

BAZI KISA YARI ÖMÜRLÜ ÇEKİRDEKLERİN YARILANMA SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Adnan ELMALI*, İskender A. REYHANCAN*, Gökçe TARCAN*,
M. Nizamettin ERDURAN**, Metin SUBAŞI*****

*Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi , Fizik Bölümü

**İstanbul Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

***Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Davutpaşa-İSTANBUL

Geliş tarihi : 4.04.2003

HALF-LIFE MEASUREMENTS FOR SOME VERY SHORT-LIVED NUCLEI

ABSTRACT

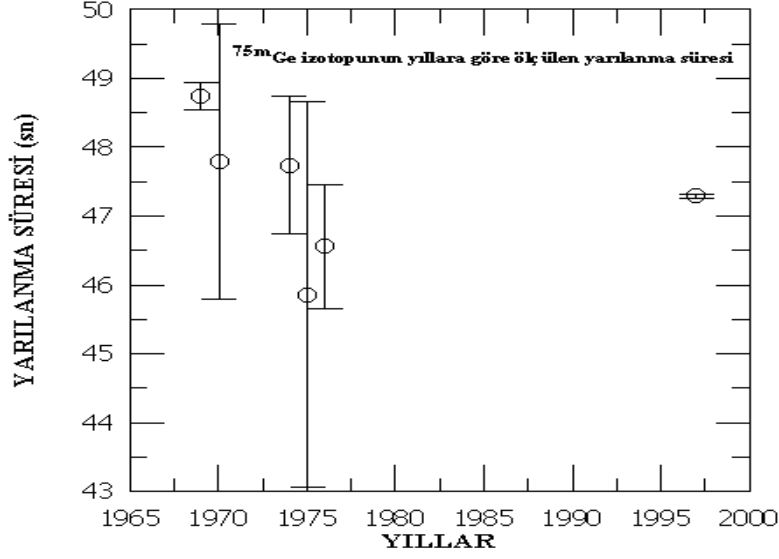
In this study, the half-lives of the ^{16}N , ^{19}O , ^{20}F , ^{46}Sc , $^{75\text{m}}\text{Ge}$ and $^{91\text{m}}\text{Mo}$ nuclei were measured by using gamma-ray spectroscopy. The radioactive nuclei were produced on a neutron generator through the $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $^{19}\text{F}(n,p)^{19}\text{O}$, $^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$, $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$, $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75\text{m}}\text{Ge}$ and $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91\text{m}}\text{Mo}$ reactions. During experiments, a fast sample transport system was used to take the sample from the irradiation place to the HPGe detector in a short time ($t < 0.5$ sec.). Corrections were made on the experimental data due to pulse pile-up, dead-time and ground level radiations. Results were compared with the available literature data.

