

تعیین پارامترهای مؤثر در شناخت جنس نمونه ناشناخته با پرتونگاری همزمان نوترون و گاما

محمد مهدی ناصری و کیومرث کمالی مقدم
مرکز تحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در پرتونگاری‌های رایج در صنعت و پزشکی توجه چندانی به جنس جسم مورد آزمایش نمی‌شود. معمولاً دیدن طرز قرارگیری و شکل هندسی قسمت‌های مختلف درون جسم و یا مطالعه نقصها، شکستگیها، ترک‌ها و مانند اینها عمده اهدافی هستند که در آزمون پرتونگاری مورد نظر پرتونگاری می‌باشند؛ و حال آنکه علاوه بر این جنبه‌ها می‌توان عوامل متعدد دیگری مانند نوع پرتو، انرژی و طیف آن، سطح مقطعها برای انواع برخوردها و پدیده‌های پراکندگی، جذب پرتوزا و غیره را نام برد که دارای اهمیت می‌باشند. در این مقاله سعی شده است در زمینه پرتونگاری نوترونی به این گونه جنبه‌ها نیز پرداخته شود. در این مطالعه، به یاری روش ابتکاری پرتونگاری همزمان نوترون - گاما و یک رشته اندازه‌گیری، با استفاده از روابط ریاضی استخراج شده، راهی برای دستیابی به شناخت جنس جسم پیدا شده است.

مقدمه

مواد دیگر آسان است. اما در مورد پرتوهای نوترونی، به علت متفاوت بودن ماهیت برهمکنش آن با ماده میزان عبور آن از جسم، به سطح مقطع‌های جذب و پراکندگی بستگی دارد. در این مورد قاعده خاصی وجود ندارد ولی عناصری که عدد اتمی آنها پایین است پرتو نوترونی را بیشتر پراکنده می‌سازند.

در یک پرتونگاشت معمولی بجز شکل هندسی جسم و چگالی اپتیکی در نقاط مختلف فیلم، اطلاعات دیگری از قبیل جنس ماده، ضخامت جسم، میزان پرتوهای پراکنده شده، انرژی مؤثر پرتو به هنگام عبور از مواد، مقدار فاکتور تولید و انباشت^۱ و

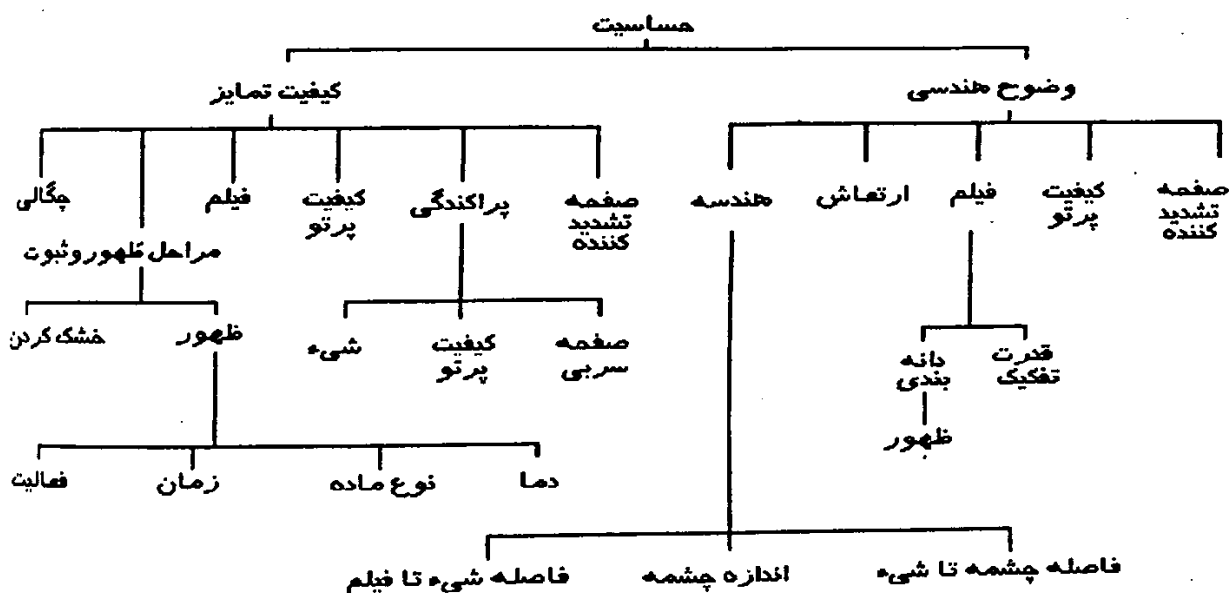
پرتونگاری با پرتوهای نوترون و گاما به عنوان روش آزمون غیرمخرب کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است. نوع جسم، و امکانات پرتونگاری قابل دسترس، موارد عمده‌ای هستند که در انتخاب روش پرتونگاری مناسب حائز اهمیت می‌باشند. علاوه بر این وضوح تصویر نیز تابع بسیاری از پارامترها، به ویژه برهمکنش نمونه با پرتو تابیده شده است.

