

**¹⁵²Gd ÇEKİRDEĞİNİN ELEKTROMAGNETİK GEÇİŞLERİNİN E2/M1 ÇOKKUTUPLU
KARIŞIMLARININ ve DEFORMASYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet BAYLAK

Cumhuriyet Lisesi - DENİZLİ

ÖZET

Bu çalışmada ¹⁵²Gd çekirdeğinin, E2/M1 çokkutuplu karışım oranları ve deformasyon parametreleri incelendi. Deneysel karışım oranları değerlerinden hatası en az olanı baz alınarak "Etkileşen Bozon Modeli" yaklaşımında; $\delta(E2/M1)$ çokkutuplu karışım oranları, β_2 deformasyon parametresi, g_K faktörleri, $g_{\pi\pi}$ ve q_2 dörtkutup momentleri hesaplandı. Bulunan sonuçların, diğer teorik değerlere göre deneysel değerlerle daha iyi uyduğu görüldü.

1. GİRİŞ

¹⁵²Gd çift-çift çekirdeği $150 < A < 190$ deforme bölgesi girişinde ve $N=88-90$ sınırında küresel yapıya sahip bir çekirdektir. Bu özelliğiyle; elektromagnetik geçiş karakterinin ve seviye yapısının iyi bilinmesi, nükleer uyarılma mekanizmasının anlaşılmasında büyük önem taşımaktadır.

Bir çekirdeğin yapısının açıklanması için; çekirdeğe ait bağlanma enerjisi, çeşitli enerji seviyeleri arasındaki geçiş ihtimalleri, nükleer, magnetik ve dörtkutup momentler ile çekirdeğe ait ölçülebilen diğer büyüklüklerin iyi bilinmesi gerekir. Nükleer seviyeleri araştırmada ve çeşitli nükleer modelleri incelemelerde çokkutuplu geçiş ihtimallerinin oranı kullanılmaktadır.

Çekirdekdeki nükleonlar arasında; doyma karakteri gösteren, kısa menzilli, çok şiddetli, çekici özellikte, nükleonların yüklerine bağımlı olmayan ve nükleonların yüklerinin ve spin doğrultularının değiş tokuşu sonucu, değiş tokuş kuvveti olarak ortaya çıkan kuvvetler vardır. Bu kuvvetlerden en önemlileri eşleşme ve kuadrupol kuvvetleridir. Çekirdekte, aynı enerji seviyesinde bulunan iki nükleon arasındaki kısa menzilli kuvvete eşleşme kuvveti denilmektedir. Bu kuvvet bilhassa dolmamış kabuklarıdaki partikülleri etkilemektedir. Eşleşme kuvveti çekirdekte küresel simetriyi korumaya çalışır. Çekirdekte, kuadrupol yük dağılımı sonucu ortaya çıkan kuvvete de kuadrupol kuvveti denir. Bu kuvvet, çekirdeği deforme şekle göstermeye meyillidir⁽¹⁾. Protonların eşleşme kuvveti G_p ve nötronların eşleşme kuvveti G_n olup, eşleşme ve kuadrupol kuvvetlerin ilişkisi çekirdeğin şeklini belirler. $G_p > G_n$ olduğundan $\beta_0(p) < \beta_0(n)$ dir. Burada $\beta_0(p)$ ve $\beta_0(n)$ sırasıyla proton ve nötron deformasyon parametreleridir⁽²⁾.

2. TEORİK İNCELEME

Çekirdekte bir I_1 spin seviyesini, I_2 spin seviyesine bağlayan nükleer gama ışını; $I_1 I_2$ ve $I_1 - I_2$ arasında herhangi bir L açısal momentumunu taşıyabilir. Etkileşen bozon modeli yaklaşımında $L+1$ ve L çokkutuplu geçiş şiddetlerinin karşılaştırılmasıyla, $\delta(E2/M1)$ çokkutuplu karışım oranları;

$$\delta(E2/M1) = 0,832 \cdot E_\gamma \frac{\langle \chi_{L+1} | T(E2) | \chi_L \rangle}{\langle \chi_{L+1} | T(M1) | \chi_L \rangle} \quad (1)$$

ile verilir⁽³⁾. Burada E_γ , MeV ve formüldeki son ifade indirgenmiş karışım oranı olup eb/pa dicsindedir.

