

Obtaining the ^{137}Cs Gamma Spectrum by Multi-pixel Photon Counter

 Elif Ebru ERMİŞ^{1,*}  Cüneyt ÇELİKTAŞ² 
¹ Izmir Tinaztepe University Vocational School of Health Services, Medical Imaging Techniques Services, 35400, Buca/IZMİR

²Ege University Faculty of Science, Physics Department, 35100, Bornova/IZMİR

Article Info:

Research article

Received: 07/07/2020

Revision: 18/08/2020

Accepted: 21/08/2020

Highlights

- Multi-pixel photon counter was used.
- ^{137}Cs gamma spectrum was achieved.
- To reduce the system noise applied method was used.

Keywords

 Multi-pixel photon counter
 ^{137}Cs
 Gamma spectrum

Graphical/Tabular Abstract

To reduce high noise in the original gamma spectrum and reveal photopeak of the source, the spectrometer was used in the following figure.

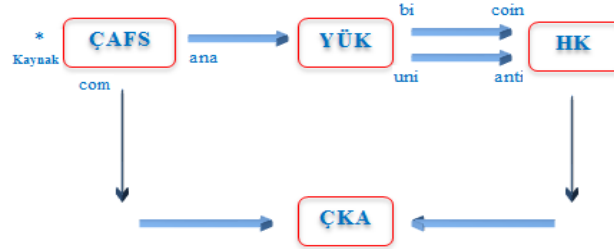


Figure A. Used spectrometer in this work.

Purpose: In this work, a method was asserted in order to reveal clear ^{137}Cs gamma spectrum by multi-pixel photon counter (MPPC) due to its high noise.

Theory and Methods: ^{137}Cs gamma spectrum by the MPPC was achieved directly and by using proposed spectrometer, respectively.

Results: Neat source spectrum by the proposed spectrometer was given.

Conclusion: It has been shown how a gamma spectrum can be achieved without electronic noise by using a MPPC. A different method to find a noiseless gamma spectrum with a better resolution by the MPPC was suggested.



Çok Amaçlı Foton Sayıcı (ÇAFS) ile ^{137}Cs Gama Spektrumunun Elde Edilmesi

Elif Ebru ERMİŞ^{1,*} Cüneyt ÇELİKTAŞ²

¹İzmir Tınaztepe Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Bölümü, 35400, Buca/İZMİR

²Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 35100, Bornova/İZMİR

Öz

Bu çalışmada, çok amaçlı foton sayıcı (ÇAFS) kullanılarak oluşturulan spektrometre ile doğrudan ^{137}Cs standart gama kaynağının spektrumu elde edilmiştir. Bu spektrum yüksek miktardaki sistem gürültüsü içinde kaldığından gama spektrumu görülememiştir. Bunu önlemek amacıyla yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem vasıtasıyla, spektrumda ortaya çıkan sistem gürültüsü önemli düzeyde azaltılmış ve böylelikle doğrudan alınan spektrumda görülemeyen gama piki belirgin bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Mevcut çalışma ile kullanılan ÇAFS cihazının gama spektrumunun elde edilmesinde daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi gösterilmiştir. Burada önerilen yöntem ile ÇAFS vasıtasıyla farklı tip standart gama kaynaklarının spektrumlarının elde edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, ÇAFS cihazıyla elektronik gürültüden arındırılmış, daha iyi bir çözünürlüğe sahip bir gama spektrumunun bulunması için farklı bir yöntem ileri sürülmüştür.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
 Başvuru: 07/07/2020
 Düzeltme: 18/08/2020
 Kabul: 21/08/2020

