



Kurşun İzotoplarının Toplam Fotonötron Tesir Kesiti

İskender AKKURT¹, Nurdan KARPUZ*¹, Betül MAVİ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü 32200, Isparta

¹Amasya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 05100, Amasya

(Alınış Tarihi: 15.09.2013, Kabul Tarihi: 15.11.2013)

Anahtar Kelimeler

Fotonükleer reaksiyon
TALYS 1.2 benzetim
programı

Özet: Radyasyonun geniş bir uygulama alanı bulunmasına rağmen yüksek dozda alınması sağlık açısından zararlı olduğundan radyasyondan korunma son yıllarda fiziğin önemli bir çalışma konusudur. Radyasyondan korunmada zırh malzemesi seçiminde radyasyonun madde ile etkileşiminin bilinmesi önemlidir. Bu anlamda zırh malzemesi olarak seçilecek malzemenin toplam tesir kesitinin bilinmesi gerekir. Bu çalışmada radyasyon zırhlamasında kullanılan en önemli malzeme olan kurşun ve izotoplarında fotonötron reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda TALYS-1.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Hesaplanan tesir kesitleri ile deneysel (EXFOR) ve değerlendirilmiş (TENDL) tesir kesitleri karşılaştırılmıştır. Hesaplanan tesir kesitleri ile literatürden edilen deneysel ve değerlendirilmiş tesir kesitlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

The Total Photoneutron Cross Section of Lead Isotopes

Keywords

Photonuclear reaction
TALYS 1.2 simulation
programme

Abstract: Taking high doses of radiation, although there are a wide range of applications that are harmful to health, radiation protection is an important study of physics in recent years. The selection of armor material for radiation protection is important to know the interaction of radiation with matter. In this sense, the total cross section of the material to be chosen as the armor material must be known. In this study, photoneutron reaction cross sections are calculated for lead and isotopes that the most important materials used in radiation armored. TALYS 1.2 computer programme is used for calculated cross sections. The calculated cross sections have been compared with the experimental (EXFOR-Experimental Nuclear Reaction Data) and evaluated (TENDL- TALYS based Evaluated Nuclear Data Library) cross sections. It was seen that the agreement between all results, calculated cross section with experimental and evaluated cross sections, are good.

1. Giriş

Ağır metaller arasında yer alan kurşun, insanlık tarihinde kullanılan ilk metallere biri olup doğada az miktarda fakat her yerde bulunabilen, mavimsi-gümüş grisi rengindedir. Mısırlılar tarafından M.Ö. 3000 yılında bulunmuştur. Mısır'da eski Mısır medeniyetine ait kurşun borular bulunmuş ve kurşun lehimlerin çeşitli kullanım alanlarının olduğu saptanmıştır. Erime noktası düşük (327,5 °C de erir ve 1740 °C de kaynar), kolayca şekillendirilebilen, yüksek özgül ağırlığına ve atom ağırlığına sahip kurşunun yer kabuğunda bulunma sıklığı 12,5g/ton dur. Doğal olarak bulunabilen metaller arasında yer alır. Doğada, kütle numaraları 208, 206, 207 ve 204 olmak üzere 4 izotopu vardır. (Türkyılmaz, 2011)

Kurşun, farklı fiziksel ve kimyasal kombinasyonları ile endüstri ve sanayi dahil pek çok alanda kullanılmaktadır. Kurşunun tehlikeli radyasyonu azaltma özelliği vardır. Gama ve nötron ışınları iyonize özellikleri nedeniyle canlı dokuları bozarlar. Kurşun bu ışınları soğurur. Kaplamada kullanılan kurşunun yüksek enerjili radyasyon karşısında radyoaktif hale gelebilecek maddeleri içermesi gerekir. Kadmiyum veya parafin, su gibi hidrojenli maddeler nötronlara karşı koruyucu olarak kullanılırlar. Fakat nötronlar absorbe edildiği zaman gama ışınları yaydığından bu ışınların kurşun kalkan ile durdurulması gerekmektedir. Ayrıca kurşunun neme ve radyasyona karşı direnci nedeniyle tıpta paketlemede ve fotofilmde, dişçilikte ve radyografi endüstrisinde kullanılmaktadır.

