

## استفاده از جاروبگر باریکه نوری و لامین‌های پرتو دهی شده الکترونی برای مشخصه- یابی فضایی از باریکه لیزر CO<sub>2</sub> و پلاسمای سرد

محسن عسکریبیکی<sup>۱</sup>، سید پژمان شیرمردی<sup>۲</sup>، محمود برهانی زرنندی<sup>۱</sup>، علی محمد پورصالح<sup>۲</sup> و عباس بهجت<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، مجتمع علوم، دانشگاه یزد، یزد

<sup>۲</sup>مجتمع پژوهشی ایران مرکزی (یزد)، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

چکیده - در این مقاله چگونگی طراحی و ساخت جاروبگر باریکه نوری برای مشخصه‌یابی از باریکه‌های الکترونی و اپتیکی نشان داده می‌شود. این سیستم می‌تواند به صورت غیرمستقیم و با استفاده از لایه‌های اپتیکی پرتو دهی شده الکترونی، باریکه‌های لیزری و پلاسمایی را نیز اسکن کند. در این جاروبگر باریکه با استفاده از یک شکاف و یک لبه تیغ، فضای مورد نظر اسکن به واحدهای کوچک فضایی با سطح مقطع‌های دلخواه تقسیم می‌شود. سپس با استفاده از چشمه و آشکارساز مناسب این واحدهای کوچک فضایی قرائت می‌گردد. در این تحقیق نمایه دو بعدی فضایی باریکه الکترونی بعد از سیستم اسکن شتابدهنده رودترون، نمایه فضایی لیزر CO<sub>2</sub> با توان 2.3 W و همچنین نمایه‌ی فضایی باریکه پلاسمایی سرد با دقت 1 mm<sup>2</sup> اندازه‌گیری شدند. نتایج تجربی بدست آمده تطابق بسیار خوبی با تئوری و گزارشات تجربی پژوهشگران دیگر دارند.

کلید واژه - پلاسمای سرد، جاروبگر باریکه نوری، لایه‌ی اپتیکی پرتو دهی شده الکترونی، لیزر CO<sub>2</sub>، نمایه فضایی باریکه.

## Using Of The Optical Beam Scanner And Irradiated Lamina For The Characterization Of CO<sub>2</sub> Laser And Cold Plasma

M. Askarbioki<sup>1,2</sup>, S. P. Shirmardi<sup>2</sup>, M. B. Zarandi<sup>1</sup>, A. M. Poursaleh<sup>2</sup>, A. Behjat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atomic & Molecular Group, Department of Science, Physics Faculty, Yazd University, Yazd

<sup>2</sup>Central Iran Research Complex, Nuclear Science And Technology Research Institute (NSTRI), Yazd, Iran

Abstract- In this paper, design and construction of an optical beam scanner is presented. This system can also scan laser and plasma beam profiles by e-beam irradiated laminas indirectly. In the design, slightly space is divided into spatial small spaces by a splitter and a knife edge. Then using suitable optical source and detector, intensity of light that has transferred in small spaces is determined. So we can drive spatial dose distribution in optical laminas. In this work, 2D spatial profiles of electron beam of Rhodotron accelerator, 2.3 W CO<sub>2</sub> laser beam and cold plasma were measured and characterized with 1 mm<sup>2</sup> precision. The obtained experimental results show that measured data have good match with another researches and theory.

Keywords: Cold Plasma, Optical Beam Scanner, E-Beam Irradiated Lamina, CO<sub>2</sub> Laser, Spatial Beam Profile.