Anahtar Kelimeler

Çok amaçlı foton sayıcı
 ^{137}Cs
 Gama spektrumu

Keywords

Multi-pixel photon counter
 ^{137}Cs
 Gamma spectrum

Obtaining the ^{137}Cs Gamma Spectrum by Multi-pixel Photon Counter

Abstract

In this study, direct spectrum of ^{137}Cs standard gamma source was obtained using multi-pixel photon counter (MPPC). Since this spectrum remained within the system noise, the gamma spectrum was not observed. In order to prevent this, a novel method was proposed. By the help of the method, the system noise that occurred in the spectrum was highly reduced, and thus the gamma peak that was not distinguished in the spectrum was revealed prominently. By the present study, it has been shown that MPPC can be used more efficiently in acquiring the gamma spectrum. It has been concluded that the spectra of different types of standard gamma sources can be acquired by this device through the proposed method here. Consequently, a different method to acquire a gamma spectrum cleaned by the electronic noise with better resolution by the MPPC was proposed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çok amaçlı foton sayıcı (ÇAFS), yarı iletken bir malzemeden (Si) üretilmiş ve foton sayımı için kullanılan bir cihaz olup, geiger modunda çalıştırılan birden fazla pikselden oluşan bir çeşit diyot şeklinde tanımlanabilir. ÇAFS'nın düşük çalışma voltajında çalıştırılabilmesi, oldukça iyi foton sayımı kapasitesine sahip olması, yüksek kazanç değeri, hızlı cevap zamanı, mükemmel zaman çözünürlüğü ve manyetik alana duyarlı olmaması gibi özelliklerinden dolayı bu cihazın farklı uygulama alanlarında kullanılması mümkün olmaktadır. Bu uygulama alanları arasında, DNA analiz ölçümleri, yüksek enerji fiziği deneyleri, yeni nesil PET (positron emission tomography) sistemleri yer almaktadır. ÇAFS'da her piksel, bir foton algıladığında aynı genlikte bir puls oluşturur. Birden çok sayıdaki piksel tarafından üretilen pulslar, birbiri üzerine bindirilerek çıkış pulsu meydana getirilmiş olur [1]. ÇAFS'nın çalışma şekli kısaca bu şekilde özetlenebilir.

ÇAFS cihazı aynı zamanda Si fotoçoğaltıcı (SiFC) olarak da bilinmektedir. Bu elektronik sensörler ile yapılan araştırma çalışmaları günümüzde hızla devam etmektedir. Çeşitli tiplerde sintilatörler

(parıldayıcı) kullanılarak ÇAFS'nin dedeksiyon performansını artırma çalışmaları [2,3], x ışını ve gama ışını ölçümü [4, 5], yüksek enerji astrofizik deneyleri [6, 7], nükleer tıpta pozitron emisyon tomografisi deneyleri [8, 9, 10, 11] ve kozmik müon dedeksiyonu deneyleri [12, 13] için ÇAFS halen artan bir hızla kullanılmaktadır. Bundan dolayı ÇAFS dedeksiyon verimini artıracak her türlü çalışma büyük öneme sahiptir.

Bir radyoaktif kaynaktan yayımlanan parçacıklar tarafından üretilen puls yükseklik dağılımını yani enerji spektrumunu elde etmek için çok kanallı analizör (ÇKA) denilen cihazlar kullanılmaktadır. ÇKA, gelen sinyalleri genliklerine göre ayırır ve hafızasında her bir genliğe karşılık gelen bir adres tanımlar. Bu adres kanal numarası olarak adlandırılır [14]. Başka bir ifade ile ÇKA gelen analog sinyalin genliğine karşılık gelen bir dijital sayıya dönüştürme prensibine dayalı olarak çalışır [15].

Spektroskopi, radyoaktif bir kaynaktan veya nükleer bir reaksiyon tarafından üretilen parçacıkların enerji dağılımlarının elde edildiği radyasyon ölçümlerinin bir koludur. Spektroskopide, enerji ölçümleri için kullanılan dedeksiyon sisteminin performansının kalitesi ise puls yükseklik dağılımının genişliği ile karakterize edilir [14]. Bu da enerji çözünürlüğü büyüklüğü ile tanımlanır. Enerji çözünürlüğü (EÇ), pikin en yüksek sayımının yarısındaki genişlik değerinin (YMG), pikin en yüksek sayımının alındığı kanal numarasına (KN) bölünmesiyle hesaplanır. EÇ enerji biriminde verilebileceği gibi aynı zamanda yüzde (%) cinsinden de ifade edilebilir [15, 16].