* İlgili yazar: nurdankarpuz@gmail.com

Kurşun, genel olarak, geniş nötron tesir kesitleri ve yüksek yoğunluk nedeniyle koruma amaçlı kullanılır. Şuan bizim için en önemli kullanım alanlarından birisi radyasyon koruma malzemesi olarak kullanılmasıdır. Bu çalışmada radyasyon koruma malzemesi olarak kullanılan kurşun elementi ve izotopları ($^{206-208}\text{Pb}$) için fotonötron reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları $7 \leq E \leq 40$ MeV uyarma enerjili fotonlarla, TALYS 1.2 bilgisayar kod programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fotonükleer reaksiyon çekirdek yapısının araştırılmasında kullanılan önemli reaksiyon türlerinin başında gelir. Fotonükleer reaksiyonların tesir kesitleri temel ve uygulamalı fizik problemlerinin geniş oranda çeşitliliğinin araştırılmasında büyük önem arz etmektedir. Değerlendirilen fotonükleer veriler; radyasyon koruması ve medikal uygulamalarda elektron ve foton hızlandırıcıları tarafından üretilen fotonötronun dozimetrisi, radyoterapi boyunca insan vücudunda absorplanan dozun hesaplanması, füzyon ve fisyon reaktörlerin fizik ve teknolojisi, aktivasyon analizi, astrofizik ve astrofiziksel nükleosentez gibi uygulamalarda çok önemlidir.

2. Fotonükleer reaksiyon ve tesir kesiti

Nükleer reaksiyonlar için yüksüz ve kütsüz olan foton, diğer parçacıklara göre çekirdekle daha zayıf etkileşir ve bu yüzden hedef çekirdeğe daha az zarar verir. Bu durum fotonun diğer parçacıklara tercih edilmesinin nedenleri arasındadır. (Akkurt vd., 2001). Foton ve çekirdek arasında nükleer kuvvet ve yük etkileşimi yoktur ve böylece fotonükleer reaksiyon elektromanyetik etkileşim tarafından indüklenmiştir. Yaklaşık 30 MeV altındaki düşük enerjilerde, Giant-Dipole Resonance (GDR) baskın uyarma mekanizmasıdır ki, burada nötronların toplu kütle salınımına karşı protonlar oluşur. (Lee vd., 1999)

Fotonükleer reaksiyon veri atomik çekirdeğin yapı ve dinamiklerini anlamak için çok önemlidir (Kaplan vd., 2012). Bununla birlikte, pek çok fotonükleer reaksiyon verileri, çeşitli uygulamalar için (radyasyon koruma dizaynı, radyasyon taşıma analizi, aktivasyon analizi, astrofiziksel nükleosentez, koruma ve inspection, insan vücudu radyoterapide soğrulan doz hesaplaması, vs...) geniş oranda kullanılmıştır (IAEA, 2000). Foto-indüklenmiş tesir kesiti verileri de, nükleer reaksiyonların mekanizmaları ve çekirdeğin yapısının çalışmaları için büyük ölçüde önemlidir (Bezshyyko vd., 2007).

Hedefe gelen gama ışınının enerjisi reaksiyon esnasında yakalanmış parçacığın enerjisinin değişimiyle değişmişse, fotonükleer tesir kesiti foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Fotonükleer reaksiyonların çeşitli özelliklerine ihtiyaç duyulur, fakat enerjiye bağlı reaksiyon tesir

kesiti (uyarma fonksiyonu-çekirdek ile tanımlı foton enerjilerinin etkileşim olasılığı) çok önemlidir.

