دزیمتری نوترون بکمك دتکتور سولید تراس

نوشتهٔ

دکتر پرویز نیك‌پی

موسسه علوم و فنون هسته‌ای دانشگاه تهران

چکیده :

تکنیك اندازه‌گیری دزنوترون بوسیله شمارش تراسها باعث شده که دزیمترهای مختلفی با مواد مختلف برای دزیمتری فردی ساخته شود. تحقیقاتی که دراین زمینه انجام شده برای کاربرد مواد ورقه‌های نازك $U^{۲۳۵}$ و $U^{۲۳۸}$ و $Th^{۲۳۲}$ و $Np^{۲۳۷}$ وکاربرد ورقه‌های پلاستیك بعنوان دتکتور واقعاً امیدوار کننده است زیرا بکمك آنها تغییرات مهم و حساسی در جهت اندازه‌گیری فلوی‌نوترونها با دقت خیلی زیاد انجام میگیرد. این سیستم دارای برتری فراوانی نسبت بسایر سیستم‌ها میباشد که مهمترین آنها :

— احتیاج به هیچ دستگاه‌گران قیمت وپیچیده برای خواندن نتیجه دزیمتری ندارد.

— بطور خیلی خوب وقابل‌توجه‌ای ذرات رااین دتکتورها جذب میکند ودزجذب شده ناشی از آن خیلی دقیق قابل محاسبه میباشد.

مقدمه:

نوترونها مستقیماً ایجاد تراس در اجسام عایق نمی‌کنند، فقط بکمك فعل‌وانفعال فیسیون یا فعل وانفعال هسته‌ای میتوان تراسهای نوترونها را ثبت نمود .ولی عملا از فعل‌وانفعالات هسته‌ای استفاده‌میشود برای مثال در فعل‌وانفعال $B^{۱۰}$ (n و α) ذرهٔ α بوسیله نیترات سلولز ثبت شدهٔ و در نتیجه دزیمتری نوترون حرارتی انجام میشود .

بکمك معادله $\rho = nN_0\sigma IR_0Cu$ که‌برای دزیمتری نوترون بکار میرود میتوان دزوفلوی‌نوترونها را محاسبه نمود (درصورتیکه غلظت اورانیوم Cu مشخص باشد).

دراین فرمول، ρ دانسیته تراس‌ها درهر سانتیمتر مربع، n فلوآنس نوترونهای حرارتی‌در هر سانتیمتر مربع، N_0 دانسیته اتمی یاتعداد اتمها در هر سانتیمتر مکعب، I فراوانی‌ایزوتوپی $U^{۲۳۵}$، Cu غلظت اورانیوم، و R_0 مسیر متوسط فراگمان فیسیون در ورقه پلاستیك است .

بکمک دتکتورهای سولید میتوان دزیمترهائی ساخت که دارای مشخصات زیر باشند :

—کمی حساسیت نسبت به تمام ذرات باستثنای فراگمان های فیسیون: در تمام عایق ها، پرتوهای β و γ ثبت نخواهند شد. در اورانیوم حداقل انرژی حدود MeV ۰ است ، پرتوهای گاما ناشی از چشمه های کبالت اثر روی این دزیمترها ندارند. اما پرتوهای گاما با انرژی زیاد MeV ۱٤ برروی آنها اثر میگذارد.

—بسادگی میتوان این دزیمترها راساخت وبکار برد .

—میدان عمل اندازه گیری فلوآنس آنها زیاد است (۱۰۳ تا ۱۰۲۳ نوترون برسانتیمتر مربع).

تهیه نمونه :

چگونگی تهیه نمونه بستگی به‌ساختمان سولید دارد:

—میتوان یک فیلم نازك که میتواند تراسها را ثبت نماید روی یک ورقه از محصولات فیزیل قرار داد وبعد از تشعشع بینی آنرا جدا نمود، این طریق عمل زمانی بکار میرود که مواد سازنده دتکتور از فلزات منوکریستال یاپلی کریستال باشند اورانیوم طبیعی یکی از مواد یامحصولات فیزیل Fissile میباشد که خیلی در این نوع دزیمتری بکار میرود .

