مطالعه همگنی و همسانگردی نمونه‌های شفاف با ترکیب تداخل‌سنج رانکی-تالبوت و تکنیک ماره

عباس توسلی، خسرو حسنی

تهران، خیابان کارگر شمالی، دانشگاه تهران، دانشکده فیزیک

در این مقاله با ترکیب تداخل سنج رانکی-تالبوت و تکنیک ماره روشی برای مطالعه میزان همگنی و همسانگردی مواد شفاف ارائه می‌شود. وجود یک توری رانکی در محل خود-تصویر تداخل‌سنج رانکی-تالبوت باعث مشاهده فریزهای ماره می‌گردد که ویژگی بزرگنمایی آن امکان ثبت تغییرات کوچک در جبهه موج عبوری از ماده شفاف را افزایش می‌دهد. نقش فریزهای ماره با کمک برنامه‌های مناسب تحلیل شده و ناهمگنی و ناهمسانگردی در بردار ماره با تفکیک فضایی ۱۰۰ میکرومتر قابل اندازه‌گیری است.

کلید واژه- تداخل‌سنجی رانکی-تالبوت، تداخل‌سنجی تالبوت-ماره، بهینه‌سازی فریزهای ماره،پردازش فریزهای ماره، همگنی مواد شفاف.

Investigating The Homogeneity and Isotropy in Transparent Samples by Combining The Ronchi-Talbot Interfrometer and Moiré Effect

Abas Tavasoli, Khosrow Hassani

Department of Physics, University of Tehran, Kargar Shomali Avenue, Tehran 14395-547 , Iran

Abstract- In this paper we use the combination of a Ronchi-Talbot grating interferometer with Moiré effect to investigate homogeneity and isotropy in transparent materials. A Ronchi grating is placed at the self-imaging position of the Ronchi-Talbot interferometer, and the magnifying property of the Moiré effect, helps to observe variations in the light wavefront passing through the sample. We use proper codes to analyze the Moiré fringes. The spatial resolution of our method is as small as 100 micrometer in Moiré wave vector.

Keywords: Ronchi-Talbot Interferometry, Talbot-Moiré Interferometry, Moiré Pattern Optimization, Moiré Pattern Processing, Homogenous in Transparent Material.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

تداخل‌سنجی رانکی-تالبوت روشی قدرتمند و ساده برای مطالعه دامنه تغییرات جابجایی می‌باشد. چرا که باریکه‌های تداخلی از یک مسیر مشترک عبور می‌کنند. بنابراین اختلاف راه نوری وجود ندارد.

پدیده تالبوت اولین بار توسط هنری فاکس تالبوت در سال ۱۸۳۶ میلادی دیده شد [۱]. پدیده ماره توسط چینی‌ها در زمان باستان برای خلق پدیده ماره در لباس های ابریشمی استفاده می‌شد [۲]. هرچند تحقیقات علمی مدرن در این زمینه در نیمه دوم قرن ۱۹ میلادی توسط پیشگامان آن، از جمله ریلی، شروع شد. پدیده ماره در سال ۱۷۸۱ برای بررسی عیوب توری‌های پراش توسط لرد ریلی مورد استفاده قرار گرفت و برای اولین بار فرمول‌بندی شد [۳].

۲- مبانی نظری

ترکیب دو روش تالبوت و ماره، روشی دقیق برای مطالعه ناهمگنی در مواد شفاف فراهم می‌کند.

۲-۱- اثر تالبوت

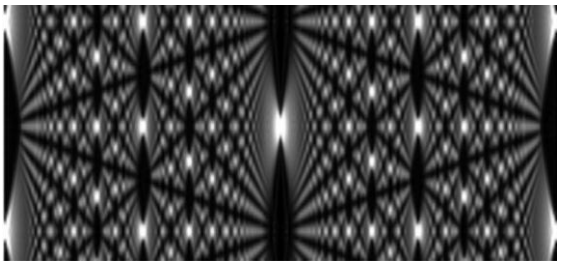
هنگامی که یک باریکه نور همدوس از یک الگوی متناوب عبور کند، در فاصله‌های مشخص از این الگو، خود-تصویر ایجاد می‌شود. شکل ۱ اثر تالبوت را نشان می‌دهد. این الگوی پراش، می‌تواند یک بعدی باشد، مانند توری رانکی، و یا دو بعدی باشد، مانند شبکه‌های منظم. برای یک چشمه گاوسی، محل تشکیل خود-تصویر، Z_G، از رابطه زیر بدست می‌آید [۳]:

