

نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، دوره ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

شناسایی پرتوهای گامای حاصل از واپاشی پوزیترون گسیل شده از چشمه ^{22}Na به روش اندازه‌گیری همفرودی پرتوهای گاما

فرهاد ذوالفقارپور^{۱*}، رقیه سهرابی^۲

^۱ دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۹ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰)

چکیده

در این پژوهش طیف پرتوی گامای 511 KeV گسیلی از چشمه ^{22}Na که ناشی از واپاشی الکترون و پوزیترون است در زاویه‌های مختلف توسط دو آشکارساز یدور سدیم با حساسیت زمانی ۴ میکروثانیه اندازه‌گیری شده است که این اندازه‌گیری‌ها در دو حالت مختلف انجام شده است. یکبار آشکارسازها فاقد حفاظ و پنجره‌ی سربی هستند و در حالت دیگر از پنجره‌ی سربی استفاده شده است. ابتدا دو آشکارساز را به حالت قائم در دو طرف چشمه‌ی پوزیترون بدون استفاده از حفاظ سربی قرار داده‌ایم و طیف حاصل از گاماها را در ورودی به دو آشکارساز در حالت همفرودی ثبت شد. سپس برای آشکارسازها حفاظ سربی طراحی کرده‌ایم و دو آشکارساز را در مقابل چشمه قرار داده‌ایم و طیف حاصل از ورود گاماها به دو آشکارساز را در حالت همفرودی ثبت کردیم. نتایج حاصل از سطح زیر قله در طیف گاماها در حالت همفرودی در انرژی 511 KeV نشان می‌دهد که در حالتی که پنجره‌ی سربی در نظر گرفته شده باشد، با تغییر زاویه، سریع‌تر به صفر می‌رسد که این نشان می‌دهد در صورت استفاده از پنجره‌ی سربی در آشکارسازها، اثر کامپتون کاهش می‌یابد.

کلید واژه: حالت همفرودی، آشکارساز یدورسدیم، اثر کامپتون، چشمه ^{22}Na

* استان اردبیل، شهر اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم پایه، کد پستی: ۵۶۱۹۹-۱۱۳۶۷

پست الکترونیکی: zolfagharpour@uma.ac.ir

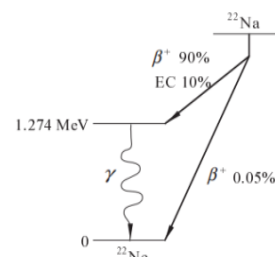
۱. مقدمه

این انرژی را از دست می‌دهند و وقتی که به ناحیه‌ی انرژی اتمی (در حدود eV) می‌رسند با تسخیر یک الکترون به شکل پوزیترونیم (اتم هیدروژون گونه) با نیمه‌عمر 10^{-10} s در می‌آیند که طی نابودی آن‌ها، زوج گاماها‌ی همزمان تولید می‌شوند که در جهت مخالف هم حرکت می‌کنند و طبق پایداری انرژی و پایداری تکانه، دارای انرژی ۵۱۱ KeV هستند [۳]. در این پروژه، طیف همفرودی حاصل از چشمه در دو مرحله انجام گرفته که مرحله‌ی اول بدون پنجره‌ی سربی و در مرحله‌ی دوم اندازه‌گیری همفرودی به همراه پنجره‌ی سربی صورت گرفته است.

