

اندازه گیری عناصر سبک در دو نمونه سفال به روش PIGE

نسرین نادریان^۱ ، محمد لامعی رشتی^۲

۱- دانشگاه آزاد تهران مرکز

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

چکیده

در این پژوهش به بررسی تابع برانگیختگی دو نمونه سفال پرداخته شده و با مقایسه طیف آنها با طیف عناصر خالص آلومینیم، سیلیسیم، منیزیم و نمک طعام، وجود و مقدار این عناصر سبک در این سفالها اندازه گیری شده است. این آزمایشات با روش ^{26}Al PIGE انجام گرفته است و با استفاده از طیف گامای گرفته شده از واکنش هسته ای (p,γ) روی نمونه ها به بررسی آنها پرداخته شده است.

مقدمه

اندازه گیری عناصر سبک در نمونه های مختلف همواره از چالش های روش های مختلف آنالیز^[1,2,3] بوده است. نحوه ترکیب و توزیع عناصر سبک در نمونه سبب تغییر خصوصیات مکانیکی، اپتیکی، الکتریکی و شیمیایی سطحی می شود. بهبود خواص این مواد نیاز به تعیین کمی این عناصر سبک در نمونه دارد. در این کار پژوهشی اندازه گیری کمی چهار عنصر سدیم، آلومینیم، منیزیم و سیلیسیم با استفاده از واکنش هسته ای (p,γ) بررسی خواهد شد. روشهای آنالیز XRF[#] (فلوئورسانس اشعه ایکس) و PIXE[&] عموماً برای تعیین عناصر سنگین ($Z > 17$) در نمونه ها بکار می رود. از آنجا که خطوط K و L مربوط به عناصر با $Z < 17$ انرژی کمی دارند دچار جذب بزرگی می شوند و بنابراین کارایی آشکارسازی خیلی کمی دارند.

روش PIGE که به آشکارسازی پرتوهای گامای منتشره از واکنشهای (p,γ) ، $(p,p\gamma)$ و $(p,\alpha\gamma)$ منحصر می گردد در مورد این عناصر نتایج قابل توجهی به دست می دهد. وقتیکه باریکه یونی با انرژی بیشتر از سد کولنی به هدفی شامل عناصر سبک می رسد، از آنجا که سد کولمبی کوچکی دارند، یونهای پرنانرژی قادرند که با اتمهای هدف واکنش هسته ای انجام دهند که نتیجه آن یک هسته در حالت تحرکی می باشد. در فرایند برگشت، این هسته برانگیخته پرتوهای گاما منتشر می نماید. انرژی این پرتوهای گاما مشخصه هسته

منتشر کننده آنهاست . همچنین ترکیب نمونه را می توان با اندازه گیری شدت فوتونهای گاما بدست آورد.

[5] انرژی و شدت فوتونهای پرتوهای گامای منتشر شده را با آشکارساز Ge(Li) که دارای تفکیک پذیری انرژی حدود 2-3 MeV برای فوتونهای 1.175MeV مربوط به ^{60}Co اندازه گیری می شود . یکی از مسائلی که با آن مواجه می شویم همپوشانی بین کانالهای مختلف واکنش می باشد (Overlapping) یعنی واکنشهای هسته ای روی عناصر مختلف که به یک هسته خاص منجر شده و یک پرتوگامای خاص منتشر می نمایند) . مسئله دیگر انتخاب پرتو گامایی با ماکزیمم شدت است که باید مونیتور گردد و دیگر کاربرد صحیح تضعیف انرژی می باشد. در این تحقیق از نمونه های از عناصر خالص آلومینیم ، منیزیم ، سیلیسیم و نمونه ای از نمک طعام استفاده شد که توسط باریکه پروتون با انرژی $E_p=1.5 - 2.5$ با زاویه 0° بمباران گردیدند . هدف انتخاب پرتوهای گامای خاصی از هر عنصر برای استفاده در تعیین همزمان آنها در یک نمونه می باشد

روش کار :

