



افزایش یونیزاسیون در محفظه یونش کوچک شده دستگاه IMS، با ایجاد روکش نازک بر روی چشمه یونیزاسیون Am-241

محسن صالح کوتاهی^{۱*}، فیروز پایروند^۲، علیرضا توسلی^۱

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، صندوق پستی: ۱۶۳۱۵-۱۶۱۸، تهران- ایران

۲- مرکز تحقیقات و تولید آشکارسازها، مجتمع تحقیق و توسعه شهید میثمی، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۳۱۵۸۵، کرج- ایران

چکیده: یکی از هدفهای مهم در آشکارسازی عاملهای شیمیایی، ساخت دستگاههایی است که ضمن برخورداری بودن از سرعت عمل و دقت کافی، قابلیت ساخته شدن در ابعاد و اندازه‌های کوچک را داشته باشند تا در شرایط عملیاتی مختلف کارآیی آنها حفظ گردد و براحتی قابل حمل باشند. در این مقاله، از این پدیده که «قابلیت یونیزاسیون ویژه ذرات آلفا با کاهش انرژی آنها افزایش می‌یابد» استفاده گردیده و در مورد کوچک‌سازی محفظه یونش دستگاه آشکارساز عاملهای شیمیایی IMS، پیشنهاد شده است که یک روکش نازک بر روی چشمه یونیزاسیون Am-241 قرار داده شود تا انرژی ذرات آلفای خروجی از چشمه کاهش یافته و در نتیجه، میزان یونش ویژه آنها افزایش یابد. در اثر این کار، آفت یونیزاسیون حاصل از کاستن طول محفظه یونش دستگاه، تا حدود زیادی جبران می‌شود. اثر ایجاد روکش روی چشمه تحت Am-241، بر مقدار یونیزاسیون حاصل از چشمه بصورت تئوری پیش‌بینی شده است. در مورد دو چشمه دیگر که دارای روکش اولیه بودند، محاسبات با استفاده از توزیع انرژی مربوط صورت گرفته و اثر ایجاد یک روکش از جنس میلار، در میزان یونیزاسیون حاصل از آنها نیز بررسی شده است. در هر دو مورد نتایج نشان می‌دهند که ایجاد روکش موجب افزایش نسبی مقدار یونیزاسیون در محفظه یونش دستگاه و در نتیجه افزایش توان آن در شناسایی و تفکیک عاملهای شیمیایی گوناگون می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دستگاه طیف‌سنجی تحرک یونی، چشمه یونش امرسیوم ۲۴۱، ذرات آلفا، توان توقف، میلار، محفظه‌های یونش

Ionization Increase in Miniaturized IMS Cell Using a Thin Layer on Am-241 Ionization Source

M. Salehkoutahi^{1*}, F. Payervand², A. Tavassoli¹

1- Physics Group, Faculty of Science, K.N. Toosi University, P.O. Box: 1618 -16315, Tehran- Iran

2- Detectors Research and Production Center, Meisami Research and Development Center, P.O. Box: 31585 -4413, Karaj- Iran

Abstract: One of the important goals in chemical agent detection is to construct an instrument with a fast response, to be handled easily, and to be used in various operational conditions. In this paper, based on the phenomenon of “increasing the specific alpha particles ionization rate by decreasing the particles energy” a suggestion has been made for reducing the size of the ionization chamber of an IMS detection system, where a thin layer was placed on the surface of Am-241 ionizing source for decreasing the emitted alpha particles energy. With this method, to some extent, the rate of ionization loss has been compensated. The effect of layer over the Am-241 source on the ionization rate has been predicted theoretically, as well. For the other two sources with the initial coated layers, a calculation has been performed with the use of the related energy distribution; and the effect of a layer, of the Mylar type, on the ionization rate has also been investigated. The results of both cases have shown that the layer will cause to increase the ionization rate in the ionization chamber, where it subsequently increases the capability of the instrument, and the system resolution power for detecting various chemical agents.

Keywords: ion mobility spectrometer instrument, Am-241 ionization source, alpha particles, stopping power, mylar, ionization chambers

*email: Salehkoutahi@Science.kntu.ac.ir

در دستگاه IMS فرایند یونش طی دو مرحله صورت می‌گیرد.