—زمانیکه قصد، کار برد مواد عایق باساختمان بسیار نازك باشد (میکا وغیره) تنها امکان قرار دادن یک از محصولات Fissile روی سولیداست که بعداز تشعشع بینی میتوان این ورقه را برداشت وتراسها رابعداز یک سری اعمال در زیر میکروسکپ مشاهده نمود.

نوترونهای حرارتی :

برای دزیمتری نوترونهای حرارتی مواد مختلفی برحسب شدت فلوی نوترون بکار رفته است.

—برای فلوآنس های ضعیف ورقه هایی از محصولات Fissile را روی یکی از سطوح دتکتور قرارمیدهند باید توجه داشت که ضخامت این ورقه های نازك بستگی به‌شدت فلوآنس دارد . میتوان از اورانیوم موجود بعنوان ورقه Fissile برای گذاردن برروی ورقه میکااستفاده نمود. ولی مشکل اینجااست که اگر تعداد نوترونها از ۱۰۱۸ نوترون بر سانتیمتر مربع افزایش یابد، میکا رادیواکتیو خواهد شد. ازطرف دیگر میبایست ورقه هائی از میکا راکه دارای ناخالصی مساوی میباشند در نظر گرفت.

جدول شماره ۱ و۲ خلاصه‌ای از مجموعه های مختلف بکار برده شده را نشان میدهد. دراین مجموعه از ورقه های میکا وپلاستیک برای اندازه گیری فلوآنس نوترونهای حرارتی که تعدادآنها بین ۱۰۳ تا ۱۰۲۱ نوترون در هرسانتیمترمربع میباشد بکار رفته است.

Fleischer ماده ساده‌ای که عبارت از لامل (Lamelle) میکرسکپ باشد بکار برد اتالوناژ هرشیشه برحسب وضعیت ناخالصی اورانیوم انجام گرفت. تعداد اتمهای اورانیوم دریافت شده بوسیله‌شیشه میبایست در این وضعیت یکنواخت باشد .

فلوآنس ⌀ تناسب با دانسیته ρ تراسها دارد وآشکار شدن تراسها بکمک اسیدفلوریدریک ٤۸٪ انجام گرفت .

جدول ۱ - برای میکا

فلوآنس نوترونهای حرارتی در هرسانتیمتر مربع	محصولات Fissile		دستگاه بکار رفته برای شمارش تراسها
۲×۱۰^{۸} تا ۲×۱۰^{۳}	اورانیوم Enrichi قوی	ضخامت هدف $e>۱۰\mu m$	میکرسکپ اپتیک
$۳\times۱۰^{۱۰}-۲\times۱۰^{۵}$	اورانیوم طبیعی	ضخامت هدف $e>۱۰\mu m$	میکرسکپ اپتیک
$۱۰\times۱۰^{۱۴}-۳\times۱۰^{۱۰}$	اورانیوم طبیعی	ضخامت هدف $e>۱۰\mu m$	میکرسکپ الکترونیک
$۱۰^{۱۳}-۱۰^{۸}$	اورانیوم طبیعی	هدف نازك تقریباً $۲۰۰A^{\circ}$	میکرسکپ اپتیک

عدد ثابت تناسب K برحسب چگونگی عمل اورانیوم ونمونه متغیر میباشد.

در مورد غلظت وزنی ۴×۱۰^{-۱} p.p.m. اورانیوم مقدار $K=۲/۶۱\times۱۰^{۱۱}$ و در نتیجه فلوآنس اندازه‌گیری ۳×۱۰^{۱۴} نوترون برسانتیمتر مربع میباشد.

وبرای غلظت‌وزنی یک درصد اورانیوم مقدار $K=۱/۲\times۱۰^{۷}$ ودر نتیجه فلوآنس اندازه‌گیری‌شده برابر $۱۰^{۱۰}$ نوترون‌بر سانتیمتر مربع میباشد.

