

HAFİF $^{103,105,107}\text{Te}$ İZOTOPLARININ KABUK MODELİ HESAPLAMALARI SHELL MODEL CALCULATIONS OF LIGHT $^{103,105,107}\text{Te}$ ISOTOPES

Öznur DEMİRÖRS^{1*}, Erdal DİKMEN¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta

ÖZET

Bu çalışmada, $N=Z=50$ çift kapalı kabuğu etrafında bulunan iki proton artı artan nötron sayılarına uyan $^{103,105,107}\text{Te}$ izotopları için standart nükleer kabuk modeli hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan kabuk modeli hesaplamalarında ^{100}Sn çekirdeği kor olarak kabul edilmiş ve bu kor üzerinde bulunan $2s_{1/2}$, $1d_{3/2}$, $1d_{5/2}$, $0g_{9/2}$ ve $0h_{11/2}$ tek parçacık yörüngeleri model uzayı olarak seçilmiştir. İki- cisim etkin etkileşmeleri olarak CD-Bonn nükleon-nükleon (NN) etkin etkileşmeleri kullanılmış ve çok-kabuklu kabuk modeli hesaplamaları Drexel Üniversitesi Kabuk Modeli (DUSM) kodu kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde $^{103,105,107}\text{Te}$ izotoplarının taban ve düşük uyarılma durumları, pariteleri ve bu durumlara karşılık gelen uyarılma enerjileri elde edilmiştir. Elde edilen teorik enerji spektrumları mevcut kaynaklarda yer alan deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve kabul edilebilir bir uyum içerisinde olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Kabuk Modeli, $^{103,105,107}\text{Te}$, Enerji Spektrumu, CD- Bonn, NN Etkileşmeleri*

ABSTRACT

In this study, the standard shell model calculations for the $^{103,105,107}\text{Te}$ isotopes which are the nuclei consisting of two protons plus increasing neutron number around the doubly magic $N=Z=50$ core. It is chosen ^{100}Sn as a doubly -magic core and the single particle orbits $2s_{1/2}$, $1d_{5/2}$, $1d_{3/2}$, $0g_{7/2}$ ve $0h_{11/2}$ around this core as a model space. It has been carried out the shell model calculations by using the Drexel University Shell Model (DUSM) code and CD-Bonn two-body effective interactions. As a result of the calculations, the low-lying states, parities, and corresponding energies are calculated for the $^{103,105,107}\text{Te}$ isotopes. The obtained theoretical energy spectra are compared with available experimental data and found to be reasonable agreement with the experimental data.

Key Words: *Shell Model, $^{103,105,107}\text{Te}$, Energy Spectra, CD- Bonn, NN interactions*

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: Öznur DEMİRÖRS, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta, Tel: 00902462114228, oznurdemirors@hotmail.com
Bu çalışma SDUBAP 3310-YL1-12 no'lu proje ile desteklenmiştir.

1.GİRİŞ

Nükleer fizik araştırmacılarının yıllardan beri üzerinde çalıştıkları konulardan biri nükleer yapı olarak bilinen atom çekirdeğinin yapısını ortaya koymaktır. Nükleer yapının anlaşılmasında ve çekirdeğin değişik özelliklerinin tanımlanmasında nükleer kabuk modeli oldukça başarılı olmuş bir modeldir ve çekirdeklerin yapısını açıklamak için düşük enerji seviyelerinde standart model haline gelmiştir[1].

$N = Z = 50$ çift kapalı kabuğu etrafındaki çekirdeklerin nükleer yapılarının araştırılması orta ağırlıklı çekirdeklere geçiş bölgesindeki nükleer özelliklerin anlaşılması için önemli bir yere sahiptir[2]. Periyodik tablonun bu bölgesinde yer alan çekirdeklerin nükleer yapısının ve nükleer özelliklerinin nükleer kabuk modeli çerçevesinde anlaşılması için Sn çekirdekleri tamamen nötron serbestlik derecelerini içerdiğinden iyi bir seçimdir ve Sn çekirdekleri üzerine bir çok teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır[3,4,5,6,7]. Bu kütle bölgesindeki hafif çekirdeklerden orta ağırlıklı çekirdeklere geçiş durumunda nükleer özelliklerin nasıl değiştiğinin anlaşılması için bir proton artı artan nötron sayıları ve iki proton artı artan nötron sayıları içeren çekirdekler üzerine nükleer kabuk modeli çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