Greiner^{1,2}, 2⁺→2⁺ geçişi için M1-E2 karışım parametresini;

$$\left(\frac{\delta}{E}\right)_{M1-E2} = \pm \left(\frac{4\pi}{10c} \cdot \frac{1}{(\hbar c)^2} \cdot \left(\frac{2Mc}{\hbar k}\right)^2 \right)^{1/2} \left(\frac{3Z}{4\pi} \cdot R_0^2 \right)^{1/2} \times \frac{\Sigma}{\Omega} \frac{M'_{1, \mu}, M1 \langle 2M', n=2 | \alpha_{\mu} | 2M, n=1 \rangle |^2}{M'_{1, \sigma}, M1 \langle 2M', n=2 | \mu_{\sigma} | 2M, n=1 \rangle |^2} \quad (2)$$

verilmiştir. Bu eşitlik;

$$\langle 2M', n=2 | \alpha_{\mu} | 2M, n=1 \rangle = \sqrt{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{1}{2B_W}} \langle 2M', n=2 | \mu_{\mu} | 2M, n=1 \rangle \quad (3)$$

$$\beta_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{1}{2B_W}} \quad (4)$$

$$f = \frac{\beta_{\alpha} \beta_{\mu}(p)}{\beta_{\mu}(p)} = \frac{N}{A} \left(\frac{\beta_{\alpha}(p)}{\beta_{\mu}(p)} - 1 \right) \quad (5)$$

ve

$$\frac{\beta_{\alpha}(p)}{\beta_{\mu}(p)} = \sqrt{\frac{2p}{Gn}} \quad (6)$$

ifadelerini kullanarak formüle edilerek β_{α} deformasyon parametresi için;

$$\beta_{\alpha} = 10^{-4} \left(\frac{\delta}{E}\right)_{M1-E2} \frac{\frac{N}{A} \left(\sqrt{\frac{2p}{Gn}} - 1 \right) \left(1 - 2 \frac{N}{A} \left(\sqrt{\frac{2p}{Gn}} - 1 \right) \right)}{0,862 \cdot A^{5/4}} \quad (7)$$

bağıntısı bulundu.

Proton ve nötron deformasyonları arasındaki fark g faktörü yerine aslında bir g tensörünü önerir. Toplam açısal momentumu ve magnetik momenti arasındaki ilişkinin bu tensör karakteri δ/E oranlarının bulunmasında önemli bir rol oynar. Deformasyon çekirdekleri için rotasyonel en düşük üç temel seviye, beta ve gama bandlarına ait g_{α} faktörlerini Greiner^{1,2}.

a) Temel seviye bandı:

$$(g_R)_{(1000)} = \frac{(1111101) \sqrt{2} (1111110) I(I+1)}{I} \cdot \frac{Z}{A} (1-2f) \quad (8)$$

b) Beta bandı:

$$(g_R)_{(1001)} = \frac{(1111101) \sqrt{2} (11111-10) I(I+1)}{I} \cdot \frac{Z}{A} (1-2f) \quad (9)$$

c) Gama bandı:

$$(g_R)_{(1100)} = I - \frac{1}{\sqrt{2}} (1111112) (I-1)(I+2) + \frac{1}{\sqrt{2}} (11113-12) \sqrt{(I+3)(I-2)} \\ + 2(1111202) (1 + \frac{2}{3}f) I^{-1} \cdot (1111101) \frac{Z}{A} (1-2f) \quad (10)$$

verilmiştir.

Elektrik dörtkutup momentleri, nükleer deformasyonların önemli belirtileridir. Rotasyonel çekirdeklerin belirlenmiş yük dağılımlarının şekil ve boyut simetrisizliğinin bir belirtisi olan q , spektroskopik olarak elde edilmiştir. Bu sebepten deforme çekirdeklerin incelenmesinde büyük önem taşır. $q > 0$ ise çekirdek prolate, $q < 0$ ise çekirdek oblate deformasyona sahiptir. $q = 0$ hali küresel simetrik bir yük dağılımını gösterir. Rotasyonel modelde çekirdeğin spektroskopik dörtkutup momentini,

$$q(I) = \frac{3K^2 - I(I+1)}{(I+1)(2I+3)} \cdot q_0 \quad (11)$$

bağlatısıyla verilir⁽¹¹⁾. Burada q_0 içyapısal dörtkutup momentidir ve

$$q_0 = \frac{3}{\sqrt{5}R^2} \cdot Z \cdot R^2 \cdot \beta_{00} (1+0,36\beta_{00}) \quad (12)$$

ifadesiyle verilir⁽¹²⁾.

3. SONUÇLAR ve MÜZAKERE

^{152}Gd çekirdeğinin enerji seviyeleri arasındaki elektromagnetik geçişlerde, $\delta(E2/M1)$ çokkutuplu karışım oranları (1) bağıntısı kullanılarak hesaplandı. Hesaplanan değerler daha önce bulunan deneysel ve teorik değerlerle birlikte Tablo-1. de karşılaştırmalı olarak verildi.