آزمایشات در آزمایشگاه واندوگراف سازمان انرژی اتمی ایران انجام شده است . این شتاب دهنده واندوگراف دارای ولتاژ 1.5MV بین پایانه های خود می باشد. باریکه پروتون شتاب داده شده با عبور از موازی سازها با قطر حدود 3mm بر روی هدف جهت دهی شده است . این باریکه با زاویه 45 درجه با آشکارساز قرار گرفته است . آشکارساز مورد استفاده قرار گرفته یک آشکارساز HpGe می باشد که دارای تفکیک پذیری 1.9keV برای گامای 1334keV مربوط به ^{60}Co می باشد. این آشکارساز با ولتاژ 5600V توسط Bias Supply بایاس می گردد. هدف در زاویه صفر درجه با امتداد باریکه پروتون قرار می گیرد . این هدفها عبارتند از ورقه آلومینیوم با قطر تقریباً 2mm ، ورقه ای از سیلیسیم یا قطری در همین حدود و قرصهایی از منیزیم خالص و نمک طعام که این دو با قرار دادن پودرهای مربوطه در دستگاه فشار و اعمال فشار لازم بر

آنها بدست می آیند. آماده سازی شامل چسباندن نمونه ها روی گیره و قرار دادن در اطاقک واکنش و رساندن اطاقک واکنش به خلا یی در حدود 4.5×10^{-5} Torr می گردد. سپس قرصهایی از چند نمونه استاندارد آژانس بین المللی انرژی اتمی تهیه و برای آزمایش آماده گردید و در نهایت دو نوع سفال از کاشیهای قدیمی برای مشخصه یا بی و اندازه گیری عناصر سبک مورد نظر در آنها مورد آزمایش قرار گرفتند. برای باریکه پروتون در انرژیهای 1.5 تا 2.5 MeV با فاصله 100 keV آزمایش انجام و طیف گامای بدست آمده توسط کامپیوتر متصل به دستگاه تحلیلگر چند کاناله (MCA) ذخیره و تحلیل می گردد. برای هر آزمایش بار را تا 400000 Count جمع آوری می نماییم و از آنجا که دستگاه Current Digitizer به ازای هر 10^{-10} کولن بار ایجاد شده روی فنجان فارادی ، یک شمارش (count = 1) را ثبت می نماید. بنابراین وقتی شمارش به 400000 می رسد ، بار جمع شده برابر با $40 \mu\text{C}$ است.

نتایج و تحلیل آنها :

جدول زیر مقادیر شدتهای واکنشها و همپوشانی های آنها در بعضی از گاما ها را برای باریکه پروتون در انرژی 1.5 MeV و 2.5 MeV نشان می دهد. و توابع برانگیختگی نیز نشان داده شده است .

از بررسی طیف ها و توابع برانگیختگی نتایج زیر را در مورد مشخصه یابی عناصر بدست آمده است :

پیک پرتو گامای با انرژی 440 keV حاصل از واکنش $^{23}\text{Na}(p,p'\gamma)^{23}\text{Na}$ در محدوده انرژیهای این آزمایش

بزرگ و مشخص می باشد و از آنجا که با هیچ کانال واکنش دیگری همپوشانی ندارد ، می تواند برای

تشخیص سدیم در نمونه بکار رود.

پیک پرتو گامای 585 keV از واکنش $^{25}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{25}\text{Mg}$ در همه محدوده انرژیها ، گامای 390 keV از انرژی

1.8 MeV به بعد و ، گامای 974 keV از انرژی 1.9 MeV به بعد کاملاً مشخص هستند و با کانال واکنش

دیگری همپوشانی ندارد و می تواند بعنوان پیک مشخصه منیزیم بکار رود.