İşte bu çalışmada amacımız, $A=100$ kapalı koru etrafında bulunan ve iki proton artı artan nötron sayılarına uyan $^{103,105,107}\text{Te}$ izotopları için standart nükleer kabuk modeli hesaplamaları yaparak periyodik tablonun bu bölgesinde yer alan çekirdeklerin nükleer yapısının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktır. Bu bölgedeki çekirdekler üzerine yapılan teorik çalışmalara paralel olarak deneysel çalışmalar da devam etmektedir. Örneğin; B.Hadinia vd. (2004), ^{107}Te gama ışınma geçişleri ilk kez keşfedilmiş ve birinci uyarılma durumu 90 keV olarak önerilmiştir[8]. S.N.Liddick vd. (2006), Recoil kütle spektroskopisi kullanarak yaklaşık 220- 225 MeV'lik enerji aralığında, $^{54}\text{Fe}(^{58}\text{Ni}; 3n)^{109}\text{Xe}$ fisyon(bölünme)-buharlaştırma reaksiyonunu

kullanarak $^{109}\text{Xe} \rightarrow ^{105}\text{Te} \rightarrow ^{101}\text{Sn}$ α bozunması esnasında ^{105}Te için birinci uyarılmış seviyeden temel seviyeye olan gamma ışınması gözlemlenmiştir. Deney sonucunda 52 proton ve 53 nötronu bulunan ^{105}Te için durumu temel durum kabul edilmiştir[3].

2. TEORİK HESAPLAMA METODU

Nükleer kabuk modelinde çekirdek nükleonlardan oluşan kuantum mekaniksel bir sistem olarak ele alınır ve problem bu sistemi tanımlayan Schrödinger eşitliğinin çözümünü gerektirir:

$$H \psi = E \psi \quad (1)$$

Bu ifadede H Hamiltoniyen operatörünü, ψ dalga fonksiyonunu ve E enerji özdeğerlerini ifade eder. Burada nükleer sistemi tanımlayan Hamiltoniyen ikinci kuantalanma çerçevesinde oluşturma (creation) ve yok etme (annihilation) operatörleri cinsinden ifade edilebilir:

$$H = \sum \epsilon_{\alpha} a_{\alpha}^{\dagger} a_{\alpha} + \frac{1}{2} \sum V_{\alpha\beta\gamma\delta}^{etkin} a_{\alpha}^{\dagger} a_{\beta}^{\dagger} a_{\delta} a_{\gamma} \quad (2)$$

Bu ifadede ilk terim valans nükleonlarının kapalı kor (dolu kabuklar) ile etkileşmesini tanımlayan tek-cisim bileşenlerini, ikinci terim ise etkin iki-cisim etkileşmelerini tanımlayan iki- cisim bileşenlerini temsil eder. İlk ve ikinci terimde yer alan a_{α}^{\dagger} , a_{β}^{\dagger} ve sırasıyla yok etme operatörünü, oluşturma operatörünü, tek parçacık enerjisini ve etkin iki-cisim etkileşmesini temsil etmektedir. Denklem (2) ile verilen özdeğer denkleminin belirli bir çekirdek için çözümü ile mümkün kuantum durumları, pariteleri, bunlara karşılık gelen enerji değerleri ve dalga fonksiyonu elde edilir. Elde edilen dalga fonksiyonunun kullanımı ile ele alınan çekirdeğin diğer bazı nükleer özellikleri hesaplanabilir.

Denklem (1) ve (2) ile verilen problemin çözümü için M. Vallieres vd.(1993) yaptıkları çalışmada “Drexel University Shell Model (DUSM)” adı verilen farklı bir yöntem geliştiren

rilmiştir. DUSM algoritması, permütasyon grup mantalitesinin yoğun bir şekilde kullanımına dayanır. Bu metotta Hilbert uzayı iki parçaya ayrılır: yörünge açısız momentumu (J) ve izospin (T). İzospin kuantum sayısı nötronları protonlardan ayırır. Çok-kabuklu kabuk modeli hesaplamalarında izospin fiziksel anlamının yanı sıra etiketleme ve ayırt etme olarak da çok kullanışlıdır. İyi izospinli bir durum simetrik grubun herhangi bir indirgenemeyen gösterimine ve buna uygun yörünge açısız momentum durumları konjüge gösterimlere aittir. İzospin gösterimlerinin iki satırla sınırlandırılması ($t=1/2$) yörünge açısız momentum gösterimlerinin iki sütuna sınırlandırılmasını ifade eder. İç çarpım izoskalar faktörlerinin kullanımı ile iki konjüge gösterime ait durumlardan global olarak anti simetrik durumlar oluşturulur. Bu yöntem bize uygun bir şekilde tam bir J-T temel seti oluşturmayı sağlar[9,10].