Tablo-1'den görüldüğü gibi 586 keV geçiş enerjisi için bulunan değer $-3,04 \pm 0,14$ dür ve Kalfas ve Arkadaşlarının $-3,05 \pm 0,14$, Kumar ve Gupta'nın $-3,0 \pm 0,3$, Lange ve arkadaşlarının $-3,57 \pm 0,3$, Lipas ve arkadaşlarının $-3,65 \pm 0,2$ deneysel değerleri ile uyumaktadır. Kumar ve Gupta'nın 27.4, ile Lange ve arkadaşlarının -8.2 teorik değerleri deneysel verilerden oldukça uzaktır. 765 keV gama geçişi için bulunan

TABLO 1. ^{152}Gd Çekirdeğinin Çokkutuplu Karışım Oranları

Spin Parite I. \rightarrow I _f	Geçiş Enerjisi (KeV)	Karışım Oranı [$\delta(E2/M1)$]		
		Şimdiki Hesaplama	Deneysel	Teorik
$2_{g_1}^+ \rightarrow 2_{g_2}^+$	586	$-3,04 \pm 0,14$	$-3,05 \pm 0,14$ ^[4] $-3,0 \pm 0,3$ ^[5] $-3,57 \pm 0,3$ ^[6] $-3,65 \pm 0,2$ ^[7]	$27,4$ ^[8] $-8,2$ ^[9]
$2_{g_1}^+ \rightarrow 2_{g_2}^+$	765	$4,27^{+0,69}_{-0,58}$	$3,5^{+1,7}_{-0,9}$ ^[10] $4,3^{+0,7}_{-0,6}$ ^[11] $3,8 \pm 0,6$ ^[12]	51 ^[13] $36,4$ ^[14]
$3_{g_1}^+ \rightarrow 2_{g_2}^+$	1090	$5,70^{+0,92}_{-0,77}$	$18^{+10,7}_{-5,0}$ ^[15] 27^{+17}_{-7} ^[16]	84 ^[17] $-8,82$ ^[18]
$3_{g_1}^+ \rightarrow 4_{g_2}^+$	679	$-2,41 \pm 0,11$	-19 ± 16 ^[19]	118 ^[20]
$4_{g_1}^+ \rightarrow 4_{g_2}^+$	795	$-2,15 \pm 0,09$	-	$-1,19$ ^[21]
$4_{g_1}^+ \rightarrow 4_{g_2}^+$	526	$-1,42 \pm 0,06$	-	-

sonuç $4.27(+0.69, -0.58)$ dir. Aynı şekilde Lipas ve arkadaşlarının $3.5(+1.7, -0.9)$, Kalfas ve arkadaşlarının $4.3(+0.7, -0.6)$, Tagziria ve arkadaşlarının 3.8 ± 0.6 deneysel değerleri ile uyusmaktadır. Helppi ve arkadaşlarının 51 , Kumar ve Gupta'nın 36.4 teorik değerleri deneysel verilerden oldukça uzaktır. $1090-679-795$ keV geçişleri için sırasıyla $5.70(+0.92, -0.77)$, -2.41 ± 0.11 , -2.15 ± 0.09 sonuçları bulundu. Deneysel verilerle uyuması yukarıdakilere benzerdir. Ayrıca bu çalışmada daha önce üzerinde çalışılmamış 526 keV geçiş için -1.42 ± 0.06 sonucu bulundu. Bu değer de yukarıdaki verilerin seyri içerisindedir.

$N=88-90$ sınırında beta bandından temel seviyeye geçişlerde δ 'nin işareti (-) den (+) ya, gama bandından temel seviyeye geçişlerde δ 'nin işareti de (+) dan (-) ye değişmektedir. Onun için Tablo-1. den de görüldüğü gibi $\delta(E2/M1)$ 'in işaretlerinde bir belirsizlik vardır.

^{152}Gd çekirdeğin $2^+ \rightarrow 2^+$ geçişi için β_2 deformasyon parametresi ve q_2^+ ve q_2^- dörtkutup momentleri, sırasıyla (7), (11), (12) bağıntıları kullanılarak hesaplandı. Hesaplanan değerler daha önceden bulunan değerler ile birlikte Tablo-2. de verildi.