3. Hesaplama Bulguları

Fotonükleer reaksiyonların sistematik çalışmaları 50 yıl öncesinde başlamıştır. Atomik çekirdek ile foton etkileşiminin deneysel çalışmaları pek çok zorlukları ortaya çıkarmıştır. Bunların en önemlisi, doğada monoenerjik fotonların yoğunluğunun anlaşılmamasıdır. Teorik reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları, bu zorlukları gidermek için özellikle deneysel veriler elde edilmemişse ve deneysel ölçümlerin gerçekleşmesinin zor olduğu durumlarda büyük rol oynamaktadır.

Bu ifade temelinde, radyasyon koruma malzemesi ve radyasyon yalıtımları olarak kullanılan kurşun izotopları için fotonötron tesir kesitleri, TALYS 1.2 nükleer kod programı kullanılarak hesaplanmıştır.

TALYS 1.2 kodu, Linux işletim sisteminde çalışan, foton, nötron, proton, döteron, triton, helyum ve alfa parçacıklarını içeren, hedef çekirdek kütlelerinin 12 ve daha ağır olma şartıyla birlikte nükleer reaksiyonlar için enerji aralığı $1\text{KeV} < E < 250$ MeV değerinde olan, FORTRAN programlama dilinde düzenlenmiş nükleer reaksiyonların analizi ve öngörülere için oluşturulmuş nükleer kod programıdır.

Hesaplamalarda, 10-15 MeV üzerindeki enerjilerle gelen foton için önemli olan pre-equilibrium model kullanılmıştır. Hesaplanan veriler, literatürdeki Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri (Experimental Nuclear Reaction Data-EXFOR) kütüphanesinden elde edilen ve TALYS programıyla hesaplanmış (TALYS-based Evaluated Nuclear Data Library-TENDL) diğer veriler ile uygunluk açısından karşılaştırılmıştır. Denge-öncesi süreçler, yaklaşık 10 MeV üzeri gelen enerjiler ile hafif mermiler tarafından indüklenmiş nükleer reaksiyonlarda önemli mekanizmalardır (Tel vd., 2006).

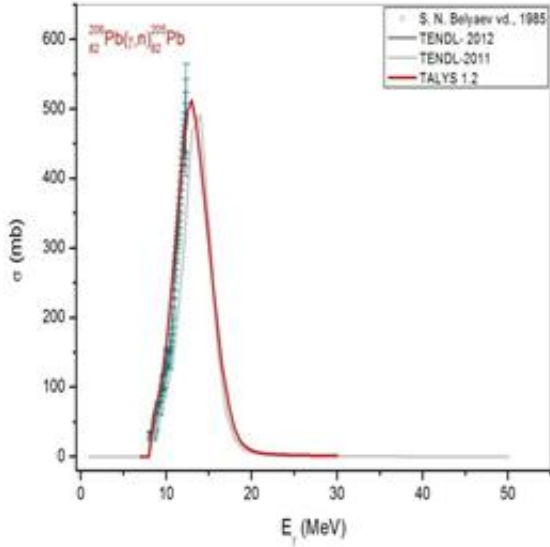
Orta enerji aralığında nükleon-çekirdek reaksiyonları daha çok ilgi çeker çünkü denge öncesi parçacık emisyonunu incelemek için bu reaksiyonlar iyi bir fırsattır. (Tel vd., 2006).

4. Tartışma ve Sonuç

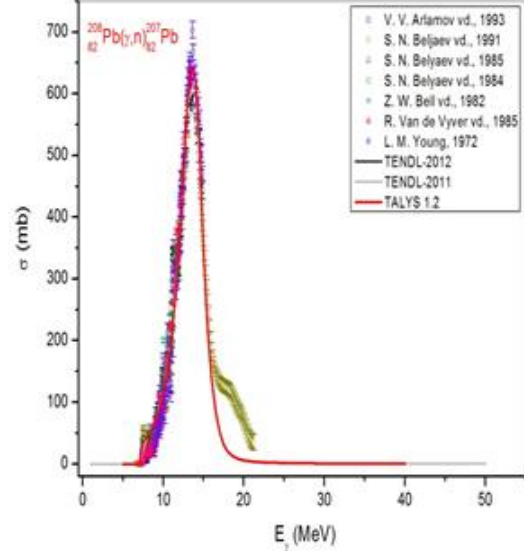
Kurşunun üç izotopu için fotonötron tesir kesiti TALYS programı ile elde edilmiştir. Şekil 1-3 kurşunun sırası ile 206-207 ve 208 izotopları için elde edilen toplam tesir kesitinin foton enerjisine bağlı değişimini göstermektedir. Bu reaksiyonlar için Q-değeri sırası ile = -8.08667 MeV -6.73779 MeV ve -7.36787 MeV olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar EXFOR deneysel veri kütüphanesinden alınan deneysel veriler, TENDL veri kütüphanesinden alınan veriler ile hesaplanan teorik veriler birebir