$$Z_G = 2m\frac{d^2}{\lambda}\left(\frac{w_z}{w_0}\right)^2 \qquad (۱)$$

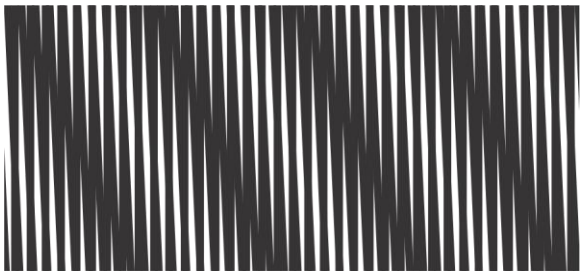
که در آن w_0 شعاع اولیه کمر باریکه گاوسی و $w_z = w_0\sqrt{1+\left(\lambda z/\pi w_0^2\right)^2}$ شعاع کمر باریکه گاوسی در صفحه مشاهده می‌باشد.

۲-۲- طرح ماره

طرح ماره هنگامی اتفاق می‌افتد که ساختارهای متناوب برهم‌نهی داشته باشند. طرح ماره شامل الگوهای متناوب با منطقه‌های تیره و روشن می‌باشد. شکل ۲ طرح ماره را نشان می‌دهد. به دلیل حساسیت زیاد نقش ماره به جابجایی، تغییر یا اعوجاج ناچیز در توری‌های اصلی، این پدیده کاربردهای بسیار وسیعی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است. برای مثال، با آنالیز تغییر شکل ماره، تشخیص انحراف جزئی یا تغییر شکل نمونه امکان‌پذیر می‌شود. از روش انحراف‌سنجی ماره، برای اندازه‌گیری تغییرات بسیار کوچک زاویه، جابجایی یا حرکت استفاده می‌شود [۲].



شکل ۱: اثر تالبوت



شکل 2: اثر ماره

یک توری خطی را با بردار زیر نمایش می‌دهیم:

$$\vec{k} = 2\pi\hat{k}/q \qquad (۲)$$

که q گام توری و $\hat{k}$ بردار یکه عمود بر خطوط توری هستند. برای فرمول‌بندی نقش ماره روش‌های مختلفی بکار رفته است که معروفترین آنها روش هندسی [۴] و روش تبدیل فوریه [۵] است. همچنین اخیرا فرمول‌بندی جدیدی در زمینه نقش ماره ارائه شده است [۶]. این متد، فریزهای ماره تشکیل شده از بر هم نهی یک توری معلوم و یک توری مجهول با تغییرات بسیار آرام پارامترها را بررسی می‌کند.

اگر یکی از توری‌ها به هر دلیلی دچار تغییر شود با تداخل‌سنج تالبوت-ماره قابل اندازه‌گیری می‌باشد. عیوب مذکور ممکن است در فرآیند ساخت توری‌ها، تصویرسازی یک الگو روی الگوی دیگر، تنش و یا تغییرات دمایی اتفاق

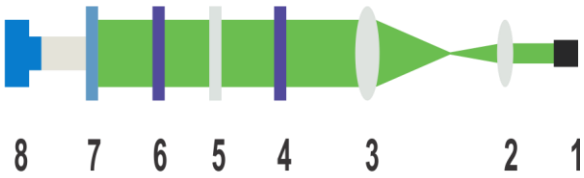
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

بیافتد.

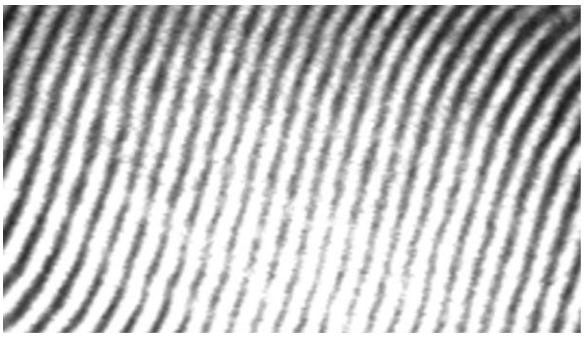
۳- کارهای تجربی

در این پژوهش دو پدیده با یکدیگر تلفیق می‌شود، اثر تالبوت و ماره. شکل ۳ چیدمان آزمایش تالبوت-ماره را نشان می‌دهد. اجزای شکل ۳ از ۱ تا 8 به ترتیب عبارتند از: لیزردیودی سبز، عدسی اول،عدسی دوم، توری رانکی اول، نمونه، توری رانکی دوم، پرده مشاهده، دروبین. ابتدا فریزهای ماره بدون قرار دادن نمونه ثبت می‌شوند. با قرارگیری نمونه اپتیکی در چیدمان، جهت بردار فریزهای ماره تغییر می‌کند.



