

$^{166-180}\text{Hf}$ ve $^{180-186}\text{W}$ İZOTOPLARININ KUADROPOL MOMENTLERİ VE DEFORMASYON PARAMETRELERİ

Filiz Ertuğral, Ekber Guliyev, Ali Kuliev

Özet - Bu çalışmada $^{166-180}\text{Hf}$ ve $^{180-186}\text{W}$ izotop zinciri çekirdeklerinin kuadropol momentleri süperakışkan model çerçevesinde Woods-Saxon potansiyeli baz alınarak hesaplandı. Çalışmalar mikroskopik süperakışkan model çerçevesinde kuadropol momentlerinin ve β_2 deformasyon parametrelerinin teorik olarak hesaplanmış değerlerinin uygun deneysel verilerle uyum içinde olduğunu gösterdi. Heksadekapol deformasyonun kuadropol momentlerine katkısının incelenen tüm izotoplar için %1'den küçük olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler- Kuadropol momentler, süperakışkan model, deformasyon parametreleri, B(E2) geçişleri, Hf, W.

Abstract- In this study, quadrupole moments of $^{166-180}\text{Hf}$ and $^{180-186}\text{W}$ isotopes chain nuclei has been calculated by using superfluid model with Woods-Saxon potential. Our results showed that quadrupole moments and β_2 deformation parameters which have been calculated theoretically are in good agreement with the appropriate experimental data. The contribution of hexadecapole deformation to quadrupole moments is seemed to be less than %1 for the selected isotopes.

Key Words – Quadrupole moments, superfluid model, deformation parameters, B(E2) transitions, Hf, W.

F.Ertuğral, A.Kuliev;Sakarya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 54100, Adapazarı
E.Guliyev;Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Müh. Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara

I.GİRİŞ

Kuadropol momentleri, atom çekirdeklerinin önemli niteliklerinden biridir. Kuadropol momentlerinin teorik hesaplanmış değerleri uygun deneysel verilerle karşılaştırılarak çekirdek modellerinin test edilmesinde çok önemli bilgiler vermektedir. Kuadropol momentleri mikroskopik [1] ve fenomenolojik metotlarla [2] hesaplanır. Fenomenolojik hesaplamaların esas noksanı çekirdek seviyelerinin yapısı hakkında az bilgi vermesidir. Fenomenoloji yaklaşımdan farklı olarak mikroskopik model kabuk modeli çerçevesinde nükleonlar arası etkileşimleri göz önüne aldığından çekirdek yapısı, ortalama alan potansiyelleri ve nükleon-nükleon etkileşimleri hakkında çok bilgi vericidir. Deforme çekirdeklerin varlığı kuadropol momentlerinin deneysel değerlerinin tek parçacık kabuk modelin ön gördüğü uygun değerlerden 1-2 merteye büyük olması sonucu ortaya çıkmıştır [2]. Çekirdeğin mikroskopik modelleri içerisinde en verimli ve kullanışlı olanı tek parçacık modelini baz alan süperakışkan modeldir [1]. Bu model çerçevesinde iyi deforme nadir toprak elementlerinin kuadropol momentlerinin sistematik olarak hesaplanması Nilsson anizotropik titreşim potansiyeli kullanılarak çalışma [3,4]'de yapılmıştır. Son zamanlarda elementlerin kararlılık bölgesinden uzakta yerleşen yeni deforme bölgelerinin keşfi, nötronu zengin ve nötronu eksik olan egzotik çekirdeklere ilgiyi arttırmıştır [5]. Bundan dolayı bu çekirdeklerin yapısının, yarı ömürlerinin ve başka özelliklerinin incelenmesinde ortalama alan potansiyelindeki parametrelerin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Geniş kütle sayısı aralığında, $^{166-180}\text{Hf}$ ve $^{180-186}\text{W}$ izotop zincirlerinin uç kısımlarındaki çekirdekler yukarıda sözünü ettiğimiz egzotik çekirdeklere aittir. Günümüzde bu çekirdeklerin kuadropol momentleri esasen elektrik kuadropol B(E2) geçiş ihtimallerinin ölçülmesiyle deneysel olarak bulunmuştur. Fakat bu çekirdekler teorik olarak yeterince incelenmemiştir. Yegane teorik hesaplamalar Samaryum izotop zinciri için [6,7] yapılmıştır.

