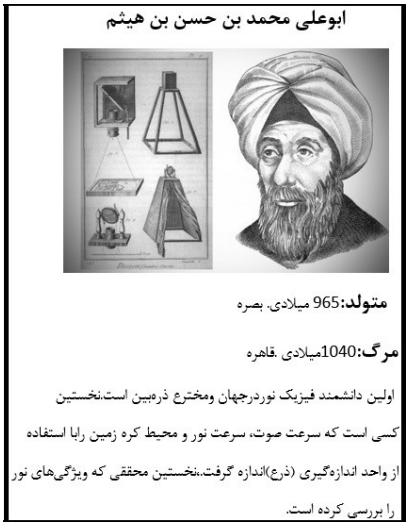
۱.۳ فیلترهای فضایی گسترده



هدف آزمایش

آشنایی با سیستم فیلتر فضایی گسترده

وسایل لازم:

- روزنه
- عدسی شیئی میکروسکوپ
- جابجاگر میکرونی
- نگهدارنده

مقدمه:

برای از بین‌بردن نوسانات تصادفی در پروفایل شدت پرتو یک لیزر از فیلترهای فضایی[1] استفاده می‌شود. این عمل باعث افزایش وضوح شده که برای کاربردهایی مانند هولوگرافی و پردازش داده‌های اپتیکی ضروری است. نوسانات شدت پرتوی یک لیزر بر اثر پراکندگی ناشی از گرد و خاک داخل کاواک لیزر، کثیفی آینه‌های کاواک و ... ایجاد می‌شود. همه این عوامل باعث طرح‌های تداخلی شده و تشکیل طرح‌های موسوم به طرح‌های منطقه‌ای فرنل در باریکه لیزر می‌شوند. با گسترده کردن پرتوی یک لیزر بر روی یک صفحه این اثر قابل مشاهده است. این طرح‌های تداخلی باعث ایجاد دو پدیده می‌شود. پدیده اول ایجاد حلقه‌هایی اطراف حلقه اصلی شدت باریکه لیزر و دیگری ایجاد نقاطی کاتوره‌ای در محل باریکه لیزر یا همان $Speckle$ است. هدف پالایه فضایی حذف این موارد است. در یک نگاه می‌توان پالایه فضایی را به دو

[1] Spatial filter

بخش همگراکننده وفیلترتقسیم کرد. نکته اساسی در چیدمان یک پالایه فضایی جفت بودن همگراکننده و فیلتر است که در این آزمایش به بررسی آن پرداخته می‌شود.

۱.۱.۳ تئوری آزمایش:

شکل ۱.۳: سه نمونه از عدسی شیئی میکروسکوپ ساخت شرکت اولیمپوس

شکل ۲.۳: نمونه‌ای از پالایه فضایی

همگراکننده پالایه فضایی یک عدسی شیئی میکروسکوپ $(Objective)$ است. این عدسی‌ها با دو مشخصه فاصله کانونی و بزرگنمایی معرفی می‌شوند. سه نمونه از این عدسی‌ها با بزرگنمایی‌های مختلف در شکل۱.۱.۳ آورده شده‌است. این نمونه از عدسی‌ها هم به‌صورت منفرد و هم به‌صورت آرایه‌ای ساخته می‌شوند. نمونه آرایه‌ای،ازعدسی‌های متعددِ باابعاد کوچک ومشابهی تشکیل شده‌اند.این مجموعه عدسی‌هابه‌صورت آرایه‌های یک بعدی و دوبعدی برایِ جمع کردن وکانونی‌کردن نوربه‌کار می‌روند.ازجمله کاربردهای آرایه‌ای آنها در دستگاه تصویربرداریِ دندان پزشکی و الس‌دی‌ها و به‌صورت منفرد برای کانونی‌کردن نوردرداخل فیبرهای نوری،اتصال فیبرهایِ نوری،پالاینده‌های فضایی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اندازه لکه پراشیده‌شده توسط عدسی شیئی میکروسکوپ بارابطه زیربیان می‌شود.

$$a = \frac{۱٫۲۲\lambda f}{d_{in}} \qquad (۱.۳)$$

که λ طول‌موج نور ورودی، f فاصله‌کانونی عدسی شیئی میکروسکوپ وd_{in} قطر باریکه ورودی به عدسی شیئی میکروسکوپ است. برای باریکه با توزیع شدت گاوسی با کمر باریکه $\omega.$ واگرایی θ و با فرض فاصله بین عدسی شیئی میکروسکوپ و لیزر L باشد،قطر باریکه ورودی به عدسی شیئی میکروسکوپ برابر با رابطه زیر است.

