



بررسی بازدهی همسوساز چشم لابستر جهت تصویربرداری ایکس بازگشتی

هداوندی، سحر - کمالی اصل، علیرضا

دانشگاه شهید بهشتی (ره)، گروه مهندسی پرتو پزشکی

چکیده:

همسوساز چشم لابستر یکی از ابزارهای مفید در آشکارسازی پرتوهای کیهانی به شمار می رود. یکی از مزایای استفاده از این نوع همسوساز، میدان دید گسترده آن است. به همین دلیل در سال های اخیر، استفاده از این نوع همسوساز در آشکارسازی پرتوهای ایکس پس پراکنده شده مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه اغلب این نوع همسوساز برای بازه انرژی ایکس نرم (تا 10 keV) مناسب می باشند، اما می توان با بازطراحی این ساختار از آن برای انرژی های پرتو ایکس تا 100 keV استفاده کرد. به همین منظور برای اعتبار سنجی اولیه همسوسازهای موجود، یک نمونه از آن انتخاب شد و با شبیه سازی در کد $MCNPX2.6$ بازدهی آن بررسی گردید.
کلمات کلیدی: عدسی چشم لابستر، تصویربرداری پرتو ایکس، همسوساز.

Study of lobster eye collimator's efficiency for backscatter x ray imaging

Hadavandi, Sahar ; Kamali Asl, Alireza

Shahid Beheshti University, Medical Radiation Engineering Department

The Lobster Eye (LE) Collimator is one of the most useful instruments for detecting astronomical radiations. One of the advantages of using this type of collimator is its wide field of view. Therefore, in recent years, the use of it has been considered in detecting X-ray backscatters. Although most of LE collimators are suitable for soft X-ray imaging (up to 10 keV), through re-design this structure can be used for X-ray energies up to 100 keV. For initial validation of the existing collimators, in this study one sample was selected and its efficiency was checked by simulating in the MCNPX2.6 code.

Key words: Lobster eye lens, X-ray imaging, Collimator

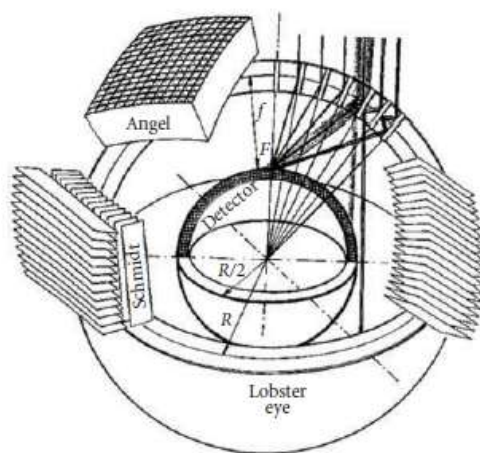
مقدمه :

سیستم های تصویربرداری مبتنی بر پس پراکندگی پرتو ایکس که بر اساس آشکارسازی پرتوهای کامپتون پس پراکنده شده از جسم کار می کنند، به منظور شناسایی مواد آلی موجود در اجسام هدف به کار می روند.

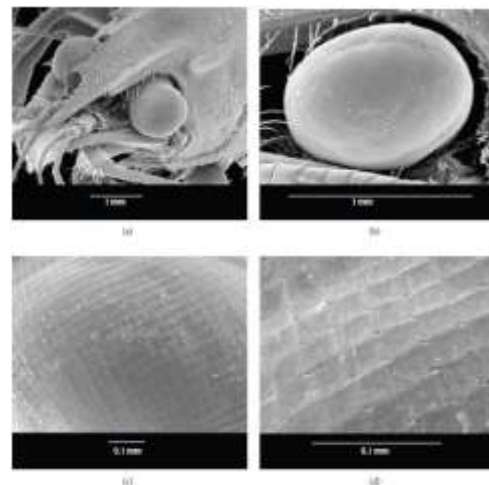
اساس تصویربرداری در سیستم های تجاری موجود، استفاده از یک همسوساز مکانیکی به منظور ایجاد باریکه مدادی شکل می باشد. به دلیل پیچیدگی های موجود در استفاده از همسوساز مکانیکی، استفاده از همسوسازی که بتواند به صورت جایگزین در سیستم های تصویربرداری پس پراکندگی استفاده شود، موثر خواهد بود.

