

اولین کتوانس ملی حسکر پی فیسرنوری - ۱۴۰۰ بان ۱۴۰۰ **ICOFS 2021**



1st Iranian Conference on Optical Fiber Sensors پژوهشکده لیزر و پلا October 28, 2021

شبیهسازی برانگیزش موج صوتی با سازوکار الکتروتنگش در عبور پالس لیزر از یک تار نوری

مهدیس بیات^۱، مسعود رضوانی جلال^{۱، *}، مسعود پیشدست^۲، علیرضا عبدی کیان^۱

^۱ گروه فیزیک و فوتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران ^۲ پژوهشکده پلاسما و گداخت هستهای، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، ایران

چکیده: در این مقاله به شبیه سازی تولید موج صوتی با مکانیسم الکتروتنگش در تزریق یک پالس لیزر به هسته یک تار نوری پرداخته می شود. برای انجام مطالعات از معادله موج غیرهمگن هیدرودینامیکی (که چشمه آن واگرایی نیروی الکتروتنگش حجمی است) استفاده می گردد. فرض می شود که اختلال اولیه در چگالی تار متناسب با نیروی الکتروتنگش باشد. با حل معادله موج همگن، ویژه فرکانس های صوتی تار نوری و ویژه توابع چگالی پیدا می شوند. سپس، از قضیه بسط استفاده شده و انتشار صوت و بازتاب آن از جداره تار با استفاده از یک برنامه متمتیکا شبیه سازی می گردد. تولید اکوی صوتی با فاصله زمانی ۲۱ ۳۵ در یک تار نوری از جنس سیلیکای گداخته با قطر ۳۳ ما ۲۵ کاملاً مشهود می باشد. کلید واژگان: الکتروتنگش؛ برانگیزش صوت؛ پالس لیزر؛ تار نوری.

Simulation of sound wave excitation by electrostriction mechanism in laser pulse transmission through an optical fiber

Mahdis Bayat¹, Masoud Rezvani Jalal^{1*}, Masoud Pishdast², Alireza Abdikian¹

Department of Physics, Faculty of Science, Malayer University, Malayer, Iran.
 Plasma Physics and Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Iran.

Abstract- In this paper, the generation of sound wave by electrostriction mechanism in injection of a laser pulse into the core of an optical fiber is simulated. The studies are accomplished by using of inhomogeneous hydrodynamic wave equation (with the divergence of volume electrostriction force as its source term). It is assumed that the initial perturbation of the fiber density is proportional to the electrostriction force. By solving the homogeneous wave equation, the acoustic eigen-frequencies of the optical fiber and the density eigen-functions are found. Then, the expansion theorem is used and propagation of the sound wave and its reflection from the fiber edge is simulated using a Mathematica code. Generation of sound echoes with temporal separation of 21 *ns* for a fiber made of fused silica of diameter 125 μn is completely evident.

Keywords: Electrostriction; Sound excitation; Laser pulse; Optical fiber.

* rezvanijalal@malayeru.ac.ir

۱– مقدمه

اپتوآکوستیک لیزری یک پدیده موجی جذاب است که به برانگیزش موج صوتی در ماده با استفاده از لیزر می پردازد. مکانیسمهای مختلفی برای تولید صوت در برهم کنش نور با ماده وجود دارد که از آنها می توان به اثر "الکتروتنگش" اشاره کرد [۱]. فوتوآکوستیک لیزری با منشأ الکتروتنگش یکی از عوامل اتلاف انرژی در مخابرات تار نوری است [۲و۳]. از طرف دیگر، تحریک امواج فوتوآکوستیکی (با دامنه فشار چندصد پاسکالی) در فیبرهای نوری و رخداد پراکندگی بریلوئن القایی می تواند در طراحی حسگرها و طیف سنجها کاربرد داشته باشد

آنچه که در مطالعات این اثر کمتر مورد توجه بوده است شبیهسازی دقیق و فهم فیزیکی آن میباشد. در این مقاله، به شبیهسازی تولید صوت الکتروتنگشی در عبور پالس لیزر از داخل یک تار نوری پرداخته میشود و اکوهای آکوستیکی نیز به طور واضح مشاهده می گردند.

۲- تئوری و فرمول بندی

برای بررسی الکتروتنگش لیزری از یک تار نوری با مقطع دایروی به شعاع b که هسته آن دارای شعاع a است (a < b) استفاده می شود. اگر چگالی تعادلی شیشه تار با hoو تغییرات آن با ho نشان داده شود آنگاه معادله حاکم بر ho با تقریب هیدرودینامیکی می شود [۲]:

$$\nabla^{2}\rho - \frac{1}{v^{2}}\frac{\partial^{2}\rho}{\partial t^{2}} = \nabla \cdot \mathbf{F}$$
(1)

$$\nabla \rho = \nabla \cdot \mathbf{F}$$
(1)

$$\nabla \rho = \nabla \cdot \mathbf{F}$$
(1)

$$\nabla \rho = \nabla \cdot \mathbf{F}$$
(1)

$$F = \frac{\rho_0}{8\pi} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho}\right) \nabla E^2 \tag{7}$$

: ثابت دیالکتریک تار و E نیز اندازه میدان الکتریکی است. فرض می شود که میدان الکتریکی لیزر دارای توزیع گاوسی باشد arepsilon