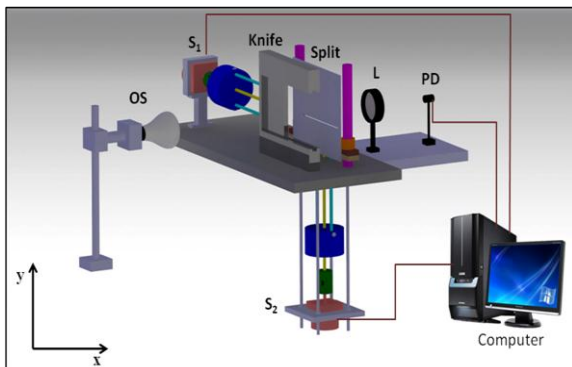
## ۱- مقدمه

در این مقاله روش جدیدی را ارائه می‌دهیم که می‌توان به صورت آنی و غیرآنی نمایه‌ی فضایی باریکه الکترونی و یا حتی نمایه باریکه‌های اتمی را قرائت کرد.

## ۲- روش کار

در روش Laser Wire Scanner، دوربین CCD باریکه نوری روی صفحه نورافشان را که بر اثر برخورد ذرات باردار جدا شده از باریکه اصلی با این صفحه تشکیل شده است، به صورت دیجیتال نمایش می‌دهد [۱۵]. این روش نیز مثل WS بر اساس قرائت المان‌های مستطیلی متناظر با سطح مقطع موثر برخورد باریکه لیزری با باریکه الکترونی یا یونی است. اما دوربین‌های CCD قادر به قرائت بازه خاصی از بینامواج الکترومغناطیسی، معمولاً در نواحی مرئی بین 400 nm تا 800 nm، و نمی‌توانند تابش‌های لومینیسنس فرابنفش یا مادون قرمز ناشی از برخورد ذرات پرنرژی به صفحات نورافشان را آشکار کنند که این نیز باعث محدودیت کاربرد آنها می‌شود.

برای آشکارسازی نمایه فضایی باریکه الکترونی و یونی با مقیاس فضایی استاندارد و همچنین استفاده از سایر صفحات نورافشان لومینسنسی تابشی در سایر بازه‌های بینایی، جاروبگر باریکه نوری مطابق شکل ۱ طراحی و ساخته شده است.

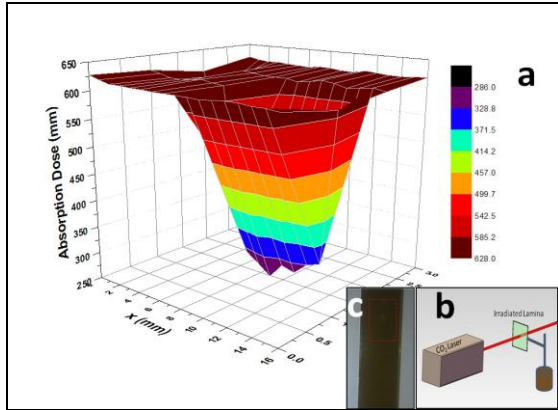


شکل ۱: نمایه از جاروبگر باریکه نوری؛ OS: Optical Source، S<sub>1</sub>: Step motor in x direction، S<sub>2</sub>: Step motor in y direction، L: Lens، PD: Photo Detector و 5 cm با فاصله کانونی است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، جاروبگر باریکه نوری از اجزای مختلفی تشکیل شده است. در این شکل OS چشمه نور اپتیکی است که باید یک LED یا چشمه نور نقطه‌ای با خط مرکزی تقریباً 480 nm باشد. S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> موتورهای با گام‌های ریز و قابل تنظیم هستند که

