

NaI(Tl) detektörü için enerji kalibrasyonunun ve enerji çözünürlüğünün elde edilmesi

Mehtap YALÇINKAYA*, Sinem İŞGÖR

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü., Nükleer Fizik Anabilim Dalı, İstanbul.

Geliş Tarihi (Received Date): 19.09.2017

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.12.2017

Özet

Nükleer radyasyonun enerji ölçümlerinde spektrometrenin karakteristiklerini belirlemek son derece önemlidir. Gelen gama ışınlarının enerjisine bağlı olarak, detektörden elde edilen pulslar, puls yüksekliği analizi (Puls Height Analysis-PHA) metoduyla çok kanallı analizörde (Multi Channel Analyzer-MCA) gama spektrumları olarak gözlenir. MCA'de kanal başına düşen gama enerjilerini belirlemek için detektörün enerji kalibrasyonunu ve birbirine yakın enerjili gama-ışınlarını ayırt etme yeteneği olan enerji çözünürlüğünü bilmek gereklidir. Bu çalışmada, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²²Na ve ¹³³Ba standart gama ışını kaynaklarının puls yüksekliği spektrumları ölçülerek gama ışınları için yüksek verime sahip olan NaI(Tl) detektörünün enerji kalibrasyonu ve enerji çözünürlüğü elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Enerji kalibrasyonu, enerji çözünürlüğü, gama spektroskopisi.

Determination of energy calibration and energy resolution of NaI(Tl) detector

Abstract

It is extremely important to determine the characteristics of the spectrometer in energy measurements of nuclear radiation. Depending on the energy of the incoming gamma rays, the pulses obtained from the detector are observed as gamma spectra in the Multi-Channel Analyzer (MCA) by the Pulse Height Analysis (PHA) method. In order to determine the gamma energy per channel in the MCA, it is necessary to know the energy calibration of the detector and the energy resolution which is the ability to distinguish gamma-rays with close energies. In this study, energy calibration and energy resolution of the NaI(Tl) detector with high efficiency for gamma rays were obtained by measuring the pulse height spectra of ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²²Na and ¹³³Ba standard gamma ray sources.

Keywords: Energy calibration, energy resolution, gamma spectroscopy.

* Mehtap YALÇINKAYA, yalcinm@istanbul.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1133-3308>
Sinem İŞGÖR, isgorsinem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1638-5286>

1. Giriş

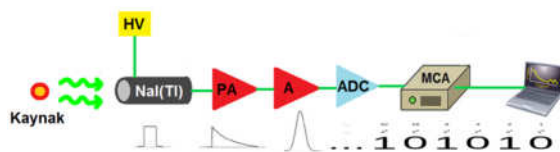
Bir çekirdek etkileşimi sonucu üretilen ya da radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan gama ışınlarının ölçülmesiyle meydana gelen fonksiyon dağılımının incelenmesi olarak tanımlanabilecek gama spektroskopisi, çekirdek yapılarının araştırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Çekirdek yapılarını anlayabilmek için hem teorik hem de deneysel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Deneysel verinin analiz edilerek teorik çalışmalara uygun olacak şekilde yorumlanması, yapılan deneyin güvenilirliği ve deney araçlarının niteliklerine bağlıdır. Bu nedenle detektör karakteristiklerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi oldukça önemlidir [1].

Gelen gama ışınlarının enerjisine bağlı olarak, detektörden elde edilen pulslar, gama spektrumları olarak gözlenir. Karmaşık bir spektrumun anlam kazanmasını istiyorsak, çok kanallı analizörde (Multi Channel Analyzer-MCA) kanal başına düşen gama enerjilerini belirlemek, başka bir deyişle kanal numarası ve enerji arasındaki ilişkiyi yani enerji kalibrasyonunu ve enerjileri birbirine yakın pikleri ayırt edebilme yeteneği olan enerji çözünürlüğünü bilmek gereklidir.

Gama spektroskopisinde sintilatör kristali ve fotodetektörden oluşan sintilatör detektörleri yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sintilatör kristali olarak dikdörtgen biçiminde 1"×1" NaI(Tl) ve fotodetektör olarak fotoçoğaltıcı tüp (PMT)'den oluşan sintilatör detektörünün enerji kalibrasyonu ve enerji çözünürlüğü ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²²Na, ¹³³Ba standart gama ışını kaynaklarının puls yüksekliği spektrumları ölçülerek elde edilmiştir.

