Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Muş Alparslan University Journal of Science ISSN:2147-7930

Cilt/Volume:1 Sayı/ Issue:2 Aralık/December: 2013

HAFİF ^{103,105,107} Te İZOTOPLARININ KABUK MODELİ HESAPLAMALARI

SHELL MODEL CALCULATIONS OF LİGHT 103,105,107 Te ISOTOPES

Öznur DEMİRÖRS1*, 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 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 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}Te, Enerji Spektrumu, CD- Bonn, NN Etkileşmeleri

ABSTRACT

In this study, the standard shell model calculations for the 103,105,107 Te isotopes which are the nuclei consisting of two protons plus increasing neutron number around the doubly magic N= Z= 50 core. It is choosen 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 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 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 ver 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 etrafinda bulunan ve iki proton artı artan nötron sayılarına uyan 103,105,107 Te izotopları için standart nükleer kabuk modeli hesaplamaları yaparak periyodik tablonun bu bölgesinde ver alan çekirdeklerin nükleer yapısının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktır. Bu bölgedeki çekirdekler üzerine yapılan teorik çalışmalara paralel olarak denevsel calışmalar da devam etmektedir. Örneğin; B.Hadinia vd. (2004), ¹⁰⁷Te gama ışıma 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, 54Fe(58Ni; 3n)109Xe fisyon(bölünme)-buharlaştırma reaksiyonunu

kullanarak ¹⁰⁹Xe \rightarrow ¹⁰⁵Te \rightarrow ¹⁰¹Sn α bozunması esnasında ¹⁰⁵Te için birinci uyarılmış seviyeden temel seviyeye olan gamma ışıması gözlemlenmiştir. Deney sonucunda 52 proton ve 53 nötronu bulunan ¹⁰⁵Te 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 eşitiliğinin çözümünü gerektirir:

$$H\psi = E\psi \tag{1}$$

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:

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

Bu ifadede ilk terim valans nükleonlarının kapalı kor (dolu kabuklar) ile etkileşmesini tanımlayan tek-cisim bileşenlerini, ikinci terim ise etkin iki-cisim etkileşmelerini tanımlamayan iki- cisim bileşenlerini temsil eder. İlk ve ikinci terimde yer alan,, 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 geliştirilmistir. DUSM algoritması, permütasyon grup mantalitesinin yoğun bir şekilde kullanımına dayanır. Bu metodta Hilbert uzayı iki parçaya avrılır: yörünge acısal 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 açısal momentum durumları konjüge gösterimlere aittir. İzospin gösterimlerinin iki satırla sınırlandırılması (t=1/2) yörünge açısal 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 konjuge 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 açısal 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 elemanları sistemin Hamitoniyen 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 10⁵'e kadar olan kabuk modeli hesaplamaları için DUSM kodunun skalar versiyonunu, 10⁶ ve yukarı boyutlar için ise paralel versiyonunu kullanılır. ^{103,105}Te izotopları için nükleer sistemi tanımlayan Hamiltoniyenin boyutları skalar versiyona, ¹⁰⁷Te izotopunun Hamitoniyen 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 ¹⁰³Te, ¹⁰⁵Te ve ¹⁰⁷Te izotopları için düşük enerji durumları hesaplanmıştır ve hesaplamalar için 100Sn çekirdeği kor olarak kullanılmıştır. Valans proton ve nötronları için model uzayı olarak sdgh ana kabuğu olarak bilinen $2s_{1/2}$, $1d_{5/2}$, $1d_{3/2}$, $0g_{7/2}$ ve $0h_{11/2}$ tek parçacık yörüngelerinden oluşan model uzayı seçilmiştir. Tek parçacık enerjileri olarak ise $\varepsilon_{s1/2}$ =2,45 MeV, $\varepsilon_{d5/2}$ =0,00 MeV, $\varepsilon_{d3/2}$ =2,55 MeV, $\varepsilon_{g7/2}$ =0,17 MeV ve $\varepsilon_{h11/2}$ =3,20 MeV kullanılmıştır. Hesaplamalarda iki-cisim nükleon- nükleon etkileşimi olarak CD-Bonn[13] iki-cisim etkin etkilesmelerini kullanılmıştır. CD-Bonn etkileşmesi bu bölgede en ivi kabuk modeli sonuçlarını veren etkilesmelerden olması nedeniyle seçilmiştir.



Şekil 1. ¹⁰³Te çekirdeğinin teorik düşük enerji spektrumu (~2,7 MeV'e kadar)

Şekil 1'de CD-Bonn etkin etkileşmesinin kullanılmasıyla hesaplanan ¹⁰³Te çekirdeği için ~2,7 MeV'e kadar olan tüm pozitif pariteli durumları içeren enerji spektrumu gösterilmiştir. Hesaplamalar neticesinde durumu temel enerji seviyesi ve 2 MeV'nin altında ve durumları sırasıyla 1., 2., 3., 4. ve 5. uyarılma enerji seviyeleri olarak tespit edilmiştir. Bu uyarılma seviyeleri arasında belirgin bir enerji aralıklarının olduğu görülmektedir. Özellikle ile seviyeleri arasında yaklaşık olarak 0,6 MeV'lik bir enerji aralığı dikkat çekmektedir. seviyesinin üzerinde ise birbirine yakın bir çok durum elde edilmiştir.



