محاسبه ضریب خودحفاظی نوترون و تاثیر آن در تخمین مقدار ماده نمونه در تحلیل به روش فعالسازی نوترونی برای نمونه‌های بزرگ

نصراله‌زاده زواردهی، پوران ؛ میری حکیم آباد ، سید هاشم ؛ رفعت متولی،لاله

گروه فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

LS-PGNAA (Large Sample Prompt Gamma Neutron Activation Analysis) روشی غیر مخرب برای تعیین کسرهای جرمی نمونه‌های بزرگ با ترکیب همگن ناشناخته می‌باشد و زمانی‌که نمونه بزرگ باشد، اثراتی مانند خودحفاظی نوترون و تضعیف گاما در تخمین مقدار ماده، خطا ایجاد خواهند کرد و برای تعیین مقدار دقیق نمونه، باید تصحیحاتی اعمال گردد. در این مقاله ضریب خودحفاظی نوترون محاسبه و تاثیر آن درتصحیح قله تمام انرژی مربوط به طیف گاماهای آنی گسیل شده از ماده نمونه بررسی می‌شود. برای تحقق این موضوع، یک شبیه‌سازی با استفاده از کد MCNP صورت گرفته است. نمونه‌ها در ظرف‌های PTFE(poly tetra fluor ethylene) جایگذاری شدند. تاثیر سه پارامتر مختلف : نوع ماده ، ابعاد نمونه و چگالی آن ، روی ضریب خودحفاظی نوترون بررسی شده و نیز نشان داده شده است که سطح زیر قله تمام انرژی با چگالی اتمی نمونه‌ای خاص رابطه خطی داشته و پارامترهای خط مربوطه تعیین شده است. همچنین نشان داده شده است که با اعمال ضریب خودحفاظی نوترون، پارامترهای خط برازش شده با خطای کمتری به‌دست می‌آیند.

کلید واژه: LS-PGNAA (تحلیل نمونه‌های بزرگ به روش فعالسازی نوترونی با گاماهای آنی) ، خودحفاظی نوترون ، ضریب تصحیح، کد MCNP

Calculation of neutron self-shielding factor and its effect on estimating amount of sample matter in LS-PGNAA

Nasrolahzadeh zevardehi, Pooran; Miri Hakimabad, Seyed Hashem; Rafat Motavalli, Laleh

Department of Physics, Ferdowsi university of mashhad

Abstract

LS-PGNAA(Large Sample Prompt Gamma Neutron Activation Analysis) is a noninvasive method for determination element fractions of large samples with an unknown homogeneous matrix composition .and when the sample is large, effects such as neutron self-shielding and gamma attenuation cause error in estimating amount of matter.

For determination of amount of matter exactly, corrections should be considered, so correction factors for these effects are expressed. In this paper neutron self-shielding correction factor is calculated and its effect on correction of full energy peak in prompt gamma spectrum is investigated.

For calculating this factor a simulation was carried out using MCNP code. samples put in cylindrical PTFE (poly tetra fluor ethylene) container .Effects of three different parameters: type of matter, dimension of sample and density of that, investigated on neutron self-shielding. also it has showed the area of full energy peak has linear relation with atom density of special sample and parameters of that line determined. Also it showed that by using self-shielding factor, parameters of fitted line obtain with less error.

Keywords: LS-PGNAA, neutron self-shielding, correction factor, MCNP code

PACS 28

مقدمه

یک روش برای تعیین کسرهای جرمی عناصر موجود در نمونه‌های بزرگ که ترکیب همگن دارند، روش LS-PGNAA می‌باشد [۱]. که یک روش منطقی و مکمل برای روش‌های موجود است. این روش که در دانشگاه delft توسعه یافته است، یکی از دقیق‌ترین روش‌های موجود بوده و بدون تخریب و دست‌اندازی در نمونه، به تحلیل آن می‌پردازد. به گفته محققان دانشگاه delft، خطای این روش توسعه یافته کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد [۱]. اما مشکلی که در تحلیل نمونه‌هایی با ابعاد بزرگ موجود است، مساله خودحفاظی

نوترون و تضعیف گاما می‌باشد که به دلیل تضعیف شار نوترون و پرتوهای گاما در ابعاد نمونه به‌وجود می‌آید و جهت تعیین مقدار دقیق نمونه، مشکل مذکور باید برطرف گردد. در این مقاله روی ضریب خودحفاظی نوترون بحث می‌گردد. مساله خودحفاظی-نوترون طی‌یک ضریب، جهت تصحیح مقدار نمونه برطرف می-شود. لذا روش LS-PGNAA بدون در نظر گرفتن چنین ضریب تصحیحی فاقد ارزش خواهد بود. زیرا در شناسایی یک نمونه مجهول، علاوه بر نوع عناصر موجود در آن، مقدار دقیق عناصر نیز حائز اهمیت فراوان می‌باشد.

