

NUMEXO2 Dijital Elektronik ile NaI(Tl) Dedektörü İçin Enerji Çözünürlüğü Performans Araştırması

Vakkas BOZKURT¹

¹Niğde Ömerhalisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Niğde, Türkiye

Sorumlu yazar e-posta: vakkasbozkurt@ohu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4651-0447>

Geliş Tarihi: 20 Haziran 2023 Kabul Tarihi: 15 Kasım 2023

Öz

Anahtar kelimeler

Enerji Çözünürlüğü;
NaI(Tl); Dijital
Elektronik; Gama
Spektroskopisi

Dedektör sistemleri ile birlikte kullanılan elektronik sistemler, dedektör yapısı ve kullanılan dedektör malzemeleri enerji çözünürlüğü üzerinde etki eden parametrelerdir. Bu çalışmada, deneysel ve uygulamalı nükleer çalışmalarda en çok tercih edilen dedektör sistemi olan Talyum katkılı NaI(Tl) sintilasyon dedektör sisteminin enerji çözünürlüğü performans incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada, yeni geliştirilen 50kHz sayım sayısı limitine sahip olan NUMEXO2 dijital elektronik sistem ile birleştirilen geleneksel NaI(Tl) dedektör sistemi kullanılarak veri alımı yapıldı. Bu çalışmadaki veriler Fransa'daki GANIL araştırma merkezinde gerçekleştirilen deney sonucundan alınıp analizi yapılmıştır. Deneyde kullanılan ⁶⁰Co radyoaktif kaynağın 1173.2 keV ve 1332.5 keV gama enerji pikleri için NaI(Tl) fosfor sandviç dedektörün her bir kristalinden elde edilen spektrum, her bir referans enerji pikinin tam genişlik yarı yükseklik-FWHM (Full Width Half Maximum) değerlerini elde etmek için uygun hale getirildi ve her bir NaI(Tl) fosfor sandviç dedektörün enerji çözünürlüğü performans incelemesi yapılmıştır.

Energy Resolution Performance Research for NaI(Tl) Detector with NUMEXO2 Digital Electronic

Abstract

Keywords

Energy Resolution;
NaI(Tl); Digital
Electronics; Gamma
Spectroscopy

The electronic systems used with the detector systems, the detector structure and the detector materials used are the parameters that affect the energy resolution. In this study, the energy resolution performance analysis of the Thallium doped NaI(Tl) scintillation detector system which has been the most preferable detectors system in experimental and applied nuclear studies. In this study, data acquisition was performed using the traditional NaI(Tl) detector system combined with the newly developed digital electronics NUMEXO2, which has a counting rate limit of 50kHz. The data in this study were taken from the experiment conducted at the GANIL research center in France and analyzed. 1173.2 keV and 1332.5 keV gamma energy peaks of the ⁶⁰Co radioactive source used for the experiment and spectrum obtained for each crystal of NaI(Tl) phoswich detector. Each spectrum of these reference energy peaks were fitted in order to obtain the full width of half-heights-FWHM (Full Width Half Maximum) to find out the energy resolution performance of each NaI(Tl) phoswich detector.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Gama ışınları ve radyasyon elektro-manyetik spektrumun yüksek enerjili ve kısa dalga boyuna sahip bölgesinde yer alan gözle görülemeyen, yüksüz elektromanyetik enerji olarak tanımlanır (Krane, 1988). Gama ışınları nükleer fizik araştırmalarında önemli bir yere sahiptir. Bunun en

önemli nedeni çekirdeğin yapısının araştırılmasında büyük rol oynamasıdır. Radyoaktivite, kararsız olan nükleer çekirdeklerin parçacık yayınlamaya başlama çabalarına dönüşmesi olayıdır. Yayınlanan bu enerji radyasyon olarak nitelendirilir (Jenkins et al. 2006). Radyasyon ölçümünde kullanılan dedektörün (algılayıcı) önemi, disiplinler arası yapılan

çalışmalarda ve özellikle nükleer deneysel fizik çalışmalarında gerçekleştirilen spektroskopik ölçümlerde oldukça fazla görülmektedir. Yapılan bir deney sonucunda elde edilen veriler için spektroskopik (parçacıkların takip edilmesi–iz yöntemi, saçılma açılarının belirlenmesi, parçacık enerji ölçümü, uçuş zamanı gibi) ölçümler yapılırken, dedektör sistemlerinden birçok parametrenin incelenmesi önem arz etmektedir. Özellikle dedektör sistemlerinin enerji çözünürlüğü, zaman çözünürlüğü ve dedektör veriminin en önemli parametreleri olduğu bilinmektedir (Arıcı, 2012).

