بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

اثر گرما نوری محیط پلی استرغیراشباع بر پرتو تابشی لیزر هلیوم- نئون

ارسلان یدی، حمیدرضا جعفری، حمیدرضا محمدی و محمود سلطان الکتابی

اصفهان، دانشگاه اصفهان، گروه فیزیک

چکیده – در این مقاله ابتدا با در نظر گرفتن ملاحظات نظری مربوط به نحوه توزیع دما در ماده به بررسی تغییرات ضریب شکست ناشی از ایجاد الگوی دمایی به دلیل جذب انرژی پرتو لیزر هماهنگ دوم *Nd-YAG* به عنوان پرتو دمشی در یک محیط پلی‌استر غیر اشباع،که باعث تغییر در فاز پرتو لیزر *He-Ne* به عنوان پرتو گمانه عبوری از محیط می‌شود می‌پردازیم. سپس تغییرات ایجاد شده در الگوی شدت پرتو گمانه خروجی از محیط به دلیل تغییرات فازی درآن، را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در پایان نیز به مقایسه نتایج نظری و تجربی خواهیم پرداخت.

کلید واژه- اصل هویگنس، الگوی توزیع دمایی، تقریب فرانهوفر، تغییرات الگوی شدت، تغییرات فاز موج

Photo thermal effect of unsaturated polyester at He-Ne laser beam

Arsalan yadi, Hamid reza jafari, Hamid reza mohammadi, Mahmood soltanolcotabi

Isfahan, Isfahan University, Department of physics

Abstract- In this paper the photo thermal effects of the second harmonic Nd-YAG laser on the optical properties of an unsaturated polyester medium is investigated. In theoretical point view variations of refractive index of medium due to pumping laser induced temperature distribution pattern have been considered. These variations change the phase of He-Ne laser as a probe beam and hence change its intensity pattern. There is a complete coincidence between calculated intensity pattern and an experimental result is observed.

Keyword: Fraunhofer approximation, Huygens principle, temperature distribution, variation of intensity pattern, variation of wave phase

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-30]

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

۱- مقدمه

عبور پرتو الکترومغناطیس از محیطی با ضریب شکست غیر یکنواخت که باعث به وجود آمدن فاز نا یکنواخت در جبهه موج فرودی می‌شود، باعث تغییر درالگوی شدت پرتو خروجی از محیط می‌شود. با بررسی خصوصیات اپتیکی و گرمایی محیط مادی می‌توان به تحلیل تغییرات ایجاد شده در الگوی شدت پرداخت. در این مقاله به بررسی تغییرات الگوی شدت پرتو لیزر هلیوم-نئون عبوری از یک محیط پلی‌استر غیر اشباع با ضریب شکست نا یکنواخت که ناشی از ایجاد گرما و تشکیل الگوی دمایی در محیط به واسطه جذب انرژی پرتو دمشی، لیزر هماهنگ دوم Nd-YAG می‌باشد، می‌پردازیم [۱].

۲- معادله توزیع دما در محیط مادی

به طور کلی نحوه توزیع دما در یک محیط مادی با استفاده از معادله دیفرانسیل زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = D\nabla^2 T(r,t) - \vec{v}.\nabla T(r,t) + \frac{1}{\rho c_p} Q(r,t) \quad (۱)$$

فرمول(۱) که در آن $D=\frac{k}{\rho c_p}$ ضریب پخش گرما در محیط، k ضریب رسانندگی گرمایی محیط، ρ چگالی، c_p ظرفیت گرمایی ویژه محیط وv سرعت سیال و Q شار انرژی گرمایی ناشی از چشمه خارجی در محیط می‌باشد [۲].

