

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

© 2022 г. Elif Ebru Ermis<sup>a,\*</sup>, Cuneyt Celiktas<sup>b</sup><sup>a</sup> Izmir Tinaztepe University, Vocational School of Health Services, Medical Imaging Techniques Department  
35400, Buca, Izmir, TURKEY<sup>b</sup> Ege University, Faculty of Science, Physics Department 35100, Bornova, Izmir, TURKEY

\*e-mail: elermis@hotmail.com

Поступила в редакцию 15.02.2022 г.

После доработки 21.03.2022 г.

Принята к публикации 22.03.2022 г.

Поскольку в спектрах  $\beta$ -распада  $\beta$ -частицы могут иметь любую энергию от нуля до максимума, низкоэнергетическая часть  $\beta$ -спектра скрывается в электронных шумах регистрирующего устройства. Нами предложен экспериментальный метод выделения сигналов от  $\beta$ -частиц в избранной части шумового спектра в низкоэнергетической части спектра источника  $^{204}\text{Tl}$  методом временной привязки с постоянным порогом. Полученные результаты показали, что предлагаемый метод вполне успешно выделяет импульсы от  $\beta$ -частиц среди шумовых сигналов. Сделано заключение, что использованный метод позволяет отделять не только шумовые сигналы, но также и разделять импульсы от частиц разных типов, например, отделять сигналы фона от сигналов источника, что улучшает возможности детектирования.

DOI: 10.31857/S003281622204019X

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время самыми широко используемыми органическими сцинтилляторами являются пластические сцинтилляторы. Один из них, типа BC-400, предназначен для решения широкого круга задач и в основном используется для детектирования  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц [1].

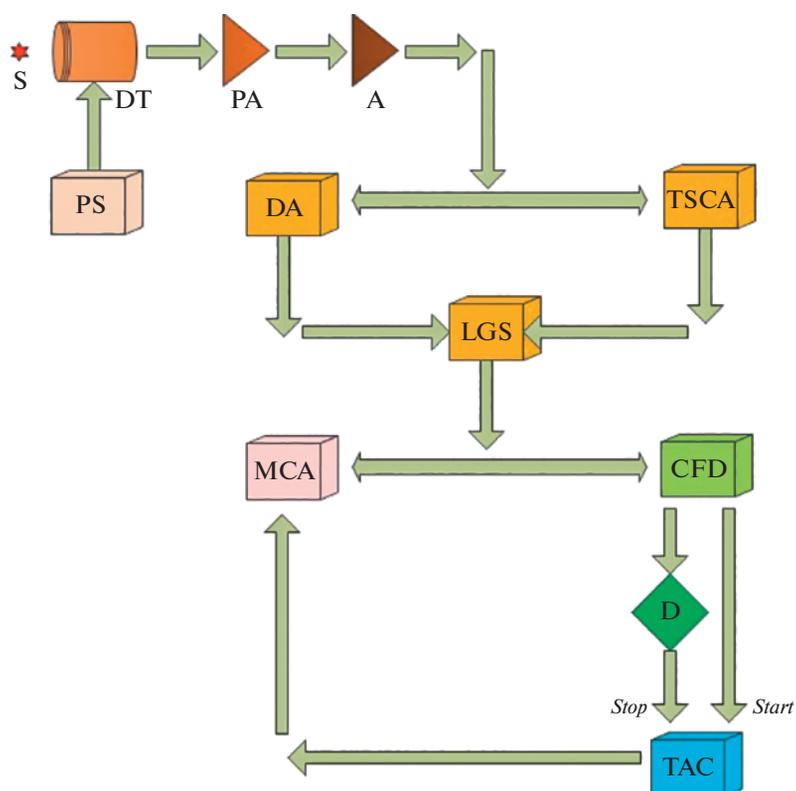
Simons and Higginbotham [2] разработали двухдетекторный спектрометр со сцинтилляторами типа BC-400. Parandreou et al. исследовали энергетическую зависимость сцинтилляционного выхода сцинтиллятора BC-400 для протонов с энергией в диапазоне 60–220 МэВ [3]. Moghadam et al. использовали этот тип сцинтиллятора для регистрации радиоактивности актинидов (например,  $^{241}\text{Am}$ ) на основе метода  $\alpha$ - $\gamma$ -совпадений [4]. Временные параметры этого сцинтиллятора при регистрации  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц исследовал Mitev [5]. Энергетическую зависимость выхода маленьких сцинтилляционных детекторов на основе BC-400 исследовал Ebenau [6].