Coefficients of Fractional Parentage(CFP)'ler spin (J) ve izospin (T) uzaylarında N tane parçacık için herbiri ayrı olarak hesaplanırlar. Bu metot uygun birim ve ortogonal gruplar için kuadratik Casimir operatörlerini temsil eden matrislerin inşasını ve köşegenleştirilmesini içerir. Antisimetrik çiftlenmiş J – T durumlarının CFP'leri simetrik grupların konjüge gösterimlerine uygun J ve T'ler için CFP'lerin çarpım terimlerinden sağlanır. Böylelikle bu yaklaşımda kuadratik Casimir operatörlerinin ortak özvektörleri CFP'lerdir. Özdeğerleri ise permütasyon simetrisini ve senyoritiyi belirler (Novoselsky vd.,1988)[11]. Bu nedenle bu metot bize az sayıda çiftlenmiş açısız momentum değerleri ve öngörüleceği üzere büyük bir hesaplama zamanı kazandırır.

DUSM kodunun son aşamasında nükleer sistemi tanımlayan Hamiltoniyen matrisinin hesaplaması yapılır. Bunun için daha önce hesaplanmış olan temel matris elemanları, CFP'ler, iç (Inner product Isoscalar Factor - IISF) ve dış (Outer product Isoscalar Factor - OISF) çarpımlar için çiftlenme katsayıları, tek parçacık enerjileri ve iki-cisim etkin etkileşme matris ele-

manları sistemin Hamiltoniyen hesaplamasına girdi olarak kullanılır. İnşa edilen Hamiltoniyen matrisinin boyutuna bağlı olarak tam köşegenleştirme veya Lanczos iterasyon metoduyla köşegenleştirme yapılarak özdeğerler ve özvektörler elde edilir[12].

DUSM kodunun skalar ve paralel olmak üzere iki versiyonu vardır. Hamiltoniyen boyutları 10^5 'e kadar olan kabuk modeli hesaplamaları için DUSM kodunun skalar versiyonunu, 10^6 ve yukarı boyutlar için ise paralel versiyonunu kullanılır. $^{103,105}\text{Te}$ izotopları için nükleer sistemi tanımlayan Hamiltoniyenin boyutları skalar versiyona, ^{107}Te izotopunun Hamiltoniyen boyutları paralel versiyona uygun olduğu için her iki versiyon da kullanılmıştır. DUSM kodu ile yapılan hesaplamalar Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümünde TÜ-BİTAK ve SDÜBAP projeleri desteğiyle kurulan Yüksek Başarımlı Paralel Bilgisayar Sisteminde (YUBBİS) yapılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, standart nükleer kabuk modeli kullanılarak ^{103}Te , ^{105}Te ve ^{107}Te izotopları için düşük enerji durumları hesaplanmıştır ve hesaplamalar için ^{100}Sn çekirdeği kor olarak kullanılmıştır. Valans proton ve nötronları için model uzayı olarak *sdgh* ana kabuğu olarak bilinen $2s_{1/2}$, $1d_{3/2}$, $1d_{5/2}$, $0g_{7/2}$ ve $0h_{11/2}$ tek parçacık yörüngelerinden oluşan model uzayı seçilmiştir. Tek parçacık enerjileri olarak ise $\epsilon_{s_{1/2}}=2,45$ MeV, $\epsilon_{d_{5/2}}=0,00$ MeV, $\epsilon_{d_{3/2}}=2,55$ MeV, $\epsilon_{g_{7/2}}=0,17$ MeV ve $\epsilon_{h_{11/2}}=3,20$ MeV kullanılmıştır. Hesaplamalarda iki-cisim nükleon- nükleon etkileşimi olarak CD-Bonn[13] iki-cisim etkin etkileşmelerini kullanılmıştır. CD-Bonn etkileşmesi bu bölgede en iyi kabuk modeli sonuçlarını veren etkileşmelerden olması nedeniyle seçilmiştir.

