



Neutron Activation analysis

تحلیل فعالسازی نوترون

احمد مطہری نیا

مطهری نیا، احمد، ۱۳۶۱

تحلیل و فعالسازی نوترون / احمد مطهری نیا. قم: نشر آراسته، ۱۳۸۵.

۱۸۰ ص.

ISBN: 964-8798-20-6 ۱۸۰۰ ریال:

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

کتابنامه.

۱. اتم ۲. فیزیک هسته ای ۳. انرژی اتمی - تحقیق الف. عنوان.

۵۳۹/۷

ت ۶ م / ۱۷۳ QC

۱۳۸۵



تحلیل و فعالسازی نوترون
احمد مطهری نیا

تاریخ انتشار / خرداد ۱۳۸۵

نوبت چاپ / اول برهان

شمارگان / ۱۰۰۰

قیمت / ۱۸۰۰ تومان

ناشر / قم نشر آراسته

خیابان ارم، داخل سالن نمایشگاه کتاب برقی

تلفن ۰۲۵۱-۷۷۳۸۶۵۲

۷۷۴۲۴۷۶

شابک: ۹۶۴-۸۷۹۸-۲۰-۶ ISBN: 964-8798-20-6

تمامی حقوق مادی و معنوی به ای مؤلف محفوظ است.

فهرست

۱	فهرست.....
و	علامات و اختصارات.....
و	علامات یونانی.....
ح	علامات لاتین.....
ی	اختصارات.....
ک	مقدمه محقق.....
۱	فصل اول.....
۱	مقدمه.....
۱	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ اصول فیزیکی.....
۳	۱-۲-۱ برهم کنش نوترون و ماده.....
۴	۲-۲-۱ اندرکنش گاما و ماده.....
۶	۳-۲-۱ انتقال ذرات.....
۸	۳-۱ طبقه بندی مطلق و نسبی.....
۹	۴-۱ تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل شده از نمونه‌های کوچک.....
۱۰	۵-۱ تحلیل ابزاری فعالسازی نوترون در نمونه‌های بزرگ.....
۱۱	۶-۱ اهداف و معیارها.....
۱۴	۷-۱ رویکرد این کتاب.....
۱۶	۸-۱ مراجع.....
۱۸	فصل دوم.....
۱۸	تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل شده از نمونه‌های حجیم
۱۹	۱-۲ تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل شده از نمونه‌های حجمی به وسیله‌ی مولدها و یا چشمه‌های همگن.....
۲۲	۲-۲ تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل شده از نمونه‌ی بزرگ با باریکه‌ی نوترون با استفاده از روشهای درجه بندی عملی.....
۲۳	۳-۲ تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل شده از نمونه‌ی بزرگ با یک باریکه‌ی نوترون با استفاده از شبیه‌سازیها برای استانداردسازی.....

۲۳	۱-۳-۲ مجموعه‌ی تقریب خطی حداقل مربعات مونته کارلو
۲۵	۲-۳-۲ روش تکرار نقطه‌ی ثابت
۲۷	۴-۲ خودحفاظی نوترون و تضعیف گاما
۲۸	۵-۲ مراجع
۳۰	فصل سوم
۳۰	روشهای شبیه سازی مونته کارلو در محاسبات انتقال گاما و نوترون
۳۰	۱-۳ مقدمه
۳۱	۲-۳ روشهای شبیه سازی مونته کارلو
۳۱	MCNP ۱-۲-۳
۳۲	BUDA ۲-۲-۳
۳۳	CSA ۳-۲-۳
۳۳	۳-۳ مقایسه‌ی آموزشی بین BUDA و MCNP
۳۳	۱-۳-۳ توزیع سرعت ماکسول-بولتزمن
۳۵	۲-۳-۳ روش و تنظیمات محاسباتی
۳۷	۲-۳-۳ نتایج
۳۸	۴-۳ مراجع
۳۹	فصل چهارم
۳۹	مقایسه‌ی توزیع چگالی نوترون تعیین شده به صورت عملی و شبیه‌سازی
۳۹	۱-۴ مقدمه
۴۱	۲-۴ تنظیمات آزمایشگاهی
۴۳	۳-۴ تنظیمات محاسباتی
۴۴	۴-۴ روش
۴۸	۵-۴ نتایج و مباحث
۴۹	۶-۴ نتایج
۴۹	۷-۴ مراجع
۵۰	فصل پنجم
۵۰	بسط روش غیر تهاجمی برای تعیین توزیع چگالی نوترون درون ماده‌ی نمونه
۵۰	۱-۵ مقدمه
۵۲	۲-۵ روش و تنظیمات محاسباتی
۵۲	۱-۲-۵ تعیین روابط