پیک پرتو گامای 1779keV از واکنش $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$ را می توان در این محدوده انرژی برای شناسایی

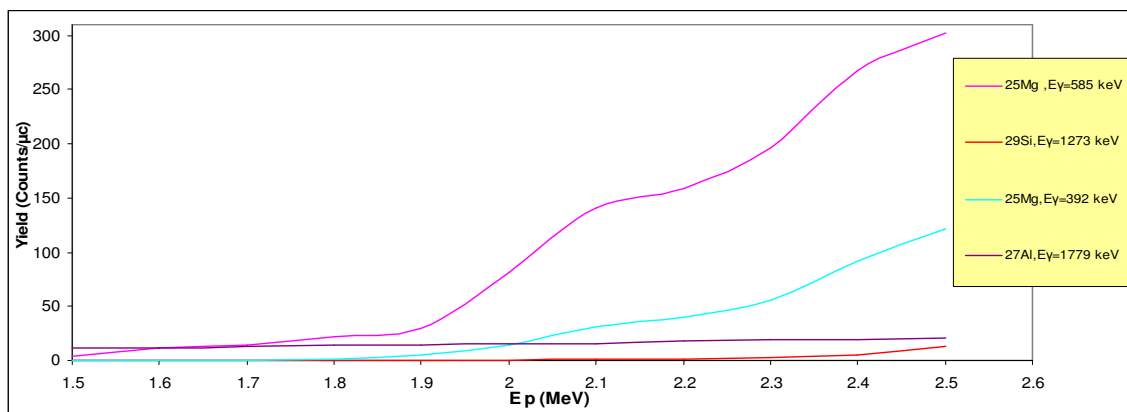
آلمینیوم در نمونه به کار برد اما از حدود انرژی 2.4MeV به بعد با کانال $^{28}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{28}\text{Si}$ همپوشانی دارد.

در انرژی های بالاتر از 1.7MeV گامای 1014keV از واکنش $^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$ گزینه خوبی برای شناسایی

آلمینیوم میباشد. برای سیلیسیم تنها می توان گامای 1273keV را از واکنش $^{29}\text{Si}(p,p'\gamma)^{29}\text{Si}$ برای انرژی

2.1MeV به بالا برای شناسایی به کار برد که با کانال واکنش دیگری همپوشانی نداشته باشد. این نتایج

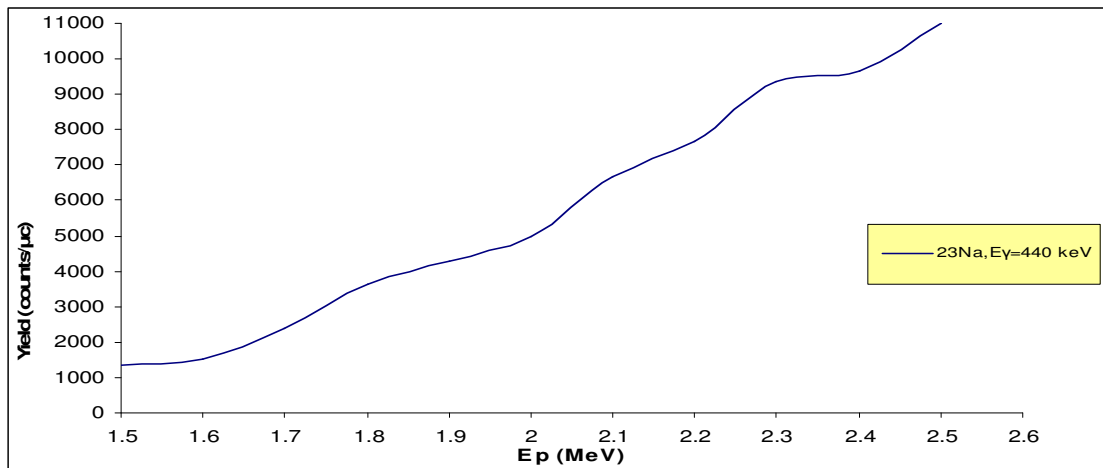
استفاده نموده و دو نمونه سفال را با فراهم آوردن شرایطی مشابه مورد بررسی قرار دادیم .



