

Bazı Hafif Radyoaktif Çekirdeklerin Kütle ve Yük Yarıçaplarının Hesaplanması

E. ESER¹, Ş. OKUDUCU², N.N. AKTI², M.H. BÖLÜKDEMİR², E. TEL²

¹ Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Tokat

² Gazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara

Özet: Bu çalışmada, kısa yarı ömürlü ¹⁶N, ¹⁹O, ²⁰F, ⁴⁶Sc ve ⁷⁵Ge hafif radyoaktif çekirdeklerin kütle ve yük yarıçapları Sly4, SI, SIII, T3, SIV, SKM ve SKM* Skyrme kuvvetleri ile birlikte Skyrme Hartre-Fock metodu kullanılarak hesaplandı. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer çalışmaların deneysel ve teorik değerleri ile karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçların diğer sonuçlarla uyum içinde olduğu ve Skyrme Hartree-Fock metodunun radyoaktif çekirdeklerin yük yarıçaplarının hesaplanmasında oldukça iyi bir model olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: *Hartre-Fock metodu, radyoaktif çekirdek, kütle yarıçapı, yük yarıçapı*

Calculation of Mass and Charge Radius of Some Light Radioactive Nuclei

Abstract: In this work, using the Skyrme Hartre-Fock with Skyrme forces Sly4, SI, SIII, T3, SIV, SKM and SKM*, the mass and charge radius for the short-lived ¹⁶N, ¹⁹O, ²⁰F, ⁴⁶Sc and ⁷⁵Ge light radioactive nuclei are calculated. The obtained results are compared with the experimental and theoretical results in literature. It is seen that obtained results from our study are in good agreement with other results in literature, and Skyrme Hartre-Fock method is an appropriate model to calculate the radii of the interest nuclei.

Keywords: *Hartre-Fock method, radioactive nuclei, mass radius, charge radius*

1. Giriş

Kararlılıktan uzak radyoaktif çekirdeklerin çalışılması, uzun zamandır nükleer bilimin temel amaçlarından biridir. Radyoaktif çekirdekler, kararlı hale gelebilmek için bozulan çekirdeklere denir. Günümüzde radyoaktif çekirdekler hemen hemen bütün bilimsel ve teknik alanlarda kontrol aracı olarak geniş bir uygulama alanı bulur. Örneğin, metalürjide çeliğin katılaşması ve metalürjik tepkimelerin kinetiğinin incelemesinde, tıpta kanser ve tümör tedavisinde radyoaktiviteden yani radyoaktif çekirdeklerden yararlanılmaktadır. Bu nedenle bu çekirdeklerin kullanım alanlarının artırılması ve özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için yeni modellerin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Radyoaktif çekirdeklerin nükleer davranışlarının çeşitliliği ve uygulama alanlarının fazla olması doğal olarak bu çekirdekler üzerinde pek çok çalışmanın yapılmasına neden olmuştur. Kiefl ve

¹ E-mail: erhaneser@gop.edu.tr

ark.[1] yoğun madde fiziği uygulamaları için polarize olmuş radyoaktif bir iyon kaynağı geliştirmeye çalışmışlardır. P. Strasser ve ark. [2] muonik X-ışını metodu ile kararsız çekirdeklerin nükleer yapılarını belirlemeye çalışmışlardır. A. Elmalı ark. [3] gama-ışını spektroskopisi kullanarak radyoaktif çekirdeklerin yarılanma sürelerini belirlemişlerdir. Liard ve ark. [4] bir metal içine katılanmış radyoaktif çekirdeğin serbest bırakılması için bir model önermişlerdir. E.Tel ve ark. [5] Skyrme Hartree-Fock metodu ile nükleer yakıt olarak kullanılan bazı ağır radyoaktif çekirdeklerin kütle ve yük yarıçaplarını hesaplamışlardır. Skyrme Hartree-Fock metodu, yarıçap hesaplanmalarında kullanılması yanında bağlanma enerjisi, nötron-proton yoğunluğu, elektromanyetik moment gibi birçok çekirdek özelliklerinin belirlenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [6–10].