2. Deneysel çalışmalar

Kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Sintilatör kristali olarak dikdörtgen biçiminde 1"×1" NaI(Tl) ve fotodetektör olarak fotoçoğaltıcı tüp (PMT)'den oluşan sintilatör detektörü kullanılmıştır. Enerji kalibrasyonu için yükselticinin kazancı coarse gain=30.0, fine gain 8.42 olarak ayarlanmıştır, HV +1100V, Input polarity pozitif ve tek kutuplu modda ölçümler alınmıştır. Kaynak-detektör arasındaki mesafe 0.5 cm'dir.



Şekil 1. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.

Enerji kalibrasyonu için kullanılan standart gama kaynaklarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [2].

Tablo 1. Standart gama kaynaklarının özellikleri.

| Kaynak | Yarı-ömür(yıl) | E _γ (keV) | I _γ (%) |
|-------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| ¹³⁷ Cs | 30.0 | 662 | 85.1 |
| ⁶⁰ Co | 5.3 | 1173 | 99.8 |
| | | 1332 | 99.9 |
| ²² Na | 2.6 | 1275 | 99.9 |
| ¹³³ Ba | 10.5 | 356 | 61.9 |

Bu kaynakların gama ışınlarının enerjisine bağlı olarak detektörden elde edilen pulslar, puls yüksekliği analizi (Puls Height Analysis-PHA) metoduyla çok kanallı analizörde gama spektrumları olarak ölçülmüştür.

3. Bulgular

Enerji kalibrasyonu için kaynakların spektrumlarında oluşturduğu fotopiklerin tepe noktalarına karşılık gelen kanal numaraları belirlendi (Bkz Tablo 2) ve daha sonra fotopiklerdeki enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edildi.

Tablo 2. Fotopiklerin tepe noktalarına karşılık gelen kanal numaraları.

| Kaynak | KNo# | E _γ (keV) |
|------------------------|-------|----------------------|
| ¹³⁷ Cs | 223.8 | 662 |
| ⁶⁰ Co/1.pik | 401.4 | 1173 |
| ⁶⁰ Co/2.pik | 458.6 | 1332 |
| ²² Na | 442.2 | 1275 |
| ¹³³ Ba | 113.6 | 356 |

Enerji kalibrasyon eğrisinin denklemi en genel haliyle

$$E = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 \quad (1)$$

ile verilir. Burada E , fotopikin enerjisi; x , kanal numarası; C_0 sapma, C_1 kazanç, C_2 ve C_3 sistemin doğrusallıktan sapmasıdır [3].

Sintilasyon detektörlerinin 0.1-2 MeV arasında enerji cevap fonksiyonlarının lineer olduğu öngörülerek Eş (1)'deki 2 ve 3. terimler ihmal edildi ve dataya lineer fit uygulandı. Bu fit sonucunda parametreler;