نمودار ۱ : تابع برانگیختگی برای واکنش (p,γ) عناصر آلومینیوم و منیزیم و سیلیسیم

جدول ۱ : مقادیر شدت واکنشها و همپوشانی ها در هر مورد

Target	Reaction	Ey (keV)	1.50			2.00			2.50		
			Yield (count/μc)	Overlap	Yield (count/μc)	Yield (count/μc)	Overlap	Yield (count/μc)	Yield (count/μc)	Overlap	Yield (count/μc)
Mg	$^{25}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{25}\text{Mg}$	392	0.3625			14.2			121.275		
	$^{25}\text{Mg}(p,\alpha\gamma)^{25}\text{Mg}$	585	3.95			80.8			302.55		
	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	846	0.3	$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	0.225	0.675	$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	116.85	4.85	$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	790.225
	$^{25}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{25}\text{Mg}$	974	0.1125			8.125			69.65		
	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	1016	0.175	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	0.05	1.3	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	0.05	8.6	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	2.15
	$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	1368	0	$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	0.2		$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	149.425		$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	1422.1
Na	$^{23}\text{Na}(p,p'\gamma)^{23}\text{Na}$	442	1338.95			4994.438			10885.93		
	$^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$	1368	5.825	$^{27}\text{Al}(p,\alpha\gamma)^{24}\text{Mg}$	0.075	6.9785	$^{27}\text{Al}(p,\alpha\gamma)^{24}\text{Mg}$	31.8	7.4	$^{27}\text{Al}(p,\alpha\gamma)^{24}\text{Mg}$	138.6875
	$^{23}\text{Na}(p,\alpha\gamma)^{20}\text{Ne}$	1634		$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	0		$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	0.375		$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	350.575
	$^{23}\text{Na}(p,p'\gamma)^{23}\text{Na}$	1636	102.7			448.5875			1845.85		
Al	$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	846	0.225	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	0.3	116.85	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	0.675	790.225	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	4.85
	$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	1016	0.2	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	0.05	149.425	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	0.05	1422.1	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	2.15
				$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	0.175		$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	1.3		$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	8.6
				$^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$	5.825		$^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$	6.9875		$^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$	7.4
	$^{27}\text{Al}(p,\alpha\gamma)^{24}\text{Mg}$	1368	0.075	$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	0	31.8	$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	0.375	138.6875	$^{24}\text{Mg}(p,p'\gamma)^{24}\text{Mg}$	305.575
	$^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$	1779	11.175	$^{28}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{28}\text{Si}$	0.05	13.6	$^{28}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{28}\text{Si}$	0.1	20.675	$^{28}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{28}\text{Si}$	0.65
Si	$^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$	2838	0.1125			0.325			2.25		
	$^{30}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{27}\text{Al}$	1016	0.05	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	0.175	0.05	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	1.3	2.15	$^{26}\text{Mg}(p,\gamma)^{27}\text{Al}$	8.6
				$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	0.2		$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	149.425		$^{27}\text{Al}(p,p'\gamma)^{27}\text{Al}$	1422.1
	$^{30}\text{Si}(p,\gamma)^{31}\text{P}$	1268	0.175			0.725			0.6875		
	$^{29}\text{Si}(p,p'\gamma)^{29}\text{Si}$	1274	0.1			0.625			12.65		
$^{28}\text{Si}(p,\alpha\gamma)^{28}\text{Si}$	1779	0.05	$^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$	11.175	0.1	$^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$	13.6	0.65	$^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$	20.675	



نمودار ۲: تابع برانگیختگی برای واکنش (p,γ) سدیم

ابتدا طیف PIXE^[4] این دو نمونه سفال گرفته شده و عناصر عمده موجود در آنها با مقادیرشان شناسایی گردیده اند که نتایج باین شرحند:

جدول ۲: غلظت ترکیبات نمونه های سفال بدست آمده از روش پیکسی

Blue Clay		Blue Clay	
Element	Conc. (ppm)	Element	Conc. (ppm)
Al	23997.7	Al	19787.3
Si	337887.1	Si	323656.1
S	10705	S	10705
Cl	3367.3	Cl	2214.5
K	19437	K	19437
Ca	26945.3	Ca	54654.4
Ti	1221.3	Ti	994.8
Mn	524.2	Mn	78510.2
Fe	8373	Fe	9395.3
Co	40942.5	Ni	485.4
Ni	883.3	Cu	1348
Cu	853.3	Zn	453.4
Zn	1479.8	As	1018.2
Sn	14120.2	Sr	1388.4
Pb	62638.1	Sn	11879.4
		Ba	4008.9
		Pb	13555.9