با لحاظ کردن شرایط مرزی زیر:

$$\begin{aligned} &T(r,t)|_{t=0} = 0, T'(r,t)|_{t=0} = 0 \\ &T(r,t)|_{x=\pm\infty} = 0, T(r,t)|_{y=\pm\infty} = 0 \end{aligned} \quad (۲)$$

و با در نظر گرفتن چشمه خارجی به صورت لیزر پیوسته با نمایه گاوسی‌که به صورت مربعی مدوله شده و دارای توان میانگینP_{av}، شعاع پرتو a، ضریب جذب α در محیط و فرکانس مدوله شدگی ω می‌باشد، Q(r,t) به صورت زیر خواهد بود:

$$Q(r,t) = \frac{2\alpha P_{av}}{\pi\rho c_p}[e^{-2(x^2+y^2)/a^2}]f(t) \quad (۳)$$

$$f(t) = (1+\frac{4}{\pi}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{2n+1}\sin((2n+1)\omega t)) \quad (۴)$$

$f(t)$: بسط فوریه موج مربعی

با در نظر گرفتن تابش پرتو در راستای z و سرعت سیال در راستایx برای الگوی دما داریم [۲]:

$$T(x,y,t) = \frac{2\alpha P_{av}}{\pi\rho c_p}\int_0^t \frac{f(t)}{[a^2+8D(t-\tau)]} \times e^{-2\{[x-v_x(t-\tau)]^2+y^2\}/[a^2+8D(t-\tau)]} d\tau \quad (۵)$$

۳- ضریب شکست غیرخطی

با بسط ضریب شکست محیط بر حسب تغییرات دما و با در نظر گرفتن جمله اول بسط برای ضریب شکست محیط داریم:

$$n = n_0 + \frac{\partial n}{\partial T}|_{T=0}\, T(x,y,t) \quad (۶)$$

که n. ضریب شکست عادی محیط است. با قرار دادن الگوی دمایی به دست آمده از رابطه (۵) در رابطه (۶) الگوی ضریب شکست ایجاد شده در محیط را به دست می‌آوریم. با توجه به رابطه بالا تغییرات ایجاد شده در فاز موج عبوری از محیط به صورت زیر خواهد بود:

$$\phi(x,y,t) = \frac{2\pi}{\lambda}(n_0 + \frac{\partial n}{\partial T}|_{T=0}\, T(x,y,t))L \quad (۷)$$

که در آنL طول محیط است. نهایتا معادله موج پرتو لیزر عبوری به صورت زیر خواهد بود:

(۸)

$$E(x,y,z,t) = E_0 \frac{e^{ikz}}{\sqrt{1+(\frac{z}{z_0})^2}} e^{ik(x^2+y^2)/R(z)} \times e^{-(x^2+y^2)/w^2(z)} e^{i\varphi(x,y,t)} e^{-\alpha L}$$

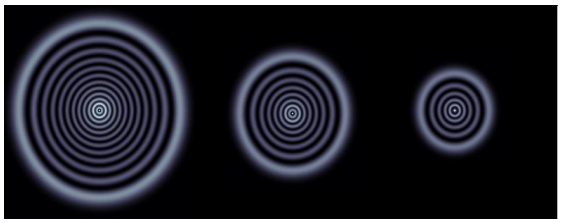
فرمول(۸) معادله پرتو عبوری از محیط است، که در آن z. ثابت ریلی،R(z) انحنای شعاع جبهه موج و w(z) اندازه کمر پرتو می‌باشد [۳].

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-30]

با استفاده از اصل هویگنس و تقریب فرانهوفری برای انتشار موج، الگوی میدان در فاصله z از محیط با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید[۳]:

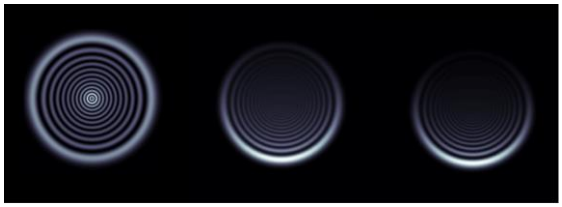
$$E(x,y,z) \cong -\frac{i}{\lambda z} e^{-ikz} e^{-ik(x^2+y^2)/2z} \times \iint E(x',y',L) e^{-ik(xx'+yy')/z} dx' dy' \quad (۹)$$

با مجذور عبارت فوق، الگوی شدت به دست می‌آید. محاسبات فوق با استفاده از نرم افزارMATLAB انجام شده و الگوی شدت شبیه سازی شده در شکل(۱) آورده شده است.



شکل۱: الگوی شدت پرتو لیزر پس از عبور از محیط به ترتیب از چپ به راست ازای ω=۰,۵،۱۰Hz.