در روش LS-PGNAA زمانی که حجم نمونه‌ها بزرگ باشد، مساله خودحفاظی نوترون به وجود خواهد آمد. هسته‌هایی که در عمق بیشتری از نمونه قرار گرفته‌اند در مقابل نوترون‌های فرودی، توسط هسته‌هایی که در سطح قرار دارند، استتار می‌شوند. به دلیل اندرکنش‌های متفاوت در سر راه نوترون، از تعداد نوترون‌های موجود در شار فرودی کاسته می‌شود و به‌طور مثال شار در فاصله x از نمونه همان شار فرودی نمی‌باشد. اما در محاسبات متفاوت جهت تعیین کسر جرمی عنصر، شار فرودی نوترون جایگذاری می‌شود و از آنجا که برای کل نمونه بزرگ تحت بررسی، نمی‌توان همان شار فرودی را قرار داد و باید یک شار میانگین (تصحیح شده) برا ی نمونه در نظر گرفت، لذا نیاز به ورود ضریب تصحیحی برای خودحفاظی نوترون احساس می‌شود. در نمونه‌های کوچک این تصحیح می‌تواند نادیده گرفته شود و شار برای کل نمونه همان شار فرودی در نظر گرفته شود، اما در نمونه‌های بزرگ باید تصحیحات لازم صورت گیرد.

مقدار عنصر موجود در نمونه از رابطه زیر به دست می‌آید که به مساحت خالص قله تمام انرژی بستگی دارد[۲]:

$$m = \frac{S\,M}{N_{av}\,t_c\,\theta\,I_\gamma\,\varepsilon\,\phi\,\sigma\,(1-e^{-\lambda t_i})} \qquad (۱)$$

m : مقدار یک عنصر در نمونه (kg)

S : مساحت خالص قله تمام انرژی

M: جرم مولی ($\frac{kg}{mol}$)

ϕ : شار نوترون ($m^{-2}s^{-1}$)

I_γ : شدت نسبی گاما

ε: بازده مطلق آشکارسازی قله تمام انرژی

N_{av} : عدد آووگادرو($\frac{۱}{mol}$)

σ_a : سطح مقطع میکروسکوپی جذب

θ: فراوانی ایزوتوپی

λ: ثابت واپاشی ($s^{-۱}$)

t_i : زمان تابش(s)

f : ضریب تصحیح برای خودحفاظی نوترون

روش کار

ضریب خودحفاظی نوترون که با f نشان داده می‌شود از رابطه زیر به دست می‌آید[۳] :

$$f = \frac{RV}{\sigma_a N\,\phi V} = \frac{RV}{\sigma_a N\,n\,v\,V} \qquad (۲)$$

f : فاکتور تصحیح برای خودحفاظی نوترون

V : حجم نمونه (m^3)

R : آهنگ برهم‌کنش در واحد حجم نمونه (m^{-3})

σ_a : سطح مقطع میکروسکوپی جذب [۴]

N : چگالی اتمی (m^{-3})

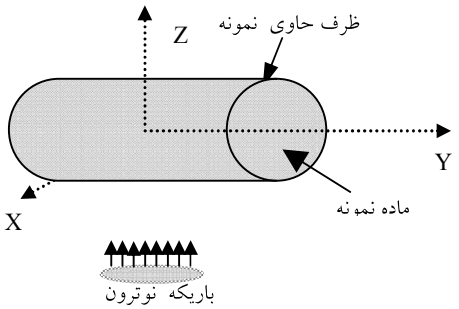
ϕ : شار نوترون ($m^{-2}s^{-1}$)

n : چگالی نوترون (m^{-3})

v : سرعت نوترون ($\frac{m}{s}$)

صورت کسر، آهنگ برهمکنش محاسبه شده از طریق تجربه یا شبیه‌سازی می‌باشد و مخرج کسر نیز آهنگ برهمکنش از رابطه تئوری و با استفاده از شار نوترون فرودی است. واضح است که آهنگ برهمکنش نوترون در حالت واقعی (تجربه یا شبیه‌سازی) کوچکتر از حالت تئوری است زیرا نوترون در سر راه خود، دچارخودحفاظی می‌شود. ضریب خودحفاظی عددی بین صفر و یک می‌باشد و انتظار می‌رود برای نمونه‌ای که جاذب خوبی برای نوترون است، کسرکوچک‌تر و نزدیک به صفر باشد . برای محاسبه