طرح همسوساز و یا اپتیک چشم لابستر که بر گرفته از ساختار چشم سخت پوستانی مانند لابستر، خرچنگ و ... می باشد، اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط اشمیت^۱ و پس از آن در سال ۱۹۷۹ توسط انگل^۲ ارائه شد (شکل ۱) [۱].

یک عدسی چشم-لابستر شامل آرایه ای از کانال های مربعی شکل با سطوح داخلی بازتابنده است که بر روی سطح یک کره به ترتیب قرار گرفته اند. ساختار متقارن کروی سبب می شود که چشم-لابستر محور اپتیکی خاصی نداشته باشد و قابلیت های تصویربرداری آن در تمام جهت ها مشابه باشد. در واقع بر خلاف اصول تشکیل تصویر در چشم بیشتر موجودات، که بر اساس شکست نور می باشد، تصویر در عدسی چشم لابستر با بازتاب پرتوهای نوری فرودی از سطوح داخلی ساختار عدسی چشم صورت می گیرد [۲].



(ب)



(الف)

شکل ۱- (الف). ساختار میکروسکوپی عدسی چشم لابستر در طبیعت. (ب) طرح عدسی لابستر انگل و اشمیت.

به وسیله عدسی چشم لابستر می توان با یک میدان دید گسترده، به وسیله پرتو ایکس تصویربرداری انجام داد. قابلیت های عدسی چشم لابستر در تصویربرداری از پرتوهای کیهانی و انرژی های پایین پرتو ایکس به

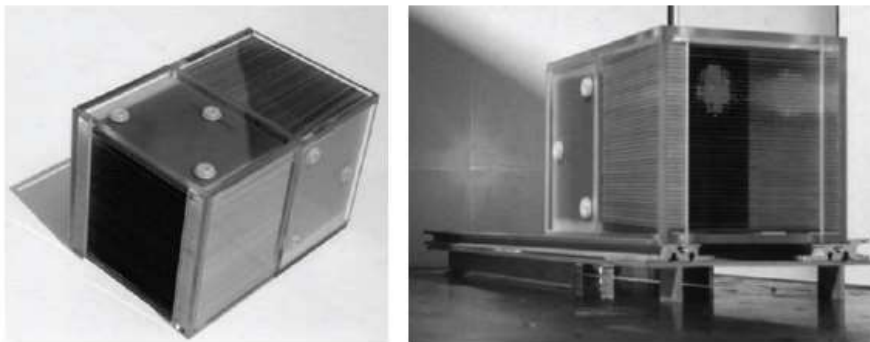
¹ - Schmidt

² - Angel

اثبات رسیده است. پرتوهای ایکس در صورتی می‌توانند از یک سطح بازتاب کنند که با زاویه بسیار کوچکی که به آن زاویه خراشان^۱ می‌گویند، بر یک سطح فلزی با ناهمواری بسیار ناچیز (جذر میانگین مربع (RMS^۲) سطح بهتر از ۱ نانومتر باشد)؛ فرود آیند. در این صورت می‌توان برای سطح مورد نظر بر حسب انرژی پرتو ایکس فرودی، ضریب شکست تعریف کرد [۳].

$$n = 1 - \frac{\rho_n r_0 \lambda^2 (f_1 + i f_2)}{2\pi}$$

طراحی ارائه شده توسط اشمیت (شکل ۱)، ساختار ساده تری برای ساخت دارد، اگرچه مدل‌هایی نیز برای ساخت طرح انگل ارائه شده است. یکی از همسوسازهای ساخته شده بر اساس طرح اشمیت (mini 2) که برای تصویربرداری پرتوهای کیهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای مشخصات زیر می‌باشد و در جمهوری چک ساخته شده است (شکل ۲ و جدول ۱):



شکل ۲- همسوساز چشم لابستر mini 2 برای تصویربرداری پرتوهای کیهانی.