عناصر سنگین با عدد اتمی بالا عموماً مقاومت زیادی در برابر پرتوهای فوتونی (ایکس و گاما) از خود نشان می‌دهند. بنابراین تشخیص این مواد در داخل

۱ - Build up factor

روش تجربی و ثابت نگهداشتن آنها، برای یافتن پارامترهای مهم دیگر از قبیل سطح مقطعهای عناصر موجود در نمونه، ضخامتها، مقادیر فاکتور تولید و انباشت و ... کوشش کرد.

میزان اثر هر پرتو بر روی فیلم را نمی توان بدست آورد. بنابراین با توجه به پارامترهای مؤثر در آزمون پرتونگاری که در نمودار ۱ تنظیم شده اند [۴] می توان با بدست آوردن مقادیر تعدادی از آنها به



نمودار ۱- عوامل مؤثر در کیفیت تشکیل یک پرتونگاشت

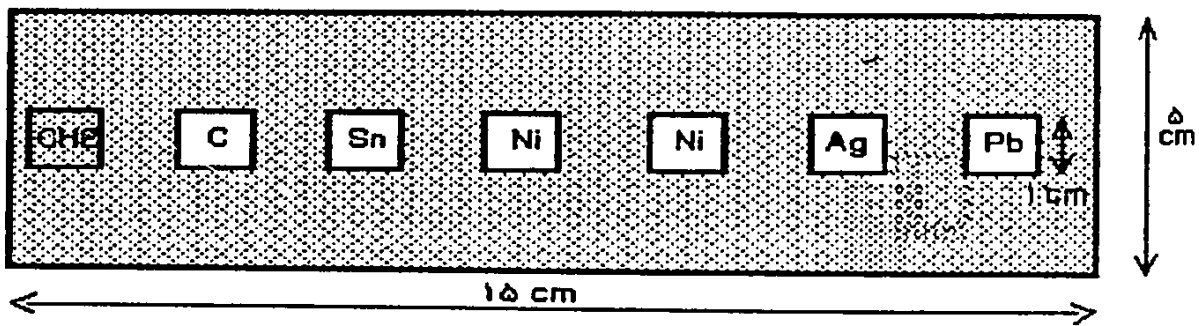
با بدست آوردن بعضی از پارامترهای مورد نیاز دیگر از راه تجربی و با شرایط یکسان موفق به نوشتن روابط ریاضی شده ایم که توسط آنها محاسبه تقریبی سطح مقطعهای عناصر موجود (و به دنبال آن شناخت عناصر تشکیل دهنده نمونه) و همچنین محاسبه فاکتور تولید و انباشت امکان پذیر شده است.

در این کار سعی شده است که پارامترهایی مانند نوع فیلم، شرایط ظهور و ثبوت، نوع تشدیدکننده ها، نوع مبدل های مورد استفاده، شرایط هندسی و توان چشمه تابش در همه موارد ثابت نگه داشته شوند تا باعث ایجاد خطا و اختلاف در نتایج بدست آمده نگردند. بدین ترتیب، با تثبیت این پارامترها توانسته ایم به بررسی پارامترهای دیگر بپردازیم.

عناصر انتخابی را حتی الامکان با درجه خلوص بالا تهیه کرده ایم. ضخامت هریک از این مواد یک سانتیمتر است و می توان آنها را در داخل دو قالب پلی اتیلنی و سربی مطابق شکل ۱ قرار داد.