Çekirdeklerin yük yarıçapı; hem nükleer yapı hesaplamaları hem de reaksiyon hesaplamaları için gerekli temel özelliklerden biridir. Aynı zamanda, çekirdeklerin taban özelliklerinin belirlenmesi yanında çekirdeklerin nötron, proton ayrılma enerjilerinin ve deformasyon durumlarının belirlenmesinde de oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Skyrme kuvvetleri Sly4, SI, SIII, SIV, T3, SKM ve SKM* ile birlikte Skyrme Hartree-Fock yaklaşımı kullanılarak kısa yarı ömürlü bazı hafif radyoaktif çekirdeklerin kütle ve yük yarıçapları hesaplandı. Elde edilen sonuçlar literatürden elde edilen diğer teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı.

2. Teori ve Hesaplama Metodu

Skyrme kuvveti olarak adlandırılan nükleer kuvvetler ilk olarak Skyrme [11] tarafından önerildi. Bu kuvvetler üç-cisim terimleri yanında iki-cisim terimlerini içerir [12].

$$V_{ij}^2 = t_0 (1 + x_0 p_\sigma) \delta(\vec{r}) + \frac{1}{2} t_1 \left[\delta(\vec{r}) \vec{k}^2 + \vec{k}'^2 \delta(\vec{r}) \right] + t_2 \vec{k}' \delta(\vec{r}) \vec{k} + i W_0 (\vec{\sigma}_i - \vec{\sigma}_j) \cdot \vec{k} \times \delta(\vec{r}) \vec{k} \quad (1)$$

ve

$$V_{ijk}^3 = t_3 \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \delta(\vec{r}_j - \vec{r}_k) \quad (2)$$

ile birlikte

$$V_{CS} = \sum_{i < j} V_{ij}^{(2)} + \sum_{i < j < k} V_{ijk}^{(3)} \quad (3)$$

elde edilir. Burada $R = \frac{1}{2}(\vec{r}_i - \vec{r}_j)$ ve $\vec{r} = (\vec{r}_i - \vec{r}_j)$, momentum operatörü $\vec{k} = \frac{\vec{\nabla}_i - \vec{\nabla}_j}{2i}$, ve

$\vec{k}'^2 = -\frac{\vec{\nabla}_i - \vec{\nabla}_j}{2i}$ [13, 14]. Taban durum özellikleri ile birlikte aynı anda uyarılmış durumları

açıklamak için 1970 yılından bilinen Skyrme kuvvetleri geliştirilmektedir [11–15]. Özellikle Vautherin ve Brink' in [11] yaptığı çalışmalar, düşük enerjili nükleer fizik alanında yapılan çalışmalarını büyük ölçüde hareketlendirdi. Vautherin ve Brink, deneysel bağlanma enerjilerini ve nükleon yoğunluklarını fit ederek SI ve SIII olarak adlandırılan iki yeni kuvvet parametresi belirlediler. Brack ve ark. [13] SKM* ile gösterilen yeni bir parametre buldular. Daha sonraları, Chabanat ve ark.[14], SLy4 olarak adlandırılan diğer yeni Skyrme kuvveti önerdiler. Bu gelişmeler dikkate alındığında Eşitlik (1) aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir [15]:

$$V_{skyrme} = t_0 (1 + x_0 P_\sigma) \delta(\mathbf{r}) + \frac{1}{2} t_1 (1 + x_1 P_\sigma) \{ \delta(\vec{r}) \vec{k}^2 + \vec{k}'^2 \delta(\vec{r}) \} + t_2 (1 + x_2 P_\sigma) \vec{k}' \cdot \delta(\vec{r}) \vec{k} + \frac{1}{6} t_3 (1 + x_3 P_\sigma) \rho^\alpha(\vec{R}) \delta(\vec{r}) + i t_4 \vec{k}' \cdot \delta(\vec{r}) (\vec{\sigma}_i + \vec{\sigma}_j) \times \vec{k}. \quad (4)$$