۵۴	۲-۲-۵ کاربرد روابط
۵۶	۳-۵ نتایج و مباحث
۵۶	۱-۳-۵ نمایشگر شار در زاویه 180° درجه
۵۸	۲-۳-۵ نمایشگر شار در زاویه صفر درجه
۶۱	۳-۳-۵ نمایشگر شار در زاویه 45° درجه
۶۴	۴-۳-۵ نمایشگر شار در زاویه 135° درجه
۶۶	۵-۳-۵ کاربرد روابط یافت شده
۷۱	۴-۵ نتایج
۷۳	۵-۵ مراجع
۷۴	فصل ششم
۷۴	تأثیر جرم اتمی مؤثر بر توزیع چگالی نوترون درون ماده
۷۴	۱-۶ مقدمه
۷۵	۲-۶ تئوری
۷۸	۳-۶ تنظیمات محاسباتی و روشها
۷۸	۱-۳-۶ تأثیر جرم اتمی مؤثر بر توزیع چگالی نوترون درون ماده‌ی نمونه
	۲-۳-۶ تأثیر جرم اتمی مؤثر بر تعیین سطح مقطع جذب و پراکندگی
۸۱	ماکروسکوپی ماده‌ی نمونه
۸۲	۴-۶ نتایج و مباحث
۸۲	۱-۴-۶ تأثیر جرم اتمی مؤثر بر توزیع چگالی نوترون درون ماده‌ی نمونه
	۲-۴-۶ تأثیر جرم اتمی مؤثر بر تعیین سطح مقطع جذب و پراکندگی
۸۵	ماکروسکوپی ماده‌ی نمونه
۸۸	۵-۶ نتایج
۸۹	۶-۶ مراجع
۹۰	فصل هفتم
۹۰	بسط روشهای غیر تهاجمی برای تعیین بازده کلی آشکارساز گاما
۹۱	۱-۷ مقدمه
۹۴	۲-۷ برآورد ضریب تضعیف گامای مواد نمونه
۹۸	۳-۷ روش مؤننز
۹۹	۴-۷ روش مؤننز در دستورالعمل مونته کارلو
۱۰۴	۵-۷ نتایج و مباحث
۱۰۵	۶-۷ مراجع

فصل هشتم..... ۱۰۶

آزمون روش شناسی بسط یافته برای تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای

آنی گسیل شده از نمونه‌ی بزرگ..... ۱۰۶

۱-۸ مقدمه..... ۱۰۷

۲-۸ تنظیمات آزمایشگاهی و روش..... ۱۰۷

۱-۲-۸ آماده سازی نمونه..... ۱۰۷

۲-۲-۸ ابزار آلات..... ۱۱۰

۳-۲-۸ روش کار..... ۱۱۰

۴-۲-۸ تصحیح خود حفاظی نوترون..... ۱۱۳

۵-۲-۸ تصحیح تضعیف گاما..... ۱۱۴

۶-۲-۸ به دست آوردن داده‌های عملی..... ۱۱۴

کسر جرم سیلیسیوم تعیین شده بدون تصحیحات (تقریب A)..... ۱۱۷

کسر جرم سیلیسیم تعیین شده با استفاده از طبقه بندی نسبی (تقریب B)..... ۱۱۷

کسر جرم سیلیسیوم تعیین شده با استفاده از طبقه بندی مطلق (تقریب C)..... ۱۱۸

۳-۸ نتایج و مباحث..... ۱۱۸

۱-۳-۸ کسر جرم سیلیسیوم تعیین شده بدون تصحیحات (تقریب A)..... ۱۲۱

۲-۳-۸ کسر جرم سیلیسیوم تعیین شده با استفاده از طبقه بندی نسبی (تقریب B)..... ۱۲۲

۳-۳-۸ کسر جرم سیلیسیوم تعیین شده با استفاده از طبقه بندی مطلق (تقریب C)..... ۱۲۳

۴-۳-۸ دیگر تذکرات..... ۱۲۴

۴-۸ نتایج..... ۱۲۵

۵-۸ مراجع..... ۱۲۶

فصل نهم..... ۱۲۷

مباحث و نتایج..... ۱۲۷

۱-۹ مقدمه..... ۱۲۷

۲-۹ نگهدارنده‌های سازگار..... ۱۲۸

۳-۹ تعیین مشخصات نمونه..... ۱۲۹

۴-۹ عدم دقت..... ۱۳۰

۱-۴-۹ عدم دقت در تحلیل فعالسازی نوترون نمونه‌ی کوچک..... ۱۳۰

۲-۴-۹ عدم دقت کلی در تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل

شده از نمونه‌ی بزرگ..... ۱۳۲

۳-۴-۹ عدم دقت روش تصحیح خود حفاظی نوترون..... ۱۳۴

۴-۴-۹ عدم دقت روش تصحیحی برای تضعیف گاما..... ۱۳۵

۱۳۵	۵-۴-۹ عدم دقت در طبقه بندی مطلق و نسبی
۱۳۶	۵-۹ رویکردهای آتی
	۱-۵-۹ تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آبی گسیل شده از نمونه‌ی بزرگ
۱۳۶	فراتر از محدودیتهای یافت شده
	۲-۵-۹ تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آبی گسیل شده از نمونه‌ی بزرگ
۱۳۸	برای نمونه‌های غیر همگن
۱۳۹	۶-۹ مراجع
۱۴۰	فصل دهم
۱۴۰	نوترونها و مولدهای نوترون
۱۴۰	۱-۱۰ مقدمه
۱۴۰	۲-۱۰ زمینه‌ی تاریخی
۱۴۴	۳-۱۰ حفاظ چشمه‌های نوترون
۱۴۶	۴-۱۰ چاه‌پیمایی و چشمه‌های چگال نوترون
۱۴۷	۵-۱۰ دستگاه ساده‌ی گاو و رابی
۱۵۰	۶-۱۰ کانون پلاسمای چگال
۱۵۴	۷-۱۰ توسعه‌ی دستگاه تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آبی هانارو
۱۵۶	۸-۱۰ توسعه‌ی نرم افزار تحلیل
۱۵۶	۹-۱۰ مراجع
۱۵۷	پیوست الف
۱۵۷	تطبیق حداقل مربعات
۱۵۹	پیوست ب
۱۵۹	ضرایب k_0 آبی تعیین شده با استفاده از روش Budapest

علامات و اختصارات

علامات یونانی^{*}

زاویه‌ای خاص (۰.۴۵، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه)	α
فاصله‌ی طولی میانگین نوترون از مرکز جرم	Δd
فاصله‌ی شعاعی میانگین نوترون از مرکز جرم	Δr
انتقال در راستای محور X	Δx
انتقال در راستای محور Y	Δy
بازده آشکارسازی قله‌ی تمام انرژی	ε
بازده هندسه‌ی مرجع	ε_{ref}
بازده شمارش هندسی x	ε_x
چرخش حول محور X	ϑ
فراوانی ایزوتوپ	θ
ثابت واپاشی	λ
ضریب تضعیف گاما	μ
ضریب کل تضعیف گاما	μ_t
چگالی	ρ
چگالی اتم	ρ
انحراف استاندارد	σ
سطح مقطع جذب میکروسکوپی	σ_a
سطح مقطع جذب میکروسکوپی در سرعت v	$\sigma_{a,0}$

^{*} در این لیست، علامات مورد استفاده در چند جمله‌ای‌های فصل ۵ داده نشده است. علاماتی هم که فقط در بخش تئوری فصل ۶ یا پیوست استفاده شده نیز آورده نشده است.