در مرحله اول مولکولهای گاز حامل به دلیل غلظت بیشتری که دارند (حدود یک میلیون برابر) توسط چشمه یونیزاسیون، یونیزه می‌شوند که به آن یونیزاسیون اولیه می‌گویند. در مرحله دوم در اثر برخورد یونهای گاز حامل با مولکولهای نمونه این مولکولها باردار می‌شوند که به آن تشکیل یونهای محصول می‌گویند. مولکولهای باردار تحت تأثیر میدان الکتریکی اعمال شده، به سوی شبکه بندآور حائل بین محفظه واکنش و محفظه رانش حرکت می‌کنند و سریعاً به سرعت نهایی می‌رسند. پتانسیل اعمالی به شبکه بندآور چنان تنظیم می‌شود که بطور متناوب برای مدت زمان بسیار کوتاهی (درحد $200 \mu\text{s}$) به گروهی از یونها اجازه عبور از محفظه واکنش به محفظه رانش می‌دهد. در محفظه رانش نیز تحت تأثیر میدان الکتریکی، یونها به سوی کلکتور کشیده می‌شوند.

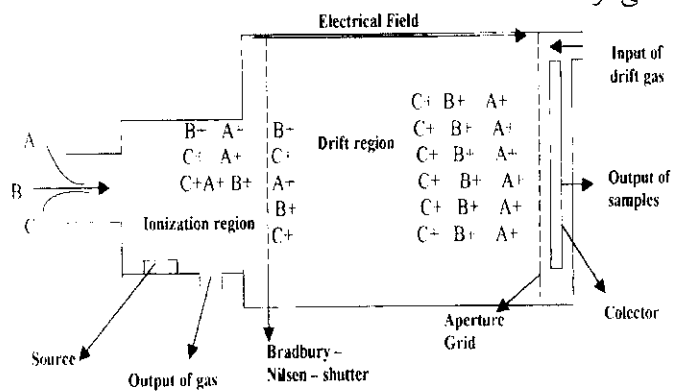
با توجه به اینکه زمان رسیدن یونها به صفحه کلکتور توسط خاصیت تحرک یون در گاز رانش (گاز غیر یونیزه پُرکننده محفظه رانش) تعیین می‌شود، می‌توان با مشخص کردن مدت زمان بین ورود یون به ناحیه رانش و رسیدن آن به صفحه کلکتور، یونهای مختلف را از هم تمیز داد.

یکی از چشمه‌های متداول برای ایجاد یونش اولیه در محفظه یونش دستگاه آشکارساز عامل‌های شیمیایی IMS، چشمه یونیزاسیون Am-241 است [۲]. امرسیوم، ذرات آلفا با انرژی حدود $5/5 \text{ MeV}$ تابش می‌کند [۳]. بُرد این ذرات در هوا، حدود 4 cm است. به همین دلیل طول محفظه واکنش این دستگاهها را حدود 4 cm انتخاب می‌کنند تا بیشترین بهره‌برداری از انرژی چشمه بعمل آید. حال اگر برای کوچک کردن دستگاه، لازم باشد که طول محفظه واکنش کاهش یابد، ذرات آلفا در انتهای مسیرشان، از محفظه واکنش خارج شده و مقداری از انرژی‌شان را با خود به بیرون انتقال می‌دهند. در اثر این کیفیت، مقدار یونیزاسیون در محفظه کاهش می‌یابد و در نتیجه، توانایی دستگاه در تفکیک و شناسایی عوامل شیمیایی گوناگون، کاهش خواهد یافت. اما به کمک شکل ۲ می‌توان این کاهش یونیزاسیون را تا حدودی جبران کرد. نمودار توان توقف^(۴) (اُفت انرژی در واحد طول) ذرات آلفا بر حسب انرژی در این شکل نشان داده شده است [۴].

از جمله اهداف مهم در آشکارسازی عاملهای شیمیایی، ساخت دستگاههایی است که در عین حال که از سرعت عمل و دقت کافی برخوردارند، قابلیت ساخت در ابعاد و اندازه‌های کوچک را داشته باشند تا در شرایط عملیاتی مختلف کارایی آنها حفظ شود (مثلاً براحتی توسط شخص حمل شوند). یکی از فنون آشکارسازی عاملهای شیمیایی استفاده از روش طیف‌سنجی تحرک یونی^(۱) است. اجزای اصلی دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی [۱] عبارتند از: محفظه واکنش یون - مولکول، چشمه یونیزاسیون متصل به محفظه واکنش، محفظه رانش، شبکه بندآور^(۲) واقع بین محفظه واکنش و محفظه رانش، شبکه محافظ^(۳) و کلکتور.