ÖZET

Bu çalışmada, ^{16}N , ^{19}O , ^{20}F , ^{46}Sc , $^{75\text{m}}\text{Ge}$ ve $^{91\text{m}}\text{Mo}$ radyoaktif çekirdeklerinin yarılanma süreleri gama-ışını spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Bu radyoaktif çekirdekler, bir nötron jeneratöründe $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $^{19}\text{F}(n,p)^{19}\text{O}$, $^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$, $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$, $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75\text{m}}\text{Ge}$ ve $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91\text{m}}\text{Mo}$ tepkileşimleri sonucu üretilmiştir. Deneyler sırasında örneği ışınlama yerinden HPGe-detektör önüne kısa sürede ($t < 0.5$ sn.) getirmek için bir pnömatik transfer sistemi kullanılmıştır. Deneysel veriler üzerinde, darbe yığılması (Pulse pile-up), ölü zaman ve temel seviye radyasyonu düzeltmeleri yapılmıştır. Sonuçlar literatürde mevcut verilerle karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Radyoaktif çekirdeklerin yarılanma süreleri ile ilgili literatürler incelendiğinde, günümüzde kullanılan bir çok radyoaktif çekirdeğe ait yarılanma sürelerinin 1950-1984 yılları arasında belirlendiği ve deneysel çalışmalarda genellikle Geiger sayıcıları, iyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar ve sintilasyon sayıcıları kullanıldığı görülmektedir [1-4]. Oysa günümüz teknolojisinin sağladığı yeni olanaklar ile geliştirilen dedektör sistemleri, ölçme yöntemleri ve veri toplama-değerlendirme sistemleri ile belirlenen yeni yarılanma süreleri, nükleer veri dosyalarının yeniden oluşturulması için bu tür ölçümlerin tekrarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Zira, yeniden belirlenen yarılanma sürelerinin, bu değerlerde % 2 ila % 4 oranında iyileştirmelere ve belirsizliklerde azalma olduğu Şekil.1 de görülmektedir. Bu çalışmada, kısa yarı ömürlü çekirdeklerin yarılanma süreleri ölçümlerinde enerji ayırma gücü yüksek HPGe dedektörü kullanılmıştır. Geleneksel yöntemden farklı olarak (Multi-Scaling method) yarılanma süreleri ölçümü için, ölü zaman ve 'Compton katkısı' düzeltmesine daha fazla olanak sağlayan bir yöntem [5] izlenmiştir.



Şekil 1. ^{75m}Ge radyoizotopunun yıllara göre ölçülmüş yarılanma süreleri (Kaynak 19)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir radyoaktif çekirdeğin birim zamandaki bozunma olasılığına radyoaktif bozunma sabiti adı verilir ve nükleer terminolojide λ sembolü ile gösterilir. Tüm radyoaktif çekirdeklerin tabii olduğu radyoaktif bozunma yasasının matematik ifadesi,

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

şekindedir [6]. Bu ifade de $N(0)$, $t=0$ anındaki radyoaktif çekirdek sayısı, $N(t)$, t anında bozunmadan kalan çekirdek sayısını göstermektedir. Bozunma sabiti λ , farklı radyoaktif çekirdekler için değişik değerler almaktadır. Radyoaktif bir çekirdeğin yarılanma süresi başlangıçta mevcut olan radyoaktif çekirdek sayısının yarıya inmesi için geçen süredir ve $t_{1/2}$ olarak ifade edilir. Bozunma yasasında (Eşitlik 1) $N(t)$ yerine $N(0)/2$ alınır, ve t yerine $t_{1/2}$ yazılırsa,

$$\frac{N(t)}{N(0)} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2)$$

elde edilir. Bu eşitliğin iki tarafındaki terimlerin e-tabanına göre logaritması alınır ve eşitlik $t_{1/2}$ ye göre düzenlenirse yarılanma süresi ,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

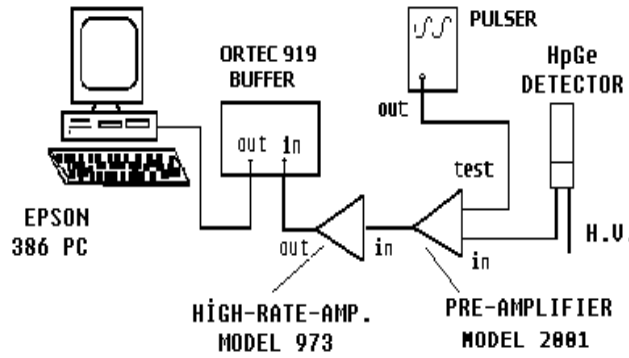
olarak ifade edilir.