Поскольку частицы разного типа имеют разные массы и заряды, они генерируют в материале детектора сигналы, различающиеся по энергии и форме. Это приводит к разным временным характеристикам, что позволяет разделять различные частицы. С помощью измерения формы и длительности сигнала могут быть выполнены различные способы дискриминации частиц. Дискриминация частиц основана на определении

времени прихода импульса, генерируемого в детекторе падающими частицами. Одним из наиболее часто используемых и эффективных методов синхронизации является дискриминация с постоянным порогом. В этом методе входящий импульс сначала разделяется на две части, причем одна часть задерживается на время, равное времени, которое требуется импульсу, чтобы от уровня дискриминации достигнуть амплитудного значения импульса. Другая часть импульса инвертируется и ослабляется на определенную величину для получения выходного импульса. В результате суммирования двух частей импульса получается биполярный импульс [7].

Так как  $\beta$ -частицы имеют малую массу, вероятно их рассеяние назад от поверхности детектора, особенно в области малых энергий, что приводит к искажению сигналов детектора [7]. Такие случаи приводят к появлению нежелательных флуктуаций или ложных сигналов в процессе измерений.

Эти нежелательные ситуации воспринимаются как шум вместе с электронным шумом, создаваемым устройствами из-за физических условий (таких как температура, окружающее освещение, старение), и этот шум накладывается на исходный сигнал. Важные источники шума возникают в самом детекторе и подвергаются такому же усилению, как и основной сигнал, тогда как шум, ге-



**Рис. 1.** Схематический вид спектрометра. S – источник; DT – детектор; PS – источник напряжения ORTEC 556; PA – предусилитель ORTEC 113; A – основной усилитель ORTEC 485; DA – усилитель с задержкой ORTEC 427A; TSCA – одноканальный анализатор временной привязки ORTEC 420A; LGS – линейные ворота и расширитель ORTEC 442; CFD – дискриминатор с постоянным порогом ORTEC 584; D – устройство задержки ORTEC 425A; TAC – времяамплитудный конвертер ORTEC 566; MCA – многоканальный анализатор ORTEC Easy MCA 2k.

нерируемый дальше по схеме, обычно намного меньше, чем исходный сигнал [8].

Негативное влияние шума на амплитудный спектр импульсов в многоканальном анализаторе требуется максимально уменьшить. Этот эффект обычно проявляется в  $\beta$ -спектре в области низких энергий и требует установления порога для устранения этой искаженной части спектра [9–16]. В данной работе для отделения исходных сигналов  $\beta$ -частиц от выбранной зашумленной части полученного энергетического спектра  $^{204}\text{Tl}$  была предложена установка, основанная на использовании метода временной привязки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовался точечный источник  $^{204}\text{Tl}$  активностью 0.25 мкКи фирмы Spectrum Techniques Co., нанесенный на майларовый диск диаметром 25 мм и толщиной 5 мм. Источник излучает только  $\beta$ -частицы. Время набора статистики 300 с.

В  $\beta$ -спектрометре использовался сцинтилляционный детектор фирмы Saint Gobain Co. с пластическим сцинтиллятором BC-400 диаметром

762 мм и толщиной 5 мм. Детектор располагался в темном и прохладном корпусе для предотвращения появления дополнительных шумовых сигналов. Схематический вид спектрометра приведен на рис. 1.

Сигналы, возникающие при детектировании  $\beta$ -частиц источника  $^{204}\text{Tl}$  в спектрометре, усиливаются предусилителем и усилителем. На рис. 2 показано распределение выходных сигналов с усилителя, т.е.  $\beta$ -спектр.