روش کار

با توجه به امکانات پرتونگاری موجود (دستگاه نوترون رادیوگرافی نصب شده در رآکتور تحقیقاتی تهران) فانتومی متشکل از مواد سرب - نقره - مس - نیکل - قلع - گرافیت - پلی اتیلن طراحی شد.



شکل ۱- قالب ساخته شده از جنس پلی اتیلن (یا سرب) و هفت جسم قرار داده شده در آن

(به علت عرض تابش دهی محدود فیلم) نباید داشته باشند

۴- ضخامت اجسام به اندازه ایست که از فاکتور تولید و انباشت نمی توان صرف نظر کرد

۵- در اطراف دستگاه پراکندگی پرتوها وجود دارد

۶- چگالی فیلم پرتونگاری در زمانهای تابش دهی متفاوت، مقادیر متفاوتی (به دلیل وجود پراکندگی و

خاصیت جمع پذیری پرتوها) از خود نشان می دهد

عوامل کمابیش مؤثر دیگری نیز وجود دارند که، به

علت طولانی شدن مطلب، از ذکر آنها خودداری

می شود [۱].

با در نظر گرفتن رابطه $I = I_0 e^{-\Sigma x}$ ، که هم

می توان آن را برای پرتوهای نوترونی (Σ سطح مقطع

ماکروسکوپیکی کل نوترون حرارتی) و هم پرتوهای

گاما (Σ ضریب کل تضعیف خطی گاما) بکار برد. موارد

زیر به هنگام کار با این دستگاه مورد توجه قرار

گرفته اند [۳]:

۱- سطح تابش در این دستگاه پهن می باشد

۲- در پرتو خروجی هم نوترون حرارتی و هم پرتو

گاما با انرژی متوسط ۱/۵ Mev وجود دارد

۳- سطح مقطعی جذب و پراکندگی نوترونی و

فوتونی عنصرهای ذکر شده اختلاف زیادی با یکدیگر

با توجه به این مطالب، آزمایشی ترتیب داده شد تا بتوان تغییرات کیفیت تمایز (کنتراست) فیلم را برای مواد انتخابی در زمانهای متفاوت نسبت به سطح مقطعهای نوترونی و ضرایب تضعیف برای اشعه گاما مشاهده کرد. این تغییرات در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. از مشاهدات چنین بر می آید که در پرتونگاشت نوترونی هر چه سطح مقطع جذب نوترون نسبت به سطح مقطع پراکندگی آن بیشتر باشد (یعنی $\Sigma_s < \Sigma_a$) تغییرات کیفیت تمایز تصویر بیشتر خواهد شد. مثلاً ماده پلی اتیلن با سطح مقطع پراکندگی زیاد و در نتیجه داشتن فاکتور تولید و انباشت بالا دارای تغییرات کنتراست اندک است. در این ماده $\Sigma_s > \Sigma_a$ است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که هر چه $\Sigma_s < \Sigma_a$ باشد تفکیک پذیری قطعات نسبت به یکدیگر بیشتر خواهد بود.

برای هر جفت (i, j) از نمونه‌های انتخابی به هنگام پرتودهی با پرتوهای مرکب از نوترون و گاما معادله‌ای به صورت زیر استخراج شده است [۱]:

$$\left| c_{ij}^{\prime} \right| - \left| c_{ij}^{\prime\prime} \right| = 0.43 G \left\{ \ln \left(\frac{B_j^{\prime} B_i^{\prime\prime}}{B_j^{\prime\prime} B_i^{\prime}} \right) + \left[(\Sigma_i - \mu_i) t_i - (\Sigma_j - \mu_j) t_j \right] \right\}$$

که مؤلفه‌های آن بترتیب عبارتند از:

$$\left| c_{ij}^{\prime} \right| = \text{قدر مطلق کنتراست دو قطعه } j \text{ ناشی از تابش پرتو گاما بر روی فیلم}$$

$$\left| c_{ij}^{\prime\prime} \right| = \text{قدر مطلق کنتراست دو قطعه } j \text{ ناشی از}$$