امروزه استفاده و ارتقاء شتابدهنده‌ها به سرعت در حال افزایش است [۱-۳]. مشخصه‌یابی از کمیت‌های وابسته به شتابدهنده نیز در توسعه و کاربرد هرچه بیشتر آنها موثر است [۴، ۵]. کمیت‌هایی همچون نمایه فضایی باریکه‌های الکترونی و یونی، نمایه زمانی، واگرایی باریکه، انرژی و جریان از مهمترین پارامترهای خروجی شتابدهنده اند. به عنوان مثال نمایه فضایی باریکه‌های شتابدهنده بیانگر عملکرد قطعاتی همچون چشمه RF، مگنت‌های همگراکننده، تفنگ الکترونی و مولد ولتاژ بالا است [۶، ۷]. بنابراین اندازه‌گیری این کمیت تحلیلی درست از نحوه کارکرد وسایل جانبی شتابدهنده در اختیار کاربران و کنترل‌کنندگان آن قرار می‌دهد. برای اندازه‌گیری نمایه فضایی باریکه‌های الکترون روش‌های گوناگونی وجود دارد. معروفترین آنها روش Wire Scanning (WS) است [۸]. این روش صورت‌های گونانی دارد و اطلاعات نسبتاً مناسبی از توزیع فضایی ذرات الکترونی در نمایه خروجی آنها را بدست می‌دهد [۹-۱۱]. اما استفاده از یک یا حتی دو سیم متعامد در روش‌های WS نمی‌تواند اطلاعات جامعی از توزیع فضایی ذرات باردار تهیه کند [۱۲]. در این روش‌ها باریکه به صورت المان‌های مستطیلی با اندازه برابر با سطح مقطع سیم جاروب می‌شود [۱۰]. در جریان‌های بالا سیم‌های دستگاه WS آسیب می‌بینند و بعد از مدتی باید تجدید شوند [۱۱]. با وجود تمام این عیب‌ها این دستگاه تصویر تقریباً آنی را از نمایه فضایی الکترون‌ها نشان می‌دهد و هنوز مورد استفاده محققان است [۱۳، ۱۴]. برای مرتفع کردن این عیوب محققان از روش‌های دقیق اپتیکی همچون Laser wire scanner (LWS) استفاده کرده‌اند [۱۵]. در این روش باریکه یونی و یا الکترونی توسط یک پرتو لیزری جاروب می‌شود [۱۶].

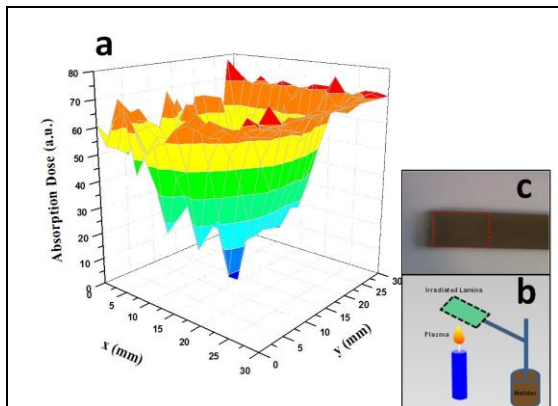
روش LWS یک روش بسیار مناسب برای استفاده در خلاء و بدون اختلال روی باریکه اصلی است. ولی این طراحی نیز همانند WS بر اساس المان‌های مستطیلی جاروبی است و در اکثر پژوهش‌ها از دو راستای متعامد اسکن لیزری صحبت شده است [۱۷]. این روش دشواری‌های دیگر خاص خود را دارد و به هر حال روش LWS نیز یک روش اسکن آنی (On-line) است و پردازش سریعی از داده‌ها را در اختیار کاربران می‌گذارد.

نور اسکنر داشته باشیم دز بالاتری خواهیم داشت. شکل ۳ نیز توزیع دز - سطح لایه‌ی اپتیکی یکنواخت پرتو دهی شده را که برای مدت  $t=4s$  در معرض تابش لیزر  $CO_2$  با توان  $2.3 W$  قرار گرفته است، نشان می‌دهد.



شکل ۳- (a) نمایی از توزیع سه بعدی دز بدست آمده از لایه اپتیکی تحت تابش لیزر  $CO_2$  با استفاده از جاروبگر باریکه نوری. (b) نمایی از پرتو دهی لیزری لایه‌ی اپتیکی تابش شده الکترونی. (c) تصویر تغییر دز لایه اپتیکی پرتو دهی شده ناشی از پرتو دهی لیزر  $CO_2$ .