Bu makalede bizim iki hedefimiz vardır: İlk hedefimiz incelenen Hafniyum ve Wolfram izotoplarında β_2 deformasyon parametresini çalışma [8]'e uygun olarak hesaplamak ve daha sonra kuadropol momentlerinin teorik değerlerini deneysel değerlerle karşılaştırarak β_2 parametresini belirlemektir. Deformasyon parametresinin teorik olarak fit edilmiş değerleri çekirdek yapısının incelenmesinde sonraki çalışmalarda kullanılması bakımından çok önemlidir.

II. TEORİ

Çekirdekte üniform elektrik yük dağılımına karşı gelen kuadropol moment

$$Q_0 = \frac{3}{\sqrt{5\pi}} ZR_0^2 \beta_2 (1 + 0.36\beta_2) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir [2]. Burada Z çekirdek deki proton sayısı, R_0 ise çekirdek yarıçapıdır ($R_0 = 1.2 A^{1/3} fm$).

Elektrik kuadropol geçiş ihtimali $B(E2)$ 'nin deneysel değerleri çekirdek modellerinden bağımsız olduklarından dolayı β_2 deformasyon parametresinin tespiti için çok önemlidir. Eksenel simetrik deforme çekirdeklerin kuadropol momenti ile bu çekirdeklerin spini ve paritesi $I^\pi = 2^+$ olan en düşük enerjili dönme seviyesinin temel halden uyarılma ihtimali $B(E2)$ arasında çok sade bir bağıntı vardır [2].

$$Q_0 = \frac{16\pi}{5} \sqrt{\frac{B(E2)}{e^2}} \quad (2)$$

Burada e protonun elektrik yüküdür.

Süperakışkan modelde çekirdeğin kuadropol momentleri nötron ve proton sistemlerinin kuadropol momentlerinin toplamına eşittir [1]:

$$Q_0 = Q_0^n + Q_0^p \quad (3)$$

burada

$$Q_0^n = 2 \sum_s \langle s | r^2 Y_{20} | s \rangle v_s^2 \quad (4)$$

$$Q_0^p = 2 \sum_v \langle v | r^2 Y_{20} | v \rangle v_v^2$$

Bu formüllerde $|s\rangle$ tek parçacık deforme ortalama alan potansiyelinde hareket eden parçacığın dalga fonksiyonu, s ise ortalama alandaki kuantum sayıları kümesini ifade etmektedir. Buradaki iki çarpım, enerji seviyelerinin

toplam açısal momentumunun z bileşeninin çekirdek simetri eksenine yönünde iki kat yozlaşmasından dolayı meydana gelmektedir. Süperakışkan modelde [1] seviyelerin doluluk ihtimali

$$v_s^2 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{E_s - \lambda}{\epsilon_s} \right) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada $\epsilon_s = \sqrt{(E_s - \lambda)^2 + \Delta^2}$ nükleonların kuasiparçacık enerjileri, E_s ise uygun ortalama alan enerjileridir. Δ ve λ sırası ile süperakışkan modelin gap ve kimyasal potansiyel parametreleridir. Bu parametreler süperakışkan modelin temel denklemlerinin yardımıyla nötron ve proton sistemleri için sayısal olarak ayrı-ayrı bulunur. Bu denklemler şu şekildedir.

$$\frac{2}{G} = \sum_s \frac{1}{\epsilon_s}, \quad N = 2 \sum_s v_s^2 \quad (6)$$

III. NÜMERİK HESAPLAMALAR VE TARTIŞMA

Tek parçacık enerjileri, her bir çekirdek için bireysel olarak deforme Woods-Saxon potansiyelinde [9] hesaplanmıştır. Nötron ve protonlar için potansiyel kuyuların dibinden başlayarak 6 MeV'e kadar ($N = 2 \div 7$ kabukları) tüm diskret ve kuasidiskret enerji seviyeleri göz önüne alınmıştır. Kuadropol deformasyon parametresi β_2 (1) ve (2) formüllerinde $B(E2)$ ihtimalinin deneysel verileri [10] kullanılarak çalışma [8]'e uygun olarak hesaplanmıştır. Tek parçacık modelde Shrödinger denkleminin çözülmesinde kullanılan ortalama alan deformasyon parametresi δ_2 ile β_2 arasındaki ilişkiyi gösteren ifade A.Bohr ve B.Mottelson tarafından verilmiştir [2].