در شکل ۱ ساختار پایه‌ای یک طیف‌سنج تحرک یونی با نواحی واکنش و رانش، صفحه جمع‌آوری داده‌ها و مسیر جریان گاز نشان داده شده است.

در طیف‌سنج‌های تحرک یونی، جریان گاز حامل (معمولاً هوا یا نیتروژن)، گازها یا بخارهای مواد مورد آنالیز را به درون طیف‌سنج تحرک یونی انتقال می‌دهد. در محفظه واکنش، مولکولهای گاز حامل و نمونه به وسیله چشمه یونیزاسیون، یونیزه می‌شوند. معمولاً از چشمه‌های رادیوآکتیو بتازا یا آلفازا برای یونیزاسیون استفاده می‌شود. به دلیل تعداد بسیار زیاد مولکولهای گاز حامل نسبت به مولکولهای نمونه، یونهای تولید شده تقریباً همگی از مولکولهای گاز حامل می‌باشند. چون پویش آزاد میانگین یونی چندین بار کوچکتر از ابعاد محفظه واکنش است، بین یونهای تشکیل شده و مولکولهای نمونه چندین برخورد روی می‌دهد و در این برخوردها بار یونها به مولکولهای نمونه منتقل می‌شود.



شکل ۱- ساختار پایه‌ای یک طیف‌سنج تحرک یونی.



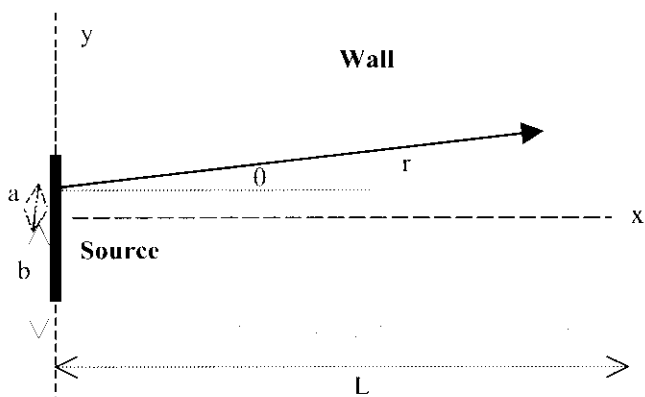
در این رابطه، r_i مسافت پیموده شده توسط ذره آلفای A ، R_i بُرد این ذره در هوا، L طول محفظه یونش استوانه‌ای، b شعاع آن و a فاصله محل خروج ذره آلفا از مرکز چشمه است. انتگرالگیری باید روی مسیر حرکت ذره انجام شود. مسیر یونش یک ذره آلفای دلخواه در شکل ۳ نشان داده شده است. در محاسبه انتگرال رابطه (۱) قیدهای زیر اعمال می شود.

$$\begin{cases} r < R(E_0) \\ x = r \cos\theta < L \\ y = r \sin\theta < b - a \end{cases}$$

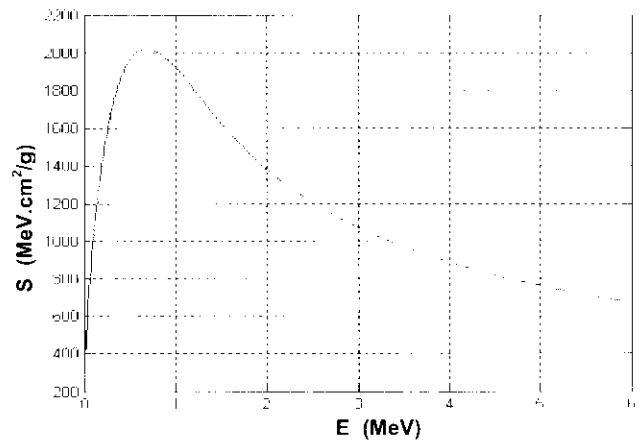
$R(E_0)$ بُرد ذره آلفا با انرژی E_0 است. این قید برای آنست که بیشترین طولی که یک ذره می‌تواند پیماید، بُرد ذره است. قید دوم از آن جهت اعمال می‌شود که یونش ذرات آلفا در خارج از محفظه یونش، تأثیری بر میزان یونش نخواهد داشت. قید سوم به این علت است که ذره آلفا، پس از برخورد به دیواره محفظه یونش، متوقف می‌شود و دیگر در فرایند یونش نقشی ندارد. با فرض اینکه تابش آلفا همسانگرد است، ذرات آلفا در تمام زاویه‌های $0 < \theta < \pi/2$ با احتمال مساوی پراکنده می‌شوند. در این حالت، احتمال پراکنده شدن پرتوهای آلفای خروجی در زاویه بین θ و $\theta + d\theta$ برابر خواهد بود با:

