

## $^{76}\text{Se}$ , $^{78}\text{Se}$ ve $^{80}\text{Se}$ ( $\gamma, n$ ) Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Ufuk Akçaalan<sup>1</sup>, Rıdvan Ünal<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

\*Yazışılan yazar e-posta: runal@aku.edu.tr

Alınış: 05 Mayıs 2014, Kabul: 19 Haziran 2014

**Özet:** Bu çalışmada,  $^{76}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}$  ve  $^{80}\text{Se}$  isotoplarının ( $\gamma, n$ ) reaksiyon tesir kesitleri TALYS 1.6 kodu kullanılarak güç fonksiyonları hesaplandı. Hesaplanan sonuçların EXFOR'daki deneysel tesir kesitleri ile iyi uyum içerisinde olduğu görüldü.

**Anahtar kelimeler:** Tesir kesiti, reaksiyon, güç fonksiyonu

### Calculation of the $^{76}\text{Se}$ , $^{78}\text{Se}$ and $^{80}\text{Se}$ ( $\gamma, n$ ) reaction cross section

**Abstract:** In this work, the ( $\gamma, n$ ) cross section of Se isotopes ( $^{76}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}$ ,  $^{80}\text{Se}$ ) were calculated by using TALYS 1.6 to supply fundamental data for estimating the inverse reaction cross-section. The calculated cross section are in good agreement with available measurements obtained from EXFOR.

**Key words:** Cross-section, reaction, strength function

#### 1. Giriş

$^{79}\text{Se}$  ( $n, \gamma$ ) tesir kesitleri s-süreçleri için temel oluşturduğundan astrofizik için çok önemlidir.  $^{79}\text{Se}$  yarılanma ömrü  $2.95 \times 10^5$  yıl olan en uzun ömürlü fizyon ürünlerinden biridir [1]. Ancak;  $^{79}\text{Se}$  elde etmesi oldukça güç olduğundan, ( $n, \gamma$ ) tesir kesitleri ölçülememektedir.  $\gamma$ -ışını kuvvet fonksiyonları ile kısıtlanan, deneysel  $^{80}\text{Se}$  ( $\gamma, n$ ) tesir kesitleri kullanılarak  $^{79}\text{Se}$  ( $n, \gamma$ ) tesir kesitlerine ulaşılmaya çalışılmıştır [2]. Fakat;  $\gamma$ -ışını kuvvet fonksiyonu  $^{80}\text{Se}$  ( $\gamma, n$ ) tesir kesitleri tarafından yeterince kısıtlanmadığı için, tutarsızlıklar gözlemlenmiştir [2]. Gama kuvvet fonksiyonunda, bu gerekli sınırlandırmaları elde edebilmek için  $^{76}\text{Se}$  ve  $^{78}\text{Se}$  ( $\gamma, n$ ) tesir kesitleri ölçülmüştür [1]. Bu elde edilen verilerden isabetli bir veri bankası oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmamızda; veri tabanında (EXFOR) [3] bulunan  $^{76}\text{Se}(\gamma, n)$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}(\gamma, n)$ ,  $^{77}\text{Se}$ ,  $^{80}\text{Se}(\gamma, n)$   $^{79}\text{Se}$  reaksiyonu deneysel tesir kesitlerini, TALYS 1.6 Monte Carlo Similasyon kodu programı [4] yardımıyla teorik olarak hesaplandı.

#### 2. Materyal ve Metot

Gamma geçiş katsayıları nükleer reaksiyonlarda genellikle gamma ışınları ile diğer parçacıkların da birlikte yayılması olasılığından dolayı gamma salınım kanalı ifadesinde önemlidir. Optik modelden ortaya çıkan parçacık geçiş katsayıları gibi gamma ışını geçiş katsayıları da fotonların diğer parçacıklar ile rekabetinin hesaplanması açısından Hawser-Feshbach modeline girer [4].

Çok kutupluluk için gamma ışını geçiş katsayısı ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$T_{xl}(E_\gamma) = 2\pi f_{xl}(E_\gamma) E_\gamma^{2l+1} \quad (1)$$

Burada  $E_\gamma$  gamma enerjisini ve  $f_{xl}(E_\gamma)$  ise enerji bağımlı gamma ışını kuvvet fonksiyonunu ifade eder [4].