سطح مقطع مؤثر جذب میکروسکوپی	m^2	$\sigma'_s (m^2)$
سطح مقطع پراکندگی میکروسکوپی	m^2	σ_s
میانگین شار سطح مقطع جذب میکروسکوپی	m^2	$\langle \sigma_s \rangle$
سطح مقطع جذب ماکروسکوپی	m^{-1}	Σ_s
سطح مقطع جذب ماکروسکوپی در سرعت v	m^{-1}	$\Sigma_{s,0}$
سطح مقطع پراکندگی ماکروسکوپی	m^{-1}	Σ_s
سطح مقطع ماکروسکوپی کل	m^{-1}	Σ_t
زمان مرده	s	τ
زمان مرده‌ی MCA	s	τ_M
زمان مرده‌ی سیستم	s	τ_S
چرخش حول محور Y	$^\circ$	φ
شار کل ماکسول-بولتزمن	$m^{-2}s^{-1}$	$\langle \varphi \rangle_{MB}$
شار حرارتی کل	$m^{-2}s^{-1}$	$\langle \varphi \rangle_{th}$
شار نوترون	$m^{-2}s^{-1}$	φ
جریان نوترون		Φ
مقدار مربع خبی		χ^2
مقدار کاهش یافته‌ی مربع خبی		χ_r^2
زاویه‌ی ثابت	استرادیان	Ω
شفافیت تصویر	استرادیان	Ω_b
زاویه‌ی مؤثر ثابت	استرادیان	$\hat{\Omega}$

علامات لاتین*

سطح خالص قله‌ی تمام انرژی، تصحیح شده برای زمان مرده	A
تعداد گامای گسیل شده در واحد نوترون جذب شده	b
بازه‌ی شمارش s^{-1}	C
پارامتر تبدیل	d
عمق نسبت به r_{in} m	d
مختصات d مرکز جرم m	d _{CM}
تعداد درجات آزادی	D _f
انرژی گاما eV	E _γ
انرژی نوترون eV	E _n
فرکانس s^{-1}	f
ضریب خود حفاظی	f
ضریب گسیلنده پالس	f _p
ضریب جفت شدگی	F
کسر جرم تابش دیده‌ی معادل	F
جزء خاص	i
انرژی خاص گاما	i
ایزوتوپ خاص	i
شدت (نسبی) گاما	I _γ
ثابت بولتزمن $J K^{-1}$	k
جرم kg	m
جرم مولی $Kg mol^{-1}$	M
جرم اتم	M

* در این لیست، علامات مورد استفاده در چند جمله‌ای‌های فصل ۵ داده نشده است. علاماتی هم که فقط در بخش تئوری فصل ۶ یا پیوست استفاده شده نیز آورده نشده است.

جرم اتمی مؤثر	M_e
توزیع سرعت ماکسول-بولتزمن	$M(v)$
چگالی نوترون	n
تعداد کل نوترون جذب شده	n_a
چگالی اتم	N
چگالی ایزوتوپ	N
عدد آووگادرو	N_{AV}
تعداد کل اتمها	N_0
تعداد کل پالسهای مشاهده شده در طیف PGNA	N_p
تعداد گاما	N_γ
احتمال جذب نوترون در پولک مسی	P
ثابت انباشته شدن یونها	P
کیفیت تطبیق	Q
شمع	r
فاصله تا محور مرکزی باریکه	r
محل جذب نوترون	r
موقعیت در نمونه	r
شمع سوراخ موازی ساز	r_c
محل ورود باریکه نوترون به نمونه	r_{in}
چگالی آهنگ گیراندازی	R
چگالی آهنگ اندرکنش	R
سطح مقطع شییء	S
سطح مقطع باریکه‌ی نوترون	S
مقدار MCNP شمارشگر FM4	t_{FM4}
زمان نوردهی	t_i
زمان انتظار	t_w