$$C_0 = 32.98224 \pm 7.64892$$

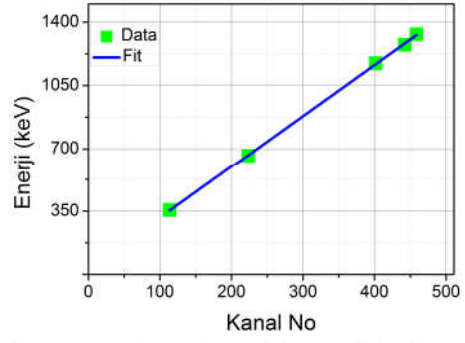
$$C_1 = 2.82533 \pm 0.02155$$

olarak bulundu. Böylece NaI(Tl) detektörü için kalibrasyon denklemi

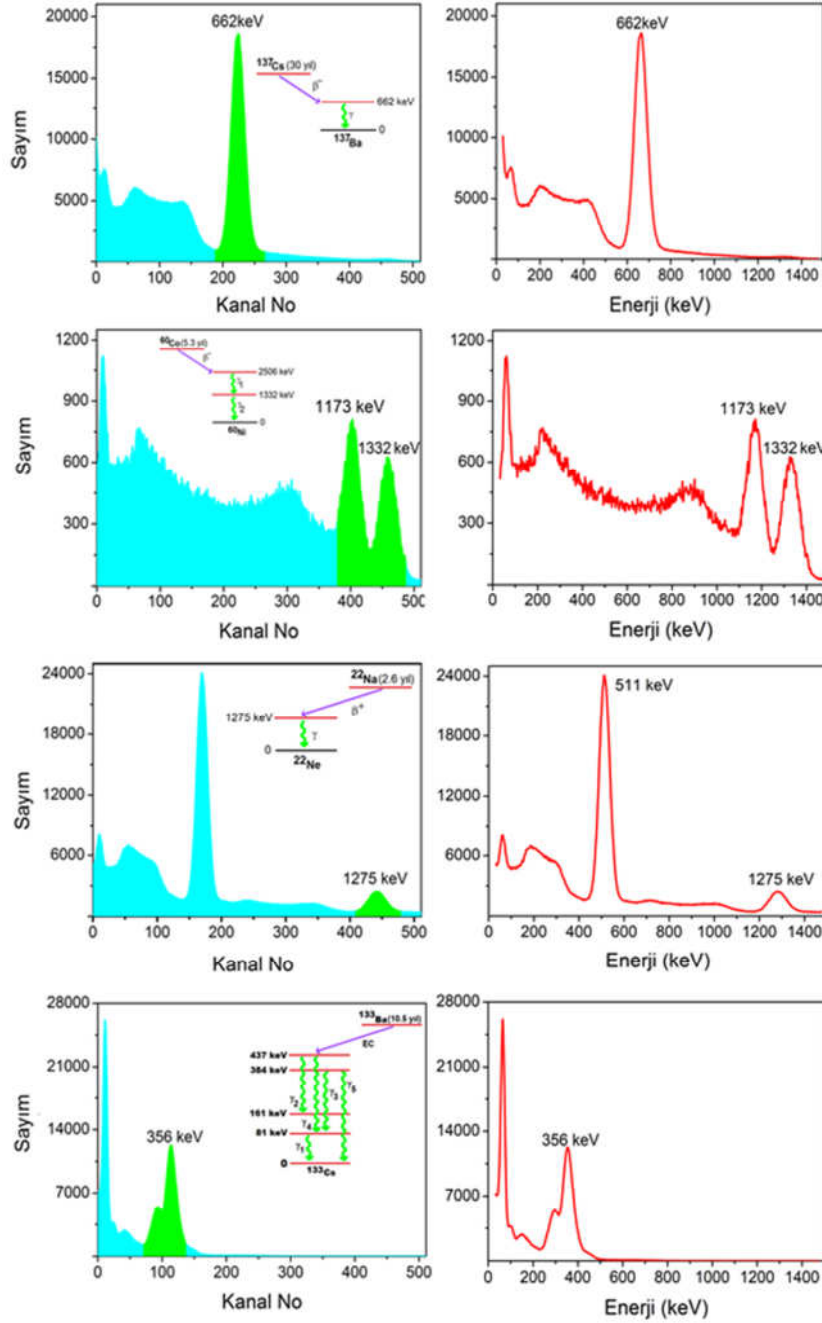
$$E(\text{keV}) = (32.98224 \pm 7.64892) + (2.82533 \pm 0.02155) \times \text{KNo\#}$$

şeklinde elde edildi. NaI(Tl) detektörü için enerji kalibrasyon grafiği Şekil 2’de görülmektedir.

^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na ve ^{133}Ba kaynaklarının ölçülen spektrumları ile enerji kalibrasyonu düzeltilmesi yapıldıktan sonra fotopikleri olmaları gereken enerji değerlerinde gösteren spektrumları Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 2. NaI(Tl) detektörü için enerji kalibrasyon grafiği



Şekil 3. ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{133}Ba kaynakları için ölçülen (Sayım-Kanal No) ve enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra elde edilen (Sayım-Enerji) gama spektrumları.

Ölçülen ^{22}Na spektrumunda 1275 keV'lik fotopik dışında görülen ve ^{22}Na radyoizotopunun bozunma modunun β^+ olmasından dolayı detektör içinde oluşan yok-olma fotonlarından kaynaklanan diğer pikin enerjisinin 511 keV olduğu enerji kalibrasyonundan sonra açıkça görülmektedir.

Detektörün enerji çözünürlükleri

$$R = \frac{\text{FWHM}}{\text{KNo}} \times 100$$

denklemini kullanarak, fotopiklerin yarı yüksekliklerinin tam genişliği-FWHM (Full Width at Half Maximum) değerlerinden elde edilmiştir. Burada R , % cinsinden çözünürlük ve KNo , Kanal numarasıdır [4]. ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na ve ^{133}Ba kaynakları için elde edilen sonuçlar Tablo 3'de görülmektedir.