TALYS 1.6 Monte Carlo simülasyon kodunda gamma kuvvet fonksiyonları için 5 farklı model bulunmaktadır. TALYS 1.6 birincil olarak, Kopecky-Uhl genelleştirilmiş lorentzian modeli kullanır [5].

$$f_{E_1}(E_\gamma, T) = K_{E_1} \left[ \frac{E_\gamma \Gamma_{E_1}(E_\gamma)}{(E_\gamma^2 - E_{E_1}^2)^2 + E_\gamma^2 \Gamma_{E_1}(E_\gamma)^2} + \frac{0.7 \Gamma_{E_1} 4\pi^2 T^2}{E_{E_1}^3} \right] \sigma_{E_1} \Gamma_{E_1} \quad (2)$$

Enerjiye bağımlı sönümlenme genişliği  $\Gamma(E_\gamma)$ ;

$$\Gamma_{E_1}(E_\gamma) = \Gamma_{E_1} \frac{E_\gamma^2 + 4\pi^2 T^2}{E_{E_1}^2} \quad (3)$$

ile, nükleer sıcaklık  $T$ ;

$$T = \sqrt{\frac{E_n + S_n - \Delta - E_\gamma}{a(S_n)}} \quad (4)$$

ile verilir. Burada;  $S_n$  nötron koparma enerjisi,  $E_n$  gelen nötron enerjisi,  $\Delta$  eşleşme düzeltmesi ve  $a$  nötron koparma enerjisindeki seviye yoğunluğu parametresidir.  $E_1$  geçişleri için Giant Dipole Rezonans parametreleri çeşitli çekirdekler için TALYS 1.6 Monte Carlo Simülasyon kodunun [4] nükleer yapı veri bankasında mevcuttur. Bazı çekirdeklerin GDR'si ikinci bir lorentzian parametresine sahiptir. Bu durumlar için iki kuvvet fonksiyonunun tutarsız toplamı alınır.  $E_1$  dışındaki bütün geçişler için Kopecky [5] tarafından derlenmiş sistematik formül kullanılır. Tablolanmış verisi bulunmayan  $E_1$  geçişi için;

$$\sigma_{E_1} = 1.2 \times 120 \frac{NZ}{(A\pi \Gamma_{E_1})} mb, \quad E_{E_1} = 31.2A^{-1/3} + 20.6A^{-1/6} MeV, \quad \Gamma_{E_1} = 0.026E_{E_1}^{1.91} MeV \quad (5)$$

$E_2$  geçişleri için;

$$\sigma_{E_2} = 0.00014Z^2 \frac{E_{E_2}}{(A^{1/3}\Gamma_{E_2})} mb, \quad E_{E_2} = 63 \cdot A^{-1/3} MeV, \quad \Gamma_{E_2} = 6.11 - 0.012A \quad (6)$$

$E_2$ 'den yüksek çok kutuplu radyasyon için;

$$\sigma_{E_l} = 8.10^{-4} \sigma_{E_{(l-1)}}, \quad E_{E_l} = E_{E_{(l-1)}}, \quad \Gamma_{E_l} = \Gamma_{E_{(l-1)}} \quad (7)$$

M<sub>1</sub> geçişleri için;

$$f_{M_1} = 1.58A^{0.47}, \quad E_{M_1} = 41.A^{-1/3} \text{MeV}, \quad \Gamma_{M_1} = 4 \text{MeV} \quad (8)$$

M<sub>1</sub>'den yüksek çok kutuplu radyasyon için;

$$\sigma_{M_l} = 8.10^{-4} \sigma_{M(l-1)}, \quad E_{M_l} = E_{M(l-1)}, \quad \Gamma_{M_l} = \Gamma_{M(l-1)} \quad (9)$$