این الگوها با محاسبه انتگرال رابطه (۵) به ازای t=۲۰ ثانیه و قرار دادن آن در مجذور رابطه (۹) به دست آمده‌اند. لازم به ذکر است که سرعت سیال برابر با صفر و همچنین علامت $\frac{\partial n}{\partial T}$ منفی، در نظر گرفته شده است. با توجه به الگوهای به دست آمده ملاحظه می‌شود که میزان شدت در حلقه مرکزی و حلقه بیرونی نسبت به بقیه نواحی بیشتر است. همچنین با مقایسه سه الگو با یکدیگر مشاهده می‌شود، با مدوله کردن پرتو عبوری از محیط، علاوه بر پهن شدن حلقه‌ها تعداد آن‌ها نیز کاهش یافته و الگوی توزیع شدت کوچک‌تر می‌شود. همچنین با در نظر گرفتن سرعت برای موج گرمایی نسبت به سیال در امتداد محورx الگوی شدت به صورت شکل(۲) در می‌آید. (محورx در راستای قائم در نظر گرفته شده است). مشاهده می‌شود با افزایش سرعت موج گرمایی نسبت به محیط (تصاویر دوم و سوم در شکل۲ از چپ به راست)، الگوی شدت تقارن خود را نسبت به حالت بدون سرعت (تصویر اول از شکل۲) از دست می‌دهد و به سمت پایین کشیده می‌شود. لازم به ذکر است در این حالت پرتو دمشی مدوله نشده است.



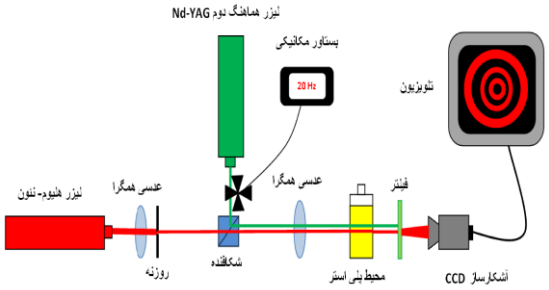
شکل۲: الگوی شدت به ترتیب افزایش سرعت موج گرمایی در محیط از چپ به راست.

۴- نتایج تجربی

برای بررسی تجربی این پدیده، پرتو لیزر هماهنگ دوم Nd-YAG تک مد، با نمایه گاوسی و توان۱۰۰ mW را به وسیله یک عدسی همگرا در محیط پلی‌استر(که در محفظه‌ای ازجنس کوارتز به عرض یک سانتی‌متر قرار داده شده است) که به‌ازای طول موج آن(۵۳۲ نانومتر) دارای ضریب جذب$۲۰m^{-۱}$ می‌باشد، به منظور ایجاد الگوی دمایی در محیط پلی‌استر و در نتیجه ایجاد ضریب شکست نایکنواخت در آن، کانونی می‌کنیم. برای بررسی تغییرات الگوی شدت پرتو لیزر هلیوم-نئون (لیزر هلیوم-نئون در محیط پلی‌استر هیچ گونه جذبی ندارد) عبوری از محیط، ابتدا پرتو را به وسیله یک عدسی همگرا کانونی کرده و با قرار دادن یک روزنه در محل کانون عدسی تا حد امکان به صورت فضایی پالایش می‌کنیم(این کار به دلیل هرچه واضح‌تر دیده شدن تغییرات الگوی شدت انجام می‌شود). با استفاده از یک شکافنده نور دو پرتو دمشی و گمانه را به صورت موازی به داخل محیط پلی‌استر می‌تابانیم، سپس با استفاده از یک فیلتر مناسب پرتو دمشی را حذف نموده و تغییرات ایجاد شده در الگوی شدت پرتو هلیوم-نئون را به وسیله آشکارساز ثبت کردیم. مشاهده شد الگوی شدت پرتو لیزر هلیوم- نئون با گذشت زمان واگرا شد و پس از گذشت ۲۰ ثانیه الگوی شدت به حالت پایدار رسید. همچنین با استفاده از یک بستاور مکانیکی(با قابلیت تنظیم فرکانس) پرتو دمشی را به صورت مربعی به ازای دو فرکانس متفاوت مدوله کرده و تاثیر آن بر تغییرات الگوی شدت پرتو گمانه بررسی

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-30]

کردیم. چیدمان مورد استفاده در این آزمایش در شکل(۳) به صورت طرحوار نشان داده شده است.