$$\delta_2 = 0.945\beta_2 \left[1 - \frac{4\pi^2}{3} \left(\frac{a_0}{R_0} \right)^2 \right] + 0.34\beta_2^2$$

Bu ifadede a_0 çekirdek yüzey kalınlık parametresi olup kullandığımız potansiyel için 0.53 fm'dir. Yukarıdaki formülü biraz daha düzenlersek

$$\delta_2 = 0.945\beta_2 \left[1 - 2.56A^{-2/3} \right] + 0.34\beta_2^2 \quad (7)$$

şeklinde yazabiliriz.

Süperakışkan teorisinin G_N ve G_Z eşleme etkileşme sabitlerine [1] karşı gelen Δ ve λ parametrelerinin (6) denklem sistemleri yardımıyla hesaplanmış değerleri Tablo.1'de verilmiştir. Bu parametrenin yardımıyla

$^{166-180}\text{Hf}$ ve $^{180-186}\text{W}$ izotop zinciri için (4) formülü kullanılarak kuadropol momentlerinin teorik olarak hesaplanan değerlerinin A kütle sayısına bağlı olarak değişmesi Şekil.1'de gösterilmiştir. Burada mukayese için kuadropol momentlerinin uygun deneysel değerleri [10] da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kuadropol momentleri için teorinin verdiği sonuçların A kütle sayısına göre değişmesi deney hatası çerçevesinde sonuçlarla uyum içindedir. Not edelim ki ^{166}Hf ve W izotopu için teori ile deneyin uyuşmazlığının esas nedeni kuadropol momentinin hesaplanmasında kullanılan varsayımın geçersiz olmasıdır, bu dolmuş kabuklara yakın çekirdeklerde en düşük 2^+ seviyesinin çekirdeğin rotasyon olmamasının göstergesidir.

Tablo 2'de kuadropol momentlerinin deneysel verilerinin fit edilmesiyle bulunan β_2 ve δ_2 parametrelerinin değerleri (2) formülünün yardımıyla elde edilmiş uygun deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Burada mukayese için β_2 parametresinin çalışma [10] da verilmiş değerleri de β_R olarak gösterilmiştir. Deneysel hatalar çerçevesinde teori ile deney sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmektedir. Fakat geçiş bölgesinde yerleşen ^{166}Hf ve ^{186}W izotopları deforme bölgesinin uç kısımlarında yerleştiklerinden dolayı bu çekirdekler rotasyon olmayabilirler ve bunun sonucunda β_2 kuadropol momentlerinin (2) formülünden yola çıkarak bulunan deneysel değerleri bu çekirdeklerin gerçek kuadropol momentlerini yansıtmayabilir. Buna göre kuadropol momentlerinin direkt deneylerde ölçülmesi teori bakımından çok önemlidir.

Deforme çekirdeklerin Coulomb uyarılma deneylerinde incelenmesi bu çekirdeklerde kuadropol deformasyonundan başka heksadekapol deformasyonunda olduğunu göstermiştir [11,12]. Bu deformasyona karşılık gelen β_4 deformasyon parametresinin sayısal değeri, uygun β_2 değerinden bir mertebe daha küçüktür. Şunu da belirtelim ki kütle sayısı $150 \leq A < 190$ aralığında yerleşen çekirdekler için bu aralık başlangıcında β_4 pozitifdir, A 'nın artmasıyla β_4 azalır ve aralığın sonundaki çekirdekler için hatta işaretini de değiştirir.