جدول ۱- مشخصات همسوسازهای چشم لابستر ساخته شده در جمهوری چک. مدل mini 2 در مقاله شبیه سازی شده است.

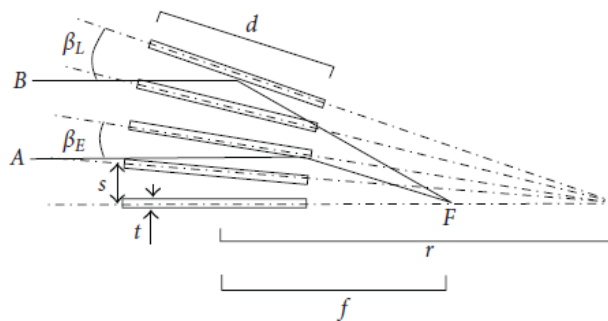
نام مدل چشم لابستر	طول d (mm)	ضخامت صفحه t (mm)	فاصله a (mm)	طول l (mm)	زاویه مؤثر (a/l)	طول کانونی f (mm)	رزولوشن r (arcmin)	میدان دید (°)	انرژی (keV)
macro	۳۰۰	۰/۷۵	۱۰/۸۰	۳۰۰	۰/۰۳۶	۶۰۰۰	۷	۱۶	۳
middle	۸۰	۰/۳	۲	۸۰	۰/۰۲۵	۴۰۰	۲۰	۱۲	۲
mini 1	۲۴	۰/۱	۰/۳	۳۰	۰/۰۱	۹۰۰	۲	۵	۵
mini 2	۲۴	۰/۱	۰/۳	۳۰	۰/۰۱	۲۵۰	۶	۵	۵
micro	۳	۰/۰۳	۰/۰۷	۱۴	۰/۰۰۵	۸۰	۴	۳	۱۰

¹- grazing angle

²- root mean square

روش کار :

به منظور بررسی بازدهی همسوساز چشم لابستر، یک نمونه از همسوسازهای ساخته شده انتخاب شد. این همسوساز از دو ردیف تیغه عمود بر یکدیگر، از جنس بروسیلیکات؛ که هر کدام به ابعاد $2/3$ سانتی متر در $2/3$ سانتی متر و به ضخامت $0/005$ سانتی متر می باشد؛ ساخته شده است. در طرفین هر تیغه روکشی از جنس طلا و به ضخامت $0/0025$ سانتی متر تعبیه شده است. فاصله کانونی همسوساز 25 سانتی متر می باشد. شبیه سازی ترابرد پرتو با استفاده از کد MCNPX2.6 انجام شده است و به منظور ساخت هندسه بر اساس روابط هندسی موجود میان تیغه های همسوساز (شکل ۳)، برنامه ای در MATLAB نوشته شد تا بتوان به راحتی ساختارهای مورد نیاز با ابعاد متفاوتی را با تغییر انرژی پرتو ایکس ایجاد کرد. به منظور صحت سنجی خروجی ایجاد شده به وسیله همسوساز، یک چشمه سطحی که پرتوهای ایکس با انرژی مشخصی را به سمت دهانه همسوساز می فرستد، در فاصله $0/5$ سانتی متری از انتهای همسوساز قرار داده شد. از آنجا که ویژگی مختص چشم لابستر، کانونی کردن پرتوهای فرودی به آن است؛ ابتدا می بایست برای هر ردیف تیغه به صورت جداگانه و یک بار با قرار دادن هر دو ردیف تیغه؛ شار خروجی را در نقطه کانون با استفاده از تالی مش بررسی کرد. پس از آن با بررسی میزان جریان ورودی و خروجی از چشم لابستر می توان بازدهی آن را در انرژی های متفاوت به دست آورد.