$$P(\theta)d\theta = \cos\theta.d\theta \quad (2)$$

برای بدست آوردن انرژی واگذار شده توسط همه ذرات، باید از رابطه ۱ روی توزیع زاویه‌ای و توزیع انرژی، همچنین روی سطح چشمه انتگرال گرفت. چشمه مورد آزمایش، مستطیلی به



شکل ۳- مسیر یونش یک ذره آلفای دلخواه در محفظه یونش IMS



شکل ۲- توان توقف ذرات آلفا بر حسب انرژی.

این نمودار نشان می‌دهد ذراتی که انرژی آنها بین ۰ تا ۲ MeV است، بیشترین سهم را در ایجاد یونش درون محفظه واکنش دارند؛ این ذرات مسافتی حدود ۳۰ تا ۴۰ میلی‌متر را در محفظه واکنش می‌پیمایند. چنانچه نیاز باشد طول محفظه واکنش را به ۳۰ میلی‌متر برسانیم، قسمت عمده یونش، در بیرون محفظه انجام شده و به هدر می‌رود. در این صورت، اگر با ایجاد یک روکش مناسب بتوان انرژی ذرات آلفا را کاهش داده و بُرد آنها را به حدود ۳۰ میلی‌متر رساند، قله نمودار توان توقف (شکل ۲)، دوباره درون محفظه یونش قرار می‌گیرد و اُفت یونیزاسیون، تا حدود زیادی جبران می‌شود.

در این پژوهش اثر یک روکش نازک از جنس میلار^(۵) به ضخامت جرمی 0.4 mg/cm^2 بر میزان یونش ناشی از ذرات آلفای خروجی از چشمه یونیزاسیون Am-241، بررسی شده است [۵]. از نتایج حاصل استنباط می‌شود که ایجاد روکش مناسب باعث افزایش نسبی مقدار یونیزاسیون در محفظه یونش دستگاه IMS می‌گردد.

۲- محاسبه مقدار یونیزاسیون در محفظه یونش IMS

مقدار یونیزاسیون (تعداد زوج یونهای تولید شده) در محفظه یونش، متناسب با انرژی واگذار شده از ذرات آلفای خروجی از چشمه، به هوای درون محفظه است. انرژی واگذار شده توسط ذره آلفای A به هوای درون محفظه یونش، از رابطه ۱ حساب می‌شود.

$$\Delta E_i = \int_{r < R_i, r \cos\theta < L, r \sin\theta < b-a} \left(-\frac{dE}{dr}\right)_i dr$$



برد ذرات آلفای با انرژی $E=0/5$ MeV، ۴۲ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین ذرات آلفا، تقریباً بیشترین انرژی ممکن را به هوای درون محفظه یونش ۴ سانتی‌متری واگذار می‌کنند. به فرض اینکه بخواهیم طول محفظه یونش را تا $L=30$ mm کوتاه کنیم، ذرات آلفای با انرژی $5/5$ MeV پس از پیمودن این مسافت در محفظه یونش، دارای انرژی $2/2$ MeV خواهند شد. با کوتاه کردن محفظه یونش، انرژی واگذار شده توسط تک تک ذرات آلفا به هوای درون محفظه یونش، برابر خواهد بود با:

$$\Delta E_{\theta} = 5.5 - 2.2 = 3.3 \text{ MeV}$$

اگر بجای این کار، لایه نازکی از یک ماده در برابر چشمه قرار گیرد تا برد ذرات آلفای خروجی از چشمه به 30 mm برسد، انرژی ذرات آلفای خروجی از لایه به $4/4$ MeV خواهد رسید. انرژی واگذار شده در این حالت، برابر با $\Delta E = 4/4$ MeV خواهد بود. بنابراین، اگر همزمان با کوچک‌سازی محفظه یونش، از روکش نازک برای چشمه نیز استفاده شود، مقدار درصد افزایش نسبی انرژی واگذار شده به محفظه یونش (R) برابر خواهد بود با:

$$R = \frac{\Delta E - \Delta E_0}{\Delta E_0} \times 100 = \frac{4.4 - 3.3}{3.3} \times 100 = 33.3 \%$$

این مقدار درصد قابل توجهی است و نشاندهنده موفقیت روش پیشنهادی برای افزایش مقدار یونیزاسیون به هنگام کوتاه‌سازی سلول IMS می‌باشد.