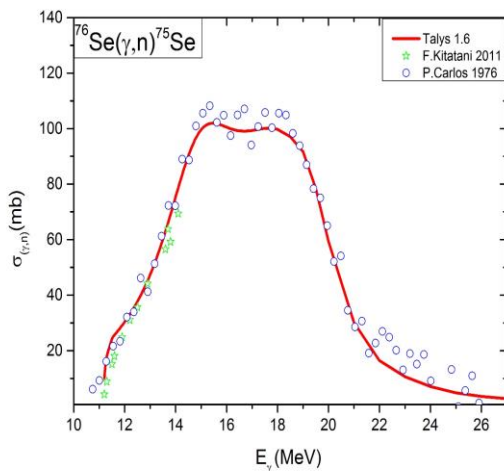
Brink-Axel Lorentzian formu, Standart Lorentzian formu kullanılarak tanımlanan Giant Dipole Rezonans(GDR) ve gama kuvvet fonksiyonu ifadesi;

$$f_{E_1}(E_\gamma) = K_{E_1} \left[ \frac{\sigma_0 \epsilon_\gamma \Gamma^2}{(\epsilon_\gamma^2 - E^2)^2 + \epsilon_\gamma^2 \Gamma^2} \right] \quad (10)$$

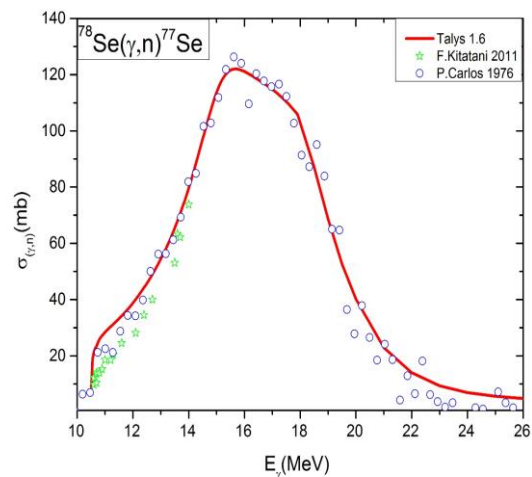
dir. Burada;  $\sigma_0, \Gamma$  ve  $E$  standart Giant Dipole Rezonans(GDR) parametreleri, genellikle Dietrich ve Berman 'ın tablosundan alınmaktadır.  $K_{E_1} = 8.68 \times 10^{-8} \text{mb}^{-1} \text{MeV}^{-2}$ . Önceden bulunan  $K_{E_1}$ , elde edilen normalizasyon  $2\pi \langle \Gamma_{g_0} \rangle / \langle D_0 \rangle$  olmaktadır [6].

### 3. Bulgular

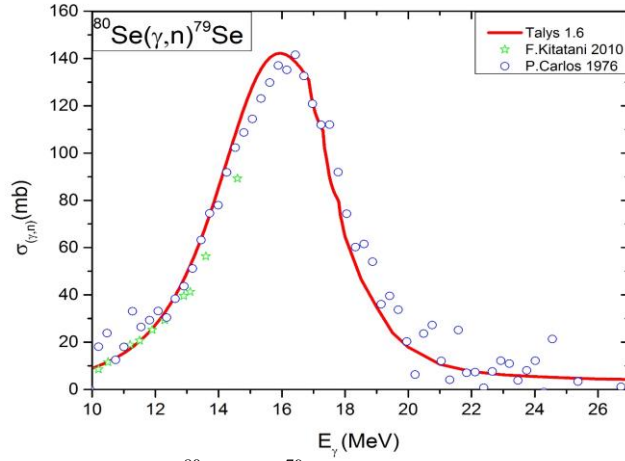
Hesaplanan tesir kesitlerine göre  $^{76}\text{Se}(\gamma, n)^{75}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}(\gamma, n)^{77}\text{Se}$ ,  $^{80}\text{Se}(\gamma, n)^{79}\text{Se}$  reaksiyonları için deneysel veriler ile karşılaştırılmış grafikler aşağıdaki gibidir (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3). Her üç şekilde de büyük dipol rezonans pikinin konumu nötron sayısının artmasına rağmen 16.5 MeV civarında sabit kaldığı görülebilir. Bu ise; model küresel çekirdek karakteristiği olan basit fonon titreşimleriyle açıklanabilir.



