بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی،شبیه سازی و ساخت سیستم اپتیکی دستگاه شمارنده ذرات میکرونی بر مبنای پراکندگی پرتو لیزر

ابراهیم بحرودی[۱،۲]، عاطفه عجمی[۱]، محسن بنجخی[۱]، محبوبه عرب‌سرخی[۱] و سید مجتبی برزین[۱]

[۱] مرکز اپتیک، جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، تهران

[۲] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

در این مقاله به طراحی اپتیک سیستم شمارنده ذرات با ابعاد یک تا ده میکرون پرداخته می‌شود. اپتیک سیستم از دو قسمت اپتیک ارسال پرتو لیزر به سمت ناحیه برهم‌کنش با ذرات و اپتیک جمع‌آوری و هدایت پرتوهای پراکنده شده از سطح ذرات به سمت آشکارساز تشکیل شده است. در اپتیک ارسال برای شکل دهی پرتو لیزر از یک عدسی محدب و عدسی استوانه‌ای، و در اپتیک دریافت از یک آینه بیضوی استفاده شد تا حساسیت سیستم افزایش یابد. در انتها با تست سیستم نهایی و مقایسه با یک دستگاه شمارنده مرجع صحت عملکرد اپتیک طراحی شده تایید شد.

کلید واژه- شبیه سازی و طراحی اپتیکی، دستگاه شمارنده ذرات، اندازه گیری قطر ذرات، پراکندگی لیزری

Design, Simulation and Manufacture of Particle Counter Optical System Based on Laser Scattering

Ebrahim Behroodi[1,2], Atefeh Ajami[1], Mohsen Bonjakhi[1], Mahboobeh Arabsorkhi[1] and Mojtaba Barzin[1]

[1] Iranian Academic Center for Education, Culture, & Research- Sharif Branch- Tehran

[2] Laser and Plasma Research Institute - Shahid Beheshti University- Tehran

In this Article, the system of particle counter based on optical design is described. The optical system consists of two parts. The first part is transmitting of the laser beam to the interaction region. The second part is collecting of light scattered by dust particles and sending it to the detector. To shape the laser beam in the interaction region, a convex lens and cylindrical lens were used. Also in the second part an elliptical mirror is applied to increase the sensitivity of designed system. Finally our system was compared with a reference system and its optical performance was verified.

Keywords: Simulation and optical design, Particle counter, Measurement particle size, Laser scattering

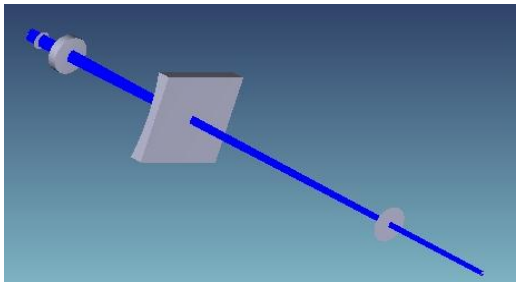
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-16]

۱- مقدمه

یکی از روشهایی که برای شمارش و آنالیز ابعادی ذرات میکرونی معلق در یک سیال گازی در دستگاه‌های ذره شمار مورد استفاده قرار می گیرد، مشخصه یابی پراکندگی حاصل از پرتو لیزر از سطح ذرات می باشد.[1] این دستگاه‌ها در اندازه‌گیری و شمارش تعداد ذرات موجود در اتاق‌های تمیز، مانیتورینگ محلی هوای داخل ساختمان، ارزیابی کیفیت هوای کارخانه‌ها و کاربری‌های آزمایشگاهی و تحقیقاتی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساختار کلی این نوع سیستمها از چهار بخش مکانیک سیالات، طراحی جامدات، اپتیک و الکترونیک تشکیل شده است. در این مقاله به تفضیل بخش اپتیک سیستم طراحی شده مورد بررسی قرار می گیرد. اپتیک این سیستم از دو قسمت اپتیک مسیر ارسال پرتو لیزر به سمت ناحیه برهم کنش با سیال گازی و اپتیک جمع آوری و ارسال پرتوهای پراکنده شده حاصل از برهم کنش لیزر با ذرات معلق در سیال گازی به سمت آشکار ساز می باشد. برای هدایت سیال گازی و همگرا سازی ذرات میکرونی معلق در سیال در ناحیه برهم کنش از یک نازل که به این منظور طراحی و ساخته شده است استفاده می شود. در ادامه به بررسی اپتیک سیستم طراحی شده پرداخته می شود.