۲. مواد و روش کار

برای انجام آزمایش‌ها، آرایش هندسی و حفاظ‌ها برای دو آشکارساز یدور سدیم چنان تنظیم شده‌اند که بتوان زوج گاما را در حالت همفرودی آشکارسازی نمود. این آزمایش با دو پیکربندی متفاوت که حالت اول بدون پنجره‌ی سربی و حالت دوم با پنجره‌ی سربی انجام یافته است به این شکل که هر دو آشکارساز را روی صفحه مدرج و در فاصله‌ی معینی از هم قرار داده به طوری که چشمه‌ی رادیواکتیو در امتداد محور عمود بر مرکز صفحه قرار گیرد. آشکارساز اول (ثابت) را در زاویه صفر درجه ثابت نگه داشته و آشکارساز دوم (متحرک) در زاویه‌های مختلف با مرکزیت چشمه، حرکت داده می‌شود. اندازه‌گیری‌ها در هر پیکربندی به این شکل هست که ابتدا در هر زاویه‌ی مشخص (زاویه‌ی بین دو آشکارساز)، یک طیف ساده (بدون حالت همفرودی) توسط آشکارساز ۲/۵ اینچی با حساسیت زمانی ۴ میکرو ثانیه و برنامه‌ی کی‌لب با یکی از آشکارسازها اندازه گرفته و پس از کالیبره کردن، گزینه‌ی همفرودی را انتخاب کرده و این بار طیف را در حالت همفرودی اندازه می‌گیریم. این اندازه‌گیری‌ها از زاویه‌ی $\theta = 90^\circ$ تا $\theta = 270^\circ$ با گام‌های ۱۵

در آزمایش‌های پرتوسنجی، گاهی پسندیده یا لازم است که تپ‌های ناشی از انواع خاصی از تابش دور ریخته شوند و فقط تپ‌های حاصل از یک نوع ذره یا ذراتی که از راستای ویژه‌ای می‌آیند پذیرفته شوند [۱]. گاهی هدف بررسی تابش‌هایی است که به طور متوالی یکی پس از دیگری گسیل می‌شوند، برای مثال، به ترتیب زمانی گسیل پرتوهای گامای پس از واپاشی بتا-می-توان اشاره کرد که اهمیت خاصی در طیف‌نگاری هسته‌ای دارد. هدف اصلی از اندازه‌گیری همفرودی، تعیین همفرودی زمانی تابش دوم با تابش اول است [۲]. چشمه‌ی مورد استفاده در این پژوهش چشمه‌ی رادیواکتیو ^{22}Na با قدرت ۲ میکرو کوری، نیمه‌عمر ۲/۶ سال و عمر ۱۰ سال است. این چشمه‌ی رادیواکتیو توسط یکی از دو حالت واپاشی مشخص شده در شکل ۱ به حالت هسته‌ی برانگیخته‌ی ^{22}Ne می‌رود که با احتمال ۹۰٪ طی تابش پوزیترون و با احتمال ۱۰٪ توسط گیراندازی الکترون واپاشی می‌کند.



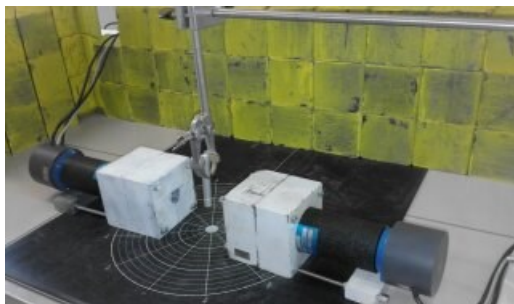
شکل ۱. واپاشی چشمه‌ی ^{22}Na .

هسته‌ی برانگیخته‌ی ^{22}Ne با نیمه‌عمر 3×10^{-12} s با گسیل یک گاما با انرژی ۱۲۷۴ KeV به حالت پایه می‌رسد. پوزیترون‌های ساطع شده با انرژی جنبشی تا حدود ۰/۵ MeV هستند. این پوزیترون‌ها طی بازه‌ی زمانی 10^{-9} s در ماده‌ی مجاور چشمه،

در مرحله ی دوم، آزمایش با پیکربندی متفاوتی انجام شد. همه ی مراحل انجام شده در حالت اول (بدون پنجره ی سربی)، با حضور پنجره ی سربی تکرار شدند که در شکل های ۵ و ۶ به ترتیب تصاویر مربوط به آزمایش تحت زاویه های $\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 180^\circ$ آمده است.



شکل ۵. پیکربندی آزمایش با پنجره ی سربی تحت زاویه 90° .



شکل ۶. پیکربندی آزمایش با پنجره ی سربی تحت زاویه 180° .