Radyasyon ölçümü ve nükleer yapı fiziği çalışmalarında gaz dolu dedektörler, yarı-iletken dedektörler, nötron dedektörleri ve sintilasyon dedektörleri gibi farklı malzeme kullanımı ile dedektör sistemleri oluşturulmaktadır. Gama ışınlarının ve X-ışınlarının algılanması çalışmalarında en çok tercih edilen yöntemlerden birisi sintilasyon dedektör sistemleridir. Fotoçoğaltıcı tüpün (PMT) geliştirilmesi ile beraber dedektör sistemlerinde kullanılan NaI(Tl) sintilasyon dedektörü önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Weber, 2002; Hofstadter 1948). Talyum katkılı NaI(Tl) en çok tercih edilen sintilasyon malzemesi sınıfında yer almakta ve birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Diğer sintilatör malzemeler ile kıyaslandığında, özellikle farklı boyutta kristal üretimi potansiyeli ve diğer sintilasyon malzemelerine göre daha uygun maliyette olması NaI(Tl) kristalinin tercih edilmesine neden olmaktadır. Bu sistem temel olarak sintilatör olarak kullanılan bir malzeme ve bu sintilatörün bir foto çoğaltıcı tüp (sintilatörde üretilen ışık miktarının yükseltilmesi için) ile birleştirilmesi ve elektrik sinyallerine dönüştürülmesi ve kullanılan elektronik yükselteçler yardımıyla çıkış sinyallerinin görünebilir ve analiz edilebilir hale getirilmesine göre dizayn edilmiştir.

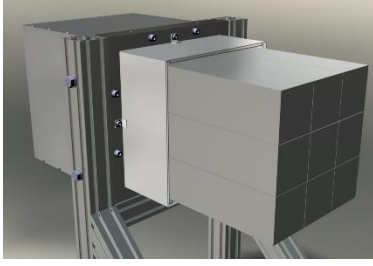
2. Materyal ve Metot

Radyasyon dedektörlerinin kullanımında ve geliştirilmesinde temel amaçlardan birisi radyasyon enerji seviyelerini ve dağılımlarını ölçmektir.

Radyasyon spektroskopisinde kullanılan dedektörlerin en önemli özelliklerinden biri enerji çözünürlükleridir ve özellikle tek enerjili gama ışınlarının incelenbilmesi ve bu enerjiye yakın enerji değerine sahip olan diğer gama ışınlarının ayırımının iyi olmasıdır. Buna dedektörün enerji çözünürlüğü denir. Gama ışınları, sintilatör içerisinde talyum katkılı NaI kristali ile etkileştiğinde üç farklı işlem meydana gelebilmektedir. Gama ışını, Compton saçılmasına uğrayabilir veya elektron-pozitron çifti üretebilir veya gama ışını kristal etkileşiminin bir fotoelektron yayılımı meydana getirebilir. Enerji çözünürlüğünü ifade etmek için deney süresince alınan verinin ROOT ve C++ programları kullanarak spektrum haline dönüştürülerek dedektörün enerji çözünürlük oranı elde edilmektedir. Bir dedektör sisteminin enerji çözünürlüğü iyi olursa, birbirine yakın enerji değerine sahip diğer gama ışınlarının da gözlenebilmesi sağlanır ve böylece yapılan analizlerin hassasiyeti de artar.

Yaptığımız bu çalışmada, nükleer fizik deneysel çalışmalarında (X-ışını ve gama-ışını spektroskopisi analizi) ve diğer uygulamalı alanlarda özellikle medikal görüntüleme sistemleri olarak bilinen (PET-Positron Emission Tomography, CT-Computed Tomography ve Güvenlik-Kargo, bagaj taramaları) kullanılan NaI(Tl) sintilatör dedektörünün dijital elektronik NUMEXO2 ile birlikte kalibrasyon işlemlerinde sıklıkla kullanılan yarı ömrü 1925.5 gün olan ⁶⁰Co radyoaktif kaynak kullanılarak elde edilen verilerden bu radyoaktif kaynağa ait iki referans enerjiyi temsil eden sinyallere bakarak, dedektör sisteminin enerji çözünürlüğü performansı incelenmiştir. Bilindiği üzere kobalt, nikel elementine bozunduğu zaman iki farklı enerjide gama ışını yaymaktadır (1173.2 keV ve 1332.5 keV).

