369 keV, 838, 645 keV gama geçişleri ile 332, 701, 598, 416, 748, 825, 534, 363, 629 ve 794 keV'lik gama geçişleri görülmüştür. ^{199}Tl çekirdeğine ait temel seviye bandındaki 9/2$^-$ seviyesinin yarılanma ömrü 28.4 ms olduğundan, seviyenin altında bulunan gama geçişlerini de görmek mümkün olmuştur.

^{199}Tl çekirdeğinde 369 keV'ye gate konulduğunda 171, 332, 353, 366, 381, 416, 598, 720, 363, 534, 629, 701, 748, 794 keV gama geçişleri görülmektedir. 701 keV'ye gate konulduğunda, 171, 416, 534, 629, 700 ve 381 ile 366 keV gama geçişleri görülmüştür. 332 keV'ye gate konulduğunda, 366, 369, 381, 416, 534, 629, 701, 746 ve 794 keV gama geçişleri görülmektedir.

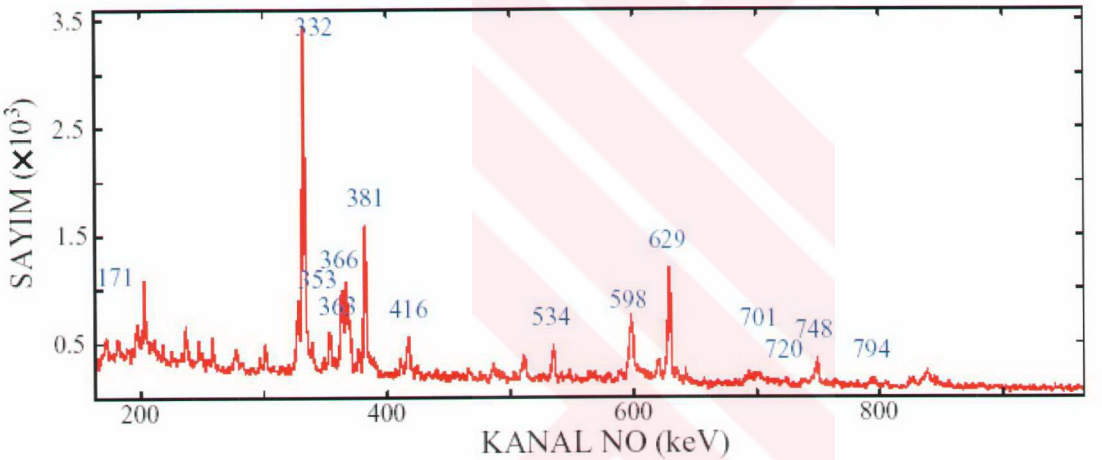
^{199}Tl çekirdeğinde, 171 keV'ye gate konulursa, 381, 369, 701, 748, 332, 416, 794 keV gama geçişleri görülmüştür. Aynı x-projeksiyonuna ait spektrumda görülen, 794 keV'ye gate konulunca, 332, 369, 416, 171, 701 ve 748 keV temel seviye band geçişleri görülmektedir. Böylece 171 ve 794 keV gama geçişlerinin de temel seviye bandında olduğu gösterilmektedir. Emin olmak için, 417 keV'ye gate konulmuş ve eş zamanlı olan 171, 332, 366, 369, 381, 701 ve 794 keV gama geçişleri görülmüştür. 171, 701 ve 794 keV gama geçişleri bu güne kadar gözlenmemiş yeni geçişlerdir.