در این تحلیل، فرض بر اینست که همه ذرات آلفا در امتداد محور محفظه یونش حرکت می‌کنند. در عمل باید یک توزیع فضایی برای حرکت ذرات آلفا در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن این توزیع فضایی، انرژی واگذار شده از طرف ذرات آلفا به محفظه یونش، از رابطه ۳ بدست خواهد آمد. برای چشمه‌ای که تعداد ذرات آلفای خروجی از سطح 1 mm^2 آن برابر یک است، نتیجه زیر برای کوچک‌سازی محفظه یونش تا 30 mm بدست خواهد آمد:

$$\Delta E_0 = 355.3 (\text{MeV/s}), \quad \Delta E = 456.5 (\text{MeV/s})$$

$$\therefore R = 28.5\%$$

با همین تحلیل که برای کوچک‌سازی محفظه یونش تا $L=30$ mm انجام شد، می‌توان افزایش نسبی پاسخ دستگاه IMS

ابعاد $22 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ است. پس انرژی واگذار شده به محفظه یونش، در واحد زمان برابر خواهد بود با:

$$\Delta E = \int_{\theta=0}^{\pi/2} \int_{\text{Spectrum}} \int_{z'=11}^{11} \int_{y'=5}^{5} \int_{r=R_0}^{r=R_0} \int_{r \cos \theta < L, r \sin \theta < b-a} \dots n_{\alpha} \left(-\frac{dE}{dr} \right) dr \cdot \cos \theta \cdot d\theta \cdot dz' \cdot dy' \quad (3)$$

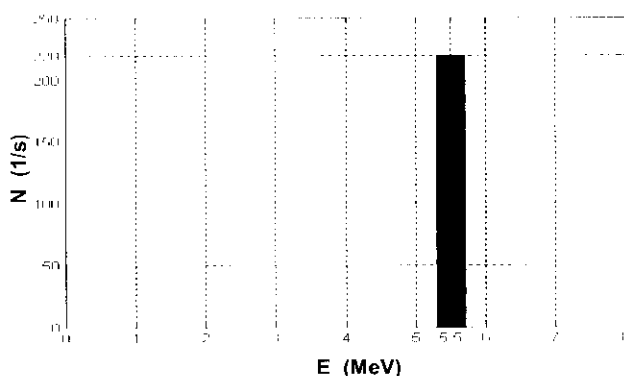
در این رابطه، n_{α} تعداد ذرات آلفای خروجی از واحد سطح چشمه، در واحد زمان است که برابر یک فرض می‌شود. برای محاسبه این انتگرال، برنامه‌ای کامپیوتری به زبان MATLAB تحت عنوان Energy_Deposition.m نوشته شد. تمامی اعدادی که تحت عنوان انرژی واگذار شده از چشمه به محفظه یونش، در ادامه آورده می‌شوند، خروجی‌های این برنامه هستند.

۳- ایجاد روکش روی چشمه Am-241 و کوچک‌سازی محفظه یونش دستگاه IMS

در این بخش، اثر ایجاد روکش نازک روی چشمه یونیزاسیون Am-241، بر مقدار یونیزاسیون در محفظه یونش IMS بررسی شده است. محفظه یونش مورد بحث، استوانه‌ای به طول 40 mm و قطر 27 mm است.

۳-۱ کوچک‌سازی محفظه یونش IMS با چشمه تخت

اگر چشمه Am-241 مورد استفاده، بدون روکش باشد، توزیع انرژی ایده‌آل ذرات آلفا، تقریباً به صورت شکل ۴ خواهد بود (اما در عمل یک نوع توزیع انرژی وجود دارد که در ادامه مطلب به نمونه‌هایی از آن پرداخته خواهد شد). در این شکل، N تعداد ذرات آلفای خروجی از سطح چشمه، در واحد زمان است.