Bu çalışmada, yeni geliştirilen NUMEXO2 dijital elektroniği fosfor sandviç şeklinde ve dokuz kristalin kombinasyonu (Şekil-1) şeklinde oluşturulan NaI(Tl) dedektörleriyle birlikte ilk kez kullanıldı. Bu çalışma ile NaI(Tl) sintilasyon dedektörlerinin NUMEXO2 dijital elektronik kullanılarak enerji çözünürlüğü değerleri ilk kez elde edildi.



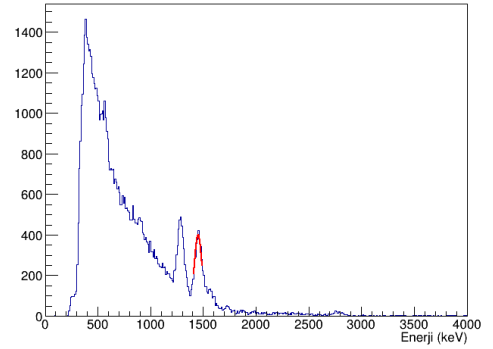
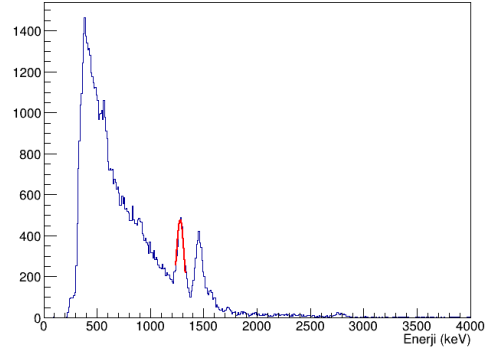
Şekil 1. Dokuz fosfor sandviç detektörden oluşan dedektör kümesi.

NaI(Tl) dedektörünün dijital elektronik NUMEXO2 ile birlikte kullanımı Fransa, GANIL'de kullanılan deney düzeneği ile birlikte kullanılmıştır. NUMEXO2 dijital elektronik ünitesi ^{60}Co radyoaktif kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen deneyden elde edilen veriler Niğde'ye getirilerek Nükleer Veri Analiz Laboratuvarında analiz edildi. Aynı zaman da NUMEXO2 dijital elektroniğin 16 kanal giriş/çıkışlı ve 14 bitlik veriyi 200 Msps alabilme yeteneğine sahip olup EXOGAM2, DIAMANT ve NEDA dedektörleri içinde kullanılmaktadır (Egea *et al.* 2015; De France, 2014).

3. Bulgular

NUMEXO2 dijital elektronik üniteyle ^{60}Co radyoaktif kaynağının 1173 keV ve 1332 keV enerjili piklerinin enerji çözünürlükleri NaI(Tl) dedektörü için elde edildi. Gama ışınlarının dedektör üzerinde oluşturduğu tepkiyi, üretilen diferansiyel sinyal yüksekliği dağılımı incelenerek analizleri yapıldı. Enerji çözünürlüklerini elde etmek için oluşturulan enerji piklerine Gauss fonksiyonu uygulanarak fit işlemi yapıldı. ^{60}Co radyoaktif kaynağının 1173 keV ve 1332 keV enerjili pikleri için gerçekleştirilen fit etme işlemi ile ilgili örnek spektrumlar sırasıyla aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekillerin sol tarafındaki büyük arka fon (Background) Compton ve diğer saçılma kaynaklıdır.

Dokuz kristalden oluşan fosfor sandviç dedektör sisteminin her bir kristali için aynı işlemler yapıldı ve elde edilen enerji çözünürlükleri Tablo 1'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 2. ^{60}Co kaynağından elde edilen ve fit edilmiş ~ 1173.2 keV enerji dağılımını, alt şekil ise ~ 1332.5 keV enerji için fit edilmiş dağılımı ifade etmektedir.

Çizelge 1. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak her bir kristal için ^{60}Co kaynağından elde edilen ~ 1173.2 keV ve ~ 1332.5 keV enerji pikleri için elde edilen çözünürlük değerleri.