3.1.9.2 ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl Çekirdeğinin Gama-Zaman Matrisleri

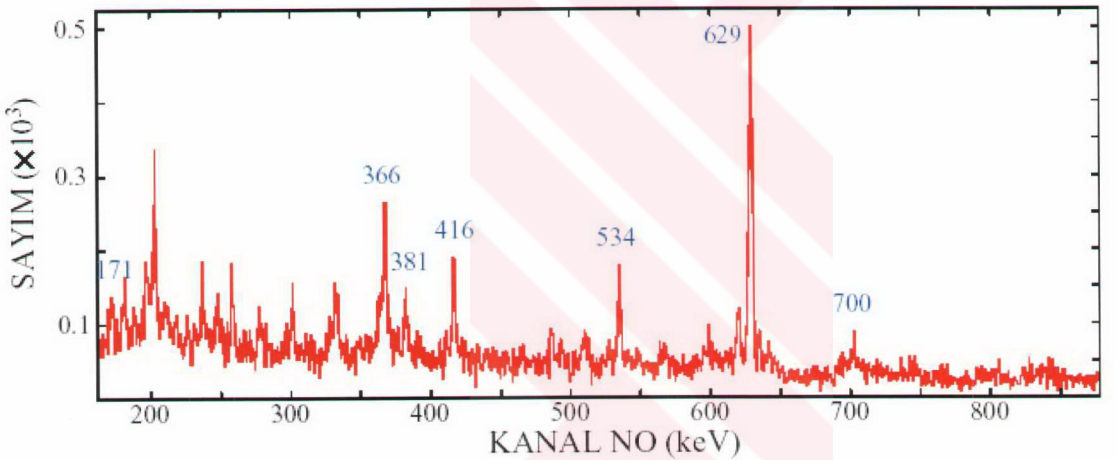
"Erken-Gecikmiş" (Early-Delayed) matrisinde, gecikmiş gamaları veren spektrumda ^{178}Hf çekirdeğinde 921 keV'ye gate konulduğunda ise, 187, 326, 213, 210, 231, 250 keV gama geçişleri görülmüştür.



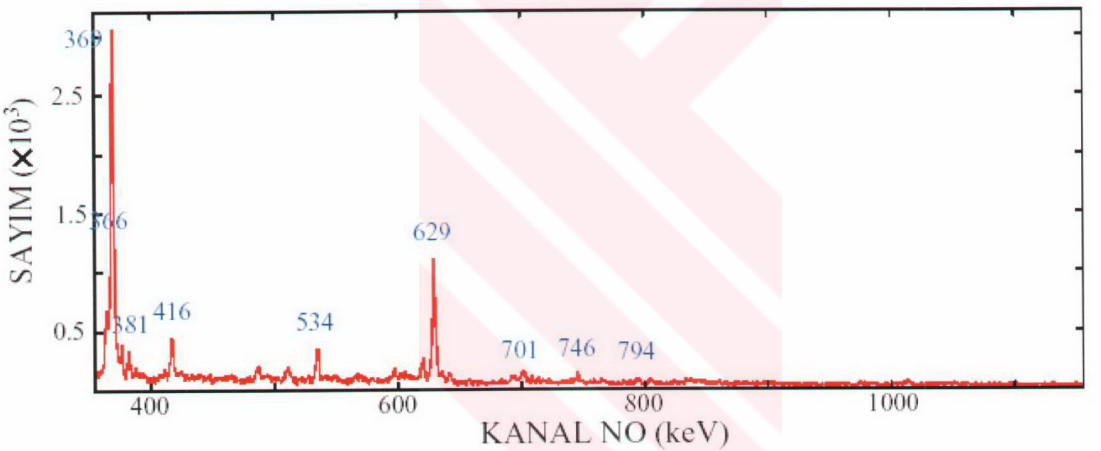
Şekil 3.17 CLOVER-CLOVER matrisine ait toplam projeksiyonda görülen ^{199}Tl pikleri.