ضریب خودحفاظی، با استفاده از کدMCNP [۵]، آهنگ برهمکنش نوترون در یک نمونه با شکل هندسی و ترکیب معین، به‌دست می‌آید، آن‌گاه از رابطه فوق برا ی تعیین f استفاده می‌شود. در بررسی صورت گرفته مواد نمونه در ظرف‌های poly) tetra flour ethylene)PTFE که به صورت استوانه‌هایی با قطر خارجی ۱۰ cm و ارتفاع خارجی ۲۰ cm و ضخامت دیواره ۰٫۳۵cm بودند، قرار دارند. یک باریکه نوترون حرارتی با توزیع ماکسول – بولتزمن با قطر ۲٫۵۴ cm نیز به صورت عمود برمحور استوانه در راستای محور z برآن می‌تابد. هندسه مربوط به شبیه‌سازی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱ : هندسه مربوط به شبیه‌سازی سیستم

سه پارامتر متفاوت که می‌توانند ضریب خودحفاظی نوترون را تحت تاثیر قرار دهند عبارتند از :

– نوع نمونه (ترکیب و عناصر تشکیل دهنده)

– ابعاد نمونه

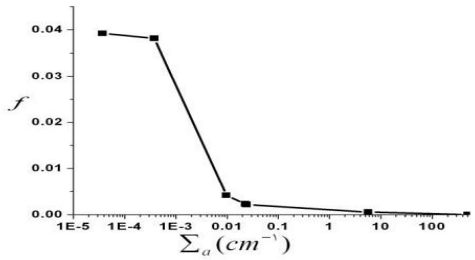
– تراکم نمونه (چگالی)

بنابراین ضریب تصحیح خودحفاظی نوترون، برای ابعاد هندسی و ترکیب‌های متفاوت، موردتحقیق واقع‌شده و نتایج تحلیل شده است.

نتایج

الف) نوع نمونه

موادی که ضریب خودحفاظی برای آن‌ها محاسبه شده‌است، عبارتند از : کربن ، بور، بریلیوم ، پارافین ، آب ، آب سنگین و پارافین + پنج درصد اسید بوریک. نمودار ضریب خودحفاظی نوترون محاسبه شده برای مواد مذکور، برحسب سطح‌مقطع ماکروسکوپی جذب در شکل ۲ آورده شده است.

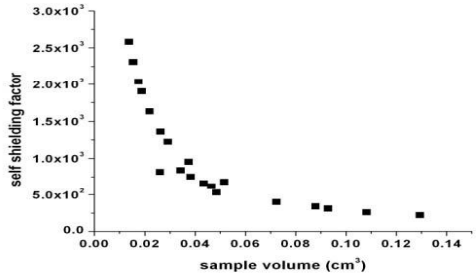


شکل ۲ : نمودار ضریب خودحفاظی نوترون بر حسب سطح مقطع جذب

مشاهده می‌شود که با افزایش سطح‌مقطع جذب، ضریب خودحفاظی نوترون کاهش می‌یابد و هرچقدر نمونه جاذب بهتری باشد، فاکتور خودحفاظی کوچکتر خواهد بود، یعنی شار نوترون فرودی دچار خودجذبی بیشتری گشته و مقدار نمونه را کمتر از حالت واقعی به‌دست خواهد داد .

ب) ابعاد نمونه

در این حالت از نمونه‌ای مشخص و ثابت (پارافین) در محاسبات متفاوت بهره گرفته شده و تنها ابعاد نمونه متغیر فرض شده‌است. نتایج محاسبات همان‌طور که در شکل ۳ آمده است، نشان می‌دهد



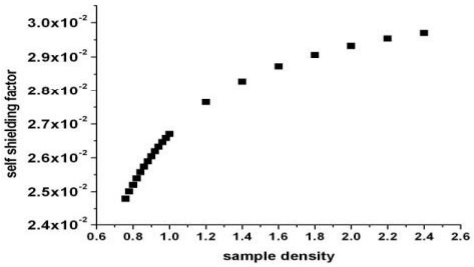
شکل ۳ : نمودار ضریب خودحفاظی نوترون بر حسب حجم نمونه

که هر چقدرحجم نمونه بزرگتر باشد، ضریب خودحفاظی نوترون کوچکترخواهد بود. درواقع شار نوترون فرودی به دلیل ابعاد بزرگ نمونه بیشتر تضعیف می‌گردد.

ج) تراکم نمونه

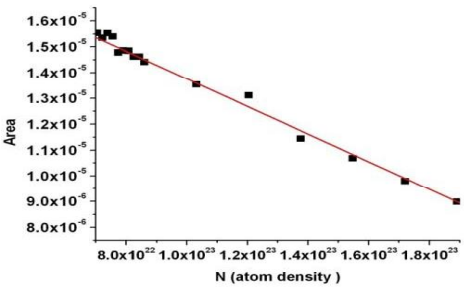
ضریب خودحفاظی نوترون برای نمونه پارافین، در حالتی‌که تراکم نمونه در یک حجم ثابت، متغیر فرض شده، محاسبه گردیده‌است. همان‌طور که در نمودار شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش چگالی

نمونه‌ای خاص، ضریب خودحفاظی نوترون افزایش می‌یابد.