Radyoaktif çekirdeklerin yarılanma süresi ölçümleri, çeşitli bozunum süreçlerinde yayımlanan gama ışınlarının ölçümüne dayanmaktadır. Bu çalışmada yarılanma süreleri ölçülecek radyoaktif çekirdeklerin üretiminde, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Fizik bölümünde bulunan SAMES T-400 alçak enerjili iyon hızlandırıcısı kullanılmıştır [7]. Alçak enerjili iyon hızlandırıcılarında hızlı nötronlar, genellikle, döteron hüzmeleriyle bir katı döteryum veya trityum hedef bombardıman edilerek oluşturulur [8]. Sames T-400 hızlandırıcının

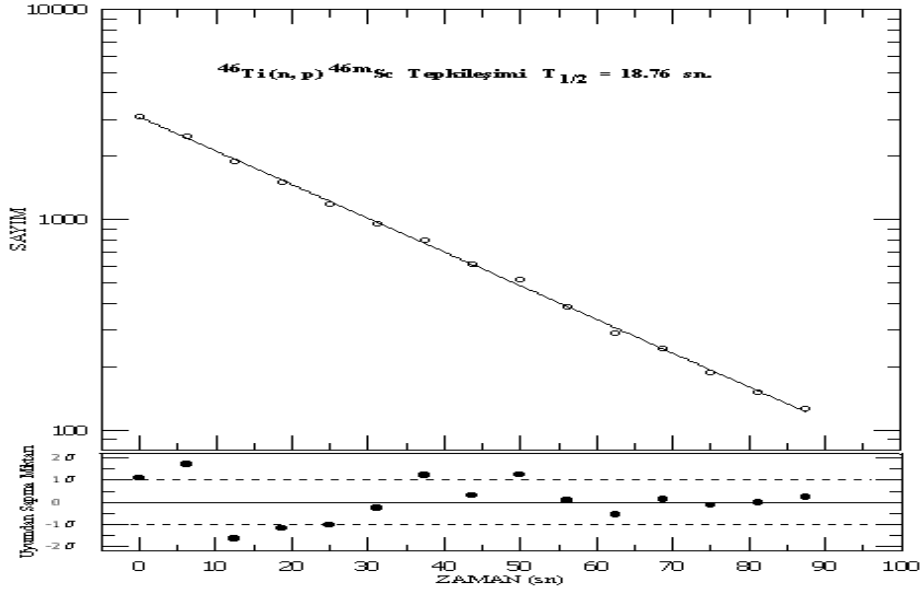
hedef malzemesi bir molibden disk üzerine kaplanmış 1.09 mg/cm^2 kalınlığında titanyum tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakaya 0.78 Ci/cm^2 aktiviteli trityum emdirilmiştir. $^3\text{H(d,n)}^4\text{He}$ reaksiyonu sonucu elde edilen hızlı nötronların enerjileri 14 MeV civarında olup, ışınlama konumundaki nötron akı yoğunluğu $10^7 \text{ nötron/cm}^2\cdot\text{s}$ mertebesindedir [9]. Malzemelerin hızlı nötronlar ile ışınlanması sonucu oluşan kısa yarı ömürlü çekirdekler özel bir örnek taşıma (hızlı transfer) sistemi ile sayım odasına yaklaşık 0.5 sn de getirilmekte ve sayım işlemi yapılmaktadır[10].

Çalışmada kullanılan toz halindeki örnekler bir kalıp içinde preslenerek tablet haline getirilmiş ve boyutlarına uygun polietilen kapsüller içine sıkıca yerleştirilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler deneysel çalışma sırasında pinomatik transfer sistemi ile titanyum-trityum(TiT) hedefin hemen arkasında döteron demetine göre 0° ışınlama konumuna getirilmiş ve 250 kV hızlandırıcı geriliminde elde edilen $\sim 14 \text{ MeV}$ nötronlar ile bombardıman edilmiştir. Işınlama sonrası örnekler yine pinomatik transfer sistemi ile $\sim 0.5 \text{ sn}$ 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve gama sayım işlemi başlatılmıştır. Örneklerin yarılanma sürelerinin belirlenmesinde Şekil 2'de verilen elektronik düzenek kurulmuştur. HPGe (82 cc) dedektörünün ön yükselticisinin (Canberra Model 2001) "Test" girişine ölü-zaman ve darbe yığılımı düzeltmeleri için Pulserin çıkışı (Canberra Model 1407) bağlanmıştır. Ön yükselticinin çıkışı da yüksek sayım hızına sahip yükselticinin (High Rate Amplifier Ortec Model 973) girişine bağlanmıştır. Bu şekilde dedektörden gelen gama ışınlarına ait darbeler ile pulserden gelen darbelerin aynı elektronik işlemden geçmesi sağlanmıştır. Yükselticinin 'uni-polar' çıkışı ise bir Çok Kanallı Analizör'ün (Multi Channel Buffer MCB, Ortec Model 919) girişine verilmiştir. MCB'nin çıkışı veri iletimini sağlayan bir kablo ile bilgisayar içine yerleştirilmiş bir interface kartına bağlanarak spektrumların alınması sağlanmıştır.