$$d_{in} = \sqrt{\omega_{\cdot} + ۴\theta^{۲}L^{۲}} \qquad (۲.۳)$$

برای لیزر نوعی هلیوم — نئون با طول‌موج۶۳۲/۸نانومتر،واگرایی باریکه$۱mrad$است (درآزمایش‌های آینده مقدار دقیق واگرایی باریکه تعیین می‌شود).بنابراین برای عدسی شیئی میکروسکوپ نزدیک به لیزر،قطرباریکه ورودی تقریباباکمر باریکه در هنگام خروج لیزرازعدسی شیئی برابراست.برای هر عدسی شیئی میکروسکوپ،پارامتری به نام $(Tube of Length)$ تعریف می‌شود،که برای عدسی شیئی میکروسکوپ شرکت‌های مختلف سازنده مقادیر متفاوتی دارد.

جدول ۱.۳: مقادیر Length of Tube برای شرکت‌های سازنده مختلف.

Make	mm) (in Length of Tube Mechanical
inc ،Lomb Bausch	۱۶۰
—	۲۱۵
Opticalco American	۱۶۰
—	۱۸۰
—	(∞)
Gmbh Leitz Ernst	۱۷۰
—	۱۸۵
—	۲۱۵
—	(∞)
(oberkochen) Zeiss	۱۶۰
۵۸۸۸۷ DIN	۱۶۰

با استفاده از تعریف کمیت $Tube\ \ of\ \ Length$ فاصله کانونی عدسی شیئی با رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$f = \frac{L_{tube}}{M} \qquad (۳.۳)$$

همچنین واگرایی باریکه خروجی از عدسی شیئی میکروسکوپ با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\theta' = \tan^{-۱}\frac{d_{in}}{۲f} \qquad (۴.۳)$$

هر عدسی شیئی باتوجه به کاربردآن،مشخصات آن بااستفاده ازروابط بالا نعیین می‌شود.بعداز تعیین عدسی شیئی میکروسکوپ نوبت به انتخاب فیلتراست.فیلترپالایه فضایی درواقع یک فیلتر پایین‌گذراست.ازروزنه به‌عنوان فیلتراستفاده می‌شود. در انتخاب روزنه دو روش پیشنهاد شده‌است.درروش اول پیشنهاد می‌شودکه بعد محاسبه اندازه لکه پراشیده‌شده توسط عدسی شیئی میکروسکوپ،اندازه روزنه انتخابی۱/۵ برابراندازه لکه پراشیده‌شده توسط عدسی شیئی میکروسکوپ باشد. در روش دوم باتوجه به اینکه قطر بهینه روزنه تابعی ازطول‌موج لیزر،قطر باریکه لیزر و فاصله کانونی عدسی شیئی میکروسکوپ است،رابطه زیر برای محاسبه قطرروزنه پیشنهاد شده‌است.

$$Pinholediameter = \frac{۸}{\pi} \times \frac{Wavwlength \times Focallength}{Beamdiameter} \qquad (۵.۳)$$

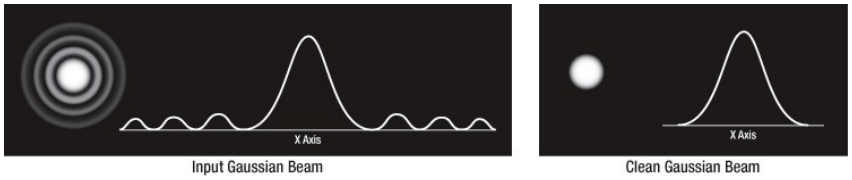
شکل ۳.۳: روزنه‌های با گشودگی‌های مختلف ساخته‌شده توسط شرکت$Thorlab$