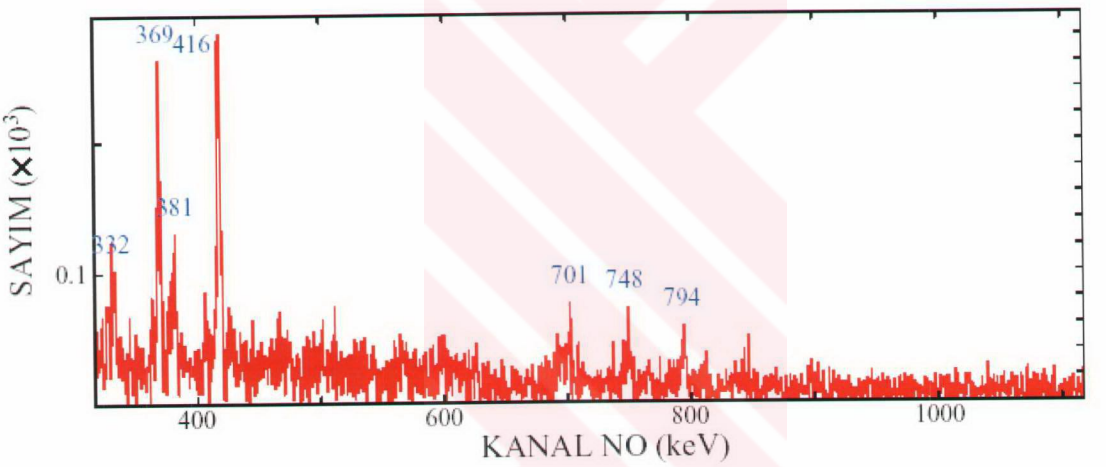
Şekil 3.18 CLOVER-CLOVER matrisinde 369 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri.



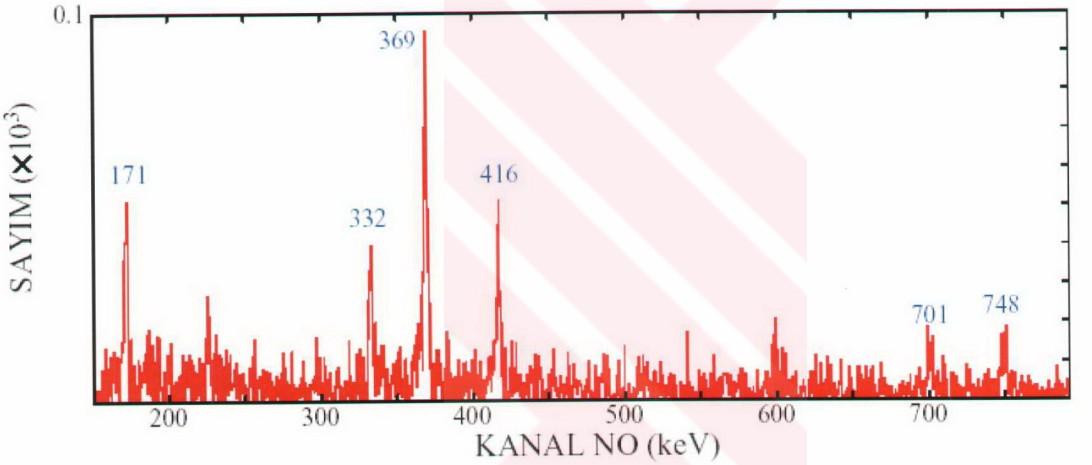
Şekil 3.19 CLOVER-CLOVER matrisinde 701 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri.



