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

مطالعه تجربی تأثیر درجه همدوسی نور بر توان تفکیک سیستم های تصویربردار

فاطمه ورمزیاری و معصومه دشتدار

دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده- در این مطالعه به طور تجربی، تأثیر میزان همدوسی فضایی نور بر توان تفکیک سیستم‌های تصویر بردار بررسی شده است. با استفاده از تداخل دوشکاف یانگ نشان داده می‌شود که همدوسی فضایی نور عبوری از یک فصل مشترک ناصاف، به ناصافی سطح و فاصله بین سطح ناصاف و صفحه مشاهده بستگی دارد. درجه همدوسی نور با افزایش فاصله از سطح ناصاف افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر درجه همدوسی نور بر آستانه تفکیک تصویر حاصل از دو شکاف که با میکروسکوپ نوری گرفته شده، بررسی می شود. نتایج حاصل نشان می دهد که با کاهش درجه همدوسی نور روشن کننده، توان تفکیک افزایش می یابد. در نتیجه بهترین مکان برای قرار دادن پخش‌کننده نور در میکروسکوپ های نوری، محلی است که کمترین فاصله را تا نمونه مورد مشاهده داشته باشد.

کلید واژه- درجه همدوسی، توان تفکیک، سیستم تصویر بردار، سطح ناصاف

Experimental Study of the Effect of the Light Coherency Degree on the Imaging Systems Resolution

Fatemeh Varmazyari and Masoomeh Dashtdar

Department of Physics, Shahid Beheshti University

Abstract- In this study, the effect of the light spatial coherency has been experimentally investigated on resolution of the imaging systems. By using the young's double- slit interference, it is shown, that the spatial coherency of the transmitted light from a rough interface depends on the surface roughness and distance between surface and observation plane. The coherence degree of light rises with increasing distance from rough surface. Also, the effect of the light coherence degree is investigated on the threshold of double-slit imaging resolution, which is taken with an optical microscope. The results show that the resolution increases with decreasing the coherence degree of the light illumination. As a result, the best place to locate the light diffuser in optical microscopes is the minimum distance to the observed sample.

Keywords: Degree of coherency, Resolution, Imaging system, Rough surface

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

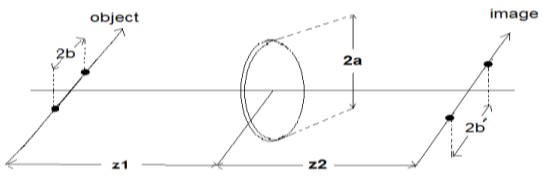
۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین خصوصیات سیستم های تصویر بردار توان تفکیک آن‌ها است که با توجه به کاربرد متفاوت آن‌ها در صنعت، علوم پزشکی، علوم زیستی و ... از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به عنوان نمونه می توان به میکروسکوپ های نوری اشاره کرد که به طور وسیع در علوم زیستی به کار گرفته می شوند. توان تفکیک، توانایی سیستم تصویر بردار برای متمایز سازی جزئیات یک تصویر است. یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر آستانه تفکیک، درجه همدوسی نور روشن کننده سیستم تصویر بردار است. در اغلب مراجع به طور نظری گزارش شده که آستانه تفکیک برای حالتی که سیستم با نور ناهمدوس روشن می شود نسبت به حالت‌های همدوس و نسبی همدوس، مقدار کمتری دارد. [۱-۴] به عبارت دیگر در حالت ناهمدوس، دو نقطه از شی می‌توانند بیشتر به یکدیگر نزدیک شوند و تصویر حاصل از آن ها هم چنان تفکیک شده باشد.

در این مطالعه، با استفاده از تداخل سنجی نشان داده می-شود که با عبور دادن نور همدوس از تیغه‌های شیشه ای با یک سطح ناصاف، درجه همدوسی نور عبوری متناسب با میزان ناصافی سطح کاهش می‌یابد. درجه همدوسی نور در فواصل مختلف بعد از سطوح ناصاف اندازه‌گیری شده و نشان داده می شود که با افزایش فاصله از سطح ناصاف درجه همدوسی نور نیز افزایش می‌یابد. سپس با قرار دادن سطح ناصاف در فواصل مختلف از دوشکاف که توسط میکروسکوپ نوری از آن تصویر گرفته شده است، تأثیر درجه همدوسی نور بر آستانه تفکیک تصویر بررسی خواهد شد.