Çalışmamızda kuadropol momentlerinin β_4 parametresinin [11] deneysel verilerinden yararlanarak Hafniyum ve Wolfram izotopları için hesaplanmış değerleri uygun olarak Tablo.3 ve Tablo.4 de gösterilmiştir. Her iki tabloda mukayese için kuadropol momentlerinin $\beta_4 = 0$ haline karşı gelen değerleri de gösterilmiştir. Tablolardan görüldüğü gibi heksadekapol deformasyonun göz önüne alınması kuadropol

momentlerini çok az etkiliyor. Heksadekapol deformasyonun kuadropol momentlerine katkısı incelenen tüm izotoplar için 0.05 barn'ı aşmıyor.

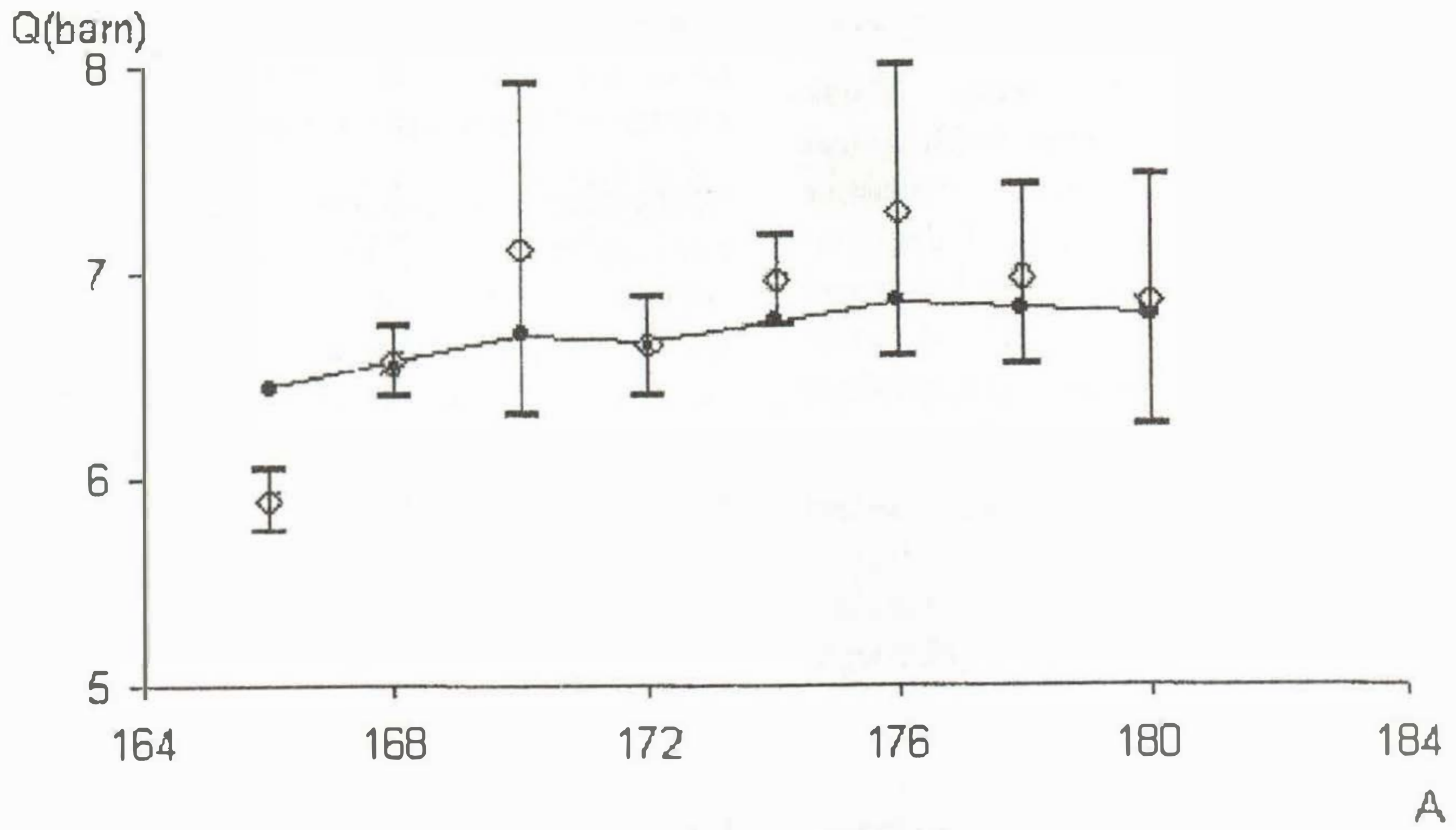
Sonuç olarak bu çalışmalar süperakışkan modeli baz alan mikroskopik modelin kararlı deformasyona sahip çekirdeklerinin yanı sıra kararlılık bölgesinin uç kısımlarında yerleşen deforme çekirdeklerin de kuadropol momentlerinin deneysel değerlerini başarıyla açıklamakta olduğunu gösterdi. Deformasyon parametresinin teorik olarak fit edilmiş değerleri elektrik kuadropol geçişlerden elde edilmiş deneysel değerlerle uyum içerisindedir.