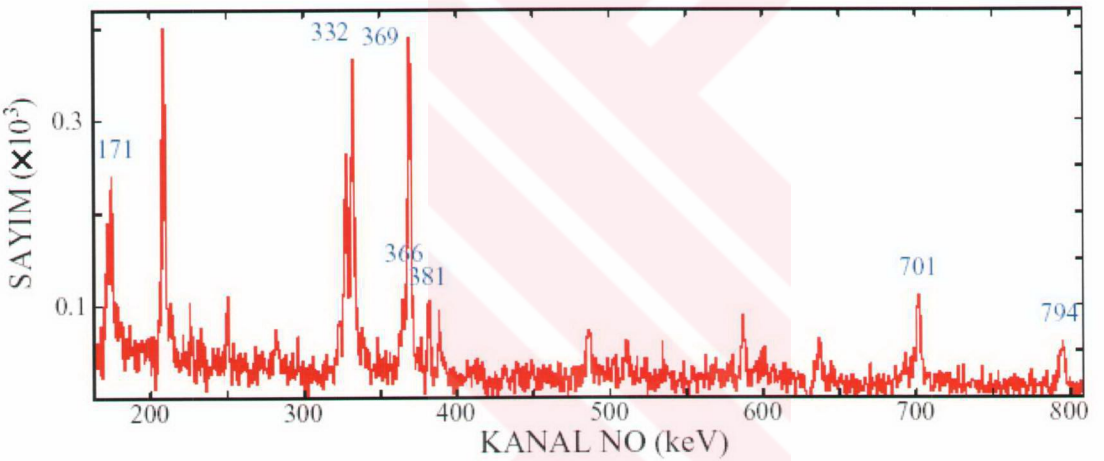
Şekil 3.20 CLOVER-CLOVER matrisinde 332 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri.



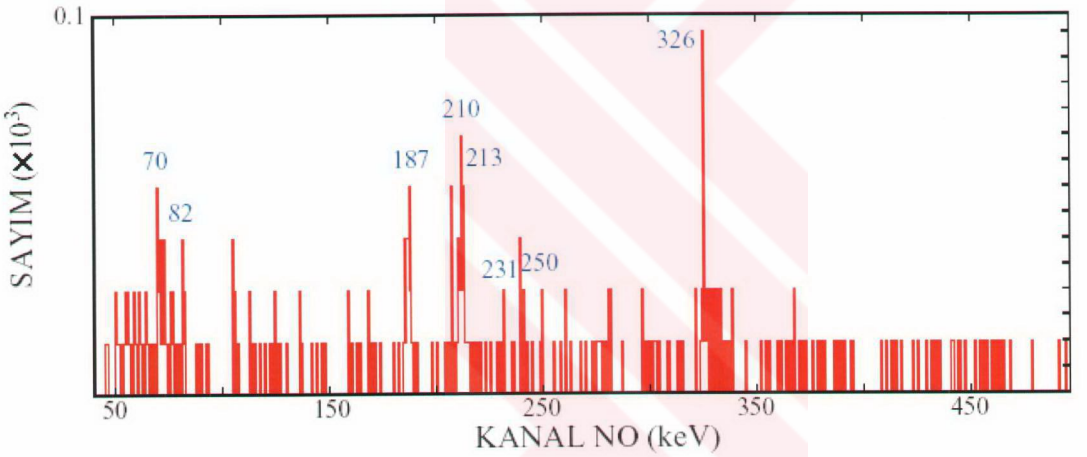
Şekil 3.21 CLOVER-CLOVER matrisinde 171 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri.



Şekil 3.22 CLOVER-CLOVER matrisinde 794 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri.



Şekil 3.23 CLOVER-CLOVER matrisinde 417 keV'ye gate konulunca görülen ^{199}Tl pikleri.