تابش نوترون بر روی فیلم

$G =$ گرادیان متوسط منحنی مشخصه فیلم

$t_i, t_j =$ ضخامت قطعات i و j

$B_i^{\prime}, B_j^{\prime} =$ فاکتورهای تولید و انباشت قطعه i ام ناشی

از پرتوهای نوترون و گاما

$\mu_i, \Sigma_i =$ سطوح مقاطع کل نوترونی و فوتونی

قطعه i ام و به همین ترتیب برای قطعه j ام

اگر بتوانیم رابطه‌ای تجربی برای وابستگی مقادیر B با

سطح مقطعهای عناصر بیابیم می توانیم با داشتن

مقادیر کنتراست، که به وسیله چگالی سنج نوری از

روی فیلم بدست می آید و با داشتن ضخامت اجسام و

مقادیر معلوم برای قطعه i، مقادیر مربوطه به قطعه j

را بدست آوریم. اگر از قطعات کم ضخامت استفاده

کنیم می توانیم تقریباً مقادیر B را واحد فرض کنیم،

در این صورت رابطه‌ای بدست خواهد آمد که به شکل

زیر خلاصه می شود:

(۲)

$$\left| c_{ij}^{\prime} \right| - \left| c_{ij}^{\prime\prime} \right| = 0.43 G \left[(\Sigma_i - \mu_i) t_i - (\Sigma_j - \mu_j) t_j \right]$$

حال اگر با استفاده از جداول مقدار μ را برای انرژی

متوسط ۱/۵ Mev بدست آوریم مقدار Σ برای قطعه

j ام که در معادله (۲) مجهول می باشد بدست خواهد

آمد.

در حالتی که ضخامت اجسام به اندازه ایست که

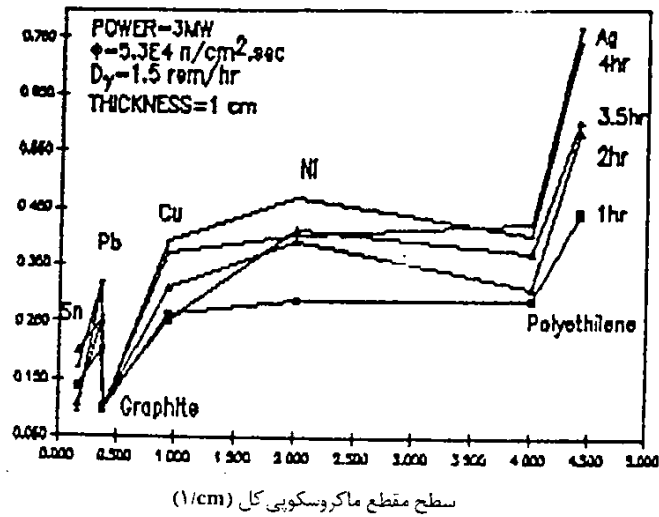
نمی توان فرض $B=1$ را بکار برد، در آن صورت با

(۳)

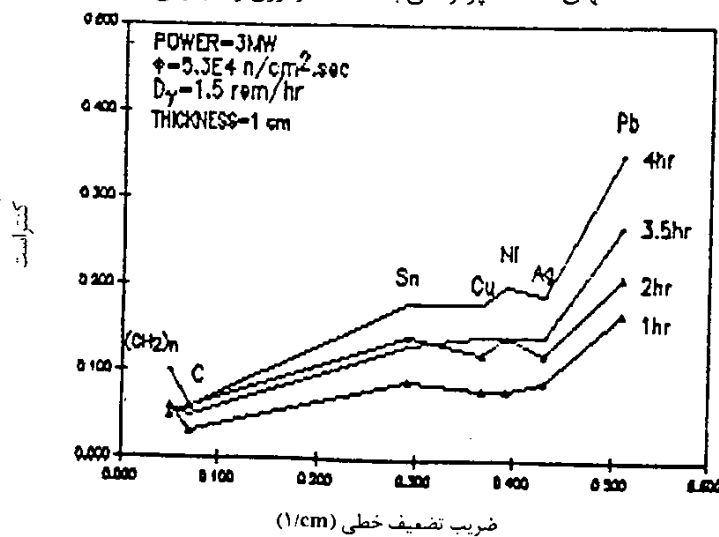
$$|\varphi_{ij}^-| - |\varphi_{ij}^+| \cong 0.4 G [(\sum_{ni} - \sum_{nj}) - (\mu_{hi} - \mu_{hj})]$$

این معادله نشان می‌دهد که در پرتونگاری، سطح مقطعیهای جذب عناصر عامل اصلی تشکیل پرتونگاشت است.