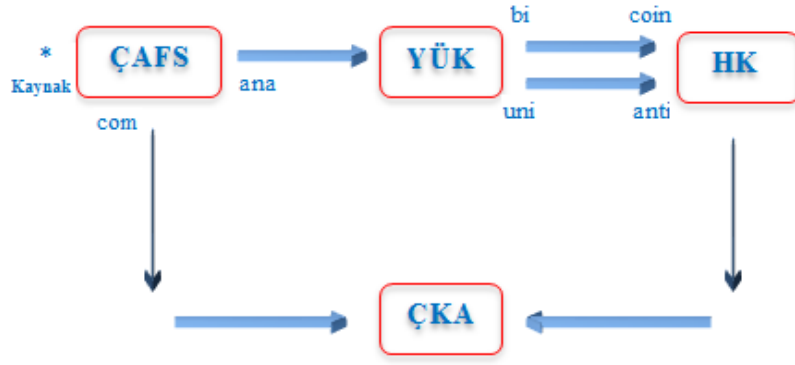
Laboratuvarımızda bir yarı iletken çok amaçlı foton sayıcısı (ÇAFS) bulunmaktadır. Bu cihaz, gama radyasyonu dedeksiyonu için kullanılmaktadır. Ancak, cihazdan alınan gama kaynak spektrumunda yüksek seviyede elektronik gürültü ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, gama spektrumu net olarak elde edilememektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada; söz edilen elektronik gürültü miktarı azaltılmak suretiyle, bir ^{137}Cs standart radyoaktif kaynağının gama fotopikinin ortaya çıkarılarak daha net ve daha iyi bir çözünürlüğe sahip bir gama spektrumunun bulunması için bir yöntem önerilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

ÇAFS cihazı ile bir ^{137}Cs nokta kaynağının doğrudan gama spektrumu şekil 1'de verilmiştir. Bu şekilde, yatay eksen ÇKA'nın kanal numarasını, düşey eksen de her bir kanal başına düşen sayım sayısını ifade etmektedir. Görüldüğü gibi bu spektrumda yüksek gürültü nedeniyle gama fotopiki elde edilememiştir. Benzer durum O.J. Roberts'in doktora tezinde (şekil 5.3) farklı tip bir SiFÇ kullanılarak elde edilen ^{137}C gama kaynak spektrumunda da aynı şekilde ortaya çıkmıştır [17]. Bu sebeple, spektrumdaki yüksek gürültüyü azaltmak ve böylece kaynağın gama fotopikini ortaya çıkarmak için şekil 2'de gösterilen spektrometre tasarlanmıştır.



Şekil 1. ÇAFS cihazı ile alınan ^{137}Cs kaynağının doğrudan gama spektrumu



Şekil 2. Çalışmada kullanılan spektrometrenin şekli

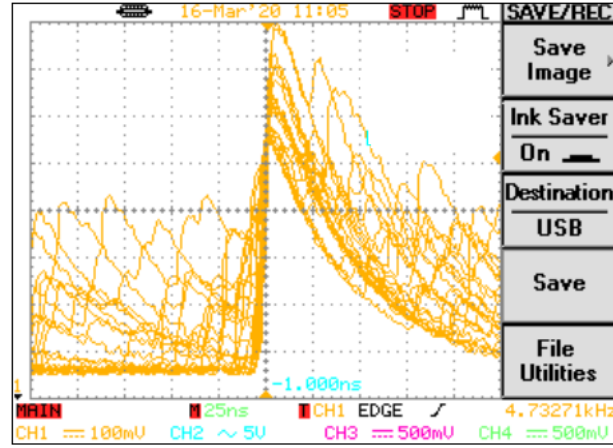
Bu spektrometrede, 5 μCi aktiviteye sahip ^{137}Cs standart gama kaynağı kullanılmıştır. Spektrometrede çok amaçlı foton sayıcı (ÇAFS, Hamamatsu C10507-11-100U), yükseltici (YÜK, ORTEC 672), hızlı koinsidens (HK, ORTEC 414A) ve çok kanallı analizör (ÇKA, ORTEC Easy MCA 2k) kullanılmıştır. Ölçüm süresi 100 saniye olarak belirlenmiştir.

ÇAFS yarı iletken bir cihaz olduğundan ışığa hassastır. Bu nedenle, spektrumlar alınırken sistem karanlık bir ortamda çalıştırılmıştır. Ayrıca, sıcaklığa bağlı olarak meydana gelebilecek fazla sayımların önüne geçebilmek için de sistem oda sıcaklığına yakın bir ortam sıcaklığında (21°C) tutulmuştur.