۳. نتایج

شمارش و طیف حاصل از گاما در آشکارساز متحرک، بدون پنجره ی سربی در حالت عادی (بدون همفرودی) در زاویه های مختلف اندازه گیری شد و نتایج آن در شکل ۷ آمده و مشاهده می شود به دلیل مقارن بودن گسیل گاما و ثابت بودن فاصله

درجه انجام شد و در هر زاویه، اندازه گیری ها سه بار تکرار شد که در هر گام هر دو طیف ساده و همفرودی را اندازه گرفتیم در شکل های ۲ تا ۴ نمونه ای از نحوه ی قرارگرفتن آشکارسازها را به ترتیب تحت سه زاویه ی $\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 180^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ آورده ایم.



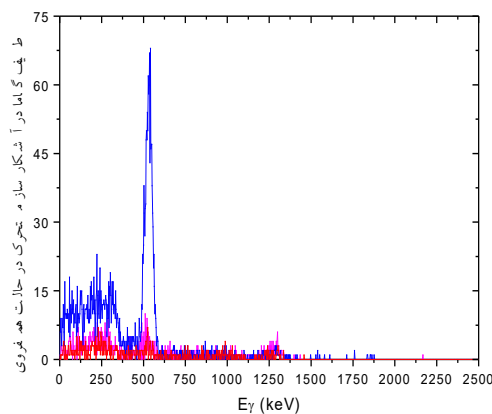
شکل ۲. پیکربندی آزمایش بدون پنجره ی سربی تحت زاویه 90° .



شکل ۳. پیکربندی آزمایش بدون پنجره ی سربی تحت زاویه 180° .



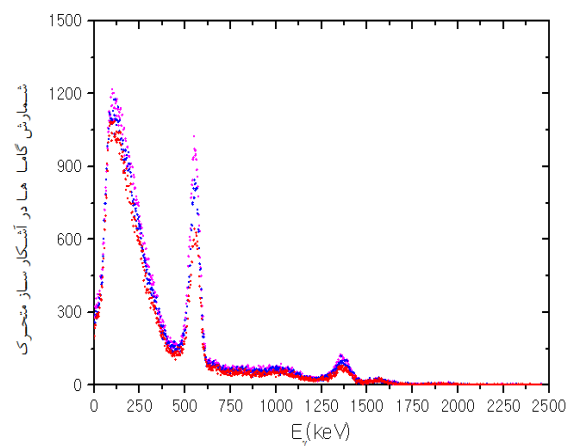
شکل ۴. پیکربندی آزمایش بدون پنجره ی سربی تحت زاویه 270° .



شکل ۸. طیف گامای حاصل از چشمه بدون پنجره سربی و در حالت همفرودی تحت زاویه های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه.

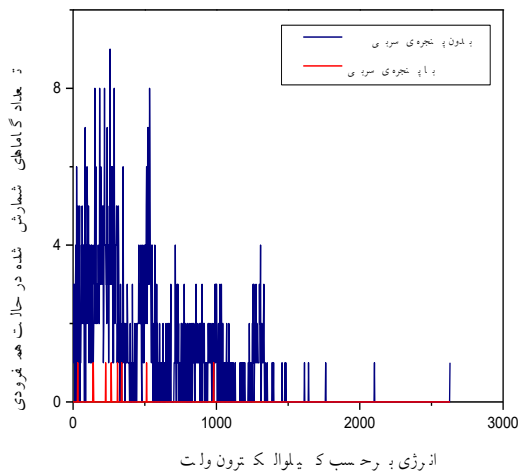
همان آزمایش با حضور پنجره های سربی و پیکربندی آورده شده در شکل های ۵ و ۶ هم صورت گرفت و طیف های حاصل از گاما در آشکارساز متحرک در حالت عادی (بدون همفرودی) در سه زاویه ی $\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 180^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ به ترتیب با رنگ های آبی، قرمز و سبز نشان داده شده اند که نتایج آن در شکل ۹ آمده و مشاهده می شود که مثل حالتی که پنجره ی سربی وجود نداشت طیف های به دست آمده مستقل از زاویه می باشند. در شکل ۱۰ طیف های اندازه گیری شده در حالت همفرودی و با همان پیکربندی در حضور پنجره ی سربی در زاویه های $\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 180^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ آورده شده اند که به ترتیب با رنگ های آبی، قرمز و سبز نمایش داده شده اند. در ادامه، طیف های همفرودی اندازه گیری شده، برای حالتی که پنجره ی سربی قرار داده نشده بود و حالتی که با پنجره ی سربی انجام گرفت، برای $\theta = 90^\circ$ در شکل ۱۱، $\theta = 180^\circ$ در شکل ۱۲ و $\theta = 270^\circ$ در شکل ۱۳ آورده شده اند.