Deneysel çalışmalar sırasında, her sayım süresi sonunda MCB hafızasında toplanan veriler (gama + pulser verileri) bir kontrol programı kullanılarak tüm spektrum yerine sadece ilgilenilen gamalara ve pulsere ait tüm enerji tepelerine ait alanlar bilgisayarın sabit-disk'ine aktarılmıştır. Bu sayede, verilerin bilgisayar ortamına transfer süresinin 0.2 s den az olması sağlanmıştır. Her bir deneyde elde edilen 50 kanal genişliğindeki gama ışını tüm enerji tepesi ve 30 kanal genişliğindeki pulser tepesine ait alanlar belirlenmiş ve her ikisinde de Compton bölgesinin katkısı, ölü-zaman ve darbe yığılımı düzeltmeleri [11-14] belirlenerek net sayım değerleri bulunmuştur. Elde edilen sayım değerlerinin yarı-logaritmik ölçekte grafikleri çizilmiş (Şekil 3) ve Eşitlik 1'de verilen ifadeye en küçük kareler yöntemi [15] uygulanarak uyum fonksiyonunun parametreleri bulunmuştur (λ ve $N(0)$).



Şekil 2. Yarılanma süresi ölçümü için kullanılan elektronik düzenek



Şekil 3. ^{46m}Sc izotopunun bozunumu. (Uyum parametreleri: $N_0=3076$, $\lambda=0.0370481$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 28.31$)

Uyum parametrelerine χ^2 -Testi (Chi-square)[15] uygulanarak optimizasyonu yapılmış, bu sayede bulunan yeni uyum parametreleri kullanılarak yarılanma süreleri belirlenmiştir. Yarılanma süreleri belirlenen radyoaktif çekirdeklerin üretiminde kullanılan malzemeler ve özellikleri Tablo 1 'de verilmiştir. Malzemeler, yarılanma sürelerinin 6 katı bir süre boyunca ışınlanmış ve ışınlama bitiminde yarılanma sürelerinin 1/3'ü zaman aralıklarında ard arda 18 spektrum alınmıştır (ilgili gama enerjisinin ve pulserin). Her bir sayım işlemi sonrası bilgisayar hafızasında toplanan veriler kontrol programı tarafından [5] otomatik isimlendirilerek sabit diske yazdırılmıştır. Elde edilen veriler ile bozunum eğrisi belirlenmiş ve Turbo Basic dilinde yazılan bir program kullanılarak eğrinin uyum fonksiyonu en küçük kareler yöntemi ile bulunmuştur. Her bir yarılanma süresi ölçümü için deney üç kez tekrar edilmiştir. Elde edilen yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak, ilgili radyoaktif çekirdeğin yarılanma süresi belirlenmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda radyoaktif çekirdek üretmek için kullanılan malzemelere ait veriler