uyumludur. Genel olarak bakıldığında kurşunun izotoplarındaki hesaplamalarda deneysel ve teorik sonuçlar özellikle Yüksek Dipol Rezonans (GDR($E < 30$ MeV)) bölgesinde

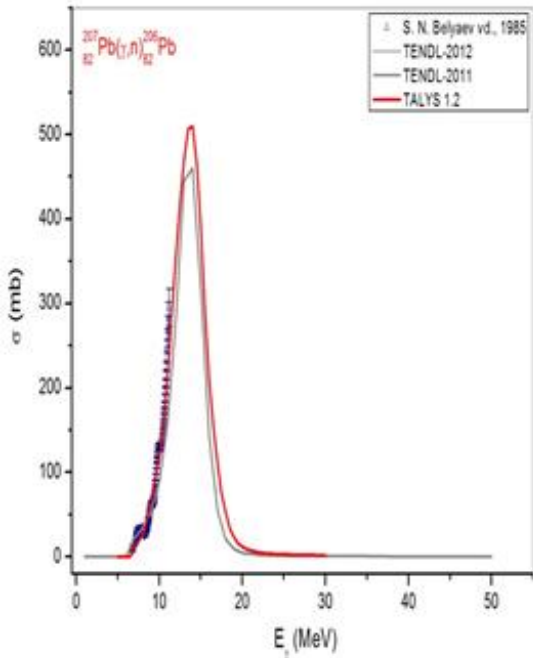
tabanından alınan deneysel veriler ve değerlendirilmiş veriler ile olan uyumu gözlenmiştir.



Şekil 1. ^{206}Pb için fotonötron tesir kesiti. Seçilen enerji aralığı E_{\min} :7 MeV ve E_{\max} :30 MeV değerindedir.



Şekil 3. ^{208}Pb için fotonötron tesir kesiti. Seçilen enerji aralığı E_{\min} :5 MeV ve E_{\max} :40 MeV değerindedir.



Şekil 2. ^{207}Pb için fotonötron tesir kesiti. Seçilen enerji aralığı E_{\min} :5 MeV ve E_{\max} :30 MeV değerindedir.

birbirleriyle uyum göstermektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere tesir kesiti değerleri, kütle numarası arttıkça artış göstermektedir. Bununla birlikte atom numarası arttıkça deneysel veriler ile olan net uyum grafiklerden açıkça görülmektedir. Kullanılan parametreler ve kodlar neticesinde elde edilen sonuçlar, TALYS 1.2 nükleer reaksiyon kod programının sonuçlarının uluslararası veri

Çalışmadaki maksimum tesir kesiti değerleri ve bu tesir kesitlerine karşılık enerjilerde de net olarak görülen uyumlar, TALYS 1.2 kod programının başarısını göz önüne sermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kısmen Kalkınma Bakanlığı tarafından DPT2006K-120470 nolu proje ile kısmende SDÜ-BAP tarafından 3195-D2-12 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Akkurt, İ., Kaplan, A., Annand, J.R.M., 2001. Hızlandırıcılarla Photonuclear Reaksiyonlar. I. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, TAEK, Ankara.