Согласно рис. 2, в  $\beta$ -спектре присутствуют сигналы в любом канале от нулевого до максимальной энергии  $\beta$ -излучения. Это означает, что падающие  $\beta$ -частицы из радиоактивного источника имеют непрерывный спектр. В низкоэнергетической части спектра наблюдается много шумовых импульсов. Для нормальной работы спектрометра выход в интервале между 40-м и 90-м каналами был закрыт. Для этого выход усилителя был разделен на две ветви для стробирования нужного интервала в спектре с помощью синхронизирующего одноканального анализатора и усилителя задержки. Закрытая часть  $\beta$ -спектра через линейный затвор и расширитель LGS представлена на рис. 3.

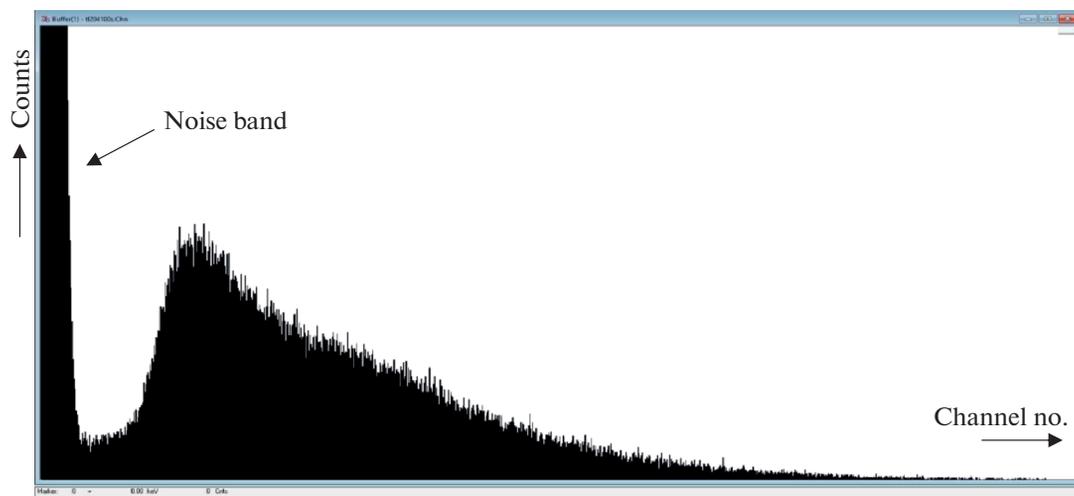


Рис. 2. Бета-спектр  $^{204}\text{Tl}$ , измеренный пластиковым сцинтиллятором BC-400.