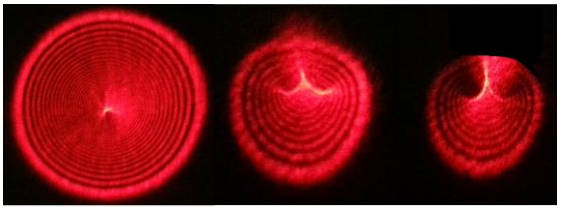


شکل۳: طرح واره ای از چیدمان آزمایشگاهی

تغییرات الگوی شدت پرتو هلیوم-نئون در شکل(۴) نشان داده شده است.

شکل۴: الگوی شدت پرتو هلیوم-نئون پس از عبور از پلی استر به ترتیب از چپ به راست به ازای ω=۰،۵،۱۰Hz

مشاهده می‌شود الگوی شدت به صورت حلقه‌های هم مرکز با شعاع‌های متفاوت درمی‌آید که حلقه مرکزی و حلقه بیرونی دارای شدت بیشتری نسبت به بقیه نقاط می‌باشند. این مسئله به دلیل تغییر در الگوی فاز پرتو عبوری از محیط پلی‌استر می‌باشد. مشاهده می‌شود با مدوله کردن پرتو دمشی، که باعث کاهش میزان پخش گرمایی در محیط می‌شود (چراکه میانگین زمانی تابش به محیط کاهش می‌یابد)، دامنه تغییرات الگوی دمایی در ماده کاهش یافته و از میزان تغییرات ضریب شکست محیط نیز کاسته می‌شود، در نتیجه الگوی شدت نیز کوچک‌تر می‌شود و تمرکز شدت در یک ناحیه کوچکتر باعث پهن‌شدگی حلقه‌ها می‌شود. در گام بعدی با کاهش غلظت محیط پلی‌استر به میزان نصف و یک چهارم غلظت اولیه، اثر رقیق کردن محیط را بر تغییرات الگو بررسی کردیم. تغییرات الگوی شدت به ازای غلظت‌های متفاوت در شکل(۵) آورده شده است.



شکل۵: الگوی شدت پرتو هلیوم-نئون پس از عبور از ماده به ترتیب از چپ به راست به ازای ماده اولیه، یک دوم غلظت اولیه و یک چهارم غلظت اولیه.

با توجه به این که با رقیق شدن محیط اثرات همرفت در آن افزایش می یابد (معادل با در نظر گرفتن سرعت برای موج گرمایی در محیط) لذا، ایجاد عدم تقارن در الگوی دمایی محیط، باعث عدم تقارن در الگوی ضریب شکست محیط، و در نتیجه فاز پرتو هلیوم-نئون عبوری از محیط می شود که این مسئله باعث ایجاد عدم تقارن در الگوی شدت پرتو لیزر هلیوم- نئون می شود.

۵- نتیجه‌گیری

با مقایسه نتایج نظری (الگوهای شدت شبیه سازی شده) و نتایج تجربی(الگوهای شدت به دست آمده در آزمایشگاه)، مشاهده می‌شود تطابق کیفی خوبی میان این نتایج وجود دارد. این مسئله نشان دهنده تاثیر پدیده‌های گرمانوری در ماده بر خواص اپتیکی آن و در نتیجه تاثیر بر نحوه انتشار پرتو عبوری از ماده می‌باشد.

مراجع

[۱]. P. Patel, D. A. a, and P. Patel, Photo thermal Science and Technology (Chapman & Hall, ۱۹۹٦).
[۲]. R. Gupta, and J. A. Sell, The Theory photo thermal effect in fluid (ed. Academic Press Inc., ۱۹۸۹).
[۳]. P. W. MILONNI, and J. H. EBERLY, Lasers Physics (A John Wiley & sons, New Jersey, ۲۰۱۰).
[٤]. ح. جعفری, "بررسی اثرات گرما نوری در پلی استر غیر اشباع و سخت سازی آن با لیزر دی اکسید کربن با دمش امواج رادیویی," دانشکده فزیک دانشگاه اصفهان(اصفهان, دانشگاه اصفهان, ۱۳۹۳).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-30]