۲- رهیافت نظری

یک سیستم اپتیکی در نظر گرفته می‌شود که از شی دو نقطه‌ای که به فاصله 2b از یکدیگر قرار دارند، تصویر تشکیل می‌دهد. (شکل ۱)



شکل ۱. شماتیکی از شی دو نقطه ای و تصویر حاصل از آن

توزیع شدت در صفحه شی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Gamma_{ob}(\xi_1,\xi_2) = I_0\gamma(\xi_1,\xi_2)\{[\delta(\xi_1-b)+\delta(\xi_1+b)] \times[\delta(\xi_2-b)+\delta(\xi_2+b)]\} \quad (۱)$$

که در آن، ξ، مختصات فضای شی، $\gamma(\xi_1,\xi_2)$ درجه همدوسی و I_0 شدت بهنجار است. توزیع شدت در صفحه تصویر به صورت زیر به دست می‌آید[۳-۵]

$$I_{im}(x) = 4a^2 I_0[\mathrm{sinc}^2\frac{ka}{z_2}(x+b') + \mathrm{sinc}^2\frac{ka}{z_2}(x-b') + 2\,\mathrm{Re}\,\gamma(b,-b)\times\mathrm{sinc}\frac{ka}{z_2}(x+b')\times\mathrm{sinc}\frac{ka}{z_2}(x-b')] \quad (۲)$$

که در آن x، مختصات فضای تصویر، z_2، فاصله تصویر تا عدسی، k، عدد موج و a، شعاع عدسی است.

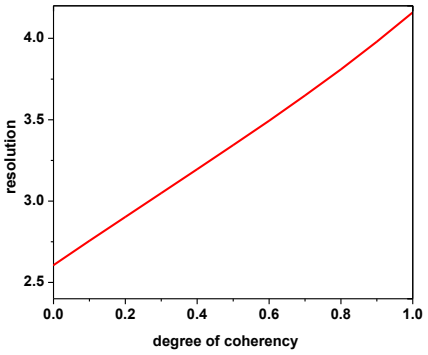
بنابر معیار اسپارو برای توان تفکیک، آستانه تفکیک برای دو چشمه نقطه‌ای برابر است با فاصله بین آن‌ها هنگامی که مشتق دوم توزیع شدت برآیند در مرکز نقش پراش صفر شود. با اعمال این معیار بر توزیع شدت در صفحه تصویر، آستانه تفکیک دو شی نقطه‌ای برای حالت کاملا" ناهمدوس برابر خواهد بود با:

$$2b' = \frac{2.606 z_2}{ka} \quad (۳)$$

و برای حالت کاملا" همدوس برابر است با:

$$2b' = \frac{4.16 z_2}{ka} \quad (۴)$$

آستانه تفکیک برای حالت های نسبی همدوس دارای مقداری بین دو مقدار فوق است. مقایسه این دو رابطه نشان می‌دهد که آستانه تفکیک دو نقطه‌ای در حالت کاملا" ناهمدوس به نسبت ۱/۵۹ بهتر است. آستانه تفکیک با تغییر درجه همدوسی به صورت تقریبا" خطی تغییر می‌کند. شکل ۲، این تغییرات را نشان می‌دهد.[۴]

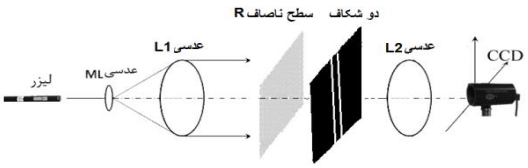


شکل۲. نمودار تغییرات آستانه تفکیک دو شی نقطه ای بر حسب درجه همدوسی (در این شکل محور عمودی بر حسب $\frac{2b'ka}{z_2}$ رسم شده است.)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۳- رهیافت تجربی

برای بررسی تجربی، دو دسته آزمایش انجام شده است که در ادامه شرح داده می‌شوند.



شکل۳. چیدمان آزمایش اول

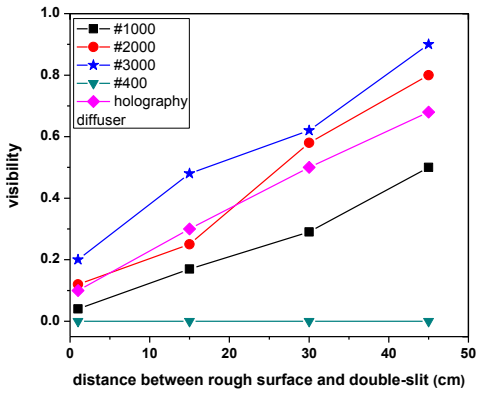
۱- چیدمان آزمایش اول در شکل۳ آمده است. نور لیزر هلیوم-نئون پس از باز شدن توسط عدسی ML و موازی شدن توسط عدسی L1 از سطح ناصاف R عبور می‌کند. سپس بر روی یک دو شکاف که فاصله شکاف‌های آن ۲۰ میکرون است، می‌تابد. سطوح ناصاف، تیغه‌هایی شیشه ای هستند که یک طرف آن ها به وسیله پودرهایی با شماره مش ۴۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۲۰۰۰ و سایش داده شده است. (شماره مش‌های کوچک‌تر معادل پودرهای درشت‌تر و درنتیجه ناصافی بیشتر است.)