Belyaev, S.N., O.V. Vasil'ev, A.B. Kozin, A.A. Nechkin, V.A. Semenov, 1984. The structure of cross sections of (g,n) reaction on Pb-206 and Pb-208 isotopes. Izv. Rossiiskoi Akademii Nauk, Ser. Fiz., Vol.48, Issue. 10, p.1940, Russia.

Belyaev, S.N., A.B. Kozin, A.A. Nechkin, V.A. Semenov, S.F. Semenko, 1985. On photoabsorption cross sections of Pr, Bi, and Ta isotopes in the energy region $E_{\gamma} < 12$ MeV. Yadernaya Fizika, Vol.42, p.1050.

- Beljaev, S.N., V.A. Semenov, 1991. Analysis of the intermediate structure in the (g,n) cross sections on nuclei with N=82. *Izv. Rossiiskoi Akademii Nauk, Ser. Fiz.*, Vol.55, Issue. 5, p.953, Russia.
- Bell, Z.W., L.S. Cardman, P. Axel, 1982. Fine structure in the Pb-208 photoneutron cross section between 9.9 and 11.2 MeV. *Physical Review, Part C, Nuclear Physics*, Vol.25, p.791, USA.
- Bezshyyko, O.A., Golinka-Bezshyyko, L.O., Kadenko, I.M., Lymanets, A.O., 2007. Analysis of Characteristics of the Photonuclear Reactions with Charged Particles in Output Channel Using Empire II and TALYS Codes. *Problems of Atomic Science and Technology, Series:Nuclear Physics Investigations (48)*, p.18-21, N5.
- EXFOR/CSISRS (Experimental nuclear reaction data file). Database Version of October 12, 2009. Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center <http://www.nndc.bnl.gov/exfor/exfor00.htm>.
- Handbook on photonuclear data for applications, IAEA-TECDOC-1178 (2000).
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2012. Photonuclear Cross Section Calculations of Several Structural Fusion Materials. *Journal Fusion Energy*.
- Koning, A. J., Hilaire, S. and Duijvestijn, M., 2009 "TALYS 1.2 A Nuclear Reaction Program", NRG-Nuclear Research and Consultancy Group, Netherlands.
- Lee, Young-Ouk, Yinlu Han, Jeong-Yeon Lee, and Jonghwa Chanhg, 1999. Evaluation of Photonuclear Data of Mo, Zn, S and Cl for Applications. *Journal of the Korean Nuclear Society*, Vol.31, Number 6, pp.529-540.
- Montalbetti, R., L.Katz and J. Goldemberg, 1953. Photoneutron Cross Sections. *Physical Review*, Vol.91, No.3, 1953.
- TALYS-based Evaluated Nuclear Data Library database version of January 11, 2013 <ftp://ftp.nrg.eu/pub/www/talys/tendl2012/tendl2012.html>.
- Tel, E., Şahin, H.M., Arasoğlu, A., Aytakin, H., 2006. The investigation of the neutron emission spectra of ²³²Th and ²³⁸U for neutron incident energy from 2 to 18 MeV. *Annals of Nuclear Energy* 33, 310-324.
- Türkyılmaz Havva, 2011. Kurşun iyonlarının kesikli adsorpsiyon prosesi ile gideriminin cevap yüzey yöntemiyle optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği.
- Varlamov, V.V., N.G. Efimkin, B.S. Ishkhanov, V.V. Sapunenko, 1993. The evaluation of the photonuclear reaction cross sections using the method of reduction at significant systematic uncertainties. *Vop. At. Nauki Tekhn., Ser. Yadernye Konstanty*, Vol. Issue.1, p.52, Russia.
- Varlamov, V.V., and B.S.Ishkhanov, 2002. Study of consistency between (γ,xn), [(γ,n)+(γ,np)] and (γ,2n) reaction cross sections using data systematics. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- Vyver, R. Van de., J. Devos, H. Ferdinande, R. Carchon, E. Van Camp, 1978. Fine structure in the Pb-208(g,n) cross section. *Zeitschrift fuer Physik A, Hadrons and Nuclei*, Vol. 284, p.91, Germany.