با به‌کاربردن رابطه فوق، می‌توان اندازه روزنه ونوع عدسی شیئی میکروسکوپ را به‌راحتی انتخاب کرد. در عمل،قطرروزنه برای پالایه فضایی ازاهمیت فراوانی برخوردار است.درانتخاب روزنه به این نکته هم باید توجه داشت که چنانچه قطرروزنه خیلی کوچک باشد،کیفیت پرتو به مقدار زیادی افزایش می‌یابد اما افت توان آن نیز زیاد خواهد بود.همچنین اگر قطر روزنه زیاد باشد،کیفیت پرتو به مقداردلخواه افزایش نمی‌یابد.جهت استفاده ازیک روزنه باقطر کوچک،باید ازیک عدسی شیئی میکروسکوپ با fپایین استفاده کرد و به صورت ایده‌آل عدسی شیئی میکروسکوپ نباید ابیراهی قابل توجهی رابه پرتو بیفزاید. طراحی چنین عدسی باکاهش فاصله کانونیfدشوارترمی‌شود. در نهایت توان خروجی از پالایه فضایی باروزنه‌ای به گشودگیpواندازه لکه پراشیده‌شدهaبارابطه زیر بدست می‌آید.

$$\frac{P(p)}{P_{\circ}} = ۱ - exp(\frac{۱}{۲} \times (\frac{\pi ap}{\lambda f})^{۲}) \qquad (۶.۳)$$

۲.۱.۳ شرح آزمایش:

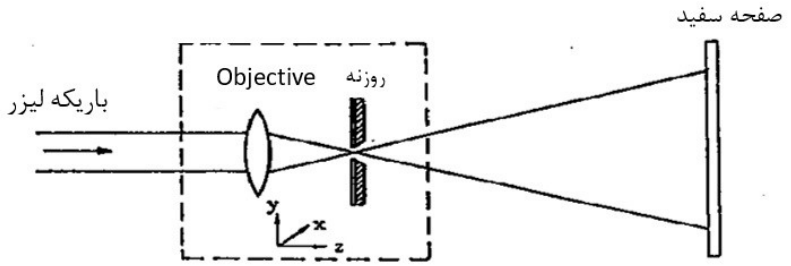
پالایه فضایی ازنظر مفهومی‌بیان ساده‌ای دارد.یک پرتوی لیزرموازی‌شده وهمدوس ایده‌آل به‌گونه‌ای رفتارمی‌کند که گویی توسط یک منبع نقطه‌ای در مسافتی دور تولید شده‌است. فیلترکردن فضایی که شامل کانونی کردن یک پرتو است،یک تصویراز"منبع" باتمام عیوب ایجاد شده درمسیرنوری دریک حلقه اطراف محورتولید می‌کند. وقتی یک پرتو توسط یک عدسی کانونی می‌شود،پرتو فرودی به یک نقطه گوسی مرکزی (بر روی محور اپتیکی)وفرانژهای کناری،که نویزناخواسته رانشان می‌دهند،تبدیل می‌شود. باقراردادن یک روزنه برروی نقطه گوسی مرکزی،قسمت تمیزپرتومی‌تواندازروزنه عبور کنددرحالی که قسمت نویز مسدودمی‌شود. برای



شکل ۴.۳: سمت راست– پروفایل ایده آل گوسی پرتو لیزر، سمت چپ– پروفایل خروجی از لیزر

چیدن پالایه فضایی مراحل زیررادنبال کنید:

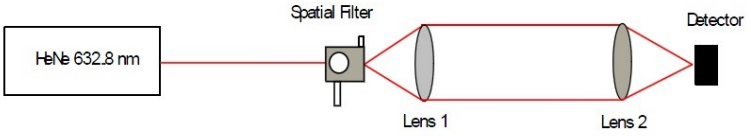
- لیزررادر محل نگهدارنده خود قرار داده وبا ستفاده ازگونیا باریکه آن رابه‌خط$(align)$ کنید.به‌خط‌کردن ازمهمترین نکاتی است که درچیدمان‌کردن هر قطعه اپتیکی باید رعایت شود.بدین معنی است که باریکه لیزرازهرنظر باید یک مسیر مستقیم راطی کند.