toplارının sistematik bir nükleer yapı analizinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda periyodik tablonun bu bölgesindeki çekirdekler üzerine nükleer yapı çalışmalarının devam etmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Mayer, M. G., On Closed Shells in Nuclei II., *Physical Review*, 75, 1969, 1949.
- [2] Talmi, I., Simple Models of Complex Nuclei. Harwood Academic Publishers, 1074p., New York, 1993.
- [3] Liddick, S. N., Grzywacz, R., Mazzocchi, C., Page, R.D., Rykaczewski, K.P., Batchelder, J.C., Bingham, C.R., Darby, I.G., Drafta, G., Goodin, C., Gross, C.J., Hamilton, J.H., Heeht, A.A., Hwang, J.K., Hyushkin, S., Joss, D.T., Korgul, A., Królas, W., Lagergren, K., Li, K., Tantawy, M.N., Thomson, J. and Winger, J.A., Discovery of ^{109}Xe and ^{105}Te : Superallowed α Decay near Double Magic ^{100}Sn , *Phys. Rev. Letters* PRL 97, 082501, 4p, 2006.
- [4] Dikmen, E., Shell Model Description of Neutron-Deficient Sn Isotopes, *Communications in Theoretical Physics*, 515, 899-903, 2009.
- [5] Fahlander, C., Palacz, M., Rudolph, D., Sohler, D., Blomqvist, J., Kownacki, J., Lagergren, K., Norlin, L.O., Nyberg J., Algora, A., Andreoiu, C., Angelis de G., Ataç, A., Bazzacco, D., Berglund, L., Bäck, T., Cederkäll, J., Cederwall, B., Dombradi, Zs., Fant, B., Farnea, E., Gadea, A., Górska, M., Grawe, H., Hashimoto-Saitoh, N., Johnson, A., Kerek, A., Klamra, W., Lenzi, S.M., Likar, A., Lipoglavšek, M., Moszyński, Napoli, D.R., Rossi-Alvarez, C., Roth, H.A., Saitoh, T., Seweryniak, D., Skeppstedt, Ö., Weiszflog M. and Wolińska, M., Excited states in ^{103}Sn : Neutron single-particle energies with respect to ^{100}Sn , *Physical Review C* 63, 021307(R), 2001.
- [6] Dikmen E. Öztürk, O., and Vallieres, M., Shell model structure of mid-heavy even-even Sn isotopes, *J. Phys. G: Nuclear Particle Physics* 36 045102, 12pp, 2009.
- [7] Ekström A. Cederkall, J., Fahlander, C., Hjorth-Jensen, M., Ames, F., Butler, P.A., Davinson, T., Eberth, J., Fincke, F., Gørgen, A., Gorska, M., Habs, D., Hurst, A.M., Huyse, M., Ivanov, O., Iwanicki, J., Kester, O., Köster, U., Marsh, B.A., Mierzejewski, J., Reiter, P., Scheit, H., Schwalm, D., Siem, S., Sletten, G., Stefanescu, I., Tveten, G.M., Van de Walle, J., Van Duppen, P., Voulot, D., Warr, N., Weisshaar, D., Wenander, F., and Zielinska, M., $0g_{7/2}^+ \rightarrow 2_{1/2}^+$ Transition Strengths in ^{106}Sn and ^{108}Sn , *Physical Review Letters*, 101, 012502, 4p, 2008.
- [8] Handinia B. Cederwall, B., Lagergren, K., Blomqvist, J., Bäck, T., Eekhaudt, S., Grahn, T., Greenlees, P., Johnson, A., Joss, D.T., Julin, R., Juutinen, S., Kettunen, H., Leino, M., Leppänen, A.-P., Liotta, R.J., Nieminen, P., Nyman, M., Pakarinen, J., Paul, E.S., Rahkila, P., Scholey, C., Uusitalo, J., Wadsworth, R., and Wiseman, D.R., First identification of γ -ray transitions in ^{107}Te , *Physical Review C* 70, 064314, 4p, 2004.
- [9] Vallieres M., Novoselsky A., Drexel University Shell Model (DUSM) algorithm. *Nuclear Physics A* 570, 345c, 1993.
- [10] Dikmen E., Shell Model Studies in the sdgh shell for the proton drip line $Z=51$ isotopes Drexel University, Ph.D. Thesis, 115p, USA, 2002.
- [11] Novoselsky A., Katriel, J., Gilmore, R., Coefficients of fractional parentage in the L-S coupling scheme, *Journal of Mathematical Physics*, 29, 6, 1988.
- [12] C.Lanczos, An Iteration Method for the Solution of the Eigenvalue Problem of Linear Differential and Integral Operators, *Journal of Research of National Bureau of Standards*, 45, 4, 1950.
- [13] Hjorth-Jensen, M., Kuo, T.T.S., and Osnes, E., Realistic effective interactions for nuclear systems. *Physics Reports*, 261, 3-4, 125-270, 1995.