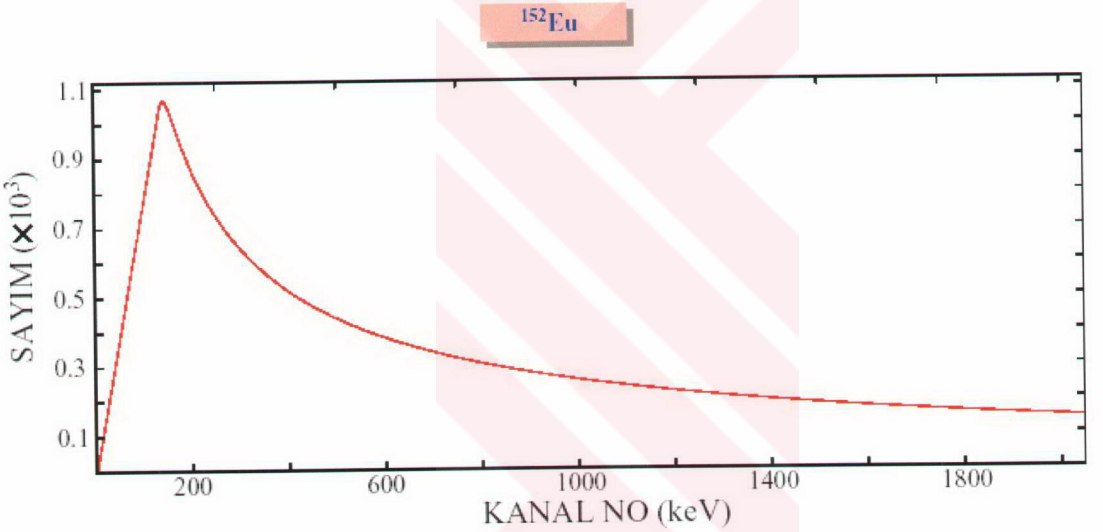


Sekil 3.24 GAMA-ZAMAN matrisinde 921 keV'ye gate konulunca görülen ^{178}Hf pikleri.

3.1.10 Şiddet Hesabı

^{199}Tl çekirdeğinde yeni bulunan 171, 700 ve 794 keV gama geçişlerinin band içerisinde doğru yere yerleştirilmesi için *Şiddet* hesabı yapılmıştır.

Şiddet hesabının yapılabilmesi için, CLOVER-CLOVER matris dosyasında 366 keV temel seviye geçişine gate konulup, bu seviye üzerine dökülen gama enerjilerinin 366 keV ye normalize edilmesi sağlanmıştır. 366 keV gateli spektrumda, seviye şemasında bulunan diğer pikler fit edilmiştir. Fit sonucunda bulunan alan sayımları *.dat* uzantılı bir dosyaya kaydedilmiştir. Kalibrasyon kaynağı olan Eu çekirdeğine ait, *.sin* uzantılı dosyada bulunan verim eğrisi EFFIT programıyla düzeltilmiştir. Verim eğrisinde, seviye şemasında bulunan gama enerjilerinin her birinin sayım sayısı bulunmuş ve *.dat* uzantılı olan aynı isimli dosyaya kaydedilmiştir. Bir gama geçişinin şiddeti; fit ile bulunan alanın, verim eğrisindeki sayım sayısına oranından bulunmaktadır [12].



Şekil 3.25 Kalibrasyon kaynağı olarak her iki deneyde kullanılan ^{152}Eu çekirdeğinin CLOVER dedektörlerinden alınan verim eğrisi.

Tablo 3.2 ^{199}Tl çekirdeğine ait bilinen ve yeni bulunan gama geçiş enerjilerinin hesaplanan şiddet tablosu.

E_γ (keV)	Şiddet
171	0,7799
332	20,1298
362	6,32374
416	3,44
533	3,93029
597	10,6037
628	17,4033
701	3,10947
747	5,3271
794	2,36808
825	3,17114

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Aktinit bölgesinde bulunan A = 240 kütle numarasına sahip Pu çekirdeğinin oktupol deformasyona sahip bir çekirdek olduğu bilinmektedir [18]. 0^+ taban seviyesi ile başlayan **Band 1** de bulunan ilk üç gama enerjisi 43, 99 ve 153 keV gama geçişleri iç elektron dönüştürmeden dolayı bazı spektrumlarda çok düşük sayımlara sahip olup bazılarında ise hiç bir sayıma sahip olmadıkları gözlenmiştir. Özellikle **Band 2** den **Band 1**'e bir E1 yan geçişi olan 1014 keV spektrumda gözlendiği halde, gate konulduğunda kendisiyle koinsidans olan diğer gama enerjilerini vermemektedir. Dolayısıyla spektrumda gözüken 1014 keV gama geçişi, dedektörlerin kaplı olduğu alüminyuma ait bilinen bir piktir. $K^\pi = 5^-$ izomeri, zayıf popüle olmuş bir seviye olduğundan, bu izomer seviye üzerine dökülen gama enerjilerinin olmadığı gözlenmiştir.