آشکارساز از چشمه، طیف های حاصل در زاویه های $\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 180^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ که به ترتیب با رنگ های آبی، قرمز و صورتی نشان داده شده اند مستقل از زاویه می باشند و این بیانگر متقارن بودن گسیل گاما های ۵۱۱ KeV و ۱۲۷۴ KeV از چشمه است.



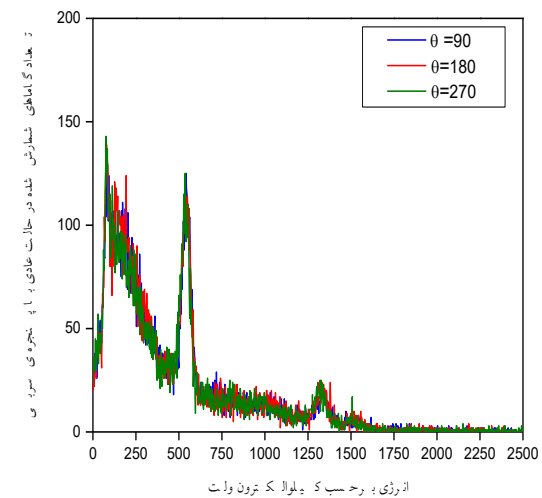
شکل ۷. طیف گامای حاصل از چشمه بدون پنجره ی سربی و در حالت بدون همفرودی تحت زاویه های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه.

در شکل ۸ طیف های اندازه گیری شده در حالت همفرودی و با همان پیکربندی بدون پنجره ی سربی در زاویه های $\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 180^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ آورده شده اند که به ترتیب با رنگ های آبی، قرمز و صورتی نمایش داده شده اند و مشاهده می شود که سطح زیر منحنی از زاویه ی 180° به صورت متقارن به سمت 90° و 270° به شدت کاهش می یابد.



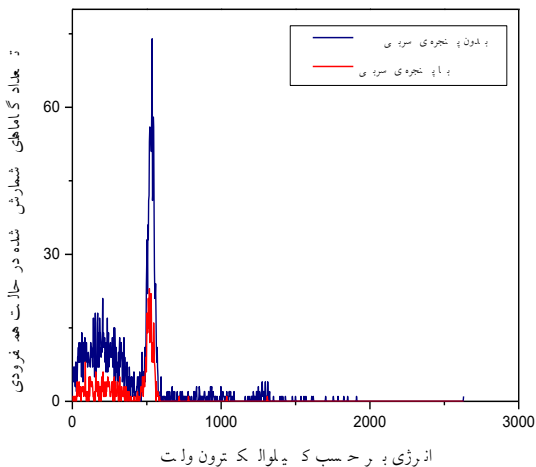
شکل ۱۱. طیف گاماها حاصل از چشمه ^{22}Na در حالت

همفرودی، بدون پنجره ی سربی با رنگ آبی و با حضور پنجره ی سربی با رنگ قرمز که تحت زاویه ی ۹۰ اندازه گیری شده است.



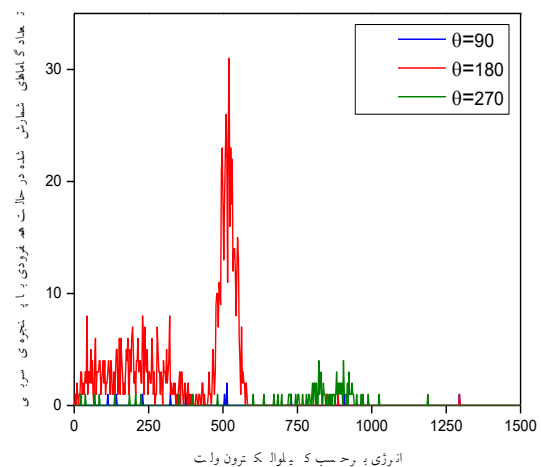
شکل ۹. طیف های گامای حاصل از چشمه ^{22}Na در حضور

پنجره ی سربی و در حالت بدون همفرودی تحت زاویه های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه.