$$f = \frac{r}{2}, \beta_E = \frac{a-t}{d}, \beta_L = 2bE, \alpha \sim \frac{2s}{r} = \frac{s}{f}$$

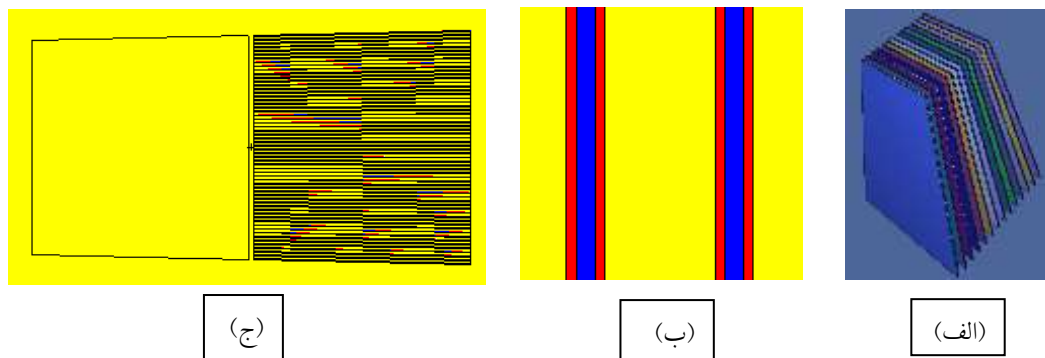
شکل ۳- طرح هندسی ساختار قرارگیری تیغه ها در همسوساز چشم لابستر و روابط هندسی آن [۳].

نتایج :

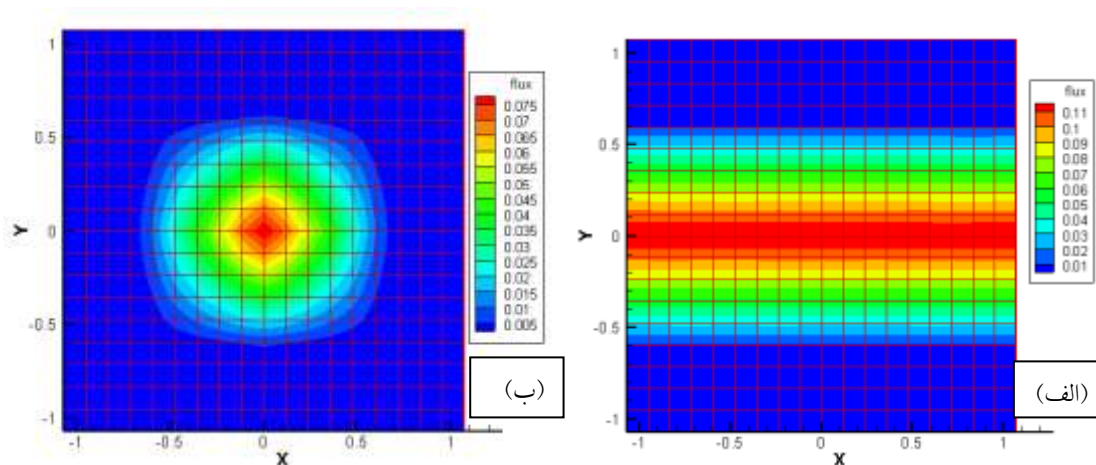
با استفاده از چشمه فوتون سطحی با انرژی ۸ کیلو الکترون ولت و به ابعاد انتهای همسوساز، با ۲۰۰ میلیون بار اجرای برنامه ($10^8 \times 2 \times nps$)، رفتار مورد انتظار از خروجی همسوساز چشم لابستر به دست آمد (شکل ۴



و ۵). مشاهده می شود که هر ردیف تیغه قادر به کانونی کردن پرتوهای خروجی از چشمه صفحه ای می باشد.