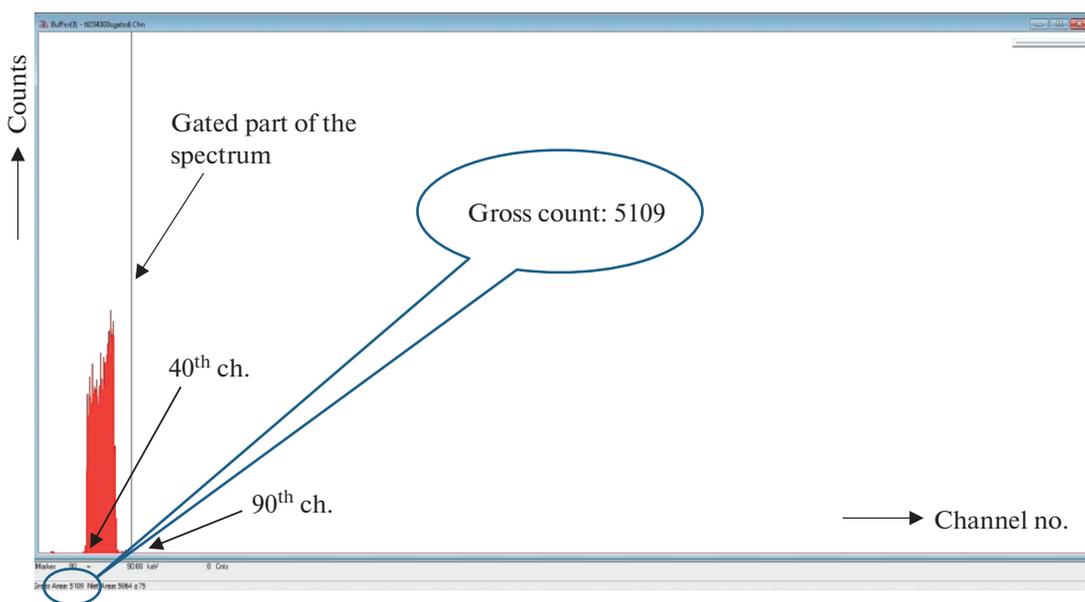


Рис. 3. Заблокированная часть  $\beta$ -спектра.

Кроме того, на рис. 4 приведены выходные сигналы с блока LGS, полученные цифровым осциллографом. На рисунке хорошо видны шумы в стробируемом интервале спектра.

Выходной сигнал блока LGS был разделен на две части. Одна часть напрямую подключена к многоканальному анализатору для формирования опорного сигнала, другая — подавалась на дискриминатор с постоянным порогом CFD для процесса синхронизации. Это устройство генерирует два выходных сигнала синхронизации следующим образом: выходной сигнал LGS умножает-

ся на коэффициент  $f$  для получения желаемого выходного сигнала. Форма входного сигнала также инвертируется и задерживается на время, превышающее время нарастания импульса (это время составляет от 10 до 90% от амплитуды сигнала). Затем задержанные и инвертированные сигналы суммируются для получения выходного импульса. Дополнительная информация о методе приведена в [8]. Временные выходы CFD были подключены к входам “старт” и “стоп” времяза-мплитудного преобразователя ТАС, который формирует сигнал синхронизации, пропорциональ-

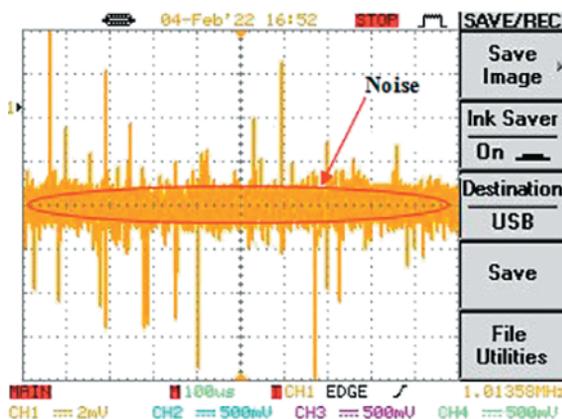


Рис. 4. Выход блока LGS.

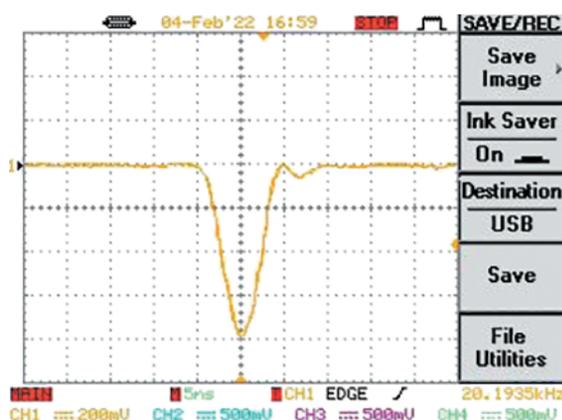


Рис. 5. Форма задержанного сигнала CFD.

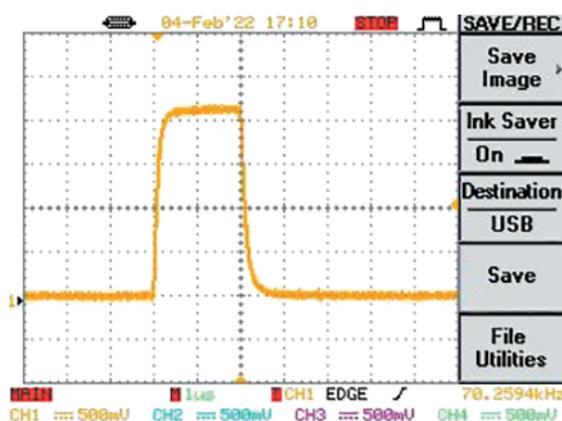


Рис. 6. Форма выходного сигнала конвертера ТАС.