شکل ۳: چیدمان آزمایش تالبوت-ماره.

هدف این مقاله اندازه‌گیری تغییرات حاصل از عبور نور از نمونه می‌باشد. برای این منظور نمونه بین دو توری قرار می‌گیرد. شکل ۴ تصویر ماره حاصل از قرارگیری نمونه را نشان می‌دهد.

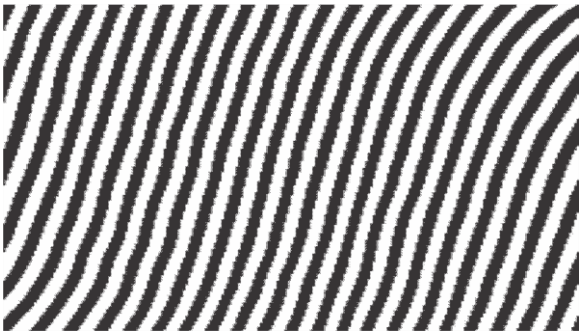


شکل ۴: فریزهای ماره از آزمایش بدون نمونه

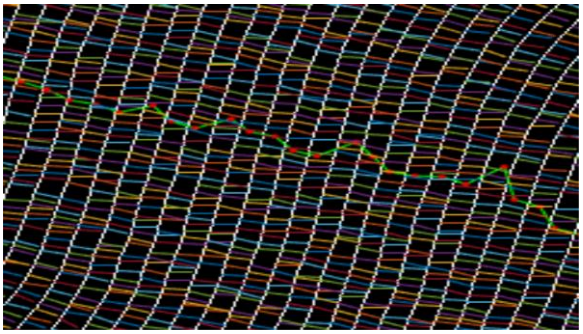
۳-۱- برنامه ماره-یاب

تصویر بدست آمده در مرحله قبل، از کیفیت مناسب برخوردار نمی‌باشد. بنابراین بهینه‌سازی می‌شود. شکل ۵ تصویر بهینه‌سازی شده خطوط ماره را نشان می‌دهد.

برای یافتن بردار فریزهای ماره از برنامه ماره-یاب استفاده شد. این برنامه رد فریزها را تشخیص می‌دهد و گرادیان آنها را محاسبه می‌کند. همچنین مولفه‌های گرادیان این خطوط را مشخص می‌کند. سپس در راستای گرادیان هر خط حرکت می‌کند تا زمانیکه به خط بعد برسد. تعداد پیکسل‌های موجود بین هر دو خط فریز را در ماتریس گام فریزهای ماره ذخیره می‌کند. شکل ۶ رد و بردار فریزهای ماره بدون قرار گرفتن نمونه را نشان می‌دهد.

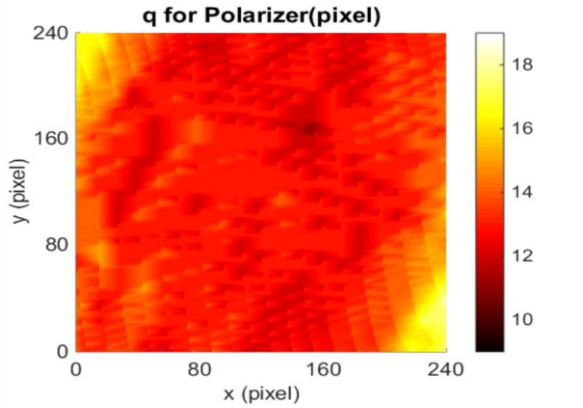


شکل ۵: نتیجه اعمال برنامه بهینه‌ساز



شکل ۶: رد و بردار فریزهای ماره بدون نمونه

شکل ۷ نمایش سه بعدی گام فریزهای ماره‌ی را نشان می‌دهد.

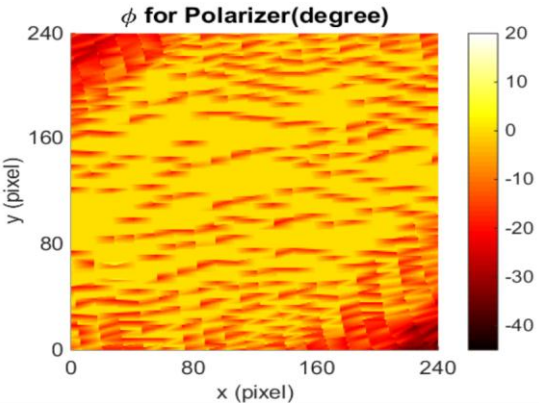


شکل ۷: گام فریزهای ماره بدون نمونه

با تقسیم مولفه‌های بردار فریزهای ماره بر هم، ماتریس زاویه بردار فریزهای ماره بدست می‌آید. شکل ۸ نمایش سه بعدی زاویه بردار فریزهای ماره بدون قرار گرفتن نمونه را نشان می‌دهد.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