Malzeme	%Safılığı	Miktarı (gr)	Presleme Basıncı (kg/cm ²)	Tablet Boyutu Çap(mm) x kalınlık(mm)	Tablet Yoğunluğu (gr/cm ³)
Mo₂O₃ (Molibden Oksit)	99.9	6.038	5	24 x 18	0.7418
Ge (Germanyum)	99.999	2.258	20	13 x 8.5	2.0014
NaF (Sodyum Flörür)	99.98	2.619	20	13 x 8.5	2.3213
C₂F₄ (Teflon)	99.99	3.9411	-----	13 x 8.5	3.4932
TiO₂ (Titan Oksit)	99.9	1.830	10	13 x 8.5	1.6220
Zn (Çinko)	99.9	15.519	10	24 x 18	1.906

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada belirlenen ¹⁶N, ¹⁹O, ²⁰F, ^{46m}Sc, ^{75m}Ge ve ^{91m}Mo radyoaktif çekirdeklere ait yarılanma süreleri, bazı literatür değerleri ile karşılaştırmak amacıyla Tablo 2 ' de verilmektedir. Ölçülen yarılanma süreleri literatürde verilen değerlerle [16-23] ile karşılaştırıldığında, özellikle, yakın zamanda yayınlanmış değerler ile iyi bir uyum içinde oldukları görülmüştür. 1990 yılından beri bu konudaki çalışmalarını yoğunlaştıran ve her yıl periyodik olarak ölçümler yapan JAERI (Japon Atom Enerjisi Enstitüsü) ile de değerlerimiz iyi bir uyum içindedir [17-19]. Sadece ^{91m}Mo ve ¹⁹O çekirdeklerinin yarılanma sürelerinde literatür ve JAERI ile iyi bir uyum görülmemiştir. Bunun sebebi, bu çalışmada, sayım değerleri üzerinde daha fazla düzeltmelerin yapılmış olmasına bağlanabilir.

Tablo 2. Bu çalışmada ölçülen yarılanma süreleri ve bazı literatür değerleri

İzotop	Reaksiyon	T _{1/2} , Yarılanma Süresi (s)				
		Bu çalışma	Kaynak.2	Kaynak.4	Kaynak.18	Kaynak.21
¹⁹ N	¹⁹ F(n,α)	7.13±0.04	7.13±0.04	7.13±0.04	7.13±0.04	7.13±0.04
¹⁹ O	¹⁹ F(n,p)	26.91±0.08	26.91±0.08	26.91±0.08	26.91±0.08	26.91±0.08
²⁰ F	²³ Na(n,α)	11.12±0.03	11.12±0.03	11.12±0.03	11.12±0.03	11.12±0.03
^{48m} Sc	⁴⁶ Ti(n, α)	18.70±0.03		18.70±0.03		18.70±0.03
^{75m} Ge	⁷⁵ Ge(n,2n)	47.73±0.02		47.73±0.02		47.73±0.02
^{91m} Mo	⁹² Mo(n,2n)	65.40±0.32		65.40±0.32		65.40±0.32