شکل ۱۲. طیف گاماها حاصل از چشمه ^{22}Na در حالت

همفرودی، بدون پنجره ی سربی با رنگ آبی و با حضور پنجره ی سربی با رنگ قرمز که تحت زاویه ی ۱۸۰ اندازه گیری شده است.

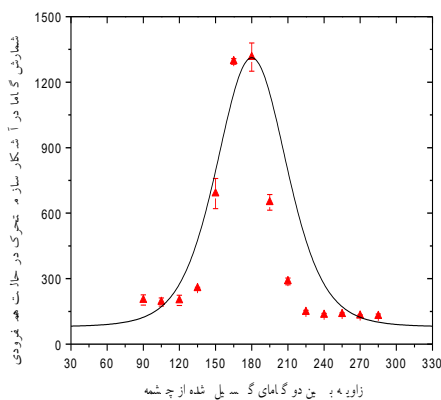


شکل ۱۰. طیف های گامای حاصل از چشمه ^{22}Na در حضور

پنجره ی سربی و در حالت همفرودی تحت زاویه های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه.

که در آن $\alpha = \frac{h\nu}{m_e c^2}$ و r_0 شعاع کلاسیکی الکترون است [۵].

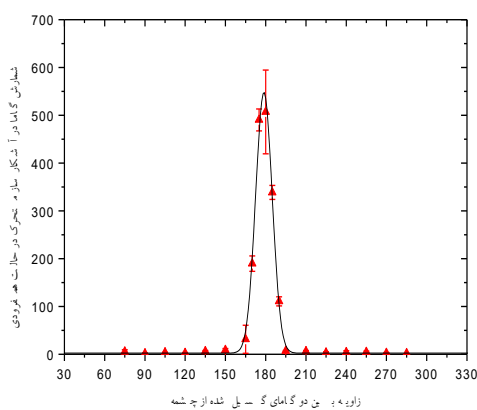
به دلیل بزرگی ابعاد آشکارساز، گاماها هنگام ورود به آشکارساز در پراکندگی کامپتون شرکت می‌کنند و یک سازگاری نسبی بین نتایج حاصل از رابطه‌ی کلاین نیشینا و نتایج تجربی وجود دارد که در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۴. سطح زیر قله مربوط به گاما با انرژی ۵۱۱ KeV که در

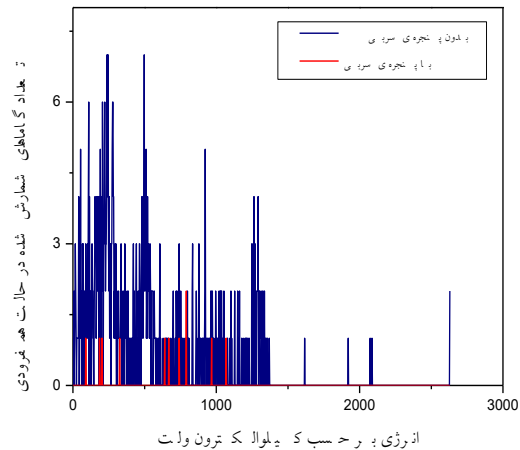
زاویه‌های مختلف، بدون پنجره سربی و در حالت همفرودی

اندازه‌گیری شده است. منحنی مربوط به نتیجه‌ی حاصل از رابطه‌ی کلاین نیشینا است که نشان می‌دهد در اندازه‌گیری‌ها، اثر کامپتون سهم غالبی داشته است.



شکل ۱۵: سطح زیر قله مربوط به گاما با انرژی ۵۱۱ KeV که در

زاویه‌های مختلف با حضور پنجره سربی، در حالت همفرودی اندازه‌گیری شده است. منحنی مربوط به برازش تابع گاوسی است و در آن سازگاری با فرمول کلاین نیشینا وجود ندارد.



شکل ۱۳. طیف گاماها‌ی حاصل از چشمه در حالت همفرودی،

بدون پنجره سربی با رنگ آبی و با حضور پنجره سربی با رنگ قرمز که تحت زاویه‌ی ۲۷۰ اندازه‌گیری شده است.