شکل ۴- (الف). طرح همسوساز چشمه لایستر (۱۴ تیغه ردیف اول). (ب). ساختار تیغه ها و روکش آن. (ج) همسوساز تجاری شبیه سازی شده با دو ردیف تیغه عمود بر یکدیگر (در هر ردیف ۶۰ تیغه قرار دارد).



شکل ۵- (الف). شار خروجی از تیغه های ردیف اول بدون در نظر گرفتن ردیف دوم. (ب) شار خروجی از دو ردیف تیغه.

با تغییر انرژی چشمه و با استفاده از تالی یک در کد MCNPX2.6، بازدهی همسوساز با روکش طلا را در نقطه کانونی به دست می آوریم (جدول ۲).



جدول ۲ - بازدهی همسوساز چشم لابستر در انرژی ۸ تا ۱۲ کیلو الکترون ولت.

انرژی چشمه (keV)					جنس روکش			
۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	چگالی (gr/cm ³)	عدد جرمی	عدد اتمی	ماده
بازدهی همسوساز (درصد)								
۷/۸	۷/۵۵	۷/۳	۶/۹۵	۶/۶۵	۱۹/۳	۱۹۷	۷۹	Au

بحث و نتیجه گیری :

اگرچه با افزایش انرژی بازدهی نسبی همسوساز افزایش می یابد، اما باید توجه داشت که اگر متناسب با انرژی، ساختار همسوساز تغییر نکند، شاهد بازتاب پرتوهای ایکس نخواهیم بود. علاوه بر آن تغییر ضخامت زیرلایه و روکش، میزان ناهمواری سطح و نوع مواد مورد استفاده می تواند در خروجی نهایی موثر باشد. می توان اثر تغییرات این پارامترها را نیز در خروجی همسوساز با استفاده از شبیه سازی بررسی نمود.

مراجع :

- 1- Jie Xu., Xin Wang, Baozhong Mu, Qi Zhan, Qing Xie, Yaran Li, Yifan Chen, and Yanan He. A novel biometric X-ray backscatter inspection of dangerous materials based on a lobster-eye objective. Optics and Photonics for Counterterrorism, Crime Fighting, and Defence XII, edited by D. Burgess, G. Owen, H. Bouma, F. Carlysle-Davies, R. J. Stokes, Y. Yitzhaky, Proc. of SPIE Vol. 9995, 999507.
- 2- René Hudec, Kirkpatrick-Baez (KB) and Lobster Eye (LE) Optics for Astronomical and Laboratory Applications, Hindawi Publishing Corporation. X-Ray Optics and Instrumentation Volume 2010, Article ID 139148, 39 pages.
- 3- Libor Šv'eda, Multi-Foil X-Ray Optical Systems and Image Analysis in High-Temperature Plasma Physics, Ph.D. THESIS, 2006.
- 4- R. Hudec, A. Inneman, L. Pina, V. Hudcova, L. Sveda, H. Ticha, Lobster eye X-ray telescopes: recent progress, X-Ray and Gamma-Ray Telescopes and Instruments for Astronomy, SPIE Vol. 4851 (2003).
- 5- Adolf Inneman, René Hudec, Ladislav Pina. Progress in Lobster - Eye X-ray optics development, X-Ray Optics, Instruments, and Missions IV, Richard B. Hoover, Arthur B. C. Walker II, Editors ۹۴, Proceedings of SPIE Vol. 4138 (۲۰۰۰).
- 6- Michael Gertsenshteyn, Tomasz Jansson, and Gajendra Savant, Staring/Focusing Lobster-Eye Hard X-Ray Imaging for Non-Astronomical Objects, Hard X-Ray and Gamma-Ray Detector Physics VII, edited by Ralph B. James, Larry A. Franks, Arnold Burger, Proceedings of SPIE Vol. 5922 (SPIE, Bellingham, WA, 2005)