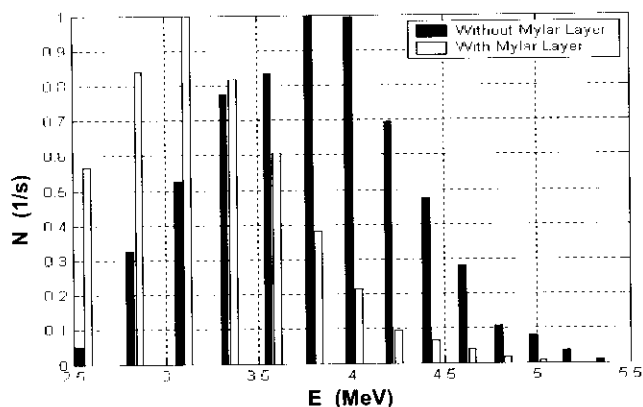
شکل ۴- توزیع انرژی ذرات آلفای خروجی از یک چشمه تک انرژی Am-241



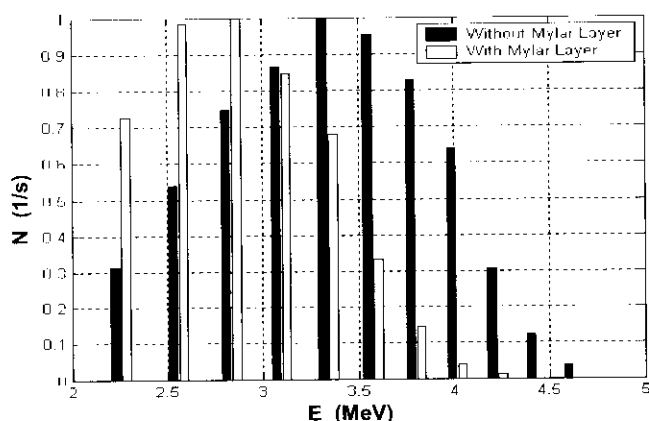
آکتیویته حدود $16.0 \mu\text{Ci}$ داشت. انرژی واگذار شده از هر چشمه، به محفظه یونش IMS با طولهای مختلف، حساب شد. سپس لایه‌ای از جنس میلار به ضخامت جرمی 0.4 mg/cm^2 بر روی هر چشمه قرار گرفت و محاسبات تکرار شدند. نتایج این محاسبات در نمودارهای ۸ و ۹ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که روکش میلار مورد استفاده، به علت ضخامت جرمی کم، موجب کاهش آکتیویته نمی‌شود بلکه فقط انرژی ذرات آلفای خروجی را کاهش می‌دهد.

توزیع تقریبی انرژی چشمه‌های ۱ و ۲، هم بدون روکش میلار و هم با روکش، به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در هر شکل، قله هر دو نمودار ستونی، به تعداد یک در هر ثانیه بهنجار شده‌اند. لازم به ذکر است که این توزیع انرژی‌ها، به وسیله یک شمارنده معمولی آلفا بدست آمده‌اند. روش انجام این کار، توسط نگارندگان این مقاله، در مرجع ۶ تشریح شده است. با استفاده از این توزیع انرژی‌ها، نمودار انرژی واگذار شده از چشمه‌های بدون روکش و روکش دار میلار به محفظه یونش IMS، به ترتیب به صورت شکل‌های ۸ و ۹ خواهد بود.



شکل ۶- توزیع انرژی چشمه شماره ۱ با روکش میلار و بدون روکش.



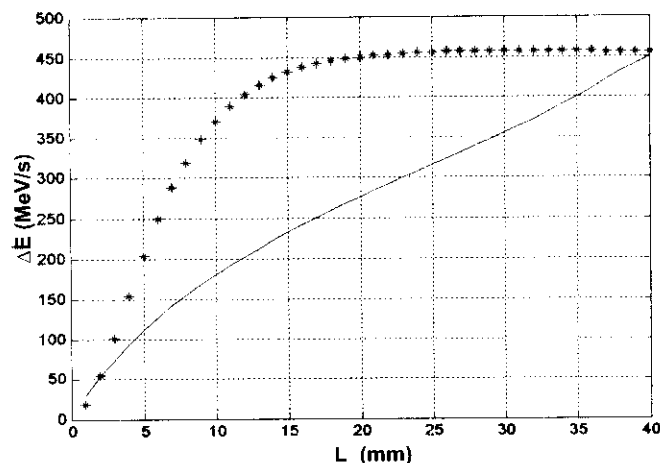
شکل ۷- توزیع انرژی چشمه شماره ۲ با روکش میلار و بدون روکش.