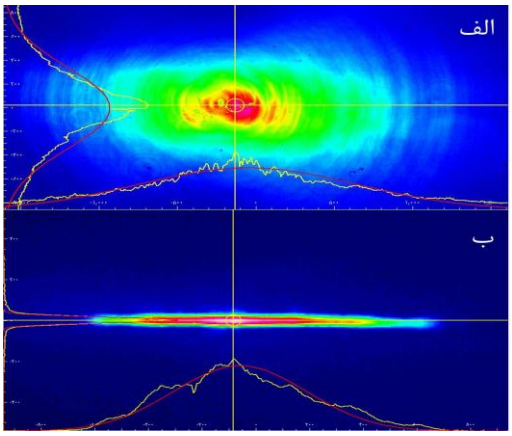
۲- اپتیک مسیر ارسال

اپتیک مسیر ارسال وظیفه هدایت پرتو لیزر به سمت ناحیه برهم کنش با ذرات معلق در سیال گازی و تغییر ابعاد مقطع پروفایل شدتی پرتو لیزر با توجه به ابعاد مقطع سیال حاصل از ذرات میکرونی همگرا شده در این ناحیه را بر عهده دارد. مقطع سیال در این ناحیه برابر با ۷۰۰ میکرون می باشد. با توجه به شبیه سازی های انجام شده پهنای پرتو لیزر در این ناحیه بین ۱۱۰۰ تا ۱۱۵۰ میکرون در نظر گرفته شد تا ذرات عبوری شدت یکسانی از پرتو لیزر را دریافت کنند و بدین سبب شدت پرتوهای پراکنده شده از سطح این ذرات فقط به شکل و ابعاد ذرات بستگی داشته باشد. عرض پرتو لیزر در این ناحیه نیز با توجه به دبی سیال، سرعت آماری ذرات عبوری و محدویت های موجود در الکترونیک و آشکارساز حدود ۶۰ میکرون محاسبه شد تا ذرات عبوری از هم قابل تفکیک باشند. لیزر مورد استفاده در این سیستم لیزر دیود با طول موج ۵۱۵ نانومتر، توان ۲۰ میلی وات با مقطع پروفایل شدتی بیضی به ابعاد ۴ در ۲/۵ میلیمتر برای $1/e^2$ شدت ماکزیمم و دارای زاویه واگرایی کمتر از ۰/۵ میلی رادیان می باشد. برای رسیدن به ابعاد مطلوب لکه لیزر در ناحیه برهم کنش، پهنا و عرض پرتو لیزر به ترتیب باید به نسبت ۳/۶ و ۴۱/۵ برابر کوچکتر شود. بدین منظور از یک عدد عدسی محدب با فاصله کانونی ۱۵۰ میلیمتر و یک عدد عدسی استوانه ای مقعر با فاصله کانونی منفی ۱۵۰ میلیمتر استفاده شد. فاصله بین دو عدسی برابر با ۵۵ میلیمتر محاسبه شد و فاصله ناحیه برهم کنش با عدسی استوانه ای نیز برابر با ۸۹ میلیمتر بدست آمد. شکل ۱ چیدمان اپتیک طراحی شده را نشان می‌دهد. تمام شبیه سازی ها توسط نرم افزار طراحی اپتیکی Zemax انجام شده است.[2-6]



