The Impact of Various Factors on the Efficiency of Gamma Ray Detectors

A Thesis Submitted to the Graduate School

Faculty of Science - Alexandria University

In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Doctorate of Philosophy of Science in Physics

By

Bohaysa Ali Ismail Omar Salem

M.Sc. in Physics (2012)

Supervisors

Prof. Dr. Ahmed. M. El-Khatib
Emer. Prof. of Experimental Physics
Faculty of Science
Alexandria University

Prof. Dr. Mahmoud. I. Abbas
Prof. of Radiation Physics
Faculty of Science
Alexandria University

Prof. Dr. Mohamed. S. Badawi
Ass.Prof. of Radiation Physics
Faculty of Science
Alexandria University

Dr. Mona. M. Gouda
Lecturer of Radiation Physics
Faculty of Science
Alexandria University

2017

Summary

This thesis studies and discusses all the factors effecting on the determination of the detector full-energy peak efficiency such as, the source self-absorption coefficient in case of volumetric sourcesand the coincidence summing effect at different source-to-detector distances. The coincidence correction factors have been calculated using three radionuclides ^{60}Co, ^{133}Ba and ^{152}Eu. The experimental values of thefull-energy peak efficiency (FEPE) have been corrected for two different gamma-ray detectors, NaI(Tl) scintillation detector and HPGe semiconductor detector. The numerical simulation method (NSM), ETNA program and EFFTRAN software were used to calculate the coincidence summing correction factors as well. The thesis contains six chapters, (121) references, three appendices, plus English and Arabic summaries.

The First Chapter:

This chapter introduces a general introduction about the gamma-rays spectrometry, applications, studying the different factors affectingon the detection efficiency, especially the coincidence summing effect. Literature review on the previous works beside the aim of the work has been presented at the end of this chapter.

The Second Chapter:

This chapter is devoted to putting forward definitions and explanations of the different detection efficiencies. Experimental, Empirical, Monte Carlo, Direct Mathematical and the Efficiency Transfer Methods have been discussed in details. Commercial software like ETNA program and EFFTRAN software were discussed as an application on the efficiency transfer method. Using these software the full-energy peak efficiency can be calculated, also the coincidence summing correction (CSC) factors can be easily determined, then used to correct the measured efficiencies.

The Third Chapter:

In this chapter, the effective solid angle between the radioactive point and cylindrical shape sources, with respect to NaI(Tl) and HPGe coaxial detectors has been calculated, depending on the direct mathematical method. The source self-absorption coefficient has been taken in to account in case of volume sources to achieve a valid efficiency values. A new numerical simulation method to calculate the coincidence summing correction factors was introduced for ^{60}Co, ^{133}Ba and ^{152}Eu radionuclides.

The Fourth Chapter:

This chapterdescribes the calibration process of gamma-rays detectors that have been used. The experimental technique was performed at Prof. Dr. Younis. S. Selim laboratory for Radiation Physics, Alexandria University, Egypt. Moreover, this chapter contains a detailed description of all radioactive sources that have been used in this work (Point and Cylindrical sources). A brief description for using the collecting spectrum software "WinTMCA32", that has been made by ICx Technologies, beside the "Genie 2000" data acquisition and analysis software made by Canberra were discussed.

ملخص الرسالة

تمثل هذه الرساله دراسه مفصله لأهم العوامل التي تؤثر على تحديد كفاءة كواشف أشعة جاما مثل مقدار التصحيح الناتج عن ظاهرة تداخل القمم الناتجة من تأثير التجمع للقمم على مسافات مختلفه بين المصدر و الكاشف وكذلك معامل الامتصاص الذاتى للمصدر نفسه (في حالة المصادر الحجميه الشكل). وقد تم حساب معاملات التصحيح هذه باستخدام ثلاثة نويدات مشعة ألا وهى: ^{60}CO / ^{133}Ba / ^{152}Eu. بعد ذلك تم تصحيح قيم الكفاءه المحسوبه عمليا لكاشفين مختلفين وهما كاشف الصوديوم الوميضى وكاشف الجيرمانيوم عالى النقاء. تم إستخدام أسلوب المحاكاة العددية NSM وبرنامج ETNA وبرنامج EFFTRAN لحساب معاملات التصحيح وتمت مقارنتها مع بعضها البعض ودراسة تأثيرها على قيم الكفاءات المختلفه للكاشفين المستخدمين. الرسالة المقدمه تحتوي على ستة فصول و 121 مرجع وثلاثة ملاحق بالإضافة إلى ملخصين أحدهما باللغة العربيه و الأخر باللغه الإنجليزية.