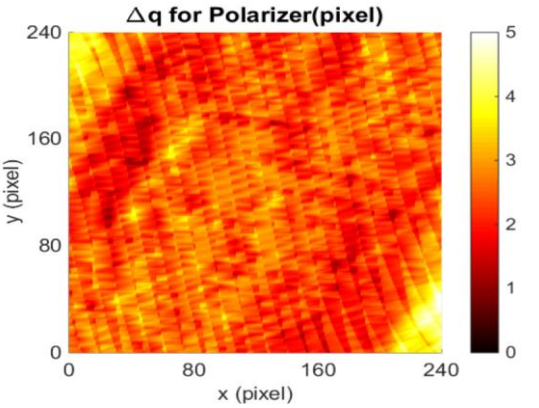
[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]



شکل ۸: زاویه بردار فریزهای ماره بدون نمونه

۴- نتایج

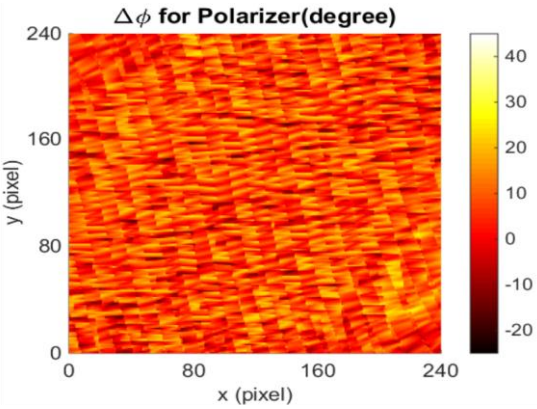
آزمایش روی نمونه‌های شیشه، پلکسی، شیشه اسلاید و قطبشگر پلاروید انجام می‌شود. با استفاده از برنامه ماره-یاب تغییرات گام فریزهای ماره مشخص می‌شود. شکل ۹ نمایش سه بعدی تغییرات زاویه بردار فریزهای ماره‌ی ناشی از قطبشگر پلاروید را نشان می‌دهد. نواحی تیره بیانگر تغییر کم زاویه بردار و نواحی روشن بیانگر تغییر زیاد زاویه بردار است. بدین ترتیب نواحی تیره همسانگردتر از نواحی روشن است. شکل ۱۰ نمایش سه بعدی تغییرات گام فریزهای ماره‌ی ناشی از قطبشگر پلاروید را نشان می‌دهد. نواحی تیره بیانگر تغییر کم گام و نواحی روشن بیانگر تغییر زیاد گام است. بدین ترتیب نواحی تیره همگن‌تر از نواحی روشن است.



شکل ۹: تغییرات گام فریزهای ماره برای نمونه قطبشگر پلاروید

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله همگنی و همسانگردی مواد شفاف مورد بررسی قرار گرفت و روشی برای تعیین ناهمگنی و ناهمسانگردی در نقاط مختلف مواد با تفکیک فضایی به اندازه ۱۰۰ میکرومتر ارائه شد. از این روش برای طبقه‌بندی همگنی و همسانگردی مواد شفاف در کاربردهای عملی می‌توان استفاده کرد.



شکل ۱۰: تغییرات زاویه بردار فریزهای ماره برای قطبشگر پلاروید

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از راهنمایی‌های ارزشمند آقای دکتر محمد تقی توسلی در انجام این پروژه قدردانی می‌کنند.

مراجع

[1] J. M. Cowley, Diffraction physics. Elsevier, 1995.
[2] J. M. Cowley and A. F. Moodie, "Fourier Images: II-The Out-of-focus Patterns," Proceedings of the Physical Society. Section B, vol. 70, no. 5, p. 497, 1957.
[3] J. Wen, Y. Zhang, and M. Xiao, "The Talbot effect: recent advances in classical optics, nonlinear optics, and quantum optics," Advances in Optics and Photonics, vol. 5, no. 1, pp. 83–130, 2013.
[4] K. Patorski, Handbook of the moiré fringe technique. Elsevier Science, 1993.
[5] M. Abolhassani, "Formulation of moiré fringes based on spatial averaging," Optik-International Journal for Light and Electron Optics, vol. 122, no. 6, pp. 510–513, 2011.
[6] M. T. Tavassoly and K. Samavati, "Formulation of the moiré fringes formed by superimposing linear gratings with slowly varying parameters," Applied Optics, vol. 53, no. 28, pp. 6612–6618, 2014.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]