Burada $\delta(\vec{r})$ delta fonksiyonu, P_σ yer değiştirme operatörü, $\vec{\sigma}$ Pauli spin matris vektörü ve $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, x_0, x_1, x_2, x_3, \alpha$ Skyrme kuvvet parametreleridir. Bu parametre değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Nükleer yük yoğunluğu, hem nükleer yapı analizinde çok önemli bir gözlemdir hem de çekirdeğin şekli hakkında bilgi verir. Nükleer yük yoğunluğu elastik elektron saçılmalarına göre tesir kesitinden veya Fourier-Bessel dönüşümü [16] göre yük faktöründen belirlenebilir. Nükleer yük yoğunlukları düşünöldüğünde rms proton, nötron ve yük yarıçapı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$r_q = \langle r_q^2 \rangle^{1/2} = \left[\frac{\int r^2 \rho_q(r) dr}{\int \rho_q(r) dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Burada q, nötron veya protonu tanımlar. Bu çalışmada anlatılan model hakkında detaylı bilgi önceki çalışmalarımızdan elde edinilebilir [17–19].

3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada Tablo 1 verilen Skyrme kuvvetlerini kullanarak, kısa yarı ömürlü bazı radyoaktif çekirdekler için kütle ve yük yarıçapları hesaplandı. Bu çekirdekler için hesaplanan ve diğer çalışmalardan (Sıvı Damla Modeli [20], deneysel [21] ve RMF teorisi [22]) elde edilen kütle ve yük yarıçap değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 2' de, kısa yarı ömürlü ^{16}N , ^{19}O , ^{20}F , ^{46}Sc ve ^{75}Ge hafif radyoaktif çekirdekler için Skyrme kuvvetleri kullanılarak hesaplanan yük yarıçap değerlerinin Nie'nin [20] sonuçları ile uyum içinde olduğu görölmektedir. Kullanılan Skyrme kuvvetleri içinde özellikle SKM* ve SLy4 kuvvet parametreleri hesaplanan yük yarıçap değerlerinin diğer çalışmaların sonuçları ile daha iyi uyum içinde olduğu görölmektedir. Aynı zamanda, Tablo 2'de aynı çekirdeklerin kütle yarıçapları için elde edilen ve derlenen sonuçlar verilmektedir. Hem hesaplanan hem de diğer çalışmalardan elde edilen sonuçların kütle numarası ile birlikte artmakta olduğu görölmektedir. Örneğin, 2.721 fm' den (^{16}N için), 4.027 fm' e (^{75}Ge için) kadar artmaktadır. Bu, proton ve nötron sayısının artması ile çekirdek hacminin de arttığını göstermektedir.

Tablo 1. Skyrme kuvvet parametreleri.

Force	SI	SIII	SVI	T3	SKM	SKM*	Sly4
t_0 (MeV.fm ³)	-1057.3	-1128.75	-1101.81	-1791.80	-2645.0	-2645.0	-2488.91
t_1 (MeV.fm ⁵)	235.9	395.0	271.67	298.50	385.0	410.0	486.82
t_2 (MeV.fm ⁵)	-100.0	-95.0	-138.33	-99.50	-120.0	-135.0	-546.39
t_3 (MeV.fm ^{3α})	14463.5	14000.0	17000.0	12794.0	15595.0	15595.0	13777.0
t_4 (MeV.fm ⁵)	0	120	115	126	130	130	0.0
x_0	0.56	0.45	0.583	0.138	0.09	0.09	0.834
x_1	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	-0.344
x_2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-1.0
x_3	1.0	1.0	1.0	0.075	0.0	0.0	1.354
α	1.0	1.0	1.0	1/3	1/6	1/6	1/6

Sonuç olarak, bu çalışmada incelenen radyoaktif çekirdeklerin yarıçap değerlerini hesaplanmasında kullanılan Skyrme Hartre Fock modelinin diğer kullanılan teorik modellere göre daha kullanışlı olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 2. Sıvı Damla Modeli [20], deneysel [21], RMF teorisi [22] ve hesaplanan kütle ve yük yarıçap değerleri (fm)