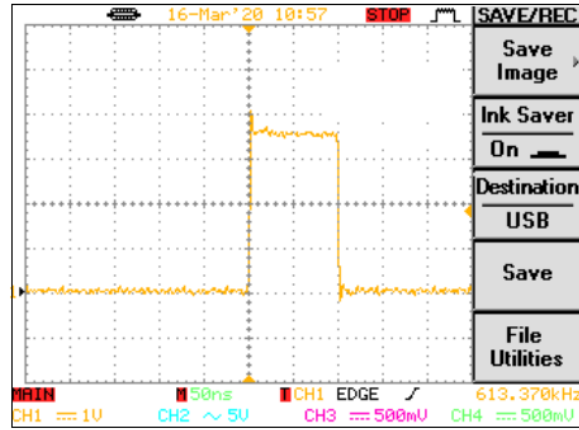
ÇAFS, USB kablosuyla PC'den gücünü almaktadır. ÇAFS'nin çalıştırılması ise PC'den gerçekleştirilmektedir. Aynı şekilde ölçümler ve veriler PC'den takip edilmektedir. ÇAFS'nin analog ve comparator şeklinde iki çıkışı bulunmaktadır. Analog çıkış, sinyal şekillerini kontrol etmek ve sinyal özelliklerini ölçmek için kullanılmaktadır. Comparator çıkışından mantık sinyali alarak sayısal değerleri elde etmek mümkündür. Spektrometrede kullanılan ÇAFS'nin fotoğrafı şekil 3'te gösterilmiştir. Bu çıkışlardan alınan sinyal şekillerinin osiloskop görüntüleri de sırasıyla şekil 4 ve şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Spektrometrede kullanılan ÇAFS'nin fotoğrafı

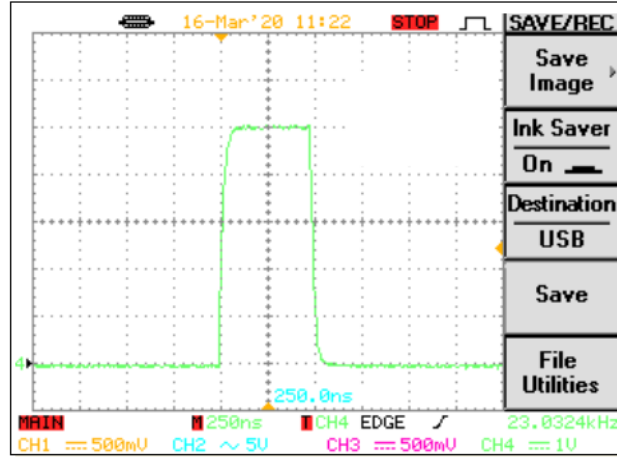


*Şekil 4. ÇAFS'nin analog çıkışının sinyal şekli
(yatay eksen zaman, dikey eksen voltajı göstermektedir)*



*Şekil 5. ÇAFS'nin comparator çıkışının sinyal şekli
(yatay eksen zaman, dikey eksen voltajı göstermektedir)*

Ayrıca spektrometrede kullanılan HK modülünün çıkışının sinyal şekli de aşağıda gösterilmiştir.

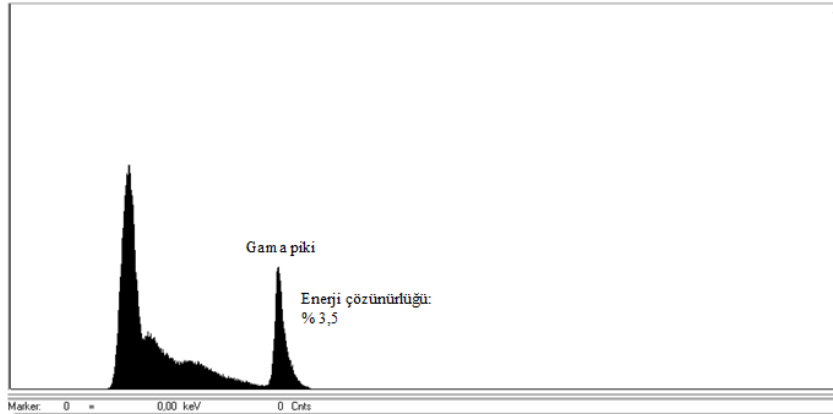


Şekil 6. HK çıkışının sinyal şekli

(yatay eksen zaman, dikey eksen voltajı göstermektedir)

