

Sci. and Tech. note یادداشت علمی و فنی

اندازه گیری شار نوترون ۱٤/۸ MeV در یک دستگاه مولد نوترون با استفاده از روش فعالسازی با نوترون

صدیقه کاشیان، جواد رحیقی ٌ، مهرداد عزیزی شمامی، حسین قدس پژوهشکده علوم هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۲۰-۱۱۳۲۵، تهران ـ ایران

چکیدد: اندازه گیری شار نوترون، با روش فعالسازی با نوترون بوسیلهٔ پولکهای مس و نیکل انجام گرفته است. با پرتودهی پولک مس و نیکل، ایزوتوپهای Ni⁴' Ni⁴ از طریق دو واکنش Vi⁴' (n,2n)⁴ Ni⁴ (n,2n)⁴ Ni⁴ به ترتیب با نیمه عمرهای ۹/۷۴ دقیقه و ۳۶ ساعت تولید می شوند. انرژی پرتوهای گامای ساطع شده در این واکنشها بترتیب ۵۱۱ke۷ و ۱۳۷۷ke۷ است. با اندازه گیری میزان آکتیویته هر پولک در مدت پرتودهی، شار نوترون حساب شده است. این شار از واکنش D-T و با جریان دوترون ۹۰µ با استفاده از پولک مس، برابر ۸/۳ م. ± ۲/۶۰× ۲/۶۴ بر روی هدف بدست آمد.

واژه های کلیدی: مولد نوترون، شار نوترون، آشکارسازهای آستانهای

Measurement of 14.8 MeV Neutron Flux of a Neutron Generator Using Neutron Activation Technique

S. Kashian, J. Rahighi^{*}, M. Azizi Shamami, H. Ghods Nuclear Science Research School, AEOI, P.O. Box: 11365-3486, Tehran - Iran

Abstract: Fast neutron flux (14.8 MeV) of a neutron generator has been measured by activation technique. The measurements performed using Cu and Ni threshold detectors. ⁶²Cu and ⁵⁷Ni were produced through ⁶³Cu (n, 2n) ⁶²Cu and ⁵⁸Ni (n, 2n)⁵⁷Ni reactions. They decay by emitting 511 keV and 1377 keV gamma rays, respectively. The half life of ⁶²Cu is 9.74min and that of ⁵⁷Ni is 36 hours. The flux of neutron has been calculated by measuring the activity after the irradiation time. Gamma spectroscopy of the activated foils was performed using a HPGe detector. By employing this technique the neutron flux of $2.64 \times 10^7 \pm 3\%$ n/s was obtained for 60 µA deuteron of 110 keV energy, bombarding a solid target of ³H.

Keywords: Neutron Generator, Neutron Flux, Threshold Detectors

*email: jrahighi@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۳/۸/۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۵/۴/۲۱

مجله علوم و فنون هستهای، شماره ۳۸، ۱۳۸۵ Archive of SID

۱- مقدمه

 (\bullet)

نوترون ۱۴Me۷، تولید شده بوسیله دستگاه مولد نوترون، در اندازه گیریهای مختلف هستهای کاربردهای گوناگونی از جمله: آنالیز کمی به روش فعالسازی با نوترون، رادیوگرافی با نوترون دارد، به همین جهت اطلاعات مربوط به شار نوترون از اهمیت زیادی برخوردار است.

برای اندازه گیری شار نوترون روش های مختلفی وجود دارد که از جمله، اندازه گیری شار با استفاده از ذره همراه^(۱) [۱، ۲ و ۳]، همچنین استفاده از روش فعالسازی با نوترون [۱ تا ۵] و بکار گیری برخی آشکارسازهای نوترون مانند سوسوزنهای آلی مایع است [۱ تا ۴].