TABLO 2. ^{152}Gd çekirdeği için β_2, q_2^+ ve q_2^- Parametreleri

β_2	q_2^+ (e. barn)	q_2^- (e. barn)	
		Teorik	Deneysel
$0.119^{+0.015}_{-0.012}$	$-0.651^{+0.078}_{-0.062}$	$2.281^{+0.271}_{-0.220}$	$3.77^{+0.22}_{-0.22}$
$0.093^{+0.013}_{-0.013}$		$1.91 \pm 0.26^{(12)}$	
$0.16^{+0.013}_{-0.013}$		$4.25^{(12)}$	

(*) Bu çalışmada hesaplanan değerler

Tablo-2. den görüldüğü gibi ^{152}Gd için hesaplanan β_2 'nin değeri $0.119(+0.015, -0.012)$ dir. Bu sonuç; Odrintsova ve Striganov'un 0.093 , Goetting ve arkadaşlarının 0.16 değerleri arasında kalmaktadır. q_2^+ dörtkutup momentleri için bulunan değer $-0.651(+0.078, -0.062)$ olup daha önce üzerinde çalışılmamıştır. q_2^- için bulunan sonuç $2.281(+0.271,$

-0.220 dir. Bu da yine Odintsova ve Striganov'un 1.91 ± 0.26 , Goetting ve arkadaşlarının 4.25 değerleri arasına kalmaktadır. Ayrıca bunun için bulunan sonuç Ragnarson ve arkadaşlarının 3.77 deneysel değerine yakındır.

^{152}Gd çekirdeğinin g_K faktörleri (8), (9) ve (10) bağıntıları kullanılarak hesaplandı. Bulunan sonuçlar Tablo-3.de verildi. Temel seviye ve beta bandı için bulunan g_K faktörleri aynıdır. Gama bandı için farklı olup spine bağlıdır.

Sonuç olarak; tablolardan görüldüğü gibi bulduğumuz sonuçlar, diğer teorik değerlere göre deneysel değerlerle daha iyi uyumaktadır. Bu da uygulanan metodun deformasyon bölgesi çekirdekleri için uygulanabilirliğini kanıtlamaktadır. Pozitif pariteli seviyeleri birleştiren geçiş-

TABLO 3. ^{152}Gd İçin Hesaplanmış g_K Faktörleri

Temel Seviye ve Beta Bandı	Gama Bandı		
	2_1^+	3_1^+	4_1^+
0,353	0,366	0,359	0,357

ler genellikle E2 karakterinde olup mevcut M1 karışımı, β ve γ bantlarının temel seviye bandının saf kuadrupol uyarılmalarından ibaret olmayacağını gösterir.

Bu çalışmada hesaplanan değerler, deneysel verilerle uyum sağlamakta ve yapılacak araştırmalara belli bir yön kazandırmaktadır. Ancak verilerin daha iyi değerlendirilebilmesi için hassas ölçümlere ve daha çok deneysel çalışmaya gerek vardır. Bu sonuçların mukayesesi ile uygulanan metodun çok başarılı olduğu ortaya çıkmıştır.

REFERENCES

- [1] Kumar, K. and Barranger, M., Nuclear Physics, A122, 273-324, 1968.
- [2] Greiner, W., Nuclear Physics 80, 417-433, 1966.
- [3] Scholten, O. Iachello, F. and Arima, A., Annals of Physics 115, 325-366, 1978.
- [4] Kalfas, C.A., Hamilton, W.D., Fox, R.A. and Finger, M., Nuclear Physics, 196, 615-621, 1972.
- [5] Kumar, K. and Gupta, J.B., Journal Physics, 10, 525-537, 1984.
- [6] Lange, J., Kumar, K. and Hamilton, J.H., Reviews of Modern Physics, 54, 119-134, 1982.
- [7] Lipas, P.O., Kumpulainen, J., Hammaren, E., Honkaranta, T., Finger, M., Karacikova, T.I., Prochazka, I. and Ferencel, J., Physica Scripta, 27, 8-22, 1983.
- [8] Tagziria, H., Elahrash, M., Hamilton, W.D., Finger, M., John, J., Malinsky, P. and Pavlov, V.N., Journal Physics, 16, 1323-1338, 1990.
- [9] Helppi, H., Pakkanen, A. and Hattula, J., Nuclear Physics, 247, 317-325, 1975.
- [10] Yamada, S., Selvi, S. and Iimura, H., Annu. Rep. Res. Reactor Inst. Kyoto Univ., 18, 149-153, 1985.
- [11] Lipas, P.O., Toivonen, P. and Hammaren, E., Nuclear Physics, 469, 348-368, 1987.
- [12] Odintsova, N.K. and Striganov, A.R. Opt. Spectrosc, 41, 6-13, 1976.
- [13] Goetting, L., Gelletly, W., Lister, C.J., Mascrop, R., Varley, B.J. and Wadsworth, R., Nuclear Physics, 464, 159-164, 1987.
- [14] Ragnarson, I., Sobieczewski, A., Sheline, R.K., Larsson, S.E. and Nerlo-Pomorski, B., Nuclear Physics, 233, 329-336, 1974.