TEŞEKKÜR

Yazarlar, projeye sağlamış olduğu maddi destekten dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığına, deneylerin yapılabilmesi için Fizik Bölümü Hızlandırıcı Laboratuvarı olanaklarını sağlayan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğüne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- [1] Wille,R.G. ve Fink,R.N., Phys. Rev. 118 242, 1960.
- [2] Malmkog, S. ve Konijn, J., “Half Live Measurement of ^6He , ^{16}N , ^{19}O , ^{20}F , ^{28}Al , $^{77\text{m}}\text{Se}$ and ^{110}Ag ”, Nuclear Physics 38 196-210, 1962.
- [3] Elliot, J.O. ve Young, F.C., “Half Lives of ^{16}N , ^{27}Mg , ^{28}Al , ^{37}S and $^{104\text{m}2}\text{Rh}$ ”, Nuclear Science and Engineering, 5.55–56, 1959.
- [4] Brownw, E. ve Firestone,R.B., “Table of Radyoactive İsoptes”, V.S. Shirley Ed., John Wiley and Sons Ltd., London, 1986.
- [5] Elmalı,A., ” Kısa-Ömürlü çekirdeklerin yarılanma sürelerinin belirlenmesi”, YTÜ, Doktora Tezi, 2001.
- [6] Krane, K., ”Introductory in Nuclear Physics”, J.V. and Sons, 1988.
- [7] Tarcan, G., Gültekin, E., Özbir,Y., Baykal, A.,Subaşı, M., Atasoy, H. ve İpekçi, E., “ Hızlı Nötron Işınlama Ünitesi Sames T-400 Tanıtımı ve Karakteristiklerin Tayini”, ÇNAEM A.R.-262, 1989.
- [8] Cskai, J., Handbook of Neutron Generators. Vol.1, CRC PRESS, Florida, USA., 1987.
- [9] Durusoy,A.Ş., ”Çok Kısa-Ömürlü çekirdeklerin oluşumuna neden olan 14 MeV Nötron Tepkileşimlerinin İncelenmesi”, YTÜ, Doktora Tezi, 2000.
- [10] Özbir, Y., Gültekin, E., Erduran, M. N., Subaşı, M., Tarcan, G., CNAEM TR-237, 1988.
- [11] Debertin, K., ve Schotzig, U. “Coincidence Summing Correction in Ge(Li)-Spectrometry at Low Source to Detector Distances”, Nuclear Instruments and Methods, (158) 471-477,1979.
- [12] Knoll, G., (1979), Radiation Detection and Measurements, John Willey and Sons, New York, 1992.
- [13] Tsoulfanidis, N., Measurement and Detection of Radiation, McGraw-Hill Company, New York, USA., 1983.
- [14] Nieuwendijk, B.J.T., Woittiez, J.R.W, Das, H.A., “ Correction For Residual Dead-Time Losses in INAA Based on Short-Lived Radyonuclides”, Journal of Radyoanalytical and Nuclear Chemistry,Articles, (89/2) 465-472, 1983.
- [15] Bevington, P.R., “Data Reduction and Error Analiysis for the Physical Sciences”,McGraw-Hill Book Company, New York, 1969.
- [16] Bödy,Z. ve Csikai, J., “ Data for 14 MeV Neutron Activation Analysis”, Handbook of Nuclear Activation Data, Vol 273, Brookhaven National Data Laboratory,USA, 1987.
- [17] Kawade, K., Yamamoto, H., Tanaka, A., Hosoya, A., Katoh,T., Lida, T., Takahashi,A., “ Measurement of Beta-Decay Half-Lives of Short-Lived Nuclei, JAERI-M,92-027.
- [18] Itoh,s., Yasuda,M., Yamamoto, H., Lida, T., Takahashi, A. and Kawade, K., “Measurement of Beta-decay Half-lives of Short-lived Nuclei by Using High-rate Spectroscopy Amplifier”, JAERI Conf., 95-008, 1995.
- [19] Hirose,T., Yamamoto, H., Lida,T., Takahashi, A., Kasugai, Y., Ikeda,Y. and Kawade, K., “ Systematic Measurement of Beta-decay Half-Lives of Short-Lived Isotopes”,JAERI-Conf, 97-005, 1997
- [20] Tuli, J.K., (2000), “ Nuclear Wallet Card ,6th ed., Naitonal Nuclear Data Center Department of Energy Science and Technology, Brookhaven Naitional Laboratory, 2000.

- [21] Firestone, R.B., “Table of Isotopes”, V.S. Shirley Ed., Lawrence Berkeley National Lab., University of California, 1996.
- [22] Filatenkov, A.A., Chuvaev, S.V., Jakovlev, V.A., Malyshev, A.V. ve Vasilyev, S.K., “Systematic Measurement of Cross Sections at Neutron Energies of 13,4-14,9 MeV”, Conference Proceeding, Vol 59, “Nuclear Data for Science and Technology”, 1997.
- [23] Ward, R.C., Gomes, I.C. ve Smith, D.L, “ A Survey Selected Neutron Activation Reactions with Short Lived Products of Importance to Fusion Reactor Technology”, INDC (USA)-106, 1994.