در دستگاه مولد نوترون موجود در گروه فیزیک نوترون سازمان انرژی اتمی ایران از واکنش نوترون سازمان انرژی اتمی ایران از واکنش و به دلیل مسدود بودن محل قرار گرفتن هدف، استفاده از آشکارساز ذره آلفا که همراه با نوترون میشود برای اندازه گیری شار نوترون امکانپذیر نیست. بهترین آشکارسازی که برای آشکار ساختن و اندازه گیری شار نوترون میتوان از آن استفاده آرد، سوسوزن آلی مایع است که به سبب داشتن بازده مناسب (حدود ۱۰٪)، حساسیت کم نسبت به پرتو گاما و توان جداسازی نوترون از گاما، آشکارساز مناسبی برای نوترونیای سریع است. اساس کار سوسوزنهای آلی بر پایه پسزنی پروتون است. نوترون پس از برخورد با پروتون پراکنده شده گسترهٔ پیوستهای از انرژی E (انرژی اولیه نوترون) تا کمترین مقدار (صفر) خواهد داشت.

طیف حاصل از مولد نوترون شامل نوترونهایی با انرژی D-D و ۱۴Me۷ است که بترتیب حاصل واکنشهای D-D (ناشی از دوتریومهای کاشته شده در هدف بوسیله باریکه) و D-T است. بدلیل عدم توانایی آشکارساز در شمارش نوترونهای پربسامد (حداکثر ۱۰^۴C/S) از این نوع آشکارساز برای اندازه گیری میزان شار نمی توان استفاده کرد.

آشکارسازی نوترون با آشکارسازهای آستانهای بر پایه تولید یک رادیوایزوتوپ، به وسیله اندرکنش با نوترون و شمارش تابش گسیل شده از آن است. آشکارسازهای آستانهای به صورت پولک یا سیم فلزی هستند و در اندازه گیریهای شار میدان نوترونی اهمیت خاصی دارند که بسته به انرژی نوترون از

پولکهای مختلف که دارای انرژی آستانهای متناسب با انرژی نوترون موردنظر باشند، استفاده میشود.

بطور کلی، واکنشهای آستانهای بر پایه گستره انرژی نوترون و تجهیزات شمارش که در دسترس قرار دارند انتخاب می شوند، ولی معیارهایی وجود دارند که موجب ارجحیت بعضی از واکنشها می شوند، از جمله:

- سطح مقطع انجام واکنش به صورت تابعی از انرژی باید به خوبی شناخته شده باشد.
- نوع، انرژی و نسبت شاخهای^(۲) تابشهای گسیل شده از فرآوردهٔ واکنش کاملاً معلوم باشد.
- · نیمهعمر رادیوایزوتوپ تولیدی باید به خوبی معلوم و حداقل چند دقیقه باشد، تا فرصت انتقال پولک به مکانی که تجهیزات شمارش در آن قرار دارند وجود داشته باشد.

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t}) \tag{1}$$

$$G_{k} = \varepsilon_{k} e_{k} F \Omega \frac{N \varphi \sigma}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_{i}}) e^{-\lambda t_{d}} (1 - e^{-\lambda t_{c}}) + B \quad (\Upsilon)$$

t، مدت پرتودهی t_d: مدت خنک شدن t_c: مدت شمارش F: ضریبهای تصحیحاتی از جمله پس پراکندگی و خود جذبی است.

۳- روش اندازه گیری شار نوترون

مولد نوترون موجود در پژوهشکده علوم هستهای با استفاده از واکنش ³H(d,n)⁴He، نوترون تولید میکند. این واکنش انرژیزا است. مقدار انرژی آزاد شده در آن، با صرفنظر کردن از انرژی اولیه دوترون، برابر IV/۵۸MeV= است. بزرگترین سطح مقطع انجام واکنش در دوترون با انرژی Li·keVهای برابر ۵ بارن است [۶].

این مولد نوترون شامل یک لوله شتابدهنده است که در آن دوترونها شتابدار میشوند. بوسیله شتابدهندهها با واکنش D-T میتوان نوترونهایی با انرژی ۱۴MeV تا ۳۰MeV (بسته به انرژی دوترون) تولید کرد.