را برای طولهای مطلوب دیگر نیز حساب کرد. در هر مورد، ضخامت روکش روی چشمه باید به اندازه‌ای باشد که بُرد ذرات آلفای خروجی از چشمه، برابر با طول مورد نظر برای محفظه یونش گردد. شکل ۵ نتایج را برای L های مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با ایجاد روکش میلار به ضخامت جرمی 0.4 mg/cm^2 بر روی یک چشمه لخت Am-241، میزان نسبی یونیزاسیون در محفظه افزایش می‌یابد.

برای بدست آوردن نمودار شکل ۵ فرض شده است که ایجاد روکش، تنها انرژی ذرات آلفای خروجی را کاهش می‌دهد. اما در اثر ایجاد روکش، یک پهن‌شدگی^(۶) نیز در توزیع انرژی بوجود می‌آید و هرچه ضخامت روکش بیشتر شود، این پهن‌شدگی بیشتر خواهد شد. بنابراین هرچه طول محفظه یونش کاهش یابد، اعتبار اعداد بدست آمده کمتر خواهد شد. در عمل باید پس از ایجاد روکش، توزیع انرژی ذرات آلفای خروجی تعیین گردد و این توزیع انرژی در محاسبه انرژی واگذاری توسط چشمه به محفظه یونش، بکار برده شود.

۲-۳ کوچک‌سازی محفظه یونش IMS با چشمه دارای روکش اولیه

دو چشمه Am-241 مختلف، که در مقدار آکتیویته^(۷) و نوع و ضخامت روکش اولیه، با هم تفاوت داشتند، مورد آزمایش قرار گرفتند (چشمه‌ها از سازمان انرژی اتمی، مرکز تهران تهیه شده بودند. آکتیویته آنها به وسیله یک شمارنده آلفا برآورد شد، ولی اطلاعاتی راجع به نوع و ضخامت روکش آنها در اختیار نبود). چشمه شماره ۱ آکتیویته حدود $7.0 \mu\text{Ci}$ و چشمه شماره ۲



شکل ۸- انرژی واگذار شده توسط چشمه‌های بدون روکش و با روکش، به محفظه یونش IMS با طولهای مختلف.



۴- بحث و نتیجه گیری

کوتاه کردن محفظه یونش دستگاه IMS ناگزیر موجب کاهش میزان یونیزاسیون خواهد شد و این امر کاهش توان دستگاه را در تفکیک عاملهای شیمیایی گوناگون در پی خواهد داشت. اما استفاده از روکش با ضخامت مناسب، سبب می شود که با کاهش انرژی ذرات آلفا و در پی آن، افزایش توان توقف آنها در هوا، کاهش یونیزاسیون تا حدودی جبران شود. شکل ۵ این مطلب را بخوبی در مورد چشمه های بدون روکش نشان می دهد. شکل های ۸ و ۹ نیز بترتیب برای طولهای کمتر از ۲۰ و ۱۵ میلی متر مؤید این مطلب اند.

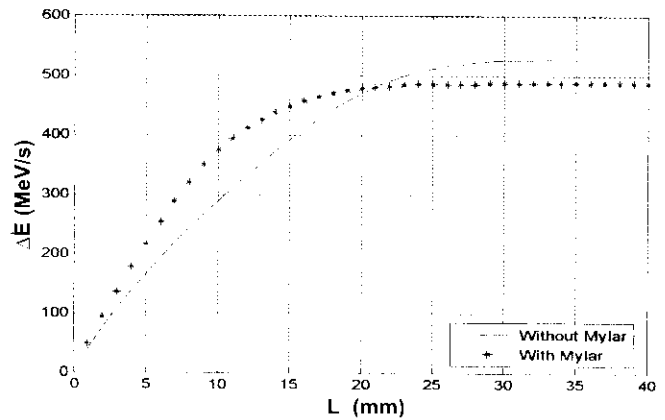
نتیجه دیگری که از نمودارهای ۸ و ۹ گرفته می شود این است که در مورد استفاده از چشمه های دارای روکش اولیه در دستگاه IMS، نیازی به استفاده از محفظه یونش ۴ سانتی متری نیست (کاری که به اشتباه در برخی از مراکز تحقیقاتی انجام می شود). چهار سانتی متر، تقریباً مناسب ترین طول برای محفظه یونش در حالتی است که در آن از چشمه لخت $Am-241$ برای یونیزاسیون استفاده شود. برای چشمه هایی با روکش اولیه باید انرژی و گذار شده از چشمه به محفظه یونش، به ازای طولهای مختلف محفظه، حساب شود تا طول بهینه بدست آید. پس از یافتن طول بهینه، باید محفظه یونشی با این طول ساخته شود. حال اگر به هر دلیل، نیاز باشد که محفظه یونش از این طول بهینه کوتاهتر شود، ایجاد روکش با ضخامت مناسب باعث افزایش مقدار یونیزاسیون در محفظه یونش کوتاه شده خواهد شد.