3. BULGULAR (RESULTS)

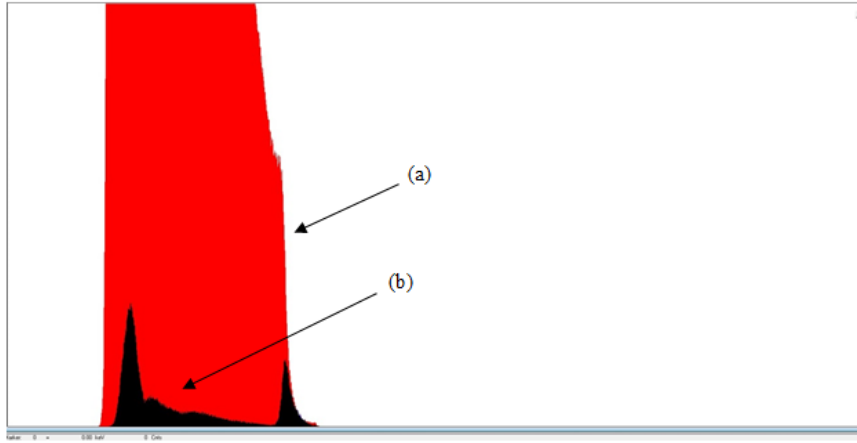
Çalışmada kullanılan spektrometre vasıtasıyla elde edilen kaynak spektrumu şekil 7’de gösterilmiştir. Bu spektrumdaki gama pikinin enerji çözünürlük değeri % 3,5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Çalışmada elde edilen kaynak spektrumu

Şekil 1’de verilen doğrudan kaynak ve şekil 7’de verilen deneysel kaynak spektrumlarının karşılaştırması ise şekil 8’de gösterilmiştir. Buradan, bu çalışmada ele alınan deneysel yöntemin gürültüyü önemli miktarda kestiği ve gürültü içinde kalan kaynak spektrumunun ortaya çıkmasında başarılı olduğu görülmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi ÇAFS’nın ‘comparator’ çıkışı mantık sinyali vermektedir. Hızlı koinsidens modülü de yükselticinin çıkışları arasında koinsidens mantık sinyali üretir. Bu sinyalin çok kanallı analizörün ‘gate’ girişine bağlanması sonucunda ÇAFS’nın ürettiği mantık sinyalleri tetiklenmek suretiyle sistem gürültüsünün elektronik olarak dışlanıp, çok kanallı analizörde sadece dedektörden gelen sinyallerin kaydedilmesi mümkün olmuştur.



Şekil 8. a) Şekil 1’de verilen doğrudan kaynak spektrumu (kırmızı), b) Şekil 7’de verilen ve çalışmada elde edilen kaynak spektrumu (siyah)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