الفصل الأول:
يقدم هذا الفصل مقدمة عامة عن طيف أشعة جاما وتطبيقاته، ودراسة العوامل المؤثرة على تحديد كفاءة كواشف أشعة جاما و بالأخص تأثير ظاهرة تداخل القمم الناتجة من تأثير التجمع للقمم عليها. وقد تم تقديم إستعراض للأعمال السابقة التى على أساسها تم هذا العمل كما تم عرض الهدف من الرساله في نهاية هذا الفصل.

الفصل الثاني:
تم تخصيص هذا الفصل لدراسة تعريفات وتفسيرات للطرق المختلفه لتعيين كفاءات كواشف أشعة جاما. من هذه الطرق التى نوقشت بالتفصيل (الطريقه العمليه والنظريه و طريقة مونت كارلو و الطريقه الرياضية المباشره وطريقة نقل الكفاءة) أيضا تمت مناقشة برامج تجارية مثل برنامج ETNA وبرنامج EFFTRAN كتطبيق على طريقة نقل الكفاءة. باستخدام هذه البرمجيات يمكن حساب كفاءة كواشف أشعة جاما إلى جانب مقدرتها على حساب عوامل التصحيح الناتجه عن ظاهرة التداخل للقمم ثم إستخدامها لتصحيح قيم الكفاءة المقاسه عمليا.

الفصل الثالث:
فى هذا الفصل تم حساب الزاوية الفراغيه الفعالة بين كلا من المصادر النقطية الشكل والمصادر ذات الشكل الأسطواني بالنسبه إلى الكواشف المحورية الإسطوانيه إعتمادا على الطريقه الرياضيه المباشره. وقد تم الأخذ فى الإعتبار معامل الإمتصاص الذاتي للمصادر الإسطوانيه الشكل. أيضا تم شرح كيفية إستخدام طريقة المحاكاة العددية لإعداد نموذج يصلح لحساب عوامل التصحيح الناتجه عن ظاهرة تداخل القمم للنويدات المشعة ^{60}CO / ^{133}Ba / ^{152}Eu.

الفصل الرابع:
تضمن هذا الفصل شرحا مفصلا لعملية معايرة كاشفى أشعة جاما المستخدمين فى عملية القياس التى تمت في معمل السيد الأستاذ الدكتور/ يونس صالح سليم للفيزياء الإشعاعية - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة الإسكندرية - جمهورية مصر العربيه.علاوة على ذلك يتضمن هذا الفصل وصفا مفصلا لجميع المصادر التي استخدمت في هذا العمل (المصادر النقطية الشكل والمصادر الأسطوانيه). أيضا تم إستعراض وصفا موجزا لبرنامج "WinTMCA32" المستخدم فى عمليه القياس كما تم شرح برنامج " Genie 2000" والذى إستخدم لتحليل وإستخراج البيانات من النتائج المقاسه عمليا.

الفصل الخامس:
تم حساب كفاءة كاشفى أشعة جاما المستخدمين لذروة الطاقة الكاملة باستخدام طريقة نقل الكفاءه. أيضا تم الحصول على الكفاءة الكلية للكاشفين كما وردت في الفصل الثالث باستخدام الطريقه الرياضيه المباشره. حيث إستخدمت تلك الكفاءات

فى حساب معاملات التصحيح الناتجه عن ظاهرة تداخل القمم بإستخدام طريقة المحاكاة العددية للنويدات الثلاث سابقة الذكر إعتمادا على النموذج الذى قدم في الفصل الثالث وتم إستخدام برنامج ETNA وبرنامج EFFTRAN للحصول أيضا على معاملات التصحيح الناتجه عن ظاهرة تداخل القمم في جميع القياسات التى تمت. ولمزيد من التأكيد تم عمل مقارنة بين معاملات التصحيح المتحصل عليها بالطرق الثلاث. أيضا تم عمل مقارنة بين الكفاءة التجريبية قبل و بعد عملية التصحيح لدراسة مدى تأثير هذه العوامل على تلك الكفاءات. ومن الجدير بالذكر أنه تم ملاحظة اتفاقات بشكل جيد وواضح بين الكفاءات التي تم الحصول عليها بعد عملية التصحيح بالطرق الثلاث.

الفصل السادس:

يتضمن هذا الفصل الإستنتاجات المستخلصة من العمل المقدم.

الملاحق:

الملحق الأول يحتوي على مجموع الاحتمالات الممكنه للإنتقال بين مستويات الطاقة المختلفه للنويدات المشعة ^{133}Ba / ^{152}Eu. الملحق الثاني يحتوي على كافة طاقات عنصر ^{152}Eu المشع إلى جانب أنه تم تحديد مستويات الطاقه (البدايه و النهايه) لكل طاقه ويحتوي الملحق الثالث على قائمة بالأبحاث التى تم نشرها من هذا العمل.