دقت عمل حدود ۱۵ درصدو کمی بیشتراز دقتی‌است که از روش رادیوشیمی (۱۲ درصد) در مورد اندازه‌گیری مقدار $B_a^{۱۴۰}$ و $Mo^{۹۹}$ میباشد، اما روش آن سریعتر وعملی‌تر میباشد.

جدول ۲ - برای پلاستیك

محصولات Fistile	فلوآنس نوترونهای حرارتی درهرسانتیمتر مربع
اورانیوم Enrichi با ضخامت خیلی کم + پلاستیک آلومیزه Aluminisé	$۱۰^{۶}n/cm^{۲}$ تا $۱۰^{۳}$
اورانیوم‌طبیعی ، ضخامت هدف $۱۰۰A^{\circ}$ تا $۲۰۰A^{\circ}$ + پلاستیک آلومیزه با میکا	۷×۱۰^{۱۲} تا $۱۰^{۱۶}n/cm^{۲}$

دزیمتری نوترونهای متوسط و سریع

دتکسیون نوترونها باانرژی بیش‌از انرژی نوترونهای حرارتی در عمل خیلی مشکل میباشد.

Prevo تراسهای فیسیون ناشی از نوترونهای حرارتی وسریع را در میکای طبیعی مشاهده نمود.

اگر تصور کنیم که دانسیته اتمهای Fissiles و مقدار متوسط خط سیر L فراگمان فیسیون ثابت باشد واگر تعداد تراسهائی که از سطح عبور میکنند به H نشان‌دهیم خواهیم داشت :

$$H=L\Sigma\phi \qquad (۱)$$

Σ – سطح مقطع مؤثر میکرسکپی فیسیون

ϕ – فلوآنس نوترون

امکان عمل فیسیون در $U^{۲۳۰}$ یادر $U^{۲۳۸}$ یادرهر دو ماده در یک زمان وجود دارد در اینصورت معادله (۱) بصورت زیر در میآید :

$$H = Lt_{\circ} \int_{\circ}^{\infty} (\Sigma_{\circ} + \Sigma_{۸}) \varnothing (E) dE$$

که :

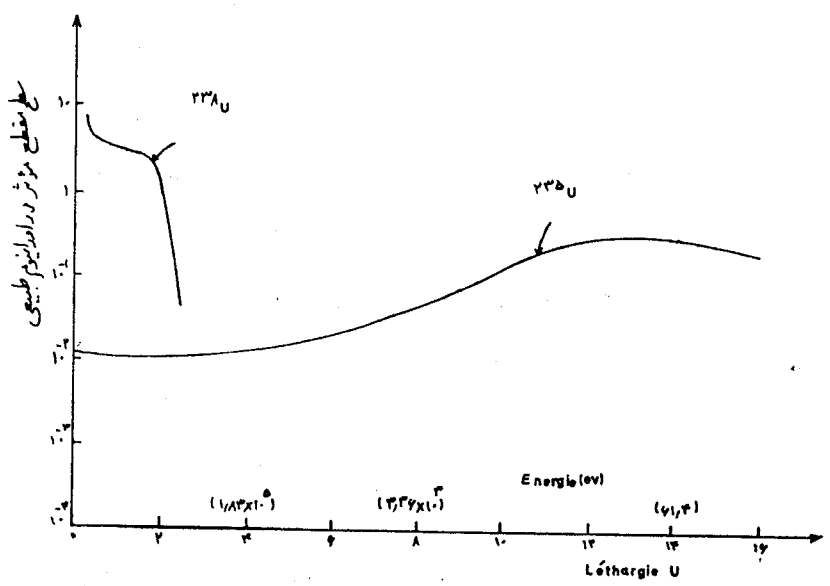
$$\varnothing = t_{\circ} \int_{\circ}^{\infty} \varnothing (E) dE$$