این سطوح بین دو شکاف و عدسی L1 جابجا می‌شوند و در فواصل ۱cm، ۱۵cm، ۳۰cm و ۴۵ cm از دو شکاف قرار می‌گیرند. فریزهای تداخلی ایجاد شده، توسط CCD که در فاصله کانونی عدسی L2 واقع شده، ثبت می‌شوند.

درجه همدوسی نور برابر با نمایانی فریزهای تداخلی است که به صورت زیر تعریف می‌شود.[۶]

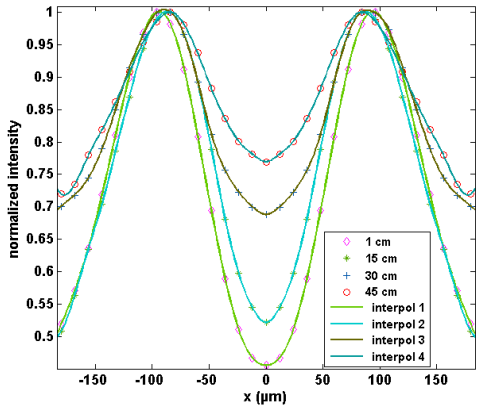
$$v = (I_{\max} - I_{\min})/(I_{\max} + I_{\min})$$

برای محاسبه نمایانی فریزهای تداخلی، از شدت در راستای قائم میانگین گیری شده است. شکل۴، نمودار تغییرات نمایانی بر حسب فاصله دو شکاف از سطح ناصاف را به ازای مش‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل۴. نمودار تغییرات نمایانی بر حسب فاصله دو شکاف از سطح ناصاف

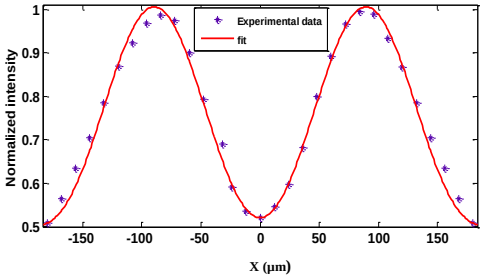
۲- در آزمایش دوم، از میکروسکوپ نوری به عنوان سیستم تصویر بردار استفاده شده و دوشکاف به عنوان شی مورد مشاهده با میکروسکوپ قرار گرفته است. نور لیزر هلیوم-نئون پس از بازشدن و موازی شدن، از سطح ناصاف عبور می‌کند و بر روی دوشکاف می‌تابد. CCD بالای چشمی میکروسکوپ طوری قرار می‌گیرد که بهترین حالت تصویر دوشکاف به دست آید. سطوح ناصاف متناظر با ۱۰۰۰ #، ۲۰۰۰ # و ۳۰۰۰ # در همان فواصل آزمایش اول، قرار داده شده و در هر مرحله تصویر دو شکاف ثبت می‌شود. شکل۵، توزیع شدت بهنجار دوشکاف را به ازای فواصل مختلف، برای ۱۰۰۰ # نشان می‌دهد. نقاط مشخص شده در این شکل، شدت‌های ثبت شده با CCD و خطوط پیوسته، حاصل از درون‌یابی این نقاط است. بررسی این توزیع شدت‌ها نشان می‌دهد که با نزدیک‌تر شدن سطح ناصاف به دو شکاف (کاهش درجه همدوسی نور روشن کننده دوشکاف) تفکیک بهترمی‌شود.