Çekirdek	Yarıçap	SI	SIII	SVI	T3	SKM	SKM*	Sly4	Diğer Çalışmalar
¹⁶ N	Yük	2.578	2.665	2.663	2.692	2.695	2.721	2.729	2.721 ²⁰
	Kütle	2.571	2.657	2.655	2.689	2.686	2.713	-	2.703 ²¹ 2.607 ²²
¹⁹ O	Yük	2.656	2.739	2.743	2.761	2.761	2.786	2.810	2.882 ²⁰
	Kütle	2.682	2.774	2.769	2.804	2.799	2.826	-	2.579 ²¹ 2.738 ²²
²⁰ F	Yük	2.752	2.849	2.844	2.864	2.871	2.898	2.890	2.932 ²⁰
	Kütle	2.703	2.803	2.794	2.825	2.828	2.856	-	-
⁴⁶ Sc	Yük	3.455	3.557	3.562	3.532	3.538	3.559	3.566	3.626 ²⁰
	Kütle	3.396	3.507	3.508	3.488	3.489	3.510	-	-
⁷⁵ Ge	Yük	3.977	4.093	4.098	4.033	4.045	4.065	4.057	4.027 ²⁰
	Kütle	3.953	4.070	4.069	4.032	4.036	4.055	-	-

4. Kaynaklar

1. Kiefl, R.F., Morris, G.D., and et al., Physica B289, 640 (2000)
2. Strasser, P., Nagamine, K., and et al., Nucl. Phys. B149, 390(2005)
3. Elmalı, A., Reyhancan, İ. A., Tarcan, G., Subaşı, M., Erduran, M.N., I. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, 25-26 Ekim (2001), TAEK, Ankara
4. Liatard, E., Gimond, G., Perrin, G., Schussler, F., Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res.A 385, 398(1997)
5. Tel, E., Şahin, H.M., Arasoğlu, A., Aytekin, H., Ann. Nucl.En. 33, 310 (2006)
6. Anagnostatos, G. S., Antonov, A. N., and et al. Phys. Rev. C58 (4), 2115 (1998)
7. Hofmann, F., and Lenske, H., Phys. Rev. C57 (5), 2281(1998)
8. Yamagami, M., Matsuyanagi, K., Matsuo, M., Nucl. Phys. A693, 579 (2001)
9. Rashdan, M., Eur. Phys. J. A16, 371 (2003)
10. Skyrme, T.H.R., Nucl. Phys. 9, 615 (1959)
11. Vautherin D. and Brink, D.M., Phys. Rev. C5, 626 (1972)
12. Qiang, L.G., J. Phys. G17, 1 (1991)
13. Brack, M., Guet, C., and Hakasson, H.B., Phys. Rep. 123(1986)
14. Chabanat, E., Banche, P., and et al., Physica Scripta T56, 231 (1995)
15. Ge, L.X., Zhuo, Y.Z., and Norenberg, W., Nucl. Phys. A459, 77 (1986)
16. Friar, J.L., Negle, J.W., Advanced Nuclear Physics. 8, 219 (1978)
17. Tel, E., Okuducu, Ş., Tanır, G., Aktı, N.N., and Bölükdemir, M.H., Comm. Theor. Phys. 49, 696 (2008)
18. Tel, E., Şahin, H.M, and et al., Annals of Nuclear Energy 35 (2), 220 (2008)
19. Tel, E., Aydın, A., Kaplan, A., Sarer, B., Phys. Rev. C77(5), 054605 (2008)
20. Nie, G. K., arXiv:nucl-th/0512023v1 7 Dec (2005)
21. Liatard, E., Bruandet, J.F., Glasser, F., et al., Europhys. Lett.13, 401 (1990)
22. Wang, J.S., Shen, W.Q., Zhan, Z.Y., and et al., Nucl. Phys. A691, 618 (2001)