شکل ۱: چیدمان اپتیک مسیر ارسال

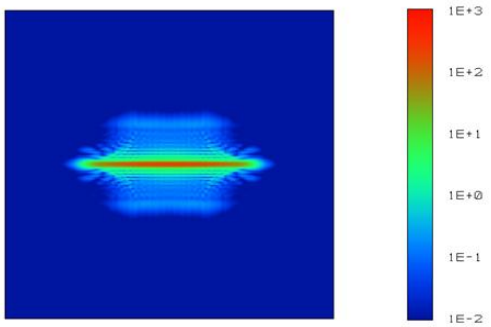
بعد از ناحیه برهم کنش و در فاصله ۴۲/۵ میلیمتری از آن یک عدد جاذب نور (Metric Beam Dump) با دهانه ورودی ۱۰ میلیمتر قرار داده شد تا پرتو لیزر به محیط اندازه گیری باز نگردد. شکل ۲ الف و ب به ترتیب پروفایل دو بعدی شدت پرتو لیزر را بدون اپتیک و بعد از اپتیک در ناحیه برهم کنش نشان می دهد.



شکل ۲: پروفایل دو بعدی شدت پرتو لیزر. الف: بدون اپتیک، ب: در ناحیه برهم کنش

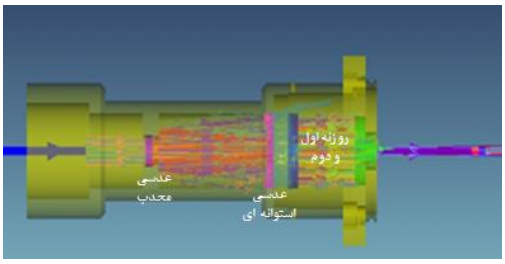
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-16]

توان لیزر در این ناحیه نیز ۱۳ میلی وات بدست آمد. نکته دوم که در طراحی باید به آن اشاره شود حذف پرتوهای مزاحم حاصل از بازتاب‌های داخلی پرتو لیزر از سطوح عدسی‌ها و دیواره نگه دارنده اپتیک مسیر ارسال می باشد که در اطراف پرتو اصلی در ناحیه برهم کنش وجود دارند. لذا به منظور حذف این نورهای مزاحم ، بعد از عدسی استوانه‌ای از دو عدد روزنه مربعی استفاده شد. مکان قرارگیری و ابعاد روزنه‌ها مهم بوده و با توجه به طراحی اپتیک مسیر ارسال تعیین می‌گردد. همچنین بر روی دیواره نگه دارنده اپتیک مسیر ارسال نیز از مواد جاذب استفاده میشود. به علت محدودیت‌های اپتیکی حاصل از اثر پراش، نمی‌توان ابعاد روزنه ها را تا حد کافی کوچک نمود و این ابعاد دارای مقدار بهینه می‌باشد. برای نمونه شکل ۳ شبیه سازی اثر پراش ایجاد شده ناشی از کوچک نمودن بیش از حد روزنه دوم را در ناحیه برهم کنش نشان می دهد.

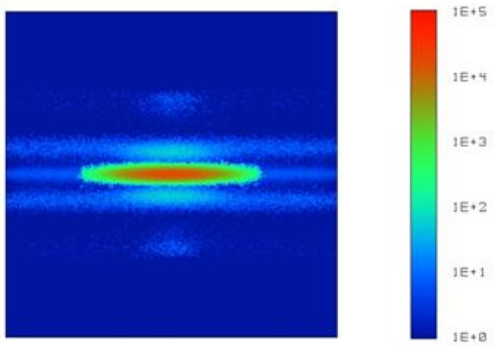


شکل ۳: اثر پراش ایجاد شده ناشی از کوچک نمودن روزنه دوم

شکل ۴ نحوه پراکندگی و بازتاب پرتو های لیزر از سطوح اپتیکی و غیر اپتیکی در سیستم اپتیک مسیر ارسال همراه روزنه با فرض جاذب نبودن بدنه روزنه‌ها و دیواره نگه دارنده قطعات اپتیکی و شکل ۵ شبیه سازی اثر این پرتوها را در ناحیه برهم کنش نشان می دهد.