سطح مقطع مؤثر فیسیون $\Sigma_{\circ}$ مربوط به $U^{۲۳۰}$ و $\Sigma_{۸}$ مربوط به $U^{۲۳۸}$ که تابع (Léthargie) نوترون‌ها میباشد شکل (۱)

$$U = log \frac{E_{\circ}}{E} \quad , \quad E_{\circ} = ۱۰ Mev$$

بهمین ترتیب در یک‌نمونه از اورانیوم طبیعی ۰/. درصداز تعداد کل فیسیون‌ها از $U^{۲۳۸}$ و ۰/۲درصد ناشی‌از نوترونهای اپیترمیک (MeV ۰/٤۱٤ ≥) میباشد در یک نمونه که محاصره ومحافظت بوسیله پلاك محافظ از کادمیوم میشود ، تقریباً ۸۰ درصد از تعداد کل فیسیون ناشی از فیسیون $U^{۲۳۰}$ - بوسیله نوترونهای اپی ترمیک و. ۲درصد از $U^{۲۳۸}$ بوسیله نوترونهای سریع میباشد. بدین دلیل کار برد این روش بعنوان مشخص کننده فلوی نوترون احتیاج‌به‌شناخت اسکپتر نوترونها دارد .

باقرار دادن یک پوشش نازك از اورانیوم طبیعی برای کاهش اثر $U^{۲۳۰}$ روی دتکتور میتوان



شکل ۱ - سطح‌مقطع مؤثرمیکرسکپی فیسیون $U^{۲۳۰}$ و $U^{۲۳۸}$ در اورانیم طبیعی برحسب Léthargie نوترون‌ها

نوترونهای سریع بااثری بیش از یک میلیون‌الکترون ولت را اندازه‌گیری‌نمود .این عمل دارای‌دوحسن میباشد :

—کاهش‌اثر $U^{۲۳۵}$ باعث حذف پخش شدید نوترونهای‌اپی‌ترمیک که از $U^{۲۳۵}$ ناشی میشود خواهد شد.

—احتیاجی به‌پوشش کادمیوم نخواهد بود .

بطورکلی دونوع دزیمتری دراین مبحث مورد مطالعه‌قرار گرفت :

۱-برای دزیمتری نوترونهای کندوتند از دزیمترمیکا ساخته شده بوسیله Fleischer و Price و Walker استفاده میشود. وقتی مقصود اندازه‌گیری فلوآنس شدید نوترون است، پوشش نازك دزیمتر را برداشته وبشکل حذف ازآن استفاده میکنیم.

بااستفاده‌از این‌دونوع دزیمتر که‌یکی‌ازآنها دارای پوشش کادمیوم‌برای متوقف کردن نوترونهای حرارتی است ، امکان اندازه‌گیری دزناشی‌از نوترونهای حرارتی ونوترونها با انرژی زیاد جدا ازهم وجود دارد. باشمارش‌تراسها که در ورقه‌های میکاثبت شده است دانسیته ρ این تراسها تعیین میشود.در نتیجه فلوآنس نوترون‌بکمك فرمول زیر محاسبه میشود :

$$n=\frac{\rho M}{\sigma N_{\circ} t I}$$

که :

M — جرم اتمی ایزوتوپ ورقه Fissile میباشد.

σ — سطح مقطع مؤثر

t — ضخامت برحسب گرم برسانتیمتر مربع ورقه

$N_{\circ}$ — عدد آووگادرو

n — تعداد نوترونها در هر سانتیمتر مربع

باتوجه باینکه دانسیته ρ بین ۱۰ تا $۱۰^{۶}$ تراس بر سانتیمتر مربع‌را میتوان با میکرسکپ اندازه‌گیری‌نمود، دز ماکزیمم رامیتوان مشخص کرد (جدول ۳)