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود لایه پرتو دهی شده، دز خود را به صورت جایگزیده و در محل تابش لیزر  $CO_2$  از دست داده است. نمایه بوجود آمده در واقع بیانگر توزیع فوتون‌های اپتیکی در سطح مقطع لیزر  $CO_2$  است که دزهای لایه‌ی اپتیکی را به صورت جایگزیده از بین برده‌اند. شکل ۴ توزیع سطحی لایه‌ی اپتیکی یکنواخت پرتو دهی شده را مطابق با چیدمان تجربی شکل ۴- b نشان می‌دهد.



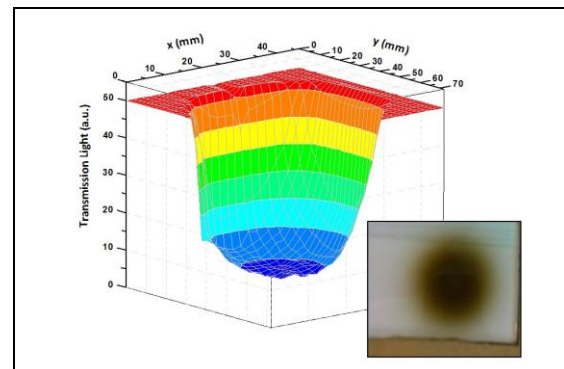
شکل ۴- (a) نمایی از توزیع سه بعدی دز بدست آمده از لایه اپتیکی مجاور پلاسمای سرد شعله با استفاده از بیم اسکنر نوری. (b) نمایی شماتیک از لایه اپتیکی دز خورده در مجاورت پلاسمای سرد. (c) تصویر تغییر دز لایه اپتیکی پرتو دهی شده ناشی از مجاورت با پلاسمای سرد.

همانطور که در نمودار شکل ۴- a مشاهده می‌شود، لایه اپتیکی دز خورده به صورت جایگزیده دز خود را در نواحی

به ترتیب لبه تیغ و شکاف را در دو راستای  $x$  و  $y$  جابجا می‌کنند.  $L$ ، عدسی همگراکننده با فاصله کانونی  $f = +5 cm$  و نیز آشکارساز نوری است. اساس کار این دستگاه بر مبنای مشبک کردن فضای اسکن است. بدین منظور شکاف با پهنای  $1 mm$  را در موقعیت  $y_m$  و لبه تیغ را در موقعیت  $x_m$  در نظر بگیرید. فرض کنیم در این حالت مقدار باریکه نوری که از شکاف می‌گذرد در آشکارساز نوری تولید جریان  $i$  کند. اگر لبه تیغ را به اندازه  $\Delta x$  حرکت کند به طوریکه به موقعیت جدید  $x + \Delta x$  برسد در این صورت مقدار جریان جدید آشکارساز به  $i'$  می‌رسد. بی‌شک اختلاف جریان  $\Delta i = i - i'$  جریان متناسب با نور عبوری از شبکه فضایی به مختصات  $(x_m + \frac{\Delta x}{2}, y_m)$  و اندازه  $\Delta x \cdot l$  خواهد بود که  $l$  پهنای شکاف است. بنابراین می‌توان با این روش کل فضای نوری مقابل دهانه جاروبگر باریکه را به واحدهای کوچک فضایی تقسیم و آنها را جاروب کرد.

### ۳- نتایج تجربی

در ابتدا یک لایه شیشه‌ای با ابعاد  $125 \times 125 \times 5 mm^3$  پرتو دهی شد. برای پرتو دهی از باریکه الکترونی با انرژی  $10 MeV$ ، جریان  $i = 10 \mu A$ ، به مدت  $t = 5 s$  و استفاده و سپس مطابق شکل ۱ این لایه‌ی در معرض گذاری پرتو الکترونی اسکن گردید.