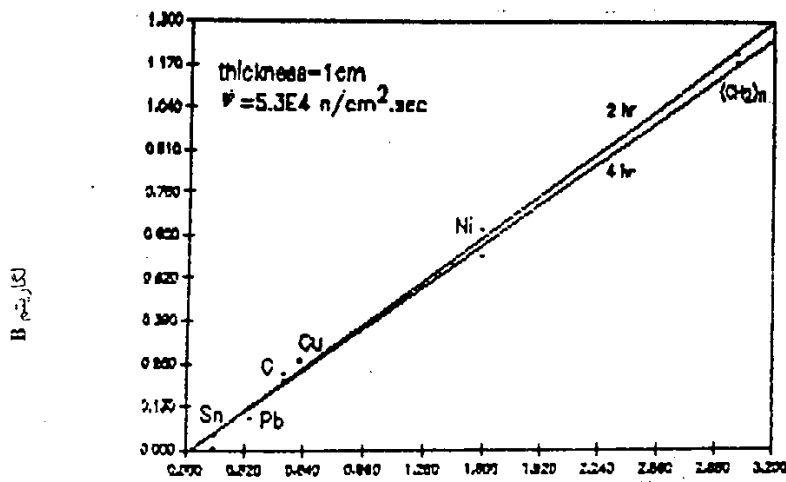
بدست آوردن مقادیر B برای عناصر مختلف و توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده [۱] و بدست آوردن رابطه آن با \sum می‌توان رابطه‌ای تجربی بصورت $\log B \cong 0.4 \sum$ که از روی منحنی شکل ۴ استخراج شده است، بدست آورد. با قرار دادن این رابطه در معادله (۲) و با فرض اینکه ضخامتها برابر واحد است این رابطه نهایی را می‌توان بدست آورد:



شکل ۲- تغییرات کنتراست برحسب تغییرات سطح مقطع کل برای چند عنصر در مدت‌های مختلف پرتودهی با دستگاه نوترون رادیوگرافی



شکل ۳- تغییرات کنتراست برحسب تغییرات ضریب تضعیف خطی برای چند عنصر در مدت‌های مختلف پرتودهی با دستگاه نوترون رادیوگرافی



سطح مقطع ماکروسکوپی پراکندگی نوترون (1/cm)

شکل ۴- تغییرات لگاریتم B بر حسب سطح مقطع پراکندگی نوترون برای چند عنصر

بحث و بررسی نتایج

برای اطمینان از درستی رابطه (۱)، جفت عناصر انتخابی در جدول ۱، به کمک آزمایشهای تجربی مورد بررسی قرار گرفتند. بطوریکه مشاهده می شود، تغییرات کنتراست بدست آمده از رابطه (۱) (که در واقع با داشتن مقادیر معلوم مانند Σ ، t محاسبه می شوند) با مقادیر بدست آمده از طریق آزمایش (که همان $|c_{ij}^n| - |c_{ij}^g|$ است) در حد خطاهای آزمایش همخوانی دارد.

بدست آوردن تصویر حاصل از پرتونگاری گاما ایجاب می کند که مانع از تصویرسازی نوترونها بر روی فیلم شویم. برای این منظور مسدول گادولینیوم را از مجموعه حذف می کنیم. با اندازه گیری دز گاما و طیف آن متوجه می شویم که انرژی متوسط پرتوهای گاما در طیف اصلی حدود ۱/۵ Mev است. با تجارب

حاصل از پرتونگاری با چشمه Co-60 معلوم شد که عمل تشدید را می توان برای این انرژی با ورقه سربی ۰/۰۵ میلیمتری انجام داد. بنابراین با قراردادن چنین لایه سربی می توانیم گاماها را کم انرژی را حذف و گاماها را با انرژی متوسط را تشدید کنیم و پرتونگاشت گاما را بدست آوریم. در این صورت مقدار c_{ij}^n از طریق چگالی سنجی فیلم بدست خواهد آمد. در مورد پرتونگاری نوترونی، با قراردادن مسدول گادولینیوم و حذف لایه سربی می توانیم تصویر نوترونی قطعات را بدست آوریم؛ در نتیجه مقدار c_{ij}^n نیز با روش چگالی سنجی نوری بدست خواهد آمد. بدین ترتیب، تغییرات کنتراست نوترونی و گامایی $|c_{ij}^n| - |c_{ij}^g|$ برای جفت قطعات انتخابی از جدول ۱، دیده می شوند.