Şekil 1.  $^{76}\text{Se}(\gamma, n)^{75}\text{Se}$  reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması [1, 7]



Şekil 2.  $^{78}\text{Se}(\gamma, n)^{77}\text{Se}$  reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması [1, 7]



Şekil 3.  $^{80}\text{Se}(\gamma,n)^{79}\text{Se}$  reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması [2, 7]

$^{76}\text{Se}(\gamma,n)^{75}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}(\gamma,n)^{77}\text{Se}$ ,  $^{80}\text{Se}(\gamma,n)^{79}\text{Se}$  reaksiyonlarının tesir kesitleri TALYS 1.6 programında [4] kuvvet fonksiyonları kullanılarak hesaplandı.  $^{76}\text{Se}(\gamma,n)^{75}\text{Se}$  ve  $^{78}\text{Se}(\gamma,n)^{77}\text{Se}$  reaksiyonları Brink Axel Lorentzian kuvvet fonksiyonu [6] kullanılarak, P. Carlos v.d 1976 [7] ve F. Kitatani v.d 2011 [1] deneysel verileri ile karşılaştırıldı.  $^{80}\text{Se}(\gamma,n)^{79}\text{Se}$  reaksiyonu ise, Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian gama kuvvet fonksiyonu modeli [5] kullanılarak P. Carlos v.d 1976 [7] ve F. Kitatani v.d 2010 [2] deneysel verileriyle karşılaştırılmıştır.

#### 4. Sonuç ve Yorum

$^{76}\text{Se}$  ve  $^{78}\text{Se}$  ( $\gamma,n$ ) tesir kesitleri Brink Axel Lorentzian [6] gama kuvvet fonksiyonu modeli kullanılarak ( $\gamma,2n$ ) sınırına kadar hesaplandı.  $^{76}\text{Se}$  tesir kesitleri deneysel veriler ile karşılaştırıldığında, mükemmel uyum içerisinde olduğu görüldü.  $^{80}\text{Se}$  izotopu için ise; Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian gama kuvvet fonksiyonu modeli [5] kullanılarak, ( $\gamma,n$ ) tesir kesitleri hesaplandı. Bu hesaplanan tesir kesitleri deneysel veriler ile iyi uyum içerisinde olduğu görüldü. TALYS 1.6 [4] ile hesapladığımız  $^{76}\text{Se}(\gamma,n)^{75}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}(\gamma,n)^{77}\text{Se}$ ,  $^{80}\text{Se}(\gamma,n)^{79}\text{Se}$  reaksiyon tesir kesitleri, EXFOR'dan [3] alınan deneysel veriler ile karşılaştırılması sonucu Brink Axel Lorentzian [6] ve Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian gama kuvvet fonksiyonu modelleri [5] bu reaksiyonlar için uygun modeller olduğu görülmüştür.

#### Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışma Adım Fizik Günleri III 2014'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Kitatani F., Harada H., Goko S., Utsonomiya H., Akimune H., Toyokowa H., Yamada K., 2011. Measurement of  $^{76}\text{Se}$  and  $^{78}\text{Se}(\gamma, n)$  cross sections, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 48 (7): 1017-1024.
- [2] Kitatani F., Harada H., Goko S., Utsonomiya H., Akimune H., Toyokowa H., Yamada K., 2010. Measurement of the  $^{80}\text{Se}(\gamma, n)$  Cross Section Using Laser-Compton Scattering  $\gamma$ -Rays, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 47 (4): 367-375.
- [3] <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm> (15 April 2014).

- [4] Koning A. J., Hilaire S., Duijvestijn., 2007. Proceedings of The International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, (Eds.:Bersillon O., Günsing F., Bauge E., Jacqmin R., Leray S.) EDP Sciences, Nice, pp. 211-214.
- [5] Kopecky J., Uhl M., 1990. Test of Gamma-ray strength functions in nuclear reaction model calculations, *Physical Review C*, 41(5):1941-1955
- [6] Brink D.M., 1957. Individual particle and collective aspects of the nuclear photoeffect, *Nuclear Physics*, 4(3):215-220.
- [7] Carlos P., Beil H., Bergère R., Fagot J., Leprêtre A., Veysièrè A., 1976. A study of the photoneutron contribution to the giant dipole resonance of nuclei in the  $64 \leq A \leq 86$  Mass Region, *Nuclear Physics A*, 258(2): 365–387.

*Ufuk AKÇAALAN e-posta: uakcaalan@usr.aku.edu.tr*