

شبیه سازی یک آنالیزور منحرف کننده ی نیم کروی و بهینه سازی میدان های حاشیه ای آن

مقبل الحسین ، مجتبی^۱: گنجعلی وندی قمری، عصمت^۲

^۱گروه فیزیک دانشگاه شهید چمران، اهواز ،

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فیزیک دانشگاه شهید چمران، اهواز

چکیده

قدرت تفکیک آنالیزور منحرف کننده ی نیم کروی (HDA) می تواند با بهره گیری از میدان های حاشیه ای در ورودی آن نسبت به روش های سنتی که درصدد حذف این میدان ها بودند، به طور قابل توجهی بهبود یابد. خاصیت لنز گونه ی ذاتی این میدان ها بدون استفاده از الکترودهای تصحیح کننده اضافی، نه تنها موجب بازیابی بلکه بهبود تمرکز مرتبه اول در زاویه 180° در صفحه ی پراکندگی را نیز موجب می شود. این روش با تغییر مکان ورودی R_0 و بایاس نمودن $V(R_0)$ ، نسبت به مقادیر مرسوم آن ها یعنی $\bar{R} = (R_1 + R_2)/2$ و $V(R_0) = 0$ به مقادیر جدید $R_0 > \bar{R}$ و $R_0 < \bar{R}$ یا $V_0 < 0$ و یا $V_0 > 0$ انجام می گیرد. واژه های کلیدی آنالیزور منحرف کننده ی نیم کروی (HDA)، قدرت تفکیک، میدان های حاشیه ای

Simulation of a hemispherical deflector analyzers and fringing field optimization

Moghbela Hosseini, Mojtaba¹; Ganjalivandi Ghamari, Esmat²

¹Shahid Chamran University, Ahwaz

²Physics Department Shahid Chamran University, Ahwaz

Abstract

The energy resolution of a hemispherical deflector analyser (HDA) can be substantially improved by using its entry fringing fields advantageously, rather than trying to eliminate them, the traditional approach. The intrinsic lensing properties of these fringing fields, as shown in simulations, are able to not only restore, but even improve first-order focusing at the 180° deflection plane in a controlled way, without the use of any additional field correction electrodes. This is accomplished by changing the entry radius R_0 and bias $V(R_0)$ from their conventional values of $R_0 = \bar{R}$, the mean radius $\bar{R} = (R_1 + R_2)/2$ and $V(R_0) = 0$ to new values $R_0 > \bar{R}$ with $V(R_0) < 0$ or $R_0 < \bar{R}$ with $V(R_0) > 0$.

Keywords: Hemispherical deflector analyzers, Fringing field, Resolution.

مقدمه

متمرکز سازی آن را شدیداً تحت تاثیر قرار می دهد. به طوری که این

میدان ها در ورودی و خروجی آنالیزور، ابزاری های نامطلوبی ایجاد کرده و باعث می شوند، ذرات به جای اینکه پس از انحراف 180° متمرکز شوند، مطابق شکل ۱ در زاویه کوچک تری (درون HDA) متمرکز گردند [۳ و ۲].

از این رو در ۵۰ سال گذشته تصحیح میدان های حاشیه ای، موضوع بسیاری از تحقیقات مربوط به HDA بوده است، به طوری که روش های مختلفی در این زمینه پیشنهاد داده شد. اخیراً توسط زوروس^۲ و بنیس^۳، روشی بسیار ساده تر و کم هزینه تر موسوم به HDA پیرامرکزی بایاس شده برای تصحیح میدان های حاشیه ای

طیف سنجی الکترونی با قدرت تفکیک بالا روشی است که در شاخه های علوم مختلف از جمله فیزیک اتمی و مولکولی، فیزیک ماده چگال، علم مواد، شیمی و حتی پزشکی کاربرد دارد. یکی از عمومی ترین آنالیزورهایی که در طیف سنجی الکترونی مورد استفاده قرار می گیرد، آنالیزور منحرف کننده ی نیم کروی (HDA) است [۲ و ۱]. قابل ذکر است که انجام مراحل مختلف طیف سنجی الکترونی از جمله آنالیز انرژی ذرات باردار، مستلزم ایجاد خلأ بالا در محفظه ی سامانه است.