زمان شمارش	s	t_c
زمان حیات	s	t_L
زمان ساعت	s	t_r
(احتمال) انتقال		T
دما	K ⁻¹	T
دمای مرجع، به طور قراردادی برابر با ۲۹۳,۱۵ K	K	T_0
ضخامت نمونه	m	x
عمق درون ماده	m	x
فاصله‌ی آشکارساز نمونه	m	x_d
لایه خاص		v
سرعت نوترون	$m\ s^{-1}$	v
سرعت نوترون مرجع، به طور قراردادی برابر با $2200\ m\ s^{-1}$	$m\ s^{-1}$	v_0
حجم نمونه	m^3	V
کسر جرم جزء		w
توزیع چگالی بهنجار شده	$m^{-2}\ s^{-1}$	w
عدد اتمی		Z

اختصارات

مرکز جرم	CM
قله‌ی دوقراری	DE
تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای تأخیری	DGNAA
قله‌ی تمام انرژی	FE
تحلیل ابزارهای فعالسازی نوترون	INAA
تحلیل ابزارهای نمونه‌ی بزرگ به روش فعالسازی نوترون	LS-INAA
تحلیل نمونه‌ی بزرگ به روش فعالسازی نوترون از روی گامای آنی	LS-PGNAA
تحلیل فعالسازی نوترون	NAA
تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی	PGNAA
قله‌ی تک فراری	SE

تحلیل فعالسازی نوترون یک تکنیک فوق حساس تحلیلی است که برای تعیین اجزاء تشکیل دهنده‌ی مواد از یک ساختار کلی تا عناصر جزئی (اغلب با دقت در بیلیون) استفاده می‌شود. اگرچه روشهای دیگری برای تحلیل وجود دارند، تحلیل فعالسازی نوترون به عنوان روش مرجع پیشنهاد می‌شود.

روش تحلیل فعالسازی نوترون تا حدودی شبیه به ردیابی صوتی دریایی می‌باشد: در ابتدا مقداری تابش با مشخصات معلوم گسیل می‌شود و سپس آنچه که برمی‌گردد تحلیل می‌شود. در تحلیل فعالسازی نوترون یک پالس نوترون، نمونه‌ای را تحت تابش قرار می‌دهد، نمونه فعال می‌شود و سپس تابشهای گامای ثانویه‌ای به عنوان واپاشی هسته‌های مورد انتظار موجود در نمونه گسیل می‌کند. برهمکنشی که القا می‌کند و مشاهده می‌گردد گیراندازی نوترون است و به صورت (n, γ) نمایش داده می‌شود. دو نوع اثر داریم: ۱) تابشهای آنی؛ که نتیجه می‌شوند وقتی که هسته‌ی مورد انتظار سریعاً واپاشی می‌کند به آرایشهای پایدارتری به وسیله‌ی گسیل یک یا چند اشعه‌ی گامای مشخصه و ۲) تابشهای تأخیری؛ که هسته‌ی رادیواکتیو با سرعت کمتری واپاشی می‌کند که به حسب نیمه عمر هسته‌های رادیواکتیو از میلی ثانیه تا سالها گسترده است. معمولاً اثر تأخیری است که در تحلیل فعالسازی نوترون مورد توجه است و تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای تأخیری خوانده می‌شود.