Yukarıda elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde; ÇAFS cihazı ile alınan doğrudan kaynak spektrumunun çok yüksek gürültü içerdiği ve bu nedenle ilgili gama pikinin bu gürültü spektrumu içinde kaldığı şekil 8’den rahatlıkla görülmektedir. Dolayısıyla, sistemde çok miktarda elektronik gürültü meydana geldiğinden şekil 3’te gösterilen ÇAFS cihazı bir gama dedeksiyon işlemi için kullanılamamaktadır. Bu bakımdan, bu çalışmada önerilen deneysel düzenek vasıtasıyla bu gürültü bileşenin önemli oranda azaltıldığı söylenebilir. Ayrıca, bulunan gama pikinin oldukça iyi bir çözünürlük değerine (% 3,5) sahip olması da çalışmada önerilen sistemin bu konuda başarılı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada uygulanan yöntem koinidens yöntem olup, kısaca aynı kaynaktan gelen sinyallerin elektronik olarak birbirleriyle karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır. Dolayısıyla bu işlem genel bir işlem olduğundan benzer şekildeki diğer dedektör sinyali alımlarında da uygulanabilecektir. Buradan hareketle, çalışmada önerilen sistemin farklı tip standart gama kaynaklarının (Co^{60} , Na^{22} , Co^{57} , Eu^{152} , Ba^{133} gibi) spektrumlarının elde edilebilmesi için de kullanılacağı söylenebilir. Şöyle ki; kozmik ışınlar gibi yüksek enerjili parçacıkların dedektörde ürettiği sinyallerin genlikleri her zaman sistemin ürettiği gürültü sinyallerinden daha büyük olacağından bu durum dedeksiyon için herhangi bir sorun oluşturmayacaktır. Ancak, literatürdeki tüm çalışmalarda özellikle kalibrasyon kaynağı olarak kullanılmakta olan bu kaynakların yayımladığı gama ışınlarının enerjileri genellikle 1 MeV civarı ve altındaki enerjilerdedir. ÇAFS sisteminin ürettiği gürültü sinyallerinin genliklerinin bu kaynaklardan gelen gama parçacıkların dedektörde ürettiği sinyallerin genliklerinden çok daha büyük olmaları sebebiyle bu kaynakların spektrumları ayırt edilememektedirler. Bu da bu dedektörün zayıf bir noktası olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, burada belirtilen deneysel yöntem ile bu zorluğun aşılması için bir alternatif sunulmuştur.

Yarı iletken malzemelerin ortam sıcaklığına olan hassasiyetleri sebebiyle şekil 7’de verilen spektrumun sıcaklığa bağlı olarak değişme gösterebilmesi mümkündür. Bu durum spektrumdaki sol pik üzerinde kendini gösterecektir. Yüksek sıcaklıklarda gürültü miktarı artacağından, bu pik daha uzun olarak ortaya çıkacaktır. Bu nedenle, alınacak ölçümlerin oda sıcaklığında, hatta mümkünse biraz daha düşük sıcaklıklarda spektrumların alınması, gürültünün azaltılması ve çözünürlüğün artırılması üzerinde etkili olacaktır. Bunun yanı sıra, karanlık bir ortam ışıktan kaynaklanabilecek gürültünün azaltılması açısından her zaman gerekli olacaktır.

Sonuç olarak; yüksek gürültü nedeniyle 1 MeV ve altındaki enerjilere sahip olan gama ışınlarının dedeksiyonu için kullanılmayan ÇAFS cihazının bu çalışmada önerilen yöntem sayesinde spektrumlarının elde edilebilmesinde başarılı olduğu görülmüş ve sistemdeki elektronik gürültünün azaltılarak kaynağın gama pikinin ortaya çıkarılması mümkün olmuştur. Böylelikle, bu cihazın daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi imkanı doğmuştur. Buradan hareketle, ÇAFS’nın doğrudan gama