اولیه تار (یعنی (
ho(r,0) را متناسب با نیروی الکتروتنگش در نظر گرفت. ضریب این تناسب شامل $\rho_0 \ F_0 \ \rho_0 \ r_0$ و ثابت کشسانی تار است. طول زمانی پالس لیزری را هم میتوان از طریق مدل مناسبی وارد این ضریب کرد. البته برای ادامه کار نیازی به دانستن مقدار دقیق این ضریب نیست و با بهنجار کردن جواب میتوان آنرا حذف کرد. معادله (۱) با فرض داشتن جوابهای هارمونیک به شکل $J_0(k_n r)$ و نیز وجود تقارن سمتی در مسئله، به معادله بسل تبدیل میگردد. جواب نهایی هم از برهمنهی تابع بسل $J_0(k_n r)$ به شکل زیر ساخته میشود:

$$ho(r,t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n J_0(k_n r) e^{i\omega_n t}$$
 (*)
که در آن $\omega_n = vk_n \; k_n = x_{I,n}/b$ و $w_n = vk_n \; k_n = x_{I,n}/b$ که در آن

$$C_n = \int^b \rho(r, t=0) J_0(k_n r) r dr \tag{\Delta}$$

با داشتن مشخصات هندسي تار و پالس ليزري ميتوان توليد صوت در هسته و انتشار آن به سمت غلاف و بازتاب از ديواره تار را مطالعه كرد.

۳- محاسبات، بحث و بررسی و نتیجه گیری

برای انجام شبیهسازی از تار تکمُدی سیلیکای گداخته با مشخصات a=۸/۸ μm و b=۱۲۵ μm استفاده می گردد. سرعت صوت در داخل این ماده ν=۵/۹۹۶ km/s است و فرکانس آن چند ده مگاهرتز (از مرتبه v/b) میباشد [۲و۳]. برای اجرای شبیهسازی از یک کد کامپیوتری که

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبرنوری- ۶ آبان ۱۴۰۰ – پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

توسط نویسندگان مقاله نوشته شده است استفاده می گردد. نمودار دو بعدی چگالی موج صوتی در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل به خوبی تولید موج صوتی در هسته، نفوذ آن به غلاف، انتشار آن به سمت دیواره بیرونی تار و بازتاب از آنرا نشان میدهد. مدت زمان رسیدن پالس صوتی به لبه بیرونی تار ۲۱ *ns* است که با *T=b/v* برابر میباشد.



شکل ۱– (به ترتیب از چپ به راست) تولید پالس صوتی در هسته تار نوری، انتشار آن به سمت جداره خارجی غلاف، بازتاب از دیواره تار و برگشت به سمت هسته. از آنجا که در این مسئله هیچ اتلافی لحاظ نشده است حرکت رفت و برگشتی صوت بینهایت بار رخ میدهد. همین بازتابهای مکرر باعث می شود که در هر نقطه از تار یک اکو ایجاد گردد. در شکل ۲ تعدادی از این اکوها در نقطهای به فاصله *b*/۲ از مرکز تار آورده شده است:



شکل ۲– اکوهای صوتی در نقطه *r=b*/۲ داخل تار که ناشی از بازتابهای مکرر پالس صوتی میباشد. ho_{Max} بیشینه تغییر چگالی اولیه تار است.

از شکل ۲ مشخص است که فاصله بین اکوها τ=b/v=۲۱ *ns* میباشد یعنی فقط به مشخصات تار بستگی دارد. تغییر شکلهای ایجاد شده در هر تناوب اکو ناشی از اختلاف فازهای ۱۸۰[°] و ۰۰ است که در بازتاب از جداره بیرونی غلاف و تداخل در هسته تار ایجاد شدهاند. از آنجایی که چگالی *q* به چگالی بیشینه *P*_{Max} بهنجار شده است نمودار ۲ مستقل از *φο ،ξο ،δρ ،δείδρ*، ثابت کشسانی تار و طول پالس لیزری است.

در این مقاله، به مطالعه محاسباتی تولید موج صوتی در عبور پالس لیزری از داخل یک تار نوری با سازوکار الکتروتنگش پرداخته شد. دیده شد که این موج در هسته تار تولید شده و وارد غلاف میشود و ضخامت آن را با سرعت صوت طی کرده و به جداره خارجی میرسد و از آنجا نیز بازتاب میگردد. صوت بازتابی از دوباره به هسته تار بر میگردد و با جبهه موجی که از دیواره مقابل آمده تداخل میکند و از دوباره به سمت جداره حرکت میکند. این حرکت رفت و برگشتی در همه قسمتهای تار به صورت اکوی صوتی احساس میشود.

مراجع

- 1. Pascal Ruello and Vitalyi E. Gusev, Ultrasonics 56 (2015) 21-35.
- 2. A.S. Biryukov, M.E. Sukharev and E.M. Dianov, Quantum Electronics 32 (9) (2002) 765-775.
- 3. J.-Charles Beugnot and V. Laude, Physical Review B 86 (2012) 224304.
- 4. Hilel Hagai Diamandi et al; "Opto-Mechanical Interactions in Multi-Core Optical Fibers and Their Applications", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 26 (4) (2020) 2600113.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.