شکل ۴: نحوه پراکندگی پرتو های لیزر از سطوح اپتیکی و غیر اپتیکی در سیستم اپتیک مسیر ارسال همراه روزنه با فرض جاذب نبودن بدنه روزنه‌ها و دیواره نگه دارنده قطعات اپتیکی مسیر ارسال.

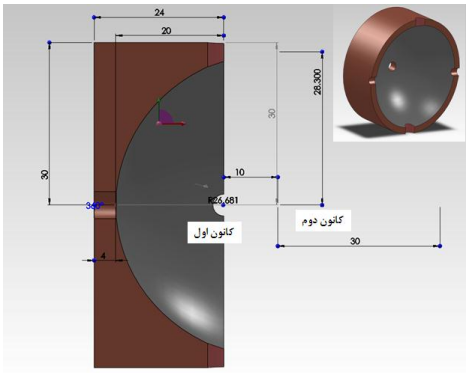


شکل ۵: پروفایل دوبعدی شدت پرتو لیزر در ناحیه برهم‌کنش با فرض جاذب نبودن بدنه روزنه‌ها و دیواره نگه دارنده قطعات اپتیکی مسیر ارسال

در شکل ۲ ب تمام ملاحظات و تصحیحاتی که بدان اشاره شد در اپتیک اعمال شده است.

۳- اپتیک مسیر دریافت

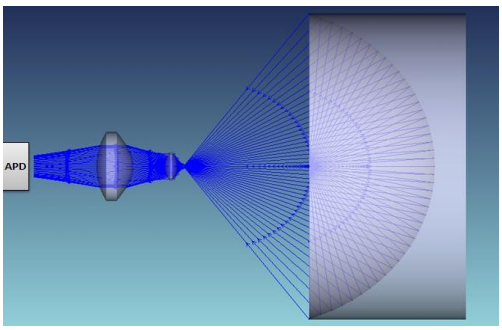
پس از طراحی اپتیک مسیر ارسال و تعیین مکان و ابعاد پرتو لیزر در ناحیه برهم‌کنش نیاز به طراحی سیستم اپتیکی است که پراکندگی حاصل از برهم‌کنش ذرات با نور لیزر را جمع‌آوری و به سمت آشکارساز هدایت نماید. بدین منظور در اپتیک مسیر دریافت از یک عدد آینه بیضوی استفاده شد. طراحی به گونه ای انجام شد که کانون اول آینه در ناحیه برهمکنش قرار بگیرد و آینه پرتوهای پراکنده شده در نیم فضا را جمع آوری نموده و به سمت کانون دوم خود هدایت کند موقعیت قرار گیری آینه به گونه ای است که محور کانونی آینه عمود بر محور اپتیکی اپتیک مسیر ارسال باشد. محور نازل و سیال عبوری نیز عمود بر این دو محور می باشد. در شکل ۶ مشخصات آینه طراحی شده آورده شده است. جنس آینه آلومینیوم می باشد.



شکل ۶: مشخصات آینه بیضوی طراحی شده

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-16]