سیستم خلاء دستگاه مولد نوترون شامل یک پمپ دیفوزیون و یک پمپ مکانیکی است، به کمک این سیستم میتوان به خلاء حدود Torr ^{۷-}۲۰۲×۲ دست یافت. یکی از مشکلات استفاده از پمپ دیفوزیون وجود اجتناب ناپذیر بخار روغن در خلاء است، که پس از چند ساعت بمباران، لایه نازکی از روغن (با ضخامتی که پس از چند ساعت بمباران، لایه نازکی از روغن (با ضخامتی در حدود میکرون) سطح هدف را میپوشاند. انرژی که دوترون این ضخامت لایه روغن از دست میدهد، حدود که دوترون است. در این اندازه گیری انرژی دوترون در حدود ورون ورودی در است. در این اندازه گیری انرژی دوترون در حدود ورون ورودی در ماهبر در این مختلف برخورد دوترون و تریتیوم ا(T,4He) برحسب زوایای مختلف برخورد دوترون و تریتیوم ۱۰(Heta) در شکل ۱ نشان داده شده است. انرژی نوترون تولیدی در زاویه صفر درجه برای دوترون با انرژی ۱۰، دوترون تولیدی در زاویه مفر درجه برای دوترون با انرژی ۱۰، دوترون تولیدی در زاویه [۷].

هدف تریتیوم بکار رفته در این دستگاه مولد نوترون، یک صفحه مسی است که یک روی آن با فلز تیتانیوم پوشانده شده و حدود چند کوری تریتیوم در آن جذب شده است. این هدف دارای قطری حدود ۲/۶ سانتیمتر و ضخامتی حدود ۲ میلیمتر است، با توجه به این نکته که چون طول لوله شتابدهنده دوترون ۱/۵ متر است میتوان در نظر گرفت که تمام برخوردهای

Archive of SID دوترون و تریتیوم در زاویهٔ نزدیک به صفر اتفاق میافتند (شکل ۲). محاسبه نشان میدهد که طیف انرژی نوترون پس از عبور از پوشش فولادی حدود ۲ میلیمتر، از خنک کننده آب حدود ۵ میلیمتر و از پوشش پلاستیکی که پولک در آن قرار گرفته، مطابق شکل ۳است.



شکل ۱– نمودار تغییرات انرژی نوترون برحسب زوایای مختلف برخورد دوترون به تریتیوم در انرژیهای مختلف دوترون.







 \odot

مجله علوم و فنون هستهای، شماره ۳۸، ۱۳۸۵ Archive of SID

> محاسبه به روش مونتکارلو و با کمک نرمافـزار MCNP 4C انجام گرفته است و نشان میدهد که بیش از ۹۲ درصد نوترونها در انرژی تغییری نداشتهاند.

> در این اندازه گیری از پولکهای مس و نیکل استفاده شد. علت استفاده از این پولکها به جهت انرژی آستانه این پولکها است، که برای مس در حدود ۱۲/۴MeV و برای نیکل در حدود ۱۳/۵MeV و در انرژیهای کمتر سطح مقطع واکنش صفر است. [۷].

> قبل از قرار دادن پولکها درون پوشش پلاستیکی، به منظور حذف هر گونه آلودگی در اثر تماس با دست، آنها را با استون شسته، سپس به دقت توزین شدهاند. این پوشش به قسمت فولادی جلوی هدف چسبانده شد و پس از پرتودهی، برای حذف پرتوهای گامای ناخالصیهای پوشش پلاستیکی، پولک به درون پوشش پلاستیکی جدیدی منتقل شد.

> برای اندازه گیری آکتیویته پولکه های مس و نیکل از آشکارساز HPGe استفاده شد. برای کالیبره کردن بازده این آشکارساز، از چشمه های قرصی شکل که دارای هندسه یکسان با نمونه ها بودند استفاده شده است. چشمه هایی که برای کالیبره کردن بازده از آنها استفاده شد عبارتند از: که برای کالیبره کردن بازده از آنها استفاده شد عبارتند از: که محدودهٔ انرژی محدودهٔ انرژی دروی هاح آشکارساز شمارش می شدند، جمع کردن شمارش هر کانال و کم کردن شمارش زمینه از آن، شمارش خالص بدست می آید.