شکل۵. نمودار توزیع شدت تصویر دو شکاف

در شکل ۶، برازش توزیع شدت تصویر دوشکاف با رابطه(۲)، برای حالتی که فاصله دوشکاف و سطح ناصاف ۱۵ cm است، نشان داده شده است. در این شکل، نقاطی که با ستاره مشخص شده‌اند، داده‌های ثبت شده با CCD وخط پیوسته، منحنی برازش شده است. برای فواصل مختلف سطح ناصاف از دوشکاف، رابطه نظری به خوبی بر داده‌های تجربی برازش شده است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]



شکل ۶. برازش توزیع شدت دو شکاف با منحنی

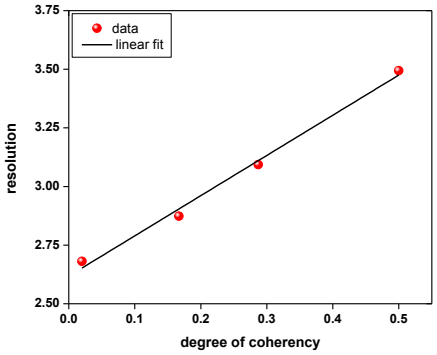
مقادیر به دست آمده برای درجه همدوسی از طریق برازش منحنی بر داده‌ها به همراه خطای آن، در جدول ۲ آمده است.

جدول۲. مقادیر به دست آمده برای درجه همدوسی و خطای آن از برازش منحنی به توزیع شدت

فاصله‌سطح ناصاف‌ودو شکاف	۱cm	۱۵cm	۳۰cm	۴۵cm
درجه همدوسی	۰ ±۰/۰۵	۰/۱۸ ±۰/۰۳	۰/۳۳ ±۰/۰۳	۰/۶ ±۰/۰۴

مقادیر به دست آمده برای درجه همدوسی از طریق برازش داده‌ها با تابعیت داده شده در بخش نظری و تداخل سنجی با هم مطابقت دارند.

برای محاسبه آستانه تفکیک دوشکاف، معیار اسپارو بر معادله برازش شده بر داده‌ها اعمال شده است. شکل۷، نمودار تغییرات آستانه تفکیک این دوشکاف را بر حسب درجه همدوسی به دست آمده از تداخل سنجی نشان می دهد. خط پیوسته در این شکل، حاصل از برازش خطی داده‌ها است.



شکل ۷. نمودار تجربی تغییرات آستانه تفکیک دو شکاف بر حسب درجه همدوسی (در این شکل محور عمودی بر حسب $\frac{2b'ka}{z_2}$ رسم شده است.)

آزمایش برای سطوح ناصاف متناظر با مش ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ انجام شده و نتایج مشابه مش ۱۰۰۰ به دست آمده است.

۴-نتایج

۱- در این مطالعه، درجه همدوسی نور در فواصل مختلف بعد از سطوح ناصاف اندازه گیری شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که درجه همدوسی نور به ناصافی سطح و فاصله از سطح ناصاف بستگی دارد و با افزایش فاصله از آن افزایش می‌یابد.

۲- از یک دوشکاف با میکروسکوپ نوری و با تغییر درجه همدوسی نور روشن کننده آن تصویر گرفته شد. توزیع شدت حاصل از آن با رابطه‌ای که در بخش نظری آمده است، برازش شد و درجه همدوسی به دست آمد. نتایج حاصل، با مقادیر به دست آمده با روش تداخل سنجی مطابقت داشته و بنابراین این رابطه، به لحاظ تجربی تأیید می‌شود.

۳- به طور تجربی نشان داده شد که با کاهش درجه همدوسی نور فرودی، توان تفکیک سیستم تصویر بردار افزایش می‌یابد و تغییرات آستانه تفکیک دو شکاف نسبت به درجه همدوسی نور تقریبا" خطی است.

۴- بهترین مکان قرار گیری پخش‌کننده نور در میکروسکوپ‌های نوری، محلی است که حداقل فاصله ممکن را تا نمونه مورد مشاهده داشته باشد. این در حالی است که در میکروسکوپ‌های متداول، بدون توجه به این نکته، پخش‌کننده نور در فاصله ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری از نمونه مورد مشاهده قرار داده می‌شود.

مراجع

[1] A.J. Den Dekker, A.Van Den Bos, *Resolution: A Survey*, J. **Opt. Soc. Am**, vol. 14, pp. 547-557, 1997

[2] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics, new York, 1996*

[3] D. Grimes, B. J. Thompson, *Two Point resolution with partially coherent light*, J. **Opt. Soc. Am**, vol. 57, pp. 1330-1334, 1967

[4] G. O. Reynolds, J. B. Develis, G. B. Parrent, B. J. Thompson, *The New Physical Optics Notebook: Tutorials in Fourier Optics*, p.102, American Institute of Physics,1989

[5] B. J. Thompson , *Image Formation with partially coherent light*, J. **progress in optics**, vol. 7, pp. 169-230, 1969

[6] M. Born, E. Wolf, *principle of optics*, Cambridge University Press, 1980

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]