به طور کلی علی رغم مزیت های زیادی که HDA دارد، حضور میدان های حاشیه ای در ورودی و خروجی آن خواص

²Zouros

³Benis

¹Hemispherical deflector analyzer

E_0 و زاویه ورودی صفر، وارد آنالیزور شده و در مکان $\bar{R}R_\pi$ از آن خارج می‌شود) بیان شده‌اند. پارامتر γ در معادله اولتاژهای V_i را طوری کنترل می‌کند که از خواص لنزگونه‌ی میدان‌های حاشیه‌ای در ورودی و خروجی HDA جهت بهبود تمرکز مرتبه‌ی اولبرهرداری شود. به ازای یک پتانسیل ایده آل γ ، پتانسیل بایاس شده‌ی $V(R_0) \neq 0$ و $V(R_\pi) = 0$ را به صورت زیر تعیین می‌کنند [۷-۵]:

$$q\tilde{V}_0 = E_0(1 - \gamma) \quad (2)$$

معادله (۱) عمومی‌ترین شکل ولتاژها است که همه‌ی موارد خاص از آن مشتق می‌شوند. باید توجه کرد که V_i در این معادله نسبت به زمین محاسبه می‌شود.

قدرت تفکیک پایه‌ی آنالیزور، ماکزیمم پراکندگی در انرژی ذراتی است که در محدوده‌ی Δr_π (پهنای شکاف خروجی) قرار می‌گیرد. قدرت تفکیک پایه‌ی HDA توسط رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [۹ و ۱۰]:

$$\frac{\Delta E_B}{E} = \frac{\Delta r_\pi + \Delta r_0}{D_\gamma} + \alpha_{max}^2 \quad (3)$$

که Δr_0 ، پهنای شکاف ورودی و α_{max} ، نصف ماکزیمم زاویه‌ی ورودی در صفحه‌ی پراکندگی است. D_γ طول پراکندگی می‌باشد و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$D_\gamma = E_0 \frac{\partial r_\pi}{\partial E} \quad (4)$$

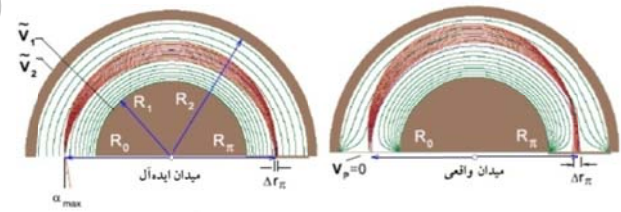
شبیه‌سازی و نتایج

HDA شبیه‌سازی شده شامل دو الکتروود کروی هم مرکز به شعاع درونی و بیرونی به ترتیب $R_1 = 75mm$ و $R_2 = 125mm$ و یک الکتروود تخت دایره‌ای شکل (به عنوان صفحه‌ی جلوی آنالیزور) به شعاع $135mm$ می‌باشد. ورودی و خروجی آنالیزور روزنه‌هایی دایره‌ای شکل به قطر $6mm$ هستند که بر روی صفحه‌ی جلوی آنالیزور تعبیه شده‌اند.

همان طور که می‌دانیم در HDA مرسوم دو پارامتر γ و R_π می‌تواند برابر ۱ می‌باشند (یعنی $V(R_0) = 0$ و $R_0 = 100$ و $R_\pi = \bar{R}$). با تنظیم آنالیزور برای انرژی

مرح شد که در آن به جای حذف میدان‌های حاشیه‌ای، از خاصیت لنزگونه‌ی ذاتی این میدان‌ها برای بازیابی و حتی بهبود تمرکز مرتبه‌ی اول HDA استفاده می‌شود [۳]. این روش از عدم تقارن در شرایط ورودی آنالیزور بهره می‌برد، به طوری که شرایط ورودی (شامل مکان R_0 و پتانسیل $V(R_0)$ با حالت HDA مرسوم^۱) $V(R_0) = 0$ و $R_0 = R_\pi = \bar{R} = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$ متفاوت است. با ترکیب مناسبی از $R_0 \neq \bar{R}$ و $V_0 \neq 0$ می‌توان به راحتی و بدون استفاده از تجهیزات اضافی، نقطه‌ی تمرکز اشعه را دوباره به زاویه‌ی سمتی 180° برگرداند. شرایط ورودی در دو حالت $R_0 > \bar{R}$ و $V_0 < 0$ یا $R_0 < \bar{R}$ و $V_0 > 0$ می‌تواند ترکیب شوند که حالت اول به روش پیرامرکزی بایاس منفی^۲ و حالت دوم به روش پیرامرکزبایاس مثبت^۳ معروف هستند [۴ و ۵ و ۶].