در این کتاب بیشتر روی تحلیل فعالسازی نوترون از روی گامای آنی گسیل شده از نمونه‌ی بزرگ به طور خاص کار شده است. حوزه‌ی استفاده از تحلیل فعالسازی نوترون شامل تحلیل نمونه‌های باستان شناسی، شیمی زیستی (بیوشیمی)، اپی دمیالوژی^۱، فورنسیکس^۲ و تکنولوژی نیمه‌رساناها است. در این حوزه نمونه‌ها معمولاً به درون محل تحلیل آورده می‌شوند. حوزه‌ی دیگری برای تحلیل فعالسازی نوترون در معدن یابی (مثل نفت و طلا و...) می‌باشد. در این حالت تجهیزات تحلیل فعالسازی نوترون باید به محل نمونه برده شوند و معمولاً در سوراخهای عمیق در زیر زمین قرار

¹ epidemiology
² forensics

می‌گیرند. این کار مانع استفاده از مولدهای نوترون حجیم در مقیاس آزمایشگاهی می‌شود و باید به سوی شتاب دهنده‌های کاملاً مهر و موم شده هدایت شود.

این کتاب در واقع مجموعه‌ای است از چند مقاله که از میان انبوه اطلاعات در دسترس بر روی اینترنت گلچین شده و در مرحله‌ی اول تلاش بر مفید فایده بودن مطلب و سپس به روز بودن آنها بوده است.

شاکله و اسکلت اصلی این کتاب را که نه فصل اولیه‌ی کتاب را تشکیل می‌دهد ترجمه‌ی کامل و دقیق پایان‌نامه‌ی دکترایی با عنوان "Towards a methodology for large-sample prompt-gamma neutron-activation analysis" ارائه شده در ۲۳ نوامبر ۲۰۰۴ در دانشگاه Delft هلند می‌باشد.

یک سیستم کامل تحلیل فعالسازی نوترون مشتمل است بر چشمه‌های نوترون، یک آشکارساز گاما و یک کاتالوگ از تمام برهمکنشهای ممکن که زمانی که نوترون با هسته‌های مختلفی اندرکنش می‌کند اتفاق می‌افتند. از این رو فصل ۱۰ برای آشنایی مختصری با ابزارآلات مورد استفاده به کتاب اضافه گردیده که خود از دو مقاله‌ی مجزا تشکیل شده است. مقاله‌ی اول که بخش عمده‌ی فصل را تشکیل می‌دهد مقاله‌ای است تحت عنوان "Neutrons and Neutron Generators" اثر Steve Hansen مخترع نوعی دستگاه کانون پلاسمای چگال به نام Mini-F منتشره در "the Bell Jar" Vol.6, No 3/4, Summer/Autumn 1997 و بخش دوم آن گزیده‌ای از گزارش آژانس بین المللی انرژی اتمی تحت عنوان "Development of Databases for Prompt γ -ray Neutron Activation Analysis" در ۱۷ می ۲۰۰۱ می‌باشد.

در پیوست ب جدول ضرایب تعیین شده‌ی k_0 با استفاده از نرم‌افزار بودا "Budapest" از مقاله‌ای تحت عنوان "New Capture Gamma-ray Data for PGNAA Database" اثر G.L.Molnar آورده شده و در نهایت در طرح پشت جلد از جدول تناوبی با رویکرد NAA از سایت www.elementalanalysis.com استفاده گردیده است.

باور داریم که در جهت تولید علم، ناگزیر از عبور از مجرای ترجمه‌ایم، اما ترجمه فقط ابزاری کوچک و ابتدایی است که بی‌شک توقف در آن و بسنده کردن بدان، بزرگترین آفت و مانع ترقی و رشد است. امیدواریم که این اثر ناچیز نقطه‌ی شروعی باشد برای تحقیقات گسترده‌ی عملی و صد در صد داخلی تا بتوانیم به هدف والا و متعالی خودکفایی علمی برای پیشرفت کشور عزیز و مستقل اسلامیان دست یافته و

گامهای ترقی را سریعتر از گذشته بهیماییم و حق و جایگاه از دست رفته علمیان را
احیا کرده و ندای پیامبر اعظم را که فرمودند "اگر علم در ستاره‌ی ثریا باشد ما در آنجا
مردانی از پارس داریم" را بیش از پیش به رخ جهانیان بکشیم.

www.ketab.ir