جدول ۳ - دز نوترونهای ثبت‌شده بکمك دزیمترهای Fleischer ، Price ، Walker

جنس ورقه Fissile	می‌نیمم دزقابل اندازه‌گیری		ماکزیمم دزقابل اندازه‌گیری	
	نوترون حرارتی	نوترون با انرژی ۱Mev	نوترون حرارتی	نوترون با انرژی ۱Mev
پلاك اورانیوم ۲mg/cm²	۰٫۵ میلی‌رم	۱۰۰ میلی‌رم	۱۰ مینی‌رم	$۱۰^{۴}$ رم
فیلم اورانیم ۲۰μg/cm²	۵۰ میلی‌رم	۱۰ میلی‌رم	۵×۱۰^{۳} رم	$۱۰^{۶}$ رم

۲-برای دزیمتری نوترونهای حرارتی ونوترونهابا انرژی متوسط از دزیمتر پلاستیک Baumgartner استفاده شد شکل منحنی ۲ سطح مقطع مؤثر فیسیون را برای ایزوتوپهای مختلف بـــرحسب انرژی های نوترون (بین صفر و. ۱ میلیون الکترون ولت)نشان میدهد. ازاین منحنی نتیجه‌میشود که :

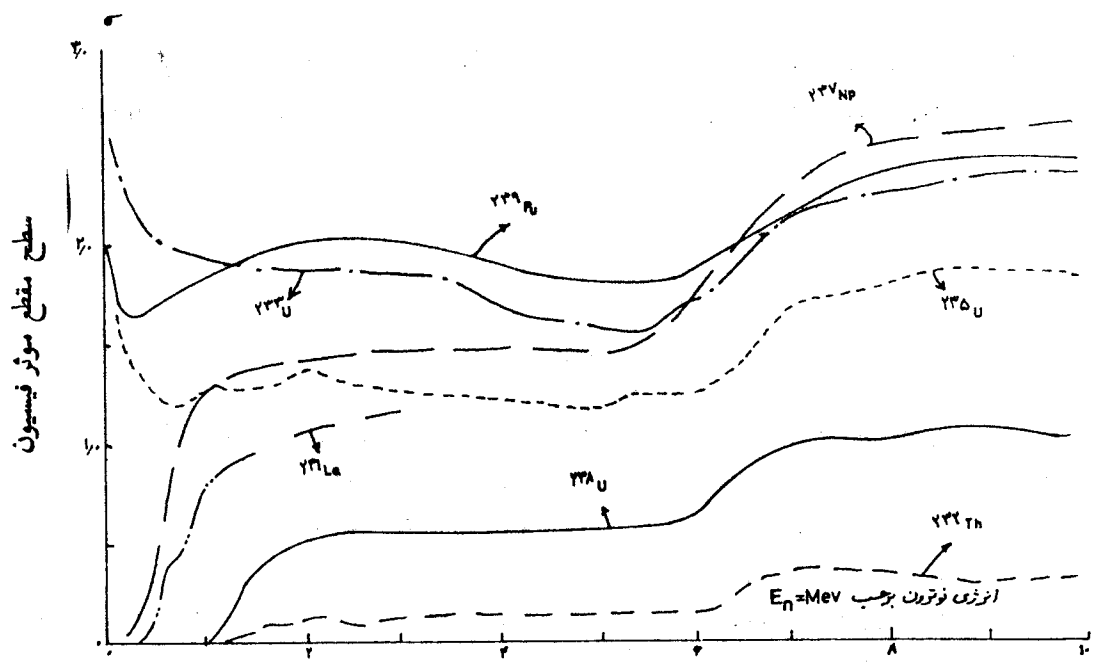
—حدانرژی برای فعل‌وا نفعال فیسیون باید پائین‌تراز MeV ۷/. باشد.

—جواب نتیجه شده از ورقه نباید بستگی‌به انرژی نوترونها داشته باشد .

—قادر به‌ارزشیابی در نوترون‌های حرارتی وتندبوده که درنتیجه‌بتوان تعداد نوترونهای حدوسط را مشخص نمود .

اگر منحنی ۲ رابخوبی مطالعه کنیم درك خواهیم کرد که هیچ یک از عناصر نمیتواند در آن‌واحد برای ما رضایت بخش باشد .