ный временному интервалу между его входами “старт” и “стоп”. Время задержки между этими входами составляло 8 нс и задавалось устройством задержки на “стоповой” ветви ТАС. Форма задержанного выходного сигнала синхронизации CFD представлена на рис. 5.

Сигнал временной привязки с конвертера ТАС подается на многоканальный анализатор МСА для выделения импульсов от линейных ворот LGS. Это краткое описание временной ветви схемы, которая называется схемой временной привязки с постоянным порогом. Используя эту процедуру, можно выбрать из всех сигналов достаточное количество импульсов от  $\beta$ -частиц. Форма логического выходного сигнала ТАС показана на рис. 6.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сцинтиляционным спектрометром с пластическим сцинтиллятором BC-400 измерен энергетический спектр  $\beta$ -частиц  $^{204}\text{Tl}$ , результат представлен на рис. 2 в виде экрана анализатора МСА. Поскольку низкоэнергетическая (т.е. в области малых номеров каналов) часть этого энергетического спектра не ясна, мы исследовали возможность разделения сигналов, вызываемых частицами исходного источника, от ложных сигналов. Для этого мы использовали временную методику CFD. Сначала стробировали часть  $\beta$ -спектра в области шумов (каналы 40–90) (рис. 3). Первые 40 каналов не попали в сферу нашего анализа из-за слишком большого числа импульсов в этой части спектра.

После применения нашего метода временной привязки получен спектр, показанный на рис. 7.

Общее число отсчетов в спектре, приведенном на рис. 3, было равно 5109 за 300 с. Общее число отсчетов в окончательном спектре, приведенном на рис. 7, оказалось равным 5057 за то же время измерения. Это показывает, что предложенный метод оказался вполне успешным.

В заключение отметим, что точная настройка блока CFD может повысить эффективность выделения  $\beta$ -сигналов из всех поступающих на вход. Поскольку амплитуды как исходных импульсов от частиц, так и фоновых сигналов в низкоэнергетической части спектра малы, различение полученных сигналов от детектора будет все более затруднено. Более того, очень немногие  $\beta$ -частицы в области шумов оставят свою энергию в веществе детектора из-за потери энергии в окне детектора. Эта ситуация затрудняет разделение исходных сигналов, что, естественно, приводит к полной потере этой части спектра. Но даже в этом случае ясно, что введенный метод успешно отделяет сигналы  $\beta$ -частиц от стробированной шумовой его части. Из представленной здесь экспериментальной методики следует, что при спектрометрических измерениях возможно разделение любых сигналов, подобно фильтру, который пропускает только предпочтительные, повышая эффективность детектора.