Yapılan ikinci deney sonucu açığa çıkan ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl çekirdeklerine yapılan analiz sonucu ^{177}Hf çekirdeğinin $9/2^+$ [624] bandına ait şiddetli bir geçişi olan 208 keV ile, birinci ve ikinci kaskatta $21/2^+$ seviyesinde bulunan 418 ve 214 keV'ye kadar olan gama geçileri ile üçüncü kaskatta $27/2^+$ seviyesinde bulunan 567 keV'ye kadar olan gama geçişlerinin koinsidans olduğu gözlenmiştir. $7/2^-$ [514] bandındaki $9/2^-$ seviyesinden $7/2^-$ seviyesine 113 keV enerjili geçiş ile eş zamanlı gama enerjilerinin, $9/2^+$ [624] bandında bulunan ilk iki kaskatta $21/2^+$ seviyesine (418, 214 keV) kadar ve üçüncü kaskatta ise $23/2^+$ seviyesine (474 keV) kadar olan gama geçişleri olduğu gözlenmiştir.

$9/2^-$ seviyesinden $7/2^-$ seviyesine 113 keV olan gama geçişi, aynı bandın $29/2^-$ seviyesinden $25/2^-$ seviyesine dökülen 601 keV gama geçişine kadar olan kaskat ile ve aynı bandın $23/2^-$ seviyesinden $19/2^-$ seviyesine 503 keV gama geçişine kadar olan kaskat ile koinsidanstır. ^{177}Hf çekirdeğine ait seviye şemasının ikinci bölümünde yer alan yarılanma ömrü $T_{1/2}$ = 1.1 sn olan $K^\pi = 23/2^+$ izomer seviye üzerine dökülen gama enerjilerinden en şiddetli olan 277 keV ve onunla koinsidans 295, 311 ve 327 keV ile $25/2^-$ seviyesinden $25/2^+$ seviyesine bir yan geçiş olan 120 keV ve onunla koinsidans $T_{1/2} < 1$ ns olan $K^\pi = 25/2^-$ izomeri üzerine dökülen 255, 281 ve 305 keV gama geçişlerinin eşzamanlı olduğu gözlenmiştir.

^{178}Hf çekirdeğine ait spin-paritesi 10^+ seviyesinden 0^+ seviyesine kadar olan gama geçişleri gözlenmiştir. Yarılanma ömrü $T_{1/2}$ = 4 sn olan $K^\pi = 8_1^-$ izomer seviyesine dökülen 216, 237, 258, 277 ve 297 keV yan geçişleri gözlenmiştir.

^{199}Tl çekirdeği, N=82 kapalı kabuğuna yakın olduğundan, bu çekirdeğe ait bir rotasyonel band gözlenememiştir. Seviye şemasında gösterilen, tüm gama geçişleri gözlenmiştir. Elde edilmiş spektrumlarda, gate koyma yöntemiyle 171, 700 ve 794 keV geçişlerin ^{199}Tl çekirdeğine ait üç adet yeni geçiş olduğu gözlenmiştir.

İkinci deneyin sonucunda çığa çıkan ^{177}Hf, ^{178}Hf ve ^{199}Tl çekirdekleri birinci deney sonucu incelenen ^{240}Pu çekirdeğine kıyasla daha fazla bilgiye sahip olunan bir çekirdektir. Analiz sonucu, şimdiye kadar bu çekirdeklere ait bilinen geçişler doğrulanmış, ^{199}Tl çekirdeğine ait üç adet yeni gama geçişi bulunmuş ve veri toplama sistemi ile elektronik donanımın eksiksiz çalıştığı ispatlanmıştır. Veri toplama sisteminin eksiksiz çalışması, ^{240}Pu çekirdeğine ait varılan sonucun doğruluğunu ispatlamaktadır.