در این مقاله با استفاده از نرم افزار سه بعدی Simion، آنالیزور منحرف‌کننده‌ی نیم‌کروی را شبیه‌سازی کرده و با کمک روش فوق و بهره‌گیری از میدان‌های حاشیه‌ای، تمرکز مرتبه‌ی اول را بازیابی نمود. تاثیر شرایط ورودی اولیه، شامل مکان ورودی و پارامتر γ را بر قدرت تفکیک HDA بررسی می‌کنیم.



شکل ۱: نمایش مسیر ذرات در HDA ایده‌آل و واقعی

خواص اپتیکی HDA

معادله‌ی ولتاژهای اعمال شده به الکتروودهای درونی و بیرونی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$qV_i = E_0 \left\{ 1 - \left(\frac{\gamma}{\epsilon} \right) \left[\frac{R_0(1+\epsilon)}{R_0} - 1 \right] \right\} \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

همان طور که می‌بینیم V_1 و V_2 فقط به عنوان تابعی از پتانسیل‌های V_0 ، انرژی تنظیم E_0 و مکان‌های ورودی R_0 و خروجی R_π مسیر اصلی (مسیر ذره‌ای که در مکان R_0 با انرژی

^۱Conventional HDA

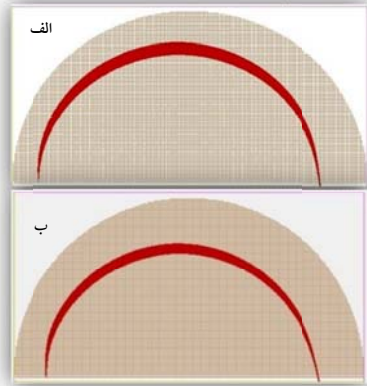
^۲Negative biased paracentric entry

^۳Positive biased paracentric entry

^۴Plate

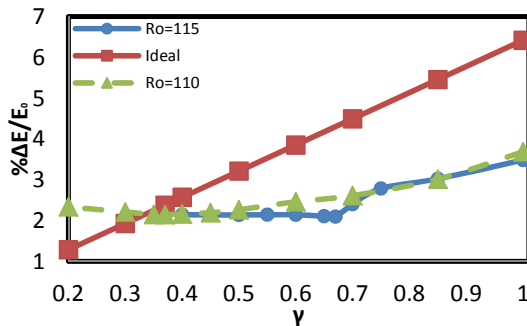
در شکل‌های ۳ و ۴ مسیر اشعه‌ی الکترونی درون HDAهای مختلف با $R_0 \neq \bar{R}$ به ازای γ بهینه شبیه سازی شده است، که در آن‌ها مقادیر مختلفی شامل ۸۵، ۹۰، ۱۱۰، ۱۱۵ برای R_0 در نظر گرفته شده است.

در نمودارهای ۲ و ۳ نیز قدرت تفکیک پایه برحسب γ برای R_0 های مختلف رسم شده است.