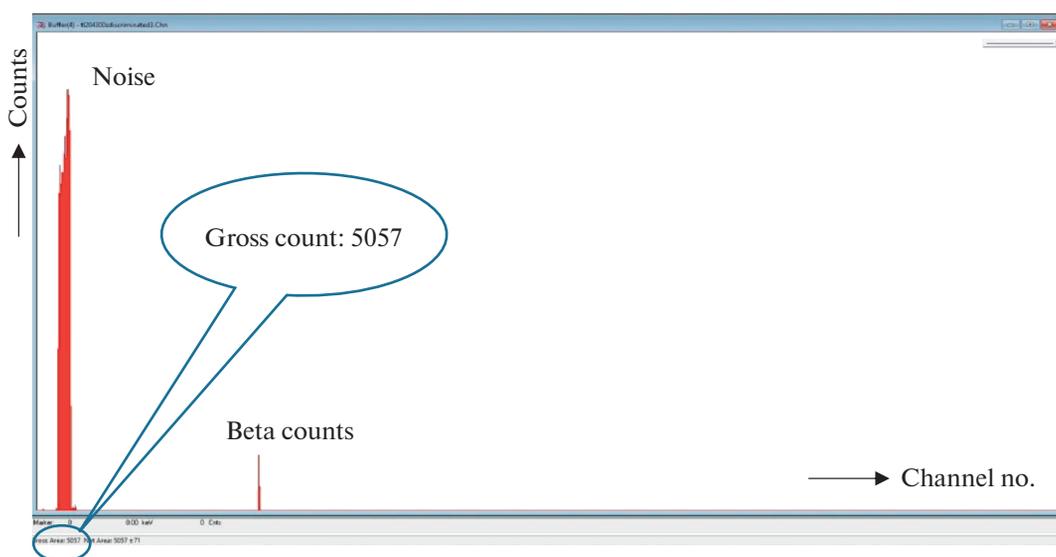


Рис. 7. Выделенная из-под шумов часть  $\beta$ -спектра.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддержана Советом по научно-техническим исследованиям ТУРЦИИ (проект № 121F012).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.crystals.saint-gobain.com/radiation-detection-scintillators/plastic-scintillators/bc-400-bc-404-bc-408-bc-412-bc-416>. Accessed February 15, 2022.
2. Simons, G.G., Higginbotham, J.F., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 1990, vol. 293 (3), p. 551. [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(90\)90322-W](https://doi.org/10.1016/0168-9002(90)90322-W)
3. Papandreou Z., Lolos, G.J., Huber, G.M., Cornier, J.C., Naqvi, S.I.H, Mathie, E.L., Ottewell, D.F., Walden, P.L., Jones, G., Trelle, R.P., Aslanoglu, X., Orfanakos, S., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*, 1988, vol. 34 (4), p. 454. [https://doi.org/10.1016/0168-583X\(88\)90149-8](https://doi.org/10.1016/0168-583X(88)90149-8)
4. Moghadam, S.R., Fegghi, S.A.H., Safari, M.J., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 2015, vol. 799, p. 59. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.07.053>
5. Mitev, K.K., *Appl. Radiat. Isot.*, 2016, vol. 110, p. 236. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.01.027>
6. Ebenau, M., Radeck, D., Bambynek, M., Sommer, H., Flüh, D., Spaan, B., Elchmann, M., *Med. Phys.*, 2016, vol. 43 (8), p. 4598. <https://doi.org/10.1118/1.4957348>
7. Leo, R.W., *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Germany: Springer-Verlag, 1994.
8. Knoll, G.F., *Radiation Detection and Measurement*, NY.: John Wiley and Sons, 2000.
9. Yamamoto, H., Hatakeyama, S., Norimura, T., Tsuchiya, T., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 1989, vol. 281 (1), p. 128. [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(89\)91223-0](https://doi.org/10.1016/0168-9002(89)91223-0)
10. Batten, J.R., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 1989, vol. 277 (2), p. 478. [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(89\)90778-X](https://doi.org/10.1016/0168-9002(89)90778-X)
11. Yamamoto, H., Hatakeyama, S., Norimura, T., Tsuchiya, T., Katase, A., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B*, 1991, vol. 53 (2), p. 178. [https://doi.org/10.1016/0168-583X\(91\)95654-V](https://doi.org/10.1016/0168-583X(91)95654-V)
12. Yamamoto, H., Norimura, T., Katase, A., *Appl. Radiat. Isot.*, 1994, vol. 45 (3), p. 317. [https://doi.org/10.1016/0969-8043\(94\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0969-8043(94)90045-0)
13. Hordequin, C., Brambilla, A., Bergonzo, P., Foulon, F., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 2001, vol. 456 (3), p. 284. [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(00\)00575-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(00)00575-1)
14. Celiktas, C., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2012, vol. 292, p. 1317. <https://doi.org/10.1007/s10967-012-1637-x>
15. Dryak, P., Kovar, P., *Appl. Radiat. Isot.*, 2014, vol. 87, p. 325. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.11.021>
16. Tchouaso, M.T., Kasiwattanawut, H., Prelas, M.A., *Appl. Radiat. Isot.*, 2018, vol. 139, p. 66. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.04.028>