



تعیین اکتیویته پولک گسیلنده گامای تأخیری در فعالسازی نوترونی به روش محاسباتی و مقایسه با نتایج تجربی

وجیهه مظفری؛ رضا ایزدی؛ حامد پنجه

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده

فعالسازی نوترونی فرایندی است کارا و توانمند که در آنالیز مواد و تعیین کمی و کیفی عناصر موجود در یک نمونه به کار می‌رود. در این مقاله روشی ارائه داده‌ایم که با به کارگیری آن می‌توانیم فعالسازی نوترونی را با استفاده از ترکیبی از کد MCNP و یک برنامه فورترن شبیه سازی کنیم. برای آزمون برنامه نوشته شده، در یک اقدام تجربی چند نمونه عنصر مختلف را در آزمایشگاه با استفاده از چشمه نوترونی $Am - Be$ فعال نموده و با اندازه گیری انرژی گامای تأخیری آن، پاسخ بدست آمده را با نتیجه محاسباتی مقایسه کردیم.

کلید واژه: فعالسازی نوترونی - کد MCNP - گامای تأخیری

۱- مقدمه

مبنای فعالسازی پولک، تولید یک رادیو ایزوتوپ به کمک گیراندازی نوترون است که علاوه بر امکان اندازه گیری شار نوترون یک میدان نوترونی، در تجزیه و تحلیل ماده پولک کاربرد اساسی دارد. در خلال بمباران، نوترون با هسته هدف (نمونه مورد بررسی) برخورد نموده و هسته مرکبی را به حالت برانگیخته تشکیل می‌دهد. هسته مرکب بلافاصله با گسیل یک یا چند پرتوی گامای آنی، به حالت پایدارتری می‌رود. در بسیاری از موارد هسته‌ی باقیمانده هنوز پرتوزا بوده و عمدتاً با گسیل بتا و یک یا چند گامای تأخیری مشخص واپاشی می‌کند. آهنگ واپاشی با نیمه عمر منحصر به فرد هسته‌ی رادیواکتیو تطبیق دارد. اگر نیمه عمر دست کم بیش از چند دقیقه باشد، می‌توانیم پولک را از محل تابش نوترون دور کرده و از طریق یک سامانه طیف سنجی، انرژی گامای حاصل را، اندازه بگیریم.

۲- توضیحات نظری

با قرار دادن پولک در مقابل چشمه نوترون، هسته‌های زپرتوزا شروع به تولید می‌کنند. همزمان با این تولید واپاشی نیز آغاز می‌شود، بطوری که تعداد هسته‌های فعال شده در پایان زمان تابش t_a به مقدار N' می‌رسد که از رابطه ۱-۱ بدست می‌آید^[۱]

$$N'(t_a) = \frac{\Sigma \varphi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_a}) \quad 1-2$$

Σ سطح مقطع ماکروسکوپی، λ ثابت واپاشی و φ شار نوترون است.

پس از این که پولک را از مقابل شار نوترون برمی‌داریم، تولید رادیوایزوتوپ مورد نظر متوقف شده ولی واپاشی ادامه دارد این حالت را اصطلاحاً سردشدن می‌گویند. در حقیقت از این لحظه زمان سردشدن آغاز می‌گردد و تعداد اتم‌های فعال شده طبق قانون واپاشی، $N = N' e^{-\lambda t}$ ، کاهش می‌یابند. مدت زمان جابه‌جا کردن پولک از مقابل چشمه نوترون تا محل آشکارساز اهمیت دارد زیرا بخشی از هسته‌ها در این مدت واپاشی کرده و از گردونه اندازه‌گیری خارج می‌شوند. بنابراین جابجائی باید سریع انجام گیرد. اگر اندازه‌گیری و جمع‌آوری طیف در مدت t_m ثانیه صورت گیرد، در این وامی‌پاشد که برابر است با^[۱]:

$$N_d = N' e^{-\lambda t_c} (1 - e^{-\lambda t_m}) \quad 2-2$$

با تعیین N' می‌توانیم اکتیویته اولیه نمونه را به صورت:

$$A_o = \lambda N' = \frac{\lambda N_d}{e^{-\lambda t_c} (1 - e^{-\lambda t_m})} \quad 3-2$$

به دست آوریم. N_d با استفاده از سطح زیر قله فتوالکتریک طیف و با اعمال پارامترهای راندمان آشکارساز برای گاما، زاویه فضائی پولک-آشکارساز، و کسر برهمکنشهای فتوالکتریک به کل برهمکنشها، به دست می‌آید. سپس φ شار نوترون به کمک رابطه زیر، که در آن σ ، m ، M ، به ترتیب سطح مقطع جذب نوترون، جرم، و جرم اتمی عنصر پولک و N_A عدد آووگادرو است محاسبه می‌گردد.

$$\varphi = \frac{MA_o}{m\sigma N_A}$$

۳ - اقدامات تجربی

ابتدا پولک‌هایی از عناصر مختلف را برای مدت زمانی در حدود پنج برابر نیمه عمر ایزوتوپ فعال شده آن عنصر، در مقابل چشمه نوترون قرار دادیم. سپس پولک فعال شده را در کوتاه‌ترین زمان ممکن (t_c) به محل اندازه‌گیری منتقل نموده و در مقابل آشکارساز قرار دادیم. پس از آن مدت زمان خاصی، که بر حسب نیمه عمر عنصر فعال شده این زمان متغیر است، طیف حاصل از گاماها ی گسیل شده از پولک را توسط آشکارساز سوسونز $Nal(Tl)$ و دستگاه MCA جمع‌آوری نمودیم. با این عمل می‌توانیم انرژی گاماها ی گسیل شده از پولک، اکتیویته عنصر فعال شده و همین‌طور شار نوترون تابیده شده به پولک را محاسبه کنیم. در اندازه‌گیری آزمایشگاهی تعداد ۱۱ عنصر مختلف شامل: آلومینیم، ایندیم، مس، وانادیم، آرسنیک، سدیم، منگنز، برومین، ید، لانتانیم و تنگستن، تحت تابش نوترون قرار گرفتند و اندازه‌گیریهای لازم روی آنها انجام شد.