شکل ۵.۳: شمایی از چیدمان پالایه فضایی

- نگهدارنده پالایه فضایی رادرمحل خود قرار دهید.
- عدسی شیئی میکروسکوپ رادر محل آن قرار دهید.با دستکاری پیچ وپایه نگهدارنده طوری مکان آن راتنظیم کنید تاباریکه لیزر دقیقابه مرکز عدسی شیئی میکروسکوپ فرود آید.عدم رعایت این نکته باعث ایجاد ابیراهی وطرح‌های تداخلی مازاد برروی باریکه لیزر می‌شود.
- عمودبودن باریکه لیزربر سطح عدسی شیئی میکروسکوپ رابررسی کنید(لکه شدت بازتابی تشکیل‌شده باید برروی دهانه لیزر قرار گیرد).
- باتوجه به بزرگنمایی عدسی شیئی میکروسکوپ وشرکت سازنده،فاصله کانونی عدسی Bهای شیئی مختلف راتعیین کنید.بااستفاده ازیک برگه سفید مکان تقریبی فاصله کانونی عدسی شیئی میکروسکوپ راتعیین کنید.مقدارتئوری وتجربی فاصله کانونی رابا هم مقایسه کنید.
- اندازه لکه پراشیده‌شده توسط عدسی شیئی میکروسکوپ رابااستفاده ازرابطه تئوری آزمایش بدست آورید.باقراردادن یک برگه سفید درمقابل عدسی شیئی میکروسکوپ در فواصل ۱ سانتی‌متر تا۲۰ سانتی‌متر اندازه لکه پراشیده‌شده راتعیین ونمودارآن را برحسب فواصل مختلف ازعدسی شیئی میکروسکوپ رسم کنید.
- بادوروش ارائه‌شده دربخش تئوری،اندازه روزنه مناسب برای عدسی شیئی خودراتعیین کنید.
- روزنه رادرمحل خود قراردهید.مطابق باعدسی شیئی میکروسکوپ عمودبودن باریکه بر روزنه رابررسی کنید.
- باجابجاکردن عدسی شیئی میکروسکوپ،بیشینه شدت کانونی‌شده باریکه لیزررابرروی سطح پالایه فضایی ایجاد کنید(روزنه در کانون عدسی قرار گیرد).
- صفحه سفیدرنگی رادر مقابل پالایه فضایی قرارداده وچراغ‌های آزمایشگاه راخاموش کنید.
- عدسی شیئی میکروسکوپ راباپیچ میکرومتری جابجاکرده تاحاله کم‌رنگی ازباریکه لیزر مشاهده شود.
- باجابجاکردن روزنه درهردوجهت شدت خروجی راافزایش داده تابیشنه شدت درمحل صفحه سفید تشکیل شود.
- این کاررابارروزنه‌های با گشودگی مختلف انجام داده وبااستفاده ازدوربین ازنتایج عکس گرفته وباهمدیگر مقایسه کنید.

- بااستفاده ازیک عدسی دیگر باریکه خروجی راموازی و بااستفاده ازیک عدسی دیگر باریکه لیزرراروی شدت‌سنج کانونی کنید.شدت خروجی ازپالایه فضایی راتعیین وبا رابطه تئوری آن مقایسه کنید.



شکل ۶.۳: چیدمان پالایه فضایی به‌همراه دو عدسی برای کانونی‌کردن باریکه در محل آشکارسازی

۳.۱.۳ وظایف دانشجویان:

۱. با مفهوم پالایه فضایی کاملا آشناشده و در چیدمان آن مشکلی نداشته باشید. مراحل بالا را انجام داده و نکات مورد توجه را در گزارش‌کار خود بیاورید.

۲. ارتباط بین بزرگنمایی عدسی شیئی‌و گشودگی روزنه را درک کرده و در جدولی برای عدسی‌های شیئی مختلف، فاصله کانونی عدسی شیئی و گشودگی روزنه را بیاورید.

۳. مفهوم $tubeoflength$ برای عدسی شیئی میکروسکوپ تحقیق کرده و ذکر کنید این پارامتر به چه عواملی بستگی دارد

۴. اندازه لکه پراشیده‌شده از عدسی شیئی میکروسکوپ را تعیین و نموداری برای آن بر حسب فاصله از عدسی شیئی میکروسکوپ رسم کنید. نتیجه‌ای که از این نمودار می‌گیرید را بیان کنید.

۵. روش‌های ساخت عدسی شیئی میکروسکوپ را بررسی و به دو مورد در گزارشکار به‌طور کامل اشاره شود.

۶. روش‌های ساخت روزنه را بررسی و به دو مورد در گزارش‌کار به‌طور کامل اشاره شود.

۷. برنامه‌ای در متلب$(MATLAB)$ بنویسید که طرح شدت خروجی از پالایه فضایی را با استفاده از دوربین خوانده و شدت بیشینه آن را تعیین کند.

۸. برنامه‌ای بنویسید که طرح شدت خروجی از پالایه فضایی را خوانده و پروفایل شدت را تعیین کند.

۹. برنامه‌ای بنویسید که شدت‌های خروجی از روزنه‌های مختلف را خوانده و روزنه مناسب را انتخاب کند. نتیجه بدست‌آمده را با نتیجه تئوری مقایسه کنید.