تشکر و قدردانی

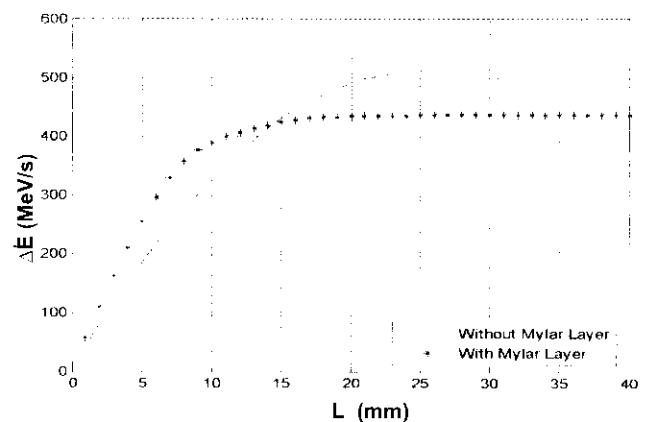
بدین وسیله از جناب آقای دکتر محمد لامعی به خاطر راهنمایی ایشان در تنظیم نمودارها تقدیر و تشکر می شود.

پی نوشت ها:

- ۱- Ion Mobility Spectrometry
- ۲- Bradbury – Nilsen – Shutter
- ۳- Aperture Grid
- ۴- Stopping Power
- ۵- Mylar (Poly Ethylene Triphthalat)
- ۶- Straggling
- ۷- Activity



شکل ۸- آهنگ انرژی و گذاری از طرف چشمه شماره ۱ به محفظه یونش IMS



شکل ۹- آهنگ انرژی و گذاری از طرف چشمه شماره ۲ به محفظه یونش IMS

نمودار مربوط به چشمه شماره ۱ (شکل ۸)، نشان می دهد که در صورت استفاده از این چشمه بدون روکش میلار، بهترین طول برای محفظه یونش، حدود $L=25$ mm است. حال اگر لازم باشد، محفظه یونشی که از این چشمه استفاده می کند، تا طول $L_1 < 25$ mm کوتاه گردد، به ازای $L_1 < 20$ mm ایجاد روکش سبب افزایش مقدار یونیزاسیون می شود.

نمودار مربوط به چشمه شماره ۲ (شکل ۹) نشان می دهد که در صورت استفاده از این چشمه بدون روکش میلار، با کاهش طول محفظه یونش از مقدار $L_0=40$ mm تا حدود $L=25$ mm هیچ کاهش قابل توجهی در میزان یونیزاسیون مشاهده نمی شود و در واقع، $L=25$ mm مناسب ترین طول برای محفظه یونش، در این حالت است. اگر بخواهیم طول محفظه یونش یک دستگاه IMS را که در آن از این چشمه استفاده می شود، به کمتر از $L_1=25$ mm کاهش دهیم، به ازای $L_1 < 15$ mm، ایجاد روکش میلار بزرگی چشمه سبب افزایش مقدار یونیزاسیون خواهد شد.

**References:**

1. G.A. Eiceman and Z. Arpas, "Ion mobility spectrometry," CRC Press (1994).
2. R. Schnurpfeil (Bremen, DE) and S. Klepel (Taucha, DE), United State Patent, Patent number 6064070 (May 16, 2000).
3. G.F. Knoll, "Radiation detection and measurement," John Wiley & Sons, 9 (1988).
4. H.H. Andersen and J.F. Ziegler, "Hydrogen: stopping powers and ranges in all elements," *The Stopping and Ranges of Ions in Matter*, **3**, Pergamon Press, Elmsford, New York (1977).
5. A. Nazarov and D. Thierry, "Rate determining reactions of atmospheric corrosion," *Electrochimica Acta*, Volume 49, Issues 17-18, 2717-2724 (30 July 2004).
6. A. Tavassoli, M. Salehkootahi, F. Payervand, "Determination the spectrum of alpha source of the NDCAM detector with an ordinary alpha counter," 2nd International Conference On Nuclear Science and Technology, **36**, April 27-30 (2004).