در این مقاله به بررسی نتایج به دست آمده از دو عنصر ایندیوم و آلومینیوم می‌پردازیم.

در انجام تمام آزمایشها ابتدا سامانه آشکارسازی را با استفاده از دو چشمه گامای ^{60}Co و ^{137}Cs کالیبره می‌کردیم. همچنین در پایان هر اندازه‌گیری طیف زمینه را، در همان مدت اندازه‌گیری و در همان محدوده کانال‌های قله فتوالکترونیک عنصر مربوطه، جمع‌آوری می‌کردیم. اطلاعات به دست آمده از این دو عنصر در جدولهای ۱ و ۲ خلاصه شده است.

جدول ۱ اطلاعات به دست آمده از طیف آلومینیم و زمینه مربوط به آن

محدوده فتوپیک شماره کانال	شماره کانال قله	انرژی گاما MeV	سطح زیر قله فتوالکترونیک	زمینه	N_d	A_o (Bq)
۷۱۱-۷۷۶	۷۴۲	۱/۹۱	۲۱۷	۵۳	۲۵۸۷۲	۲۰۷

زمانهای اندازه‌گیری عبارتند از:

$$t_c = 15 \text{ s} \text{ فاصله زمانی انتقال نمونه از کنار چشمه نوترون تا محل}$$

آشکارساز

$$t_m = 225 \text{ s} \text{ زمان جمع‌آوری}$$

طیف

جدول ۲ اطلاعات به دست آمده از طیف ایندیوم و زمینه مربوط به آن

شماره قله	محدوده فتویپیک شماره کانال	شماره کانال قله	انرژی گاما MeV	سطح زیر قله فتوالکتریک	زمینه	N_d
۱	۱۰۷-۱۴۴	۱۲۴	۰/۴۷	۱۳۵۱	۲۳	۱۶۲۱۱۴
۲	۲۹۸-۳۵۰	۳۲۱	۰/۸۶	۴۱۴	۱۸	۴۹۳۳۲
۳	۴۲۷-۴۹۰	۴۶۲	۱/۱۶	۵۹۴	۵۰	۶۹۴۹۸

زمانهای سپری شده در اندازه‌گیری و اکتیویته حاصل عبارتند از:

فاصله زمانی انتقال نمونه از کنار چشمه نوترون تا محل آشکارساز $t_c = 10 s$

زمان جمع‌آوری طیف گسیلی $t_m + t_c = 600 s$

اکتیویته $A = 816 Bq$

کل

۳- اقدامات محاسباتی

تمام مراحل انجام شده در آزمایشگاه با استفاده از کد MCNP شبیه‌سازی شدند. برای شبیه‌سازی به دلیل این که این کد نمی‌تواند زمان به تأخیر افتادن آشکارسازی را در نظر بگیرد از چند برنامه فرترن برای بررسی و پایشهای ممکن در بازه زمانی سپری شده از محل چشمه تا مکان آشکارساز استفاده کردیم. طیف حاصل از شبیه‌سازی از نظر انرژی قله فتوالکتریک و تطبیق قله‌های محاسبه شده با قله‌های حاصل از اندازه‌گیری مورد بررسی قرار دادیم که انطباق نسبتاً خوبی داشتند. اما برای محاسبه اکتیویته و شار نوترون تابیده نیاز به بررسی‌های بیشتری در بحث شبیه‌سازی داریم. نتیجه انرژی قله‌های حاصل از محاسبات مونت کارلو، برای تک گامای آلومینیم و سه گامای ایندیم در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ انرژی محاسباتی گاماهاى گسیل شده از دو پولک آلومینیم و ایندیم و

اختلاف نسبی آنها با مقادیر تجربی

گاماى ۳ ایندیم	گاماى ۲ ایندیم	گاماى ۱ ایندیم	گاماى آلومینیم	قله‌هاى اصلی
۱/۲۷	۱/۰۹	۰/۴	۱/۷۸	انرژی محاسباتی (MeV)
۹/۵	۲۶/۷	۱۴/۹	۶/۸	اختلاف نسبى %

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به طیف حاصل از شبیه‌سازی و طیف به دست آمده در آزمایشگاه، روند شبیه‌سازی با کمک نرم‌افزار MCNP و برنامه‌های فرترن می‌تواند قله‌های انرژی را به خوبی مشخص می‌نماید اما آنچه اهمیت دارد محاسبه اکتیویته با استفاده از شبیه‌سازی و همین‌طور به دست آوردن شار نوترون تابیده به پولک می‌باشد که برای این کار نیاز به بررسی‌های بیشتری در فرایند شبیه‌سازی داریم.

مراجع:

[۱] Yalina Booster, PhD thesis in Physics, Measurement and Monte Carlo Simulation of the Neutron Spectra of the Subcritical Reactor Experiment . ۲۰۱۰

[۲] http://archaeometry.missouri.edu/naa_overview.html

[۳] N. Tsoulfanidis, Measurement and Detection Of Radiation, ۱۹۹۵.

[۴] MCNPX User's Manual ,Version ۲,۶,۰, April ۲۰۰۸