NaI Dedektörü	~ 1173.2 keV için enerji çözünürlüğü(% FWHM)	~ 1332.5 keV için enerji çözünürlüğü (% FWHM)
Kristal-0	8.67	7.85
Kristal-1	7.13	6.21
Kristal-2	7.62	6.22
Kristal-3	7.93	5.94
Kristal-4	6.93	6.16
Kristal-5	8.41	6.85
Kristal-6	7.58	5.76
Kristal-7	7.66	7.54
Kristal-8	7.36	6.05

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada NUMEXO2 dijital elektronik üniteyle ^{60}Co radyoaktif kaynağının 1173 keV ve 1332 keV enerji pikleri ile enerji çözünürlükleri NaI(Tl)

dedektörü için elde edilmiştir. Dedektör sistemlerinin önemli bir özelliğini ifade eden enerji çözünürlüğü parametresi için kullanılan elektronik sistemler, dedektör yapısı ve kullanılan dedektör malzemesine bağlıdır. Dedektörlerin enerji çözünürlüğü dedektör sistemleri için önemlidir çünkü birçok uygulama, nükleer fizik ve nükleer tıp gibi alanlarda farklı enerjilerdeki radyasyonun ölçülmesini gerektirir. Daha iyi enerji çözünürlüğü, daha net bir enerji spektrumu sağlayarak daha doğru ölçümler yapılmasına olanak tanır. Bu çalışmada yeni geliştirilen ve 50kHz sayım sayısı limitine sahip olan NUMEXO2 dijital elektronik sistem kullanılarak enerji çözünürlüğü için veri analizi yapılmıştır. Kullanılan ^{60}Co radyoaktif kaynak için elde edilen enerji çözünürlük değerleri her bir kristal için Tablo 1’de verilmiştir. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ^{60}Co radyoaktif kaynak ile yapılan enerji çözünürlüğü çalışmaları ile kıyaslandığında birbirine yakın enerji çözünürlük değeri elde edilmiştir (De France, 2012; Hossain et al. 2012; Celiktas vd. 2014; Akkurt vd. 2014; Qadr, 2020).

Teşekkür

Deneyisel çalışmanın gerçekleştirildiği GANIL’de bizlere yardımlarını esirgemeyen Dr. Gilles de FRANCE ve laboratuvar ekibine teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Akkurt, I., Gunoglu, K. & Arda, S.S. (2014). Detection Efficiency of NaI(Tl) Detector in 511–1332 keV Energy Range. *Hindawi Publishing Corporation Science and Technology of Nuclear Installations*, **2014**, 1-5.
- Arıcı, T., (2012). Gama ışını spektroskopisi için bir hibrid dedektör sisteminin kurulumu ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 110.
- Celiktas, C., Ermis, E.E., Pilicer, E. (2014). Note on the comparison of experimental and simulated gamma energy spectra for NaI with ^{137}Cs , ^{60}Co , and ^{241}Am . *Annals of Nuclear Energy* **73**, 355-360.
- De France, G. (2014). High resolution gamma-ray spectroscopy at GANIL, in *Proc. 36th Brazilian Workshop on Nuclear Physics*, Sao Paulo, **1625(1)**, 10-16.
- Egea, F. J., et al. (2015). A new front-end high-resolution sampling board for the new-generation electronics

of EXOGAM2 and NEDA detectors. *IEEE Transactions On Nuclear Science*, **62(3)**, 1056-1062.

- Hossain, I., Sharip, N. & Viswanathan, K.K. (2012). Efficiency and resolution of HPGe and NaI(Tl) detectors using gamma-ray spectroscopy. *Scientific Research and Essays*, **7(1)**, 86-89.
- Hofstadter, R. (1948). Alkali Halide Scintillation Counters, *Phys. Rev.* **74**, 100-101.
- Krane, K.S. (1988). *Introductory Nuclear Physics*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 327-361.
- Martin A., Harbison S., Beach K., Cole P. (2018). *An Introduction to Radiation Protection*, 7th Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 6-67.
- Yalcinkaya, M., Isgor, S., (2017). NaI(Tl) dedektörü için enerji kalibrasyonunun ve enerji çözünürlüğünün elde edilmesi. *J. BAUN Inst. Sci. Technol.*, **19(3)**, 117-120.
- Qadr, H.M. (2020). Comparison of Energy Resolution and Efficiency of NaI(Tl) and HPGe Detector using Gamma-ray Spectroscopy. *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, **3(1)**, 24-27.