V. KAYNAKLAR

[1] MULLINS S.M., GUEORGUIEVA E., LAWRIE J. J., LIPOGLAVSEK M., MUKHERJEE S., NCAPAYI J., NEWMAN R. T., SHARPEY-SCHAFER J. F., SMIT F. D., AMON L., ERDURAN N., 2002, A Research Proposal to the iThemba LABS, Octupole Correlations in High – K States in ^{240}Pu.

[2] KRANE K.S., 1988, Introductory Nuclear Physics, John Wiley Sons, Newyork, ISBN 0_471_80550_X

[3] PAUL E.S., 2002, Nuclear Models, Liverpool NSG Postgraduate Lectures.

[4] CASTEN R.F., 2000, Nuclear Structure from a Simple Perspective, Second Edition, Oxford University Press, ISBN 0_19_850724_0

[5] LUCAS R., 2001, Nuclear Shapes, Europhysics News Vol. 32, 1.

[6] AHMAD I., BUTLER P.A., 1993, Octupole Shapes in Nuclei, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci., 43:117-64.

[7] WIEDENHOVER I., JANSSENS R.V.F., HACKMAN G., AHMAD I., GREENE J. P., AMRO H., BHATTACHARYYA P. K., CARPENTER M. P., CHOWDHURY P., CIZEWSKI J., CLINE D., KHOO T. L., LAURITSEN T., LISTER C. J., MACCHIAVELLI A. O., NISIUS D. T., REITER P., SEABURY E. H., SEWERYNIAK D., SIEM S., SONZOGNI A., ULUSITALO J., WU C. Y., 1999, Octupole Correlations in the Pu Isotopes: From Vibration to Static Deformation?, Phys. Rev. Lett., 83, 11.

[8] WHELDON C., 1999, K-Isomerism at High-Spin Beyond the Fusion Limit, PhD thesis.

[9] HACKMAN G., JANSSENS R. V. F., KHOO T. L., AHMAD I., GREENE J. P., AMRO H., ACKERMANN D., CARPENTER M. P., FISCHER S. M., LAURITSEN T., MORSS L. R., REITER P., SEWERYNIAK D., CLINE D., WU C. Y., MOORE E. F., NAKATSUKASA T., 1998, High-Spin Properties of Octupole Bands in ^{240}Pu and ^{248}Cm, Phys. Rev. C57, 3.

[10] MABALA G. K., PhD Thesis, Dipole Bands in ^{195}Bi and ^{197}Bi Nuclei, (2002).

[11] KNOLL G.F., 1989, Radiation Detection and Measurement, ISBN 0-471-81504-7, John Wiley & Sons, Canada.

[12] RADFORD R.C., 2000, Notes on the use of the Radware program, Physics Division Oak Ridge National Laboratory.

[13] MULLINS S. M., BYRNE A. P., DRACOULIS G. D., MCGORAM T. R., SEALE W. A., 1998, High-Spin Intrinsic And Rotational States In The Stable Nucleus ^{177}Hf: Evidence For Reaction-Dependent Spin Population, Phys. Rev., C 58, 831.

[14] MULLINS S. M., DRACOULIS G. D., BYRNE A. P., MC GORAM T. R., BAYER S., SEALE W. A., KONDEV F. G., 1997, Rotational Band on the 31 yr 16^+ isomer in ^{178}Hf, Phys. Lett., B393, 279.

[15] NAKAI K., 1971, Evidence For Oblate Deformation Of The $9/2^-$ Isometric State in ^{199}Tl, Phys. Lett., 34B, 269.

VI. ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İstanbul'da doğan Lidya Amon, Özel Kadıköy Kız Lisesinde ilkokulu ve Özel Kalamış Lisesinde orta ve lise öğrenimini tamamladıktan sonra 1996 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne girdi.

2000 yılından beri İ.Ü. Fen Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Gama spektroskopisi ve nükleer yapı fiziği konuları üzerine çalışmalarına devam etmektedir. Yabancı dili ingilizcedir.