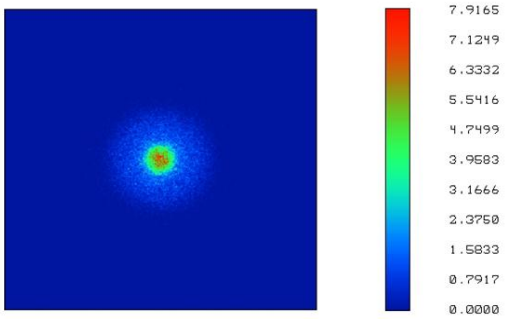
واگرایی پرتوهای کانونی شده در کانون دوم بیضی حدوداً ۱۰۰ درجه می باشد. به منظور کم نمودن این زاویه از دو عدد عدسی محدب با فواصل کانونی ۴/۵ و ۸ میلیمتر در محل کانون دوم بیضی استفاده شد تا قطر لکه جمع آوری شده در محل آشکار ساز به ۵ میلیمتر برسد. در این سیستم از یک عدد آشکارساز (Avalanche photodiode) با دهانه ورودی ۵ میلیمتر استفاده شد. شکل ۷ نحوه جمع آوری پرتوهای پراکنده شده از ناحیه برهم کنش و هدایت آن به سمت آشکار ساز را نشان می دهد.



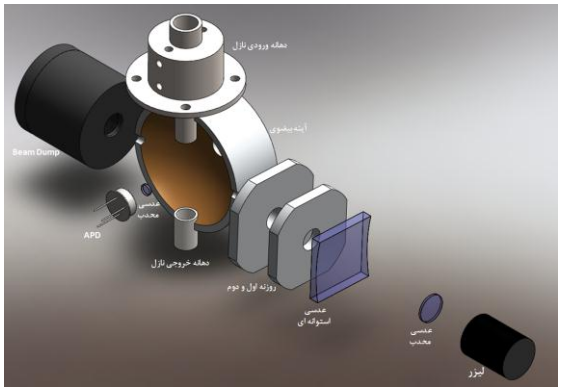
شکل ۷: سیستم اپتیکی طراحی شده برای جمع آوری سیگنال پراکندگی

شکل ۸ شبیه سازی توزیع دو بعدی شدت جمع آوری شده در سطح آشکارساز را نشان میدهد. نتایج بدست آمده نشان میدهد که بخش اعظم انرژی در ابعادی به قطر ۵ میلیمتر جمع آوری می‌گردد. در این شبیه سازی سطح آشکار ساز مربعی به طول ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

در شکل ۹ نیز چیدمان کلی از اپتیک مسیر ارسال و دریافت به همراه نازل و مسیر حرکت سیال گازی نشان داده شده است. در این شکل دیواره نگه دارنده المانهای اپتیکی آورده نشده.



شکل ۸: توزیع دو بعدی شدت جمع‌آوری شده بر روی آشکار ساز



شکل ۹: چیدمان کلی از اپتیک مسیر ارسال و دریافت به همراه نازل

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به شبیه سازی و طراحی اپتیک دستگاه شمارنده ذرات با ابعاد یک تا ۱۰ میکرون بر مبنای آنالیز پراکندگی پرتو لیزر از سطح ذرات اشاره شد. طراحی انجام شده از دو بخش اپتیک مسیر ارسال پرتو لیزر به ناحیه برهم کنش و اپتیک مسیر دریافت پرتو لیزر پراکنده شده از سطح ذرات و هدایت آن به سمت آشکارساز تشکیل شده است که هر دو بخش به تفضیل بررسی شد. مشخصه یابی ابعاد و تعداد ذرات عبوری از روی آنالیز دامنه سیگنال و تعداد پالس بدست آمده از آشکارساز به همراه کالیبراسیون دستگاه با یک سیستم شمارنده ذرات مرجع انجام شد. و نتایج مطلوبی بدست آمد که این نتایج صحت عملکرد سیستم اپتیکی را تایید نمود.

مراجع

[1] Adrian Doicu., *Light Scattering by Systems of Particles*, **Springer**, 2006
[2] Warren J. Smith., *Modern Optical Engineering. The Design of Optical Systems*, **McGraw-Hill**, 2000
[3] Bruce H. Walker., *Optical Engineering Fundamentals, Second Edition*, **SPIE**, 2008.
[4] Ray Williamson., *Field Guide to Optical Fabrication*, **SPIE**, 2011.
[5] www.zemax.com
[6] *Zemax user manual*,2008

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-16]