شکل ۲: رسم توزیع سه بعدی نور عبوری از شیشه دز خورده با استفاده از جاروبگر باریکه نوری.

شکل ۲ بخوبی توزیع گاوسی وارون نور عبوری از شیشه دز خورده را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توزیع دز بر روی سطح شیشه به صورت گاوسی بوده که مانع از عبور باریکه‌ی نوری جاروبگر اپتیکی شده است. به عبارت دیگر مقدار دز متناسب با جذب نور عبوری است و این یعنی هر قدر جذب بیشتر یا همان عبور کمتری برای

[۵] D. Teweldebrhan, and A. A. Balandin, "Modification of graphene properties due to electron-beam irradiation," *Applied Physics Letters*, Vol. 94, pp. 013101-013103, 2009.

[۶] D. A. Lee, J. K. Pozimski, C. Gabor, and P. Savage, "A Laserwire Beam Profile Measuring Device For The Ral Front End Test Stand," Rutherford Appelton Laboratory, Oxford, UK, 2011.

[۷] S. G. Arutunian, M. R. Mailian, and K. Wittenburg, "Vibrating wires for beam diagnostics," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, Vol. 572, pp. 1022-1032, 2007.

[۸] R. Fulton, J. Haggerty, R. Jared, R. Jones, J. Kadyk, C. Field, W. Kozanecki, and W. Koska, "A high resolution wire scanner for micron-size profile measurements at the SLC," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, Vol. 274, pp. 37-44, 1989.

[۹] J. D. Gilpatrick, , and et. al, "Wire Scanner Beam Profile Measurements: Lansce Facility Beam Development," Los Alamos, NM, USA, 2012.

[۱۰] S. Rodriguez, B. Smith, A. Maestas, J. Raybun, J. Martinez, D. Sattler, J. D. Gilpatrick, J. Sedillo, and M. Gruchalla, "Mechanical Design And Evaluation Of The Mp-11-Like Wire Scanner Prototype," in *Instrumentation, Controls*, New Orleans, Louisiana, pp. 984-986, 2012.

[۱۱] N. Iida, T and et. al, "A Method For Measuring Vibrations In Wire Scanner Beam Profile Monitors," Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, Japan, 2012.

[۱۲] C. Gabor, G. Boorman, and A. P. Letchford, "A Two Dimensional Wire Scanner For A Low Energy Ion Beam," RAL, Oxfordshire, UK, 2012.

[۱۳] J. Sedillo, and et. al, "Software Development For A Compactrio-Based Wire Scanner Control And Dataacquisition System," in *Proceedings of IPAC2012*, New Orleans, USA, 2012.

[۱۴] J. D. G. e. al, "Wire Scanner Beam profile Measurements: LANSCE Facility Beam Development," in *Proceedings of IPAC2012, Instrumentation, Controls, EEE*, New Orleans, Louisiana, USA, 2012.

[۱۵] Y. Liu, C. Long, C. Huang, R. Dickson, and A. Aleksandrov, "Simultaneous ion beam profile scan using a single laser source," *Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams*, Vol 16, No. 012801, 2013.

[۱۶] Y. Honda, N. Sasao, S. Araki, Y. Higashi, T. Okugi, T. Taniguchi, J. Urakawa, Y. Yamazaki, K. Hirano, M. Nomura, M. Takano, and H. Sakai, "Upgraded laser wire beam profile monitor," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, Vol. 538, pp. 100-115, 2005.

[۱۷] A. Bosco, M. T. Price, G. A. Blair, S. T. Boogert, G. Boorman, S. Malton, C. Driouichi, T. Kamps, F. Poirier, K. Balewski, E. Elsen, V. Gharibyan, H. C. Lewin, S. Schreiber, N. Walker, and K. Wittenburg, "A two-dimensional laser-wire scanner for electron accelerators," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, Vol. 592, pp. 162-170, 2008.