TEŞEKKÜR

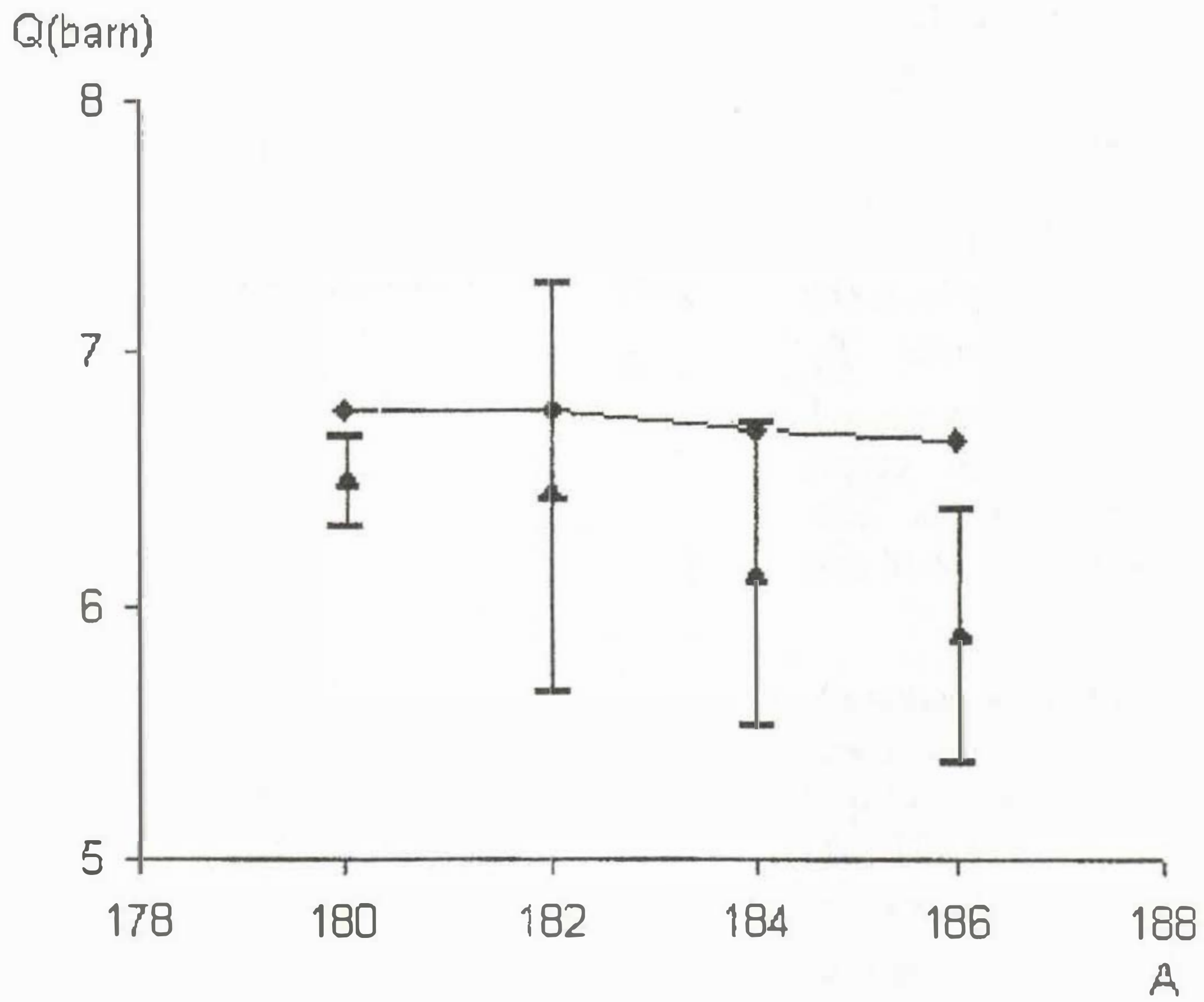
Katkı ve yardımlarından dolayı Prof.C.Salam ve Dr.M.Gerçeklioğluna teşekkür ederiz.