spektrumu elde edilebilmesi için kullanılabilmesi açısından literatüre katkı sağlanacağı söylenebilir. Ancak, elde edilen sonuç iyi olmakla beraber daha da geliştirilmeli ve hali hazırda mevcut olan gürültünün de azaltılması için çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, sonraki çalışmalarımız bu konu üzerinde devam edecek olup, kaynak spektrumunun literatüre daha yakın bir şekilde elde edilmesi için çalışılacaktır. Ayrıca burada ileri sürülen deneysel yöntemin alfa spektrumu için de kullanılıp kullanılmayacağı da test edilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hamamatsu Company, 2020 Si APD, MPPC Catalog, www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/e03_handbook_si_apd_mppc.pdf.
- [2] Tsujikawa, T., Funamoto, H., Kataoka, J., Fujita, T., Nishiyama, T., Kurei, Y., Sato, K., Yamamura, K., Nakamura, S. (2014). Performance of the latest MPPCs with reduced dark counts and improved photon detection efficiency. *Nuclear Instruments and Methods A*, 765(2014), 247-251.
- [3] Winter, B., King, S.J., Brouard, M., Vallance, C. (2016). Improved direct detection of low-energy ions using a multipixelphoton counter coupled with a novel scintillator. *International Journal of Mass Spectrometry*, 397-398, 27-31.
- [4] Yamaguchi, S., Sato, E., Oda, Y., Nakamura, R., Oikawa, H., Yabuushi, T., Ariga, H., Ehara S. (2015). Measurement of X-ray spectra using a Lu₂(SiO₄)O-multipixel-photon detector with changes in the pixel number. *Applied Radiation and Isotopes*, 103, 25-30.
- [5] Kataoka, J., Kishimoto, A., Fujita, T., Nishiyama, T., Kurei, Y., Tsujikawa, T., Oshima, T., Taya, T., Iwamoto, Y., Ogata, H., Okochi, H., Ohsuka, S., Ikeda, H., Yamamoto, S. (2015). Recent progress of MPPC-based scintillation detectors in high precision X-ray and gamma-ray imaging. *Nuclear Instruments and Methods A*, 784(2015), 248-254.
- [6] Marano, D., Belluso, M., Bonanno, G., Billotta, S., Grillo, A., Garozzo, S., Romeo, G., Catalano, O., La Rosa, G., Sottile, G., Impiombato, D., Giarrusso S. (2014). Electro-optical characterization of MPPC detectors for the ASTRI Cherenkov telescope camera. *Nuclear Instruments and Methods A*, 768(2014), 32-42.
- [7] Biland, A., Bretz, T., Buß, J., Commichau, V., Djambazov, L., Dorner, D., Einecke, S., Eisenacher, D., Freiwald, J., Grimm, O., von Gunten, H., Haller, C., Hempfling, C., Hildebrand, D., Hughes, G., Horisberger, U., Knoetig, M.L., Krahenb, T., Lustermann, W., Lyard, E., Mannheim, K., Meier, K., Mueller, S., Neise, D., Overkemping, A.-K., Paravac, A., Pauss, F., Rhode, W., Roser, U., Stucki, J.-P., Steinbring, T., Temme F., Thaele, J., Vogler, P., Walterd, R., Weitzela., Q. (2014). Calibration and performance of the photon sensor response of FACT — the first G-APD Cherenkov telescope. *Journal of Instrumentation*, 9, P10012.
- [8] Buzhan, P., Dolgoshein, B., Filatov, L., Ilyin, A., Kantzerov, V., Kaplin, V., Karakash, A., Kayumov, F., Klemin, S., Popova, E., Smirnov, S. (2003). Silicon photomultiplier and its possible applications. *Nuclear Instruments and Methods A*, 504 (2003) 48-52.
- [9] Siefert, S., Vinke, R., van Dam, H.T., Lohner, H., Dendooven, P., Beekman, F.J., Schaart, D.R. (2009). Ultra Precise Timing with SiPM-Based TOF PET Scintillation Detectors. *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, Nuclear & Plasma Sciences Society*, 2329-2333.
- [10] Bisogni, M.G., Del Guerra, A., Belcari, N. (2019). Medical applications of silicon photomultipliers. *Nuclear Instruments and Methods A*, 926 (2019), 118-128.

- [11] Lamprou, E., Gonzalez, A.J., Sanchez, F., Benlloch, J.M. (2020). Exploring TOF capabilities of PET detector blocks based on large crystals and analog SiPMs. *Physica Medica* 70, 10-18.
- [12] La Rocca, P., Billotta, S., Blancato, A.A., Bonanno, D., Bonanno, G., Fallica, G., Garozzo, S., Lo Presti, D., Marano, D., Pugliatti, C., Riggi, F., Romeo, G., Santagati, G., Valvo, G. (2015). Fabrication, characterization and testing of silicon photomultipliers for the Muon Portal Project. *Nuclear Instruments and Methods A*, 787(2015), 236-239.
- [13] Riggi, F., Blancato, A.A., La Rocca, P., Riggi, S., Santagati, G. (2014). An extensive air shower trigger station for the Muon Portal detector, *Nuclear Instruments and Methods A*, 764 (2014), 142-149.
- [14] Tsoufanidis, N. (1995). *Measurements and Detection Radiation*. Taylor & Francis, USA.
- [15] Knoll, G.F. (2000). *Radiation Detection and Measurements*. John & Sons Inc. New York.
- [16] Leo, W.R. (1994). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*. Springer-Verlag, Berlin.
- [17] Roberts, O.J. (2010). *Investigations of Detector Methods for Gamma-Ray Spectroscopy with PARIS*. PhD Thesis, York University.