

Милошевић

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



ЗБОРНИК

**предавања, програма радионица и
постер радова
са XXV републичког семинара
о настави физике**

ВРЊАЧКА БАЊА – 2007

Милошковић
12/04/2007. V. Banja

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



ЗБОРНИК

**предавања, програма радионица
и постер радова
са XXV републичког семинара
о настави физике**

ВРЊАЧКА БАЊА – 2007

ОРГАНИЗАТОРИ СЕМИНАРА

Министарство просвете и спорта Републике Србије

Друштво физичара Србије

Стручни одбор:

1. Душанка Обадовић
2. Илија Савић
3. Вера Бојовић
4. Љиљана Иванчевић
5. Јаблан Дојчиловић
6. Ратомирка Милер
7. Драгана Милићевић
8. Бранислав Јовановић
9. Мићо Митровић

Уредници зборника:

Душанка Обадовић
Илија Савић

Организациони одбор:

1. Дарко Танасковић
2. Горан Попарић
3. Наташа Каделбург
4. Веселин Вуковић
5. Славиша Станковић
6. Весна Вучић
7. Давидовић Предраг
8. Горан Ђорђевић

Технички уредник:

Душан Ћасић

Издавач:

Друштво физичара Србије

Тираж: 350 примерака

Штампа: „ТОН ПЛУС“, Београд

Шта сваки професор физике треба да зна о оптичком влакну

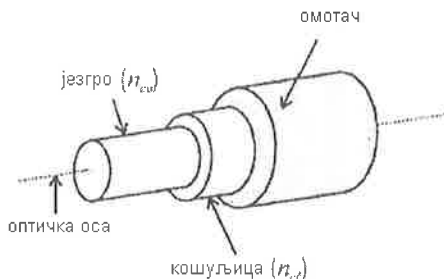
Милан С. Ковачевић

Институт за физику, ПМФ, Крагујевац
kovac@kg.ac.yu

Апстракт. За релативно кратко време технологија оптичких влакана направила је велики корак од идеје до реализације. Већ данас ова влакна се фреквентно користе у авио индустрији, ауто индустрији, медицини, телекомуникацијама, грађевинарству итд. Све су ово довољни разлози да се и код нас појединци и тимови ангажују у истраживачким пословима у овој области. Анализа у раду је, пре свега, усредсређена на физичке основе простирања светлости кроз влакно. Такође се наводи списак најзначајнијих књига, као и списак најпознатијих часописа физике у којима се публикују радови из ове области. На крају је дат и списак веб адреса где се може наћи обиље материјала о оптичким влакнима.

Шта је оптичко влакно?

Генерално, оптички таласовод је диелектрична структура која каналише (преноси) електромагнетну енергију у опсегу таласних дужина, које одговарају инфрацрвеном и видљивом опсегу електромагнетног спектра. Облик попречног пресека оптичког таласовода може бити различит: правоугаони, кружни и профилни. У пракси, таласоводи са кружним попречним пресеком су познати као високо флексибилна оптичка влакна. Саграђена су од више слојева транспарентног диелектричног материјала. Попречни пресек оптичког влакна је доста мали – упоредив са дебелином људске длаке; једна оваква структура која се састоји од три цилиндрична слоја који налажу један на други приказана је на слици 1.

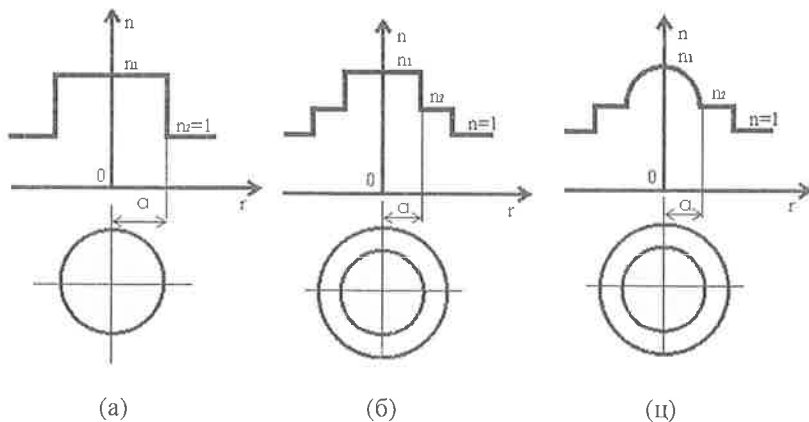


СЛИКА 1. Цилиндрични оптички таласовод (оптичко влакно)

Централни слој се назива језгро (енгл. *core*) влакна и кроз њега се простиру вођени електромагнетни таласи и каналише електромагнетна енергија. На језгро налаже други слој диелектричног материјала, кошулица влакна (енгл. *cladding*), и на крају, ова двослојна вођица је обавијена једним заштитним слојем који се назива омотач (енгл. *jacket*). Овај слој се не узима у обзир при анализи оптичког влакна, било електромагнетној, било геометријској.

Типови оптичких влакана

Својства оптичких влакана одређена су једном карактеристичном функцијом $n(r)$, где је r радијална координата у интервалу $0 \leq r \leq a$; a је радијус језгра влакна; n означава индекс преламања оптичког влакна. Функција $n(r)$ може бити глатка (градијентни профил, енгл. *graded*) или степенаста (степенasti профил, енгл. *step*). У првом случају ради се о градијентном оптичком влакну, а у другом о степенастом влакну. Постоји и трећа категорија оптичких влакана са градијентно-степенастим профилем индекса преламања. Важна карактеристика функције $n(r)$ је да њена вредност у свакој тачки унутар језгра мора бити већа од вредности индекса преламања кошулице влакна. У многим апликацијама оптичких таласовода, највећи део светлосне енергије се простира кроз језгро, док се веома мали део енергије простира кроз кошулицу влакна. На слици 2. приказани су различити типови оптичких влакана.