Tablo 1 $^{166-180}\text{Hf}$ ve $^{180-186}\text{W}$ izotoplarının süperakışkan modelde gap ve kimyasal potansiyel parametreleri (MeV birimlerinde)

Çekirdek	Δ_n	λ_n	Δ_p	λ_p
$^{166}_{72}\text{Hf}$	0.966	-6.515	0.879	-4.143
$^{168}_{72}\text{Hf}$	1.069	-6.069	0.879	-3.911
$^{170}_{72}\text{Hf}$	0.862	-5.598	0.75	-4.382
$^{172}_{72}\text{Hf}$	1.172	-5.163	0.879	-5.062
$^{174}_{72}\text{Hf}$	0.69	-4.631	0.75	-5.335
$^{176}_{72}\text{Hf}$	0.655	-4.139	0.75	-6.098
$^{178}_{72}\text{Hf}$	0.72	-3.664	0.75	-6.412
$^{180}_{72}\text{Hf}$	0.69	-3.254	0.75	-7.064
$^{180}_{74}\text{W}$	0.724	-3.666	0.93	-6.187
$^{182}_{74}\text{W}$	0.76	-3.289	0.93	-6.824
$^{184}_{74}\text{W}$	0.69	-2.942	0.93	-7.667
$^{186}_{74}\text{W}$	0.876	-2.745	0.93	-8.292



Şekil 1 Çift- çift $^{166-180}\text{Hf}$ izotoplarının kuadropol momentlerinin teorik ve deneysel değerlerinin A kütle sayısı ile değişimi. Burada \diamond deneysel değerlere, \bullet teorik değerlere ve I ise deneysel hata aralığına karşı geliyor.



Şekil 2 Çift- çift $^{180-186}\text{W}$ izotoplarının kuadropol momentlerinin teorik ve deneysel değerlerinin A kütle sayısı ile değişimi. Burada \blacktriangle deneysel değerlere, \blacklozenge teorik değerlere ve I ise deneysel hata aralığına karşı geliyor.

Tablo 2 Kuadropol deformasyon parametrelerinin teorik ve deneysel değerleri. Burada β_2^{exp} , δ_2^{exp} değerleri (1) formülünün yardımıyla hesaplanmış, β_2^{th} ve δ_2^{th} değerleri ise kuadropol momentlerinin fit edilmesiyle bulunmuştur. β_R deformasyon parametresi (1) formülündeki β_2^2 içeren terim ihmal edilerek bulunmuş değerleridir [7].

Çekirdekler	β_R	β_2^{exp}	β_2^{th}	δ_2^{exp}	δ_2^{th}
$^{166}_{72}\text{Hf}$	0.249	0.2308	0.0957	0.2172	0.0857
$^{168}_{72}\text{Hf}$	0.274	0.2479	0.2479	0.2349	0.2349
$^{170}_{72}\text{Hf}$	0.296	0.2648	0.3603	0.2525	0.3554
$^{172}_{72}\text{Hf}$	0.274	0.2479	0.2445	0.2352	0.2317
$^{174}_{72}\text{Hf}$	0.284	0.2563	0.3062	0.2441	0.2968
$^{176}_{72}\text{Hf}$	0.2953	0.2731	0.3777	0.2618	0.3754
$^{178}_{72}\text{Hf}$	0.2803	0.2563	0.295	0.2444	0.2852
$^{180}_{72}\text{Hf}$	0.2733	0.2479	0.2631	0.2358	0.2516
$^{180}_{74}\text{W}$	0.252	0.2308	0.169	0.2183	0.1562
$^{182}_{74}\text{W}$	0.2494	0.2308	0.1517	0.2184	0.1394
$^{184}_{74}\text{W}$	0.2347	0.2136	0.077	0.2009	0.0689
$^{186}_{74}\text{W}$	0.2238	0.2049	0.0297	0.1923	0.0261

Tablo 3 Hafnium izotoplarının kuadropol momentlerinin heksadekapol deformasyonun katkısıyla hesaplanmış değerleri.