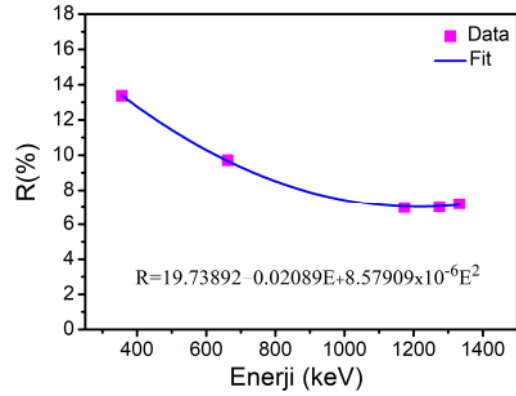
Tablo 3. ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na ve ^{133}Ba kaynakları için elde edilen enerji çözünürlükleri.

| Kaynak | E γ (keV) | R(%) |
|-------------------------|------------------|-------|
| ^{137}Cs | 662 | 9.71 |
| ^{60}Co /1.pik | 1173 | 6.98 |
| ^{60}Co /2.pik | 1332 | 7.19 |
| ^{22}Na | 1275 | 7.02 |
| ^{133}Ba | 356 | 13.37 |

1"×1" NaI(Tl) detektörüyle 0.5 cm mesafeden yapılan ölçümlerde 356-1332 keV enerji aralığı için elde edilen bu enerji çözünürlüklerinin gama ışını enerjisiyle değişimi Şekil 4'de gösterilmektedir. Gama ışınlarının enerjisi arttıkça, enerji çözünürlüğünün (%R) azaldığı açıkça görülmektedir [4].

Kaynaklar

- [1] Arıç, T., Gama ışını spektroskopisi için bir hibrid dedektör sisteminin kurulumu ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).
- [2] Appendix nuclear spectroscopy standards, <http://dbserv.pnpi.spb.ru/elbib/tablisot/toi98/www/decay/eandi.pdf>, (31.07.2017).
- [3] Şahiner, E., Doğal radyoaktif izotoplarda gerçek çakışma etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2010).
- [4] Akkurt, I., Günoğlu, K. ve Arda, S.S., Detection efficiency of NaI(Tl) detector in 511–1332 keV energy range, **Science and Technology of Nuclear Installations**, 2014, Article ID 186798, (2014).
- [5] Ermiş, E., E., Tektaş, G., Özçelik, Z., Çelikaş, C. ve Pechousek, J., Comparison of



Şekil 4. ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{133}Ba kaynakları için 0.5 cm mesafedeki ölçümlerde elde edilen enerji çözünürlüklerinin gama ışını enerjisiyle değişimi.

4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, sintilatör kristali olarak dikdörtgen biçiminde 1"×1" NaI(Tl) ve fotodetektör olarak fotoçoğaltıcı tüp (PMT)'den oluşan sintilatör detektörü kullanılarak ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na ve ^{133}Ba standart gama ışını kaynaklarının puls yüksekliği spektrumları ölçüldü, enerji kalibrasyonu yapıldı ve ileride yapılacak spektroskopik çalışmalarımız için bu küçük hacimli detektörün enerji çözünürlükleri tespit edildi. Bu değerlerin literatürdeki değerlerle kıyaslandığında kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu açıkça görülmektedir [5-8]. Ayrıca bu çalışmada, enerji çözünürlüğünün (%R) gama ışını enerjisiyle değişimi 0.5 cm'lik kaynak-detektör mesafesindeki ölçümler için 356-1332 keV enerji aralığında belirlendi.

energy resolution of NaI (Tl) scintillation detectors obtained by analog and digital ways, **Radiation Science and Technology**, 1, 1, 10-12, (2015).

- [6] Nakamura, H., Kitamura, H., ve Hazama, R., Development of a new rectangular NaI(Tl) scintillator and spectroscopy of low-energy charged particles, **Review of Scientific Instruments**, 81, 013104, (2010).
- [7] Hakamata, T., Photomultiplier tubes, ch.7: Scintillation counting, 3th ed. https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_handbook_v3aE-Chapter7.pdf, (25.11.2017).
- [8] Park, H. M. ve Koan, S. J., Development and performance characteristics of personal gamma spectrometer for radiation monitoring applications, **Sensors (Basel)**, 16, 6, 919, (2016).