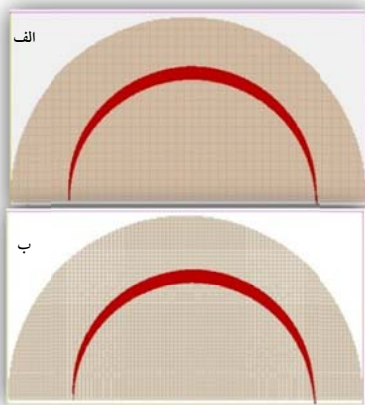


شکل ۳: تصویر BPHDAهای با بایاس منفی به ازای γ بهینه

(الف) $R_0 = 115$ (ب) $R_0 = 110$



نمودار ۲: قدرت تفکیک پایه برحسب γ برای BPHDAهای با بایاس منفی

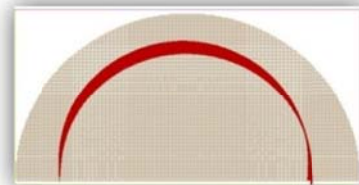


شکل ۴: تصویر BPHDAهای با بایاس مثبت به ازای γ بهینه

(الف) $R_0 = 90$ (ب) $R_0 = 85$

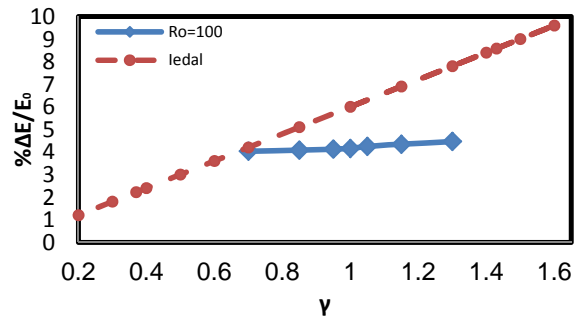
$E_0 = 1000 \text{ eV}$ پتانسیل اعمال شده بر الکترونها مطابق معادله‌ی ۱ خواهد بود.

شکل ۲ مسیر الکترون‌ها را درون HDA مرسوم نمایش داده است. پرتوی وارد شده شامل تعداد ۱۰۰۰ الکترون با انرژی $E = E_0 = 1000 \text{ eV}$ می‌باشد که تحت زوایای $Az=0$ و $El=0$ از یک منبع نقطه‌ای ($\Delta r_0 = 0$) به شکل مخروطی با زاویه-ی $\alpha_{max} = 18^\circ$ به درون HDA فرستاده می‌شود. قابل ذکر است که الکترون‌ها در پرتوی مخروطی شکل با زوایای مختلف در محدوده‌ی $-1 < \alpha < 1$ به شکل تصادفی فرستاده می‌شوند.



شکل ۲: نمایش مسیر الکترون‌ها درون HDA مرسوم

همان‌طور که از شکل ۲ مشخص است نقطه‌ی تمرکز اشعه در زاویه انحراف کوچکتر از $\omega = 18^\circ$ رخ می‌دهد و همچنین با توجه به نمودار ۱ به ازای $R_0 = 100$ با تغییر γ قدرت تفکیک بهینه‌ای حاصل نمی‌شود که این امر ناشی از تاثیر میدان‌های حاشیه‌ای در ورودی و خروجی HDA می‌باشد.



نمودار ۱: قدرت تفکیک HDA برحسب γ برای $R_0 = 100$

تصحیح میدان‌های حاشیه‌ای به روش BPHDA

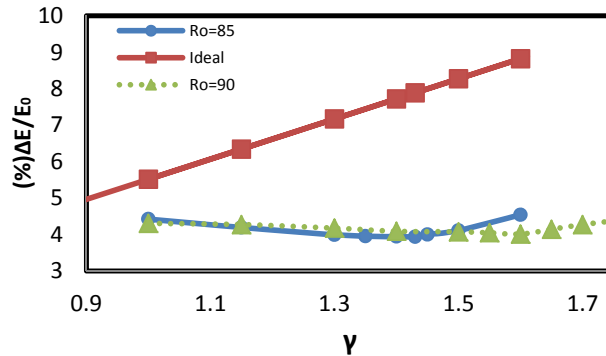
همان‌طور که قبلاً اشاره شد با در نظر گرفتن ترکیب مناسبی از $R_0 > \bar{R}$ و $V_0 < 0$ (HDA پیرامرکزی با بایاس منفی) و یا $R_0 < \bar{R}$ و $V_0 > 0$ (HDA پیرامرکزی با بایاس مثبت) می‌توان، با بهره‌گیری از خاصیت لنزی میدان‌های حاشیه‌ای، نقطه‌ی تمرکز مرتبه‌ی اول اشعه را همانند HDA ایده‌آل به زاویه انحراف $\omega = 18^\circ$ برگرداند.

نتیجه گیری

در این مقاله پس از شبیه سازی آنالیزور منحرف کننده نیم-کروییا فاصله بین الکترودی $\Delta R = 50$ نشان دادیم که با اعمال روش BPHDA بهبود نسبی قابل توجهی معادل $1/99$ به ازای $R_0 = 115$ و $\gamma = 0.67$ حاصل می شود و تمرکز مرتبه اول دوباره در زاویه ی انحراف 118° ایجاد می گردد.