[۱۸] A. A. Zavadtsev, "Electron beam scanning system," in *Particle Accelerator Conference, Proceedings of the*, pp. 3860-3862, 1997.

[۱۹] M. Sparkes, M. Gross, and W. O'Neill, "A novel non-intrusive sampling technique for laser on-line beam monitoring utilising a silicon mirror," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol 46, pp. 620-627, 2008.

[۲۰] S. Svanberg, *Atomic and Molecular Spectroscopy: Basic Aspects and Practical Applications*; Springer, 2004.

برخوردی با ذرات آزاد شده پلاسما از دست داده است. در نمایه فضایی شکل ۴-a در محل تماس نوک شعله کمترین مقدار دز و در اطراف آن نسبتا دز بیشتری وجود دارد. در یک نگاه کلی این توزیع دز عکس توزیع مرسوم ذرات پلاسمایی است [۲۰]. هر چند این روش یک دید کلی از ذرات پلاسمایی در اختیار می‌دهد اما با استفاده از آن می‌توان به نتایج جزئی و دقیقی در آینده دست یافت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نحوه عملکرد جاروبگر باریکه نوری نشان داده شد. این سیستم می‌تواند نمایه فضایی باریکه‌های الکترونی را با دقت مناسب و قابل تنظیم اندازه‌گیری کند. برای این مهم کافی است تا نمایه‌ی فضایی تابش لومینیسنس یا نمایه‌ی جامانده ناشی از پرتوهای الکترونی بر روی لایه‌های اپتیکی با استفاده از جاروبگر باریکه نوری قرائت گردد. در این تحقیق نمایه‌ی فضایی باریکه الکترونی یکنواخت، که توسط سیستم خروجی شتابدهنده رودترون بر روی لایه‌های اپتیکی ایجاد شده بود با استفاده از جاروبگر باریکه نوری اندازه‌گیری شد. همانطور که انتظار می‌رفت نمایه فضایی به صورت نسبتا مناسب یکنواخت بود. بنابراین این لایه‌های اپتیکی پرتوهای شده می‌توانند حسگر مناسبی برای اندازه‌گیری نمایه فضایی دیگر باریکه‌ها، از جمله باریکه‌های لیزری و پلاسمایی که به راحتی قابل اندازه‌گیری نیستند، باشند. در ادامه لایه‌های پرتوهای شده الکترونی که تحت تابش لیزر CO<sub>2</sub> و همچنین پلاسمای سرد قرار گرفته بودند، با استفاده از جاروبگر باریکه نوری قرائت شدند. نتایج تجربی حاصل از این اسکن تطابق بسیار خوبی با پژوهش دیگر محققان و تئوری داشت. درستی نتایج، صحیح بودن عملکرد دستگاه جاروبگر باریکه و استفاده مناسب از لایه‌های پرتوهای شده الکترونی برای قرائت باریکه‌های دیگر را نشان می‌دهد.

#### مراجع

[۱] J. Chen, Z. Guo, K. Liu, and L. Zhou, "Development of Accelerator Mass Spectrometry and Its Applications," *Reviews of Accelerator Science and Technology*, Vol. 04, pp. 117-145, 2011.

[۲] A. W. Chao, and W. Chou, "Editorial Preface," *Reviews of Accelerator Science and Technology*, Vol. 04, pp. v-vi, 2011.

[۳] E. v. d. Bij, J. Serrano, T. Wlostowski, M. Cattin, E. Gousiou, P. A. Sanchez, A. Boccardi, N. Voumard, and G. Penacoba, "Open Hardware for CERN's accelerator control systems," *Journal of Instrumentation*, Vol 7, C01032, 2012.

[۴] V. Nelson, D. McLean, and L. Holloway, "Thermoluminescent dosimetry (TLD) for megaVoltage electron beam energy determination," *Radiation Measurements*, Vol 45, pp. 698-700, 2010.