Çekirdek	β_2^{th}	δ_2^{th}	$Q_{th}(\text{barn})$ $\beta_4 = -0.02$	$Q_{th}(\text{barn})$ $\beta_4 = 0$
$^{166}_{72}\text{Hf}$	0.0957	0.0857	5.868	5.89
$^{168}_{72}\text{Hf}$	0.2479	0.2349	6.542	6.561
$^{170}_{72}\text{Hf}$	0.3603	0.3554	7.032	7.072
$^{172}_{72}\text{Hf}$	0.2445	0.2317	6.622	6.641
$^{174}_{72}\text{Hf}$	0.3062	0.2968	6.92	6.95
$^{176}_{72}\text{Hf}$	0.3777	0.3754	7.235	7.28
$^{178}_{72}\text{Hf}$	0.295	0.2852	6.936	6.961
$^{180}_{72}\text{Hf}$	0.2631	0.2516	6.813	6.836

Tablo 4 Wolfram izotoplarının kuadropol momentlerinin heksadekapol deformasyonun katkısıyla hesaplanmış değerleri.

Çekirdek	β_2^{th}	δ_2^{th}	$Q_{th}(\text{barn})$ $\beta_4 = -0.05$	$Q_{th}(\text{barn})$ $\beta_4 = 0$
$^{180}_{74}\text{W}$	0.169	0.1562	6.466	6.52
$^{182}_{74}\text{W}$	0.1517	0.1394	6.397	6.454
$^{184}_{74}\text{W}$	0.077	0.0689	6.078	6.13
$^{186}_{74}\text{W}$	0.0297	0.0261	5.844	5.885

KAYNAKLAR

- [1] V.G.Soloviev Theory of Complex Nuclei, Pergoman Press, New York, 1976
- [2] A.Bohr and B.Mottelson, Nuclear Structure, vol.1 Benjamin, New York, Amsterdam, 1969
- [3] D.A.Arseniev, A.Sobiczewski and V.G.Soloviev, Nucl. Phys.A 126, 15, 1969
- [4] D.A.Arseniev, A.Sobiczewski and V.G.Soloviev Nucl.Phys.A139, 269, 1969
- [5] J.L.Wood K.Heyde, W.Nazarewicz, M.Huyse and P.Van Duppen Coexistence in even mass nuclei Phys.Rep.215, 101 1992
- [6] B.Nerlo-Pomorske and B.Mach Atomic Data and Nuclear Data Tables, 287, 1995
- [7] N.H.Allal, M.Fellah and N.Benhamaouda Elektrik Kuadropol Momentleri of even-even Sm nuclei Nucl.Phys.A 690, 219, 2001
- [8] F.Ertugral, E.Guliyev, A.Kuliev ¹⁶⁶⁻¹⁸⁰Hf İzotoplarının Kuadropol Momentlerinin Hesaplanması I.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi Bildirileri TAEK, Ankara (basımda), 25-26 Ekim 2001
- [9] J.Dudek, T.Wigner, Nucl.Phys.A412 (1984) 61
- [10] S.Raman, C.H.Malarkey, W.T.Milner, C.W.Neston, J.R. and P.H.Stelsen, Transition Probability, B(E2), From the Ground to the First-Excited 2⁺ states of even-even Nuclides, Atomic Data and Nuclear Data Tables v.36, 1, 1987
- [11] D.L.Hendrie, N.K.Glendenning, B.G.Harvey, O.N.Javis, H.H.Duhm, J.Saudinos and I.Mahoney Phys.Lett.26B, 127, 1968
- [12] K.A.Erb, J.E.Holdan, I.Y.Lee, J.X.Saladin, T.K.Taylor Kuadropol and Hexadecapole Deformation Rare Earth nuclei., Phys.Rev.Lett. 29, 1010, (1972)