شکل ۳: نمودار ضریب خودحفاظی نوترون بر حسب چگالی نمونه

پس از محاسبه ضریب خودحفاظی نوترون، می‌توان طیف گاماهای آنی را تصحیح نمود. باید رابطه‌ای خطی بین سطح زیر قله تمام انرژی و چگالی(تعداد اتم‌ها) نمونه به‌دست آورد، زیرا سطح زیر قله با مقدار نمونه رابطه مستقیم دارد یعنی با استفاده از مساحت هر قله می‌توان تعداد اتم‌های عنصر مورد نظر را مشخص نمود. بنابراین مجددا سیستم را با وجود آشکارسازی در راستای محور z شبیه‌سازی نموده و طیف گاما را برای نمونه پارافین درحالت چگالی متغیر به‌دست می‌آوریم. با ترسیم نمودار سطح زیر قله بر حسب چگالی اتمی، رابطه‌ای خطی می‌توان برای آن برازش نمود. نمودار مربوطه در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵ : نمودار تغییرات سطح زیر قله تمام انرژی بر حسب چگالی اتمی

پارامترهای مربوط به خط برازش شده با معادله $Y = AX + B$ به صورت زیر می‌باشند:

$A = ۱/۹۱۰۹۷ \times ۱۰^{-۵}$ $\quad Error = ۱/۴۴۲۷۷ \times ۱۰^{-۷}$

$B = -۵/۳۵۳۹ \times ۱۰^{-۲۹}$ $\quad Error = ۱/۲۸۷۸۳ \times ۱۰^{-۳۰}$

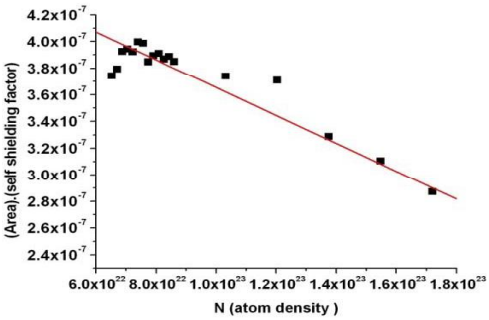
$\chi_r^۲ = ۲/۴۸۷۳۸ \times ۱۰^{-۷}$

حال با استفاده از ضریب f سطح زیر قله را تصحیح نموده و آن‌را مجددا برحسب چگالی رسم نموده و پارامترهای خط برازش شده به داده‌ها را به‌دست می‌آوریم. نمودار مربوطه درشکل ۶ آمده‌است و پارامترها نیز با $\chi_r^۲$ بهتری به‌صورت زیر تغییر نموده‌اند :

$A = ۴/۶۹۵۷۸ \times ۱۰^{-۷}$ $\quad Error = ۶/۸۳۱۶۹ \times ۱۰^{-۹}$

$B = -۱/۰۴۲۹۵ \times ۱۰^{-۳۰}$ $\quad Error = ۶/۰۹۸۰۲ \times ۱۰^{-۳۲}$

$\chi_r^۲ = ۱/۱۷۷۸ \times ۱۰^{-۸}$



شکل ۶ : نمودار سطح زیر قله بر حسب چگالی با اعمال ضریب خودحفاظی

بنابراین در مورد یک نمونه خاص با استفاده ازیک رابطه خطی برای هر عنصر، می‌توان تعداد اتم‌های مربوط به آن را به‌دست آورد.

بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای بررسی شده در این مقاله در شمارش گاماهای آنی گسیل‌شده از واحد حجم نمونه در روش LS-PGNAA و در تعیین مقدار نمونه مورد نظر، تاثیر گذار می‌باشند. تعداد گاماهای آنی(مشخصه) ساطع شده از نمونه که در بر هم‌کنش (n -γ) همان آهنگ برهم‌کنش نوترون می‌باشد با ضریب خودحفاظی نوترون تصحیح می‌شود. لذا اعتبارروش LS-PGNAA به ضرایب تصحیح مربوطه بستگی خواهد داشت.

مراجع

[1]M.Blaauw,I.H.Degenaar,J.J.M.de Goeij Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,Vol.**271**,NO.3(2007)765-770

[2] Measurement and detection of radiation, Nicholas Soulfanidis, Hemisphere Publishing Corporation, 1983.

[3]Heleen Degenaar ,Menno Blaauw, Nuclear Instruments and Methods in Physics B 207 (2003) 131-135.

[4] Table of nuclides, (http://atom.kaeri.re.kr) (2000).

[5] Briesmeister, J. F., Ed. MCNPTM—a general Monte Carlo N-particle transport code: version 4C. Report LA-13709-M (Los Alamos, NM: Los AlamosNational Laboratory) (2000).