شدت یک پرتوگامای خاص حاصل از واکنش از رابطه زیر بدست می آید:

$$Y_i = c_i / m_i \cdot N \cdot \varepsilon \cdot d\Omega \sum c_j a_j \int_{\Omega} d\sigma \cdot dE \quad (1)$$

که در آن c_i کسر وزنی هر کدام از عناصر ترکیب ، m_i جرم اتمی آن ، N تعداد یونهای فرودی ، Ω زاویه فضایی آشکارساز ، ε ضریب کارایی آن و $d\sigma$ سطح مقطع دیفرانسیلی واکنش ایجاد شده می باشد. از آنجا که داده های دقیقی از سطح مقطع همیشه موجود نیستند و برای عناصر اصلی هر نمونه نیاز به محاسبه توان توقف می باشد ، از نسبت غلظت ها برای یک نمونه ناشناخته در مقایسه با نمونه استاندارد (یا نمونه خالص) استفاده می کنیم که با رابطه زیر نشان داده می شود :

$$c_i = Y_i c_s (\sum c_j a_j) / Y_s (\sum c_j a_j)_s \quad (2)$$

که در آن اندیسهای i و s بترتیب به نمونه های ناشناخته و استاندارد مربوط میگردد. نتایج بشرح جدول 3 میباشند.

جدول ۳: مقادیر عناصر سبک مورد نظر در نمونه های سفال

Sample	Element	Yield (Counts/ μ c)	Ci (mgr/kg or ppm)
Black Clay	23Na $E_\gamma=440\text{keV}$	78831.96	203614.384
	25Mg $E_\gamma=585\text{keV}$	400.01	32999.1
	27Al $E_\gamma=1014\text{keV}$	504.41	10038.1
	29S $E_\gamma=1273\text{keV}$	87.9	345605.6
Blue Clay	23Na $E_\gamma=440\text{keV}$	91494.41425	311182.0
	25Mg $E_\gamma=585\text{keV}$	————	————
	27Al $E_\gamma=1014\text{keV}$	342.32	8965.4
	29Si $E_\gamma=1273\text{keV}$	43.41	224747.8

مرجع ها :

- 1- R.Mojtahed-Zadeh et al.,NIM ,131,563-565,1975
- 2- P.Sioshansi et al.,NIM,142,285-287,1977
- 3- A. Lodhi et al.,J.Radioanalytical Chem.,49,89,94,1979
- 4- S.E.Johnson, **Particle Induced X-Ray Emission spectrometry (PIXE)**,1995
- 5- J.R.Bird & J.S.Williams,**Ion beam for Materil Analysis**, Academic press,1989
- 6- **Nucl.phys.A 130** (1969) 1.mg26pg,al27pg.P=16-21
- 7- **Nucl.phys.A 301** (1978) 237.mg26pg,P=239-243
- 8- **Nucl.phys.A 331** (1979) 389.na23pa, mg26pg ,al27pg.P=398
- 9- **Nucl.phys.A 223** (1974) 125.si28pg,P=129,131
- 10- **Nucl.phys.A 309** (1978) 77.ne20ag,na23pg
- 11- **Nucl.phys 56** (1964) 401. al27pg.P=402- 412
- 12- **Nucl.phys.A 243** (1975) 37.mg24pg, mg26pg..P=42
- 13- **Nucl.phys.A 341** (1980) 345.mg24pg, mg25pg ,al26pg.P=350-359
- 14- **Phys.Rev.102** (1956) 208. mg24pg.P=211

^S **PIGE** (Proton Induced Gamma-Ray Emission)

گسیل القایی پرتو گاما با پروتون

[#] **XRF** (Elastic Recoil Detection)

پس پراکندگی رادرفورد

^S **PIXE** (Proton Induced X-Ray Emission)

گسیل القایی پرتو ایکس با پروتون



شرکت فرآوری اورانیوم و
تولید سوخت هسته ای ایران

۴ و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹
منطقه هسته ای اصفهان



انجمن هسته ای ایران

شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران (فاتسا)

17th Iranian Nuclear Conference