مرجع ها

- [1] T.J.M. Zouros, "Optimization of the energy resolution of an ideal ESCA-type hemispherical analyzer" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **235** 535-539 (2005).
- [2] T.J.M. Zouros, "Optimal energy resolution of a hemispherical analyzer with virtual entry" Appl. Phys. Lett. **86**, 094105 (2005).
- [3] T J M Zouros et al, "Using the fringing fields of a hemispherical spectrograph to improve its energy resolution" Meas. Sci. Technol. **17** N81-N86 (2006).
- [4] Omer Sise et al, "First-order focusing and energy resolution optimization of a biased paracentric hemispherical spectrograph" Physics Procedia **01** 467-372 (2008).
- [5] Omer Sise, "Novel and traditional fringing field correction schemes for the hemispherical analyser: comparison of first-order focusing and energy resolution" Meas. Sci. Technol. **18** 1853-1858 (2007).
- [6] D T.J.M. Zouros et al, "The hemispherical deflector analyser revisited. I. Motion in the ideal $1/r$ potential, generalized entry conditions, Kepler orbits and spectrometer basic equation" electron spectroscopy and related phenomena **125** 221-248 (2002).
- [7] E.P. Beniset al, "Improving the energy resolution of a hemispherical spectrograph using a paracentric entry at a non-zero potential" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **440** 462-465 (2000).
- [8] Omer Sise et al, "Comparison of fringing field correction schemes for the 180 hemispherical deflector analyzer" Physics Procedia **1** 473-477 (2008).
- [9] Omer Sise et al, "Fringing field optimization of hemispherical deflector analyzers using BEM and FDM" Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena **177** 42-51 (2010).
- [10] M. Dogan et al, "Experimental energy resolution of a paracentric hemispherical deflector analyzer for different entry positions and bias" Rev. Sci. Instrum. **84**, 043105 (2013).



نمودار ۳: قدرت تفکیک پایه برحسب لایه برای BPHDAهای با بایاس مثبت

با مقایسه نمودارهای ۲ و ۳ با نمودار ۱ در می یابیم که قدرت تفکیک در BPHDAها بهبود می یابد. جزئیات نتایج این موضوع در جدول ۱ آمده است. در حالت $R_0 < \bar{R}$ وقتی γ افزایش می یابد، اثر لنزی میدان های حاشیه ای قوی تر شده و نسبت به حالت $\gamma = 1$ اشعه در خروجی واگرایی کمتری خواهد داشت. چون الکترون ها با انرژی یکسان ولی زوایای متفاوت وارد HDA می شوند، در ناحیه ی میدان های حاشیه ای انرژی جنبشی متفاوتی کسب می کنند، به طوری که الکترون وارد شده با زاویه ی مثبت α ، انرژی جنبشی کمتری نسبت به الکترون با زاویه ی α خواهد داشت. در لایه ی تاثیر متمرکزسازی میدان های حاشیه ای مضاعف می شود و ابیراهی مرتبه اول حذف می شود. در حالت $R_0 > \bar{R}$ و $\alpha < 1$ لایه ی مشابه رخ می دهد، با این تفاوت که در این حالت الکترون ها با تغییر γ کند می شوند. قابل ذکر است نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از تحقیقات آقای زوروس و همکارانش از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مطابق دارد [۱۰-۱].

جدول ۱: مقایسه ی نتایج بهینه ی به دست آمده از روش BPHDA

R_0	۸۵	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۵
Δr_0	۰	۰	۰	۰	۰
α_{max}	1°	1°	1°	1°	1°
γ	۱/۴۳	۱/۶	۱	۱/۳۷	۰/۶۷
ξ	۱/۷۱	۱/۱۱	۱	-۰/۹۱	-۰/۸۷
V_0	۴۳۰	۶۰۰	۰	-۹۰	-۳۳۰
V_1	۷۸۲/۷۳	۱۲۰۸	۶۶۶/۷۷	۸۰۱/۸	۴۳۸/۲۷
V_2	-۴۱۶/۵۶	-۲۵۱/۲	-۴۰۰	-۳۱۹/۳۲	-۴۴۵/۲۴
$\% \Delta E / E_0$	۳/۹۳۷	۴/۰۱۲	۴/۱۶۰	۲/۱۴۲	۲/۰۹۷
بهبود نسبی	۱/۰۵	۱/۰۳	۱	۱/۹۷	۱/۹۹