۴. بحث و نتیجه گیری

شکل (۸) نشان می‌دهد که وقتی طیف در حالت همفرودی اندازه‌گیری می‌شود، به دلیل احتمال پراکندگی کامپتون یک همبستگی زاویه پهن برای گاماها در زاویه‌های غیر از ۱۸۰ به وجود می‌آید و با دور شدن از زاویه ۱۸۰ درجه به دو سمت دیگر امکان همفرودی سریع از بین نمی‌رود بلکه به صورت آهسته کاهش می‌یابد و این با احتمال پراکندگی کامپتون در جهت‌های غیر از جهت فرود گاما سازگار است. احتمال وقوع پراکندگی کامپتون، صرفاً به تعداد الکترون‌های موجود در ماده‌ی جاذب بستگی دارد [۴]. سطح مقطع پراکندگی دیفرانسیلی گاما از الکترون‌ها به صورت زیر است (رابطه‌ی کلاین نیشینا):

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \left[\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right]^3 \left[\frac{1 + \cos^2\theta}{2} \right] \left[1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{(1 + \cos^2\theta)[1 + \alpha(1 - \cos\theta)]} \right]$$

در حالت دوم اندازه‌گیری‌ها، به دلیل حضور پنجره‌ی سربی و راستای ورود گاماها به آشکارساز نتیجه‌ی حاصل که در شکل ۱۵ آورده شده شامل یک قله‌ی همفروبی تیزتری بوده و سریع‌تر هم برخلاف شکل ۱۴ به صفر می‌رسد و این به دلیل کاهش اثر کامپتون در اندازه‌گیری طیف همفروبی است. البته در این طیف نیز مسئله همبستگی زمانی ناشی از قدرت تفکیک زمانی آشکارسازهای مورد استفاده که ۴ میکرو ثانیه است، همچنان نقش دارد.

مراجع

- [۱] ر. کوهی، م. ه. هادی‌زاده یزدی، *اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش های هسته‌ای*، سولفانیدیس، نیکلاس، انتشارات سیمین، مشهد، ۱۳۷۱.
- [2] K.Krane, *Introductory Nuclear Physics*, New York, Jon Willey and sons Publication, 1988.
- [3] $\gamma - \gamma$ Coincidence in ^{22}Na , Experiment GGC, University of Florida- Department of Physics, PHY4803L- Advanced Physics Laboratory, 1-17, 2011.
- [۴] ه. محمدی، س. مهدیزاده، *فیزیک و آثار زیست‌شناختی پرتوها*، مرکز نشر دانشگاه شیراز، شیراز، ۱۳۸۴.
- [۵] ع. صدرممتاز، م. نوری اصل، *اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش*، کنول، گلن ف، انتشارات دانشگاه گیلان، رشت، ۱۳۹۲.

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 4 / No.1 / Spring 2017

Identification of emitted gamma from annihilation of positron from ^{22}Na source with measurement of gamma coincidence

F. Zolfagharpour^{1*}, R. Sohrabi²

¹ Associate Professor, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² M.Sc. Graduate, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding author's Email: zolfagharpour@uma.ac.ir

(Received: 2016/04/07- Accepted: 2016/07/10)

ABSTRACT

In this work, the emitted 511 KeV gamma ray spectrum have been measured by using two NaI(Tl) detectors for different angles, which these detectors have 4 μs time resolution. The emitted 511 KeV gamma ray spectrum is created by annihilation electron and positron. These measurement are done in states with using lead shielding and without using of lead shielding for detectors. In the procedure of experiment, first we vertically put two detectors in both side of source without using lead shielding, and record the incident gamma ray spectrum to detectors in coincidence state. In next step, we degien lead shielding for detectors, and locate the detectors in front of the source and record the incident gamma ray spectrum in coincidence state. The obtained results of the area under the 511 KeV gamma ray spectrum peak in coincidence state show more narrow width when we consider the lead shielding for detectors rather than lead shielding did not used for different angle. Therefore, using the lead shielding for detectors cause to reduce the campton effect.

Keywords: Coincidence state, NaI(Tl) detector, campton effect, ^{22}Na source