اجسام وموادی که بعنوان ورقه Fissile بکار میرود باید سعی شود که حتی‌الامکان ^{۲۳۵}U و ^{۲۳۸}U و ^{۲۳۲}Th باشد.



شکل ۲ ـ تغییرات سطح مقطع مؤثر فیسیون ایزوتوپ L متعدد برحسب انرژی نوترونها

درمورد نوترونهای‌حرارتی از ^{۲۳۵}U بعنوان ورقه Fissile استفاده میشود. و ^{۲۳۸}U و ^{۲۳۲}Th برای شرط اول فوق‌الذکر رضایت بخش نیست زیرا حد انرژی‌آن بیشتراز MeV۷/. است (MeV ۷۰/. برای ^{۲۳۸}U و MeV ۱/۰ برای ^{۲۳۲}Th)نپتونیوم ۲۳۷ (Neptunium) دارای‌حدانرژی MeV ٤/. میباشد ولی از نظر شیمیائی ناپایدار است و در هوا بحالت اکسید در میآید ، معهذا میتوان این اکسید را بامخلوط کردن مواد دتکتور قابل استفاده نمود. مدت تهیه این مخلوط طولانی است (یک یا دو روز) وغلظت اکسید نپتونیوم زیاد است تقریباً $۳۰mg/cm^۲$ میباشد. جدول شماره ٤ مشخصات محدود شده

دتکسیون نسبت بانرژی نوترونها و طبیعت ورقه‌های Fissiles بکار رفته وسطحی از دتکتورکه در مقابل تابش نوترون قرار گرفته نشان میدهد :

جدول ٤

مواد Fissiles	انرژی نوترونها	حد دتکسیون	
		فلوی نوترون	دز
^{235}U	حرارتی	$3 \times 10^{3} n/cm^{2}$	8×10^{-7} رم
	1Mev	$3 \times 10^{5} n/cm^{2}$	7×10^{-4} رم
^{238}U	6Mev تا 2	$3 \times 10^{7} n/cm^{2}$	1×10^{-3} رم
^{232}Th	6Mev تا 3	$1 \times 10^{7} n/cm^{2}$	5×10^{-4} رم
$^{237}N_p$	5Mev تا 1	$1 \times 10^{6} n/cm^{2}$	5×10^{-3} رم

بامقایسه نتایج حاصله از دو جدول ۳و٤ نتیجه میشود که دزیمترهای پلاستیکی ساخته‌شده‌بوسیله Baumgartner خیلی حساس‌تر از دزیمترهای میکا ساخته شده بوسیله Fleischer میباشد.

منابع

1 - Fleisher. R.L., Price. P.B et Walker. R.M. J. Nucl. Sci. Eng., 1965,70,2703.

2 - Fleischer. R.L., Price, P.B et Walker, R.M. J.Nucl. Sci. Engl., 1965,22,153.

3 - Cielsak. E., Piekarz. J., Zakrzewski. J, Nucl. Instr. and Methods, 1966.

4 - Mory. J. 1965, Rapport CEA - R - 2846 France.

5 - Baumgartner. W.V., Brackenbush, L.W.et Unruh.C.M. Symp. Solid State and Chemica Radiation Dosimetry, Vienne, 1966.

6 - Baumgartner. W.V., Brackenbush, L.W. et Unruh. C. M. Bnwl-SA-516,Health Physics Society Meeting, 1966.

7 - Baumgartner. W.V. , Brackenbush. L.W. et Unruh. C.M. Symp., Neutron Monitoring for Radiological Protection, Vienne, 1966.

8 - Lethanh . p. Compte rendu des « Etude de l'enregistrement des traces de particules dans les solides isolants et leurs applications ». à clermont - ferrand mai, 1969 France.

9 - Dragu, M.Nicolae Application du Nitrate de Cellulose à la dosimètrie des Neutrons rapides. Radioprotection Vol7, No. 2, 1972.