در واقع با داشتن مقدار بدست آمده از آزمایش

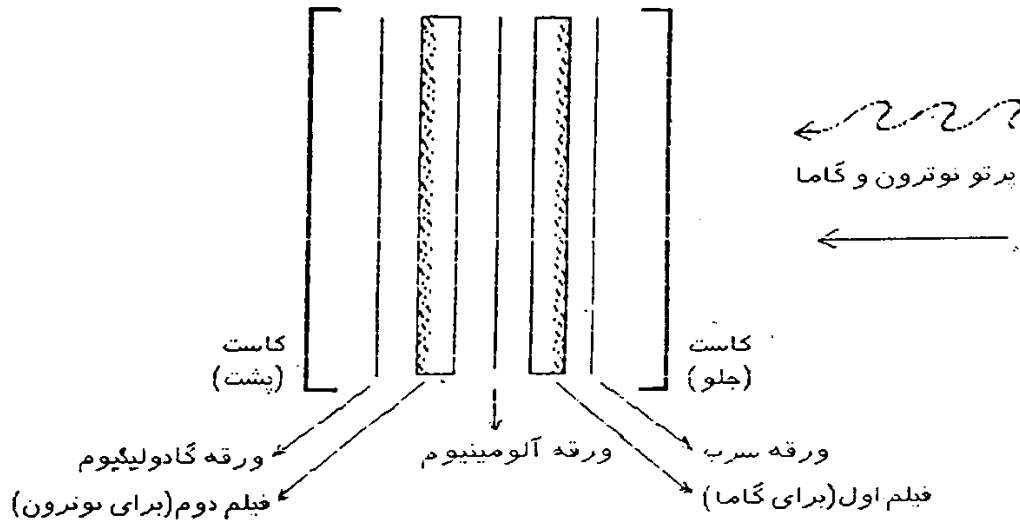
برای طرف چپ معادله (۱)، می‌توانیم مقدار مجهول طرف راست معادله را حساب کنیم. به عنوان مثال، اگر مقدار Σ در معادله مجهول باشد با داشتن مقادیر معلوم دیگر می‌توان آن را حساب کرد.

جدول ۱- مقادیر بدست آمده از روش چگالی‌سنجی و از معادله ارائه شده

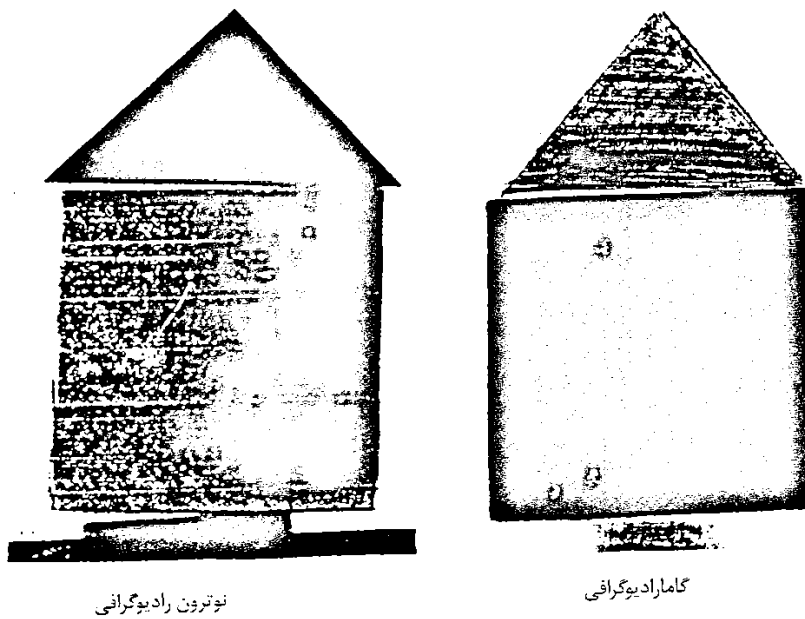
Sn, C	Sn, Cu	C, (CH ₂) _n	Cu, Ni	Pb, (CH ₂) _n	Pb, Cu	i, j
-۰/۰۱	-۰/۱۱	-۰/۲۵	-۰/۱۵	-۰/۲۸	-۰/۱	تغییرات کنتراست بدست آمده از آزمایش $\left \begin{matrix} \rho_i \\ \rho_j \end{matrix} \right $
-۰/۰۰۵	-۰/۱۴	-۰/۲۸	-۰/۱۷	-۰/۲۶	-۰/۱۳	تغییرات کنتراست بدست آمده از طرف راست رابطه (۱)

تولید شده توسط هر یک از مبدلها که ممکن است بر روی فیلم دیگر اثر بگذارند ضروریست. نمونه‌ای از دو پرتونگاشت نوترونی و گامایی که از دو قطعه مربعی شکل سربی و مثلثی شکل پلی‌اتیلنی با استفاده از مجموعه شکل ۵، به طور همزمان گرفته شده است در شکل ۶ مشاهده می‌شود. همانطور که از این شکل پیداست دو تصویر نوترونی و گامایی کاملاً متفاوتند و این، به علت متفاوت بودن برهمکنشهای نوترون و گاما با مواد سرب و پلی‌اتیلن است. با استفاده از این روش نه تنها نیاز به چشمه گامای جداگانه نیست، بلکه تفسیر فیلم نیز برای پرتونگارها آسانتر می‌شود.

انجام گرفتن این آزمایشها، رهنمون ما به تصویرگیری نوترونی و گامایی بطور همزمان شد. براساس این اندیشه، با تنظیم مجموعه‌ای مطابق شکل ۵، توانستیم به طور همزمان دو پرتونگاشت نوترونی و گامایی از یک جسم بدست آوریم. در این شکل، لایه سربی در مقابل کاست عمل تشدید را برای گاما انجام می‌دهد و الکترونهای آزاد شده از ورقه سرب بر روی فیلم اول تصویر پرتونگاری گاما را ایجاد می‌کنند و ورقه گادولینیومی کار تصویرسازی نوترونی را انجام می‌دهد. چون در هر دو مورد، تصویرسازی توسط الکترونها انجام می‌گیرد قرار دادن یک ورقه آلومینیومی برای جذب الکترونهای



شکل ۵- مجموعه استفاده شده برای انجام پرتونگاری همزمان نوترون و گاما



شکل ۶- پرتونگاشت تهیه شده از دو قطعه مربعی شکل سربی و مثلثی شکل پلی اتیلنی

به روش پرتونگاری همزمان

References

- ۱- محمد مهدی ناصری، گاما رادیوگرافی با چشمه ^{60}Co و مقایسه آن با نوترون گرافی، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۷۵).
2. Von de Hardt, H. Rottger, "Neutron Radiography Handbook" D. Reidel Publishing, Holland (1981).
3. Halmshaw "Physics of Industrial Radiology" Iliffe Books Ltd. London (1966).
4. A. Richard Quin, C. Claire Single, "Radiography in Modern Industry" Eastman Kodak Company (1980).

DETERMINATION OF CHARACTERISTIC PARAMETERS, FOR RECOGNITION OF UNKNOWN OBJECT WITH SIMULTANEOUS NEUTRON AND GAMMA RADIOGRAPHY

*M.M. Nasser, K. Kamali Moghadam
Nuclear Research Center
Atomic Energy Organization of Iran*

Abstract

Generally speaking in customary industrial and medical radiography, there is no tendency to reveal the nature of the objects. In radiography the main objects of taking a radiogram is to show the position and dimension of unknown parts, inside the test object and to find out the cracks, defects, etc. Whereas in radiography a lots of important factors such as type and energy of exposure, energy spectrum, material cross section, type of collision, etc. are also involved.

In this paper, by using neutron radiography facility at Tehran Research Reactor, some of these factors are being investigated. we developed some mathematical relations that helped us in recognition of internal structure of test objects. On testing, experimentally, the correctness of these relations, a new technique of simultaneous neutron and gamma radiography was also elucidated.