Şekil 2. ¹⁰⁵Te çekirdeğinin deneysel ve teorik düşük enerji spektrumları (~2,5 MeV'e kadar)

Şekil 2'de CD-Bonn etkin etkileşmeleri kullanılmasıyla hesaplanan 105 Te çekirdeği için ~2,5 MeV'e kadar olan tüm pozitif pariteli enerji spektrumu görülmektedir. S.N.Liddick vd. (2006) tarafından yapılan deneysel çalışmada durumunu temel durum olarak ve bu seviyenin 150 keV üzerinde durumu birinci uyarılmış durumu olarak gözlenmiştir. Bu verilen iki deneysel veri haricinde ¹⁰⁵Te izotopu için literatürde baska denevsel veri bulunmamaktadır (bizim en iyi bilgimize göre). Bizim yapmış olduğumuz kabuk modeli hesaplamaları neticesinde sevivesi temel durum olarak hesaplanmıştır ve deneysel veri ile 150 keV farklıdır. Deneysel temel durum olarak gözlenen durumu ise 254 keV yukarıda hesaplanmıştır. Şekil 2'de verilen spektrumda da görüleceği üzere ~2,5 MeV'nin altında deneysel veri haricinde birçok durum hesaplanmıştır.



Şekil 3. ¹⁰⁷Te çekirdeğinin deneysel ve teorik düşük enerji spektrumları (~2 MeV'e kadar)

Şekil 3'de CD-Bonn etkin etkileşmeleri kullanılmasıyla hesaplanan 107Te çekirdeği için ~2 MeV'e kadar olan tüm pozitif pariteli teorik ve deneysel enerji spektrumları görülmektedir. B. Hadinia vd. (2004) tarafından yapılan deneysel çalışmada seviyesi temel durum olarak gözlenmiş ve bunun 90 keV üzerinde seviyesi 1. uyarılma durumu, 721 keV üzerinde seviyesi 2. uyarılma durumu olarak gözlemlenmiştir. Bizim yapmış olduğumuz hesaplamalarda bu seviyelerin sıralaması aynı şekilde bulunmuştur. Ancak bizim hesaplamalarımız durumunu temel durum olarak netice vermiştir. Şunu ifade etmek gerekir ki, 1. uyarılma seviyesi olarak hesaplanan durumu ile temel seviye olarak hesaplanan durumu arasında 77 keV'lik küçük bir enerji farkı vardır. Yani hesaplamalarda kullanılan tek parçacık enerjilerindeki küçük değişiklikler ile bu sıralama değişebilir ve deneyle uyumlu sonuçlar elde edilebilir. Hesaplamalarda kullandığımız tek parçacık enerjilerinin direk olarak deneysel verilerden elde edilemediği, çıkarım yoluyla elde edildiğine dikkat edilmesi gerekir. ¹⁰⁷Te çekirdeğinin çok kararsız olması nedeniyle deneysel olarak fazla veriye sahip değiliz ve tespit edilmiş olan, , durumlarının haricinde de başka durumların olması gerekmektedir. Yapmış olduğumuz kabuk modeli hesaplamalarında bu fikre uygun olarak ~2 MeV altında birçok nükleer durum hesaplanmıştır.

Son olarak, her üç çekirdek için elde edilen teorik enerji spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: ^{103,105107}Te izotoplarının teorik düşük enerji spektrumları (~2 MeV'e kadar)

4. SONUÇ

A= 100 koru etrafında bulunan ve iki proton artı artan nötron sayılarına uyan 103,105,107Te izotopları için standart nükleer kabuk modeli hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen teorik enerji spektrumları deneysel verilerle karşılaştırılmış ve kabul edilebilir bir uyumun olduğu gözlenmiştir. Deneysel verilerde 105,107 Te için temel durum olarak tespit edilmiş, bizim hesaplamalarımızda ise sırasıyla ve olarak hesaplanmıştır. Bu farklılığa büyük oranda tek parçacık enerjilerindeki belirsizliğin neden olduğunu düşünmekteyiz. Farklı tek parcacık enerjilerinin kullanımıyla calısmaların tekrar edilmesi ve uvgun tek parçacık enerjilerinin bulunması ise bir başka araştırma konusu olarak ele alınabilir. Benzer sekilde diğer hafif Te izotopları için de kabuk modeli hesaplamalarının yapılması gerektiği ve bunun sonucunda da A= 100 koru etrafinda bulunan ve iki proton artı artan nötron sayılarına uyan hafif Te izotoplarının 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 ¹⁰⁹Xe and ¹⁰⁵Te: Superallowed α Decay near Double Magic ¹⁰⁰Sn, *Phys. Rev. Letters* PRL 97, 082501,4p, 2006.
- [4] Dikmen, E., Shell Model Description of Neutron-Deficient Sn Isotopes, *Commu*nications in Theoretical Physics, 515, 899-903, 2009.
- Fahlander, C., Palacz, M., Rudolph, D., [5] 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 ¹⁰³Sn: Neutron single- particle energies with respect to ¹⁰⁰Sn, 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., Görgen, 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., 0gs⁺→ 2₁⁺ Transition Strengths in ¹⁰⁶Sn and ¹⁰⁸Sn, *Physical Review Letters*, 101, 012502, 4p, 2008.
- [8] Handinia B. Cederwall, B., Lagergren, K., Blomqvist, J., Bäck, T., Eeckhaudt, 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 indentification of γ-ray transitions in ¹⁰⁷Te, *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] Novoselskv 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 fort he 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.