٤- نتايج

مقدار جریان بر روی هدف، در حقیقت نشاندهندهٔ تعداد دوترونهای رسیده به هدف است، هر چه جریان دوترون بیشتر باشد، آهنگ اندرکنش آن با تریتیوم موجود در هدف بیشتر میشود و تولید نوترون افزایش مییابد. بنابراین ارتباط مستقیمی بین جریان روی هدف و شار نوترون وجود دارد؛ ابتدا شار نوترون با یک یولک نیکل اندازه گیری شد.

با توجه به این نکته که پولک روی سطح پوشش فولادی مقابل هدف چسبانده شده است و مساحت پولک و هدف تقریباً

برابرند، می توان نتیجه گرفت که این پولک ۲۳ رادیان از فضای اطراف هدف را می پوشاند، همچنین با در نظر گرفتن برابری مساحت پولک و هدف می توان شار نو ترون را بر حسب n/s حساب کرد. برای محاسبه شار نو ترون از طریق اندازه گیری آکتیویته پولک سطح مقطع بر همکنش نو ترون با پولک موردنیاز است. با در نظر گرفتن پیچیدگی طیف انرژی نو ترون و با توجه به انرژی آستانه هر یک از پولکها، همچنین میزان نو ترون تولیدی در هر بازه انرژی، این محاسبه توسط کد MCNP 4C صورت گرفته است. در نهایت برای محاسبهٔ سطح مقطع کل، روی گستره انرژی موردنظر انتگرال گیری صورت گرفت.

طیف گامای بدست آمده از واپاشی پولک نیکل در شکل ۴ نشان داده شده است.

نتيجه در جدول شماره ۱ مندرج است.

در مدت پرتودهی پولک نیکل جریان روی هدف ΔμΑ±۲۴۰ بود. خطای اندازه گیری شامل خطای شمارش و خطای اندازه گیری کارایی آشکارساز و همچنین خطای سطح مقطع انجام واکنش است. با توجه به اینکه نیکل دارای نیمهعمر طولانی (۳۶ ساعت) است و برای استفاده از آن باید مدت پرتودهی زیاد باشد به همین جهت در اندازه گیری شارش در جریانهای کمتر، از پولک مس استفاده شد.



شکل ٤- طیف انرژی پر توی گامای حاصل از واپاشی پولک نیکل.

جدول ۱- شار نوترون ۱۴MeV اندازه گیری شده با استفاده از پولک نیکل.

شار نوترون ۱۴MeV (n/s)	خطای نسبی اندازه گیری شار (٪)
۸/۱۹ ×۱۰ ^۷	± ٣/٣٢

برای بررسی تغییرات شارش نوترون برحسب جریان، سه پولک مس در شار نوترون حاصل از جریانهای ۲۰µA، ۴۰µA و ۶۰µA قرار داده شدند.

نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

٥- بحث و نتيجه گيري

نتایج اندازه گیری شار مولد نوترون با استفاده از روش فعالسازی با نوترون و با توجه به کهنه بودن هدف با مقادیری که در مراجع به ازای دوترون با انرژی ۱۲۰keV بهره نوترون مراجع به ازای دوترون با انرژی خوبی دارد و با توجه به میزان خطای ۳٪ که در این روش وجود دارد، میتوان گفت، یکی از بهترین روشهای اندازه گیری شار، استفاده از آشکارسازهای آستانه (پولکها) است.

بخشی از باریکه دوترون که انرژی کافی برای نفوذ در لایه تیتانیوم را خواهد داشت در این لایه کاشته^(۳) میشود. مقدار دوترون کاشته شده در هدف با گذشت زمان افزایش مییابد، از اینرو احتمال انجام واکنش D-D با کهنه شدن هدف تریتیوم افزایش خواهد یافت. انرژی نوترون حاصل از واکنش D-D افزایش خواهد یافت. انرژی نوترون حاصل از واکنش TMeV است. استفاده از واکنشهای آستانهای، امکان تداخل بین MeV است. استفاده از واکنشهای آستانهای، امکان تداخل بین شار نوترون VMeV را در شار موردنظر ۱۴/۸MeV از بین میبرد. بدین ترتیب مزیت این روش در مواقعی که میدان نوترونی از گروههای مختلف انرژی تشکیل شده باشد، روشن است.

تغییرات شار برحسب جریان دوترون در یک ولتاژ کار ثابت، خطی است و با افزایش جریان دوترون افزایش مییابد. نمودار شکل ۵ بطوریکه ملاحظه میشود، کاملاً خطی نیست. رفتار غیرخطی شار نوترون برحسب جریان دوترون بدلیل کهنه بودن هدف است. در هر مرحله از آزمایش با انحراف باریکه دوترون و برخورد آن به قسمتهای مختلف هدف، تریتیوم موجود در آن قسمت، مصرف میشود. به همین دلیل، کاهش تریتیوم موجود در سطح هدف به صورت یکنواخت نیست. برحسب اینکه باریکه دوترون به قسمتهایی با تریتیوم بیشتر یا کمتر برخورد کند، تغییرات شار مشاهده میشود، که باعث بوجود آمدن این رفتار غیر خطی خواهد شد. انتظار میرود، با بکارگیری هدف نو این رفتار مشاهده نشود.

جدول ۲- شار نوترون ۱۴MeV اندازه گیری شده در جریانهای مختلف دوترون.

refive of SID

خطاي نسبي

اندازه گېرې شار (٪)

شار نوترون MeV٤	جريان هدف
(n/s)	(µA)

± ٣/١۶	۶/۸۵ × ۱۰ ^۶	۲.
± ٣/•۴	۱۳/۷ * ۱۰۶	4.
土 ٣/・۴	۲۶/۴ * ۱۰۶	۶.



شکل ٥- نمودار تغییرات شار نوترون برحسب جریان دوترون H ابا هدف H.

تشکر و قدردانی نویسندگان مقاله از آقایان فرهاد ذنوبی و حسن زندی که در مدت این تحقیق در تعمیر و نگهداری مولد نوترون تلاش بیوقفهای داشتهاند، صمیمانه تشکر و قدردانی مینمایند.

پىنوشتھا:

1- Associated Particle Technique

Y- Branching Ratio

۳- Implant

مجله علوم و فنون هستهای، شماره ۳۸، ۱۳۸۵ Archive of SID



References:

- ن. سولفانیدیس، مترجمین دکتر رحیم کوهی مقدم، دکتر محمدهادی
 هادیزادهیزدی، "اندازه گیری و آشکارسازی تابشهای هستهای،"
 ناشر کتابستان مشهد، صفحات ۶۳۳–۶۲۸، ۳۵۵، ۶۵۴–۶۴۷
 (۱۳۷۱).
- ک.اچ. بکرتس، مترجمین دکتر علی پذیرنده، دکتر علی افشار
 بکشلو، "فیزیک نوترون،" ناشر دانشگاه تهران، صفحات ۱۳۴– ۴۶۹، ۱۲۹–۴۹۲ (۱۳۵۲).
- 3. Marion, Fowler, "Fast Neutron Physics," Part 1, New York, 647, 662-668, 690-692 (1960).
- Glenn F. Knoll, "Radiation detection and measurement, 2nd edition," Vol. I, II, John Willey & Sons, 324, 327-328, 703-710 (1978).

- 5. Kuijpers. R. Herzing, P.Cloth, D. Filges, Hecker, "On the determination of fast neutron spectra with activation techniques," It's application in a fusion reactor blanket model, Nuclear Instrument and Method, 144-215 (1975).
- J. Csikai, "CRC handbook of fast neutron generators," John Willey & Sons, 5,74-76, 94-96 (1987).
- 7. International Atomic Energy Agency, "Handbook on nuclear activation data," Vienna, 347-353 (1987).
- 8. Richard B. Fireston, "Table of Isotopes, 8th edition," Vol. I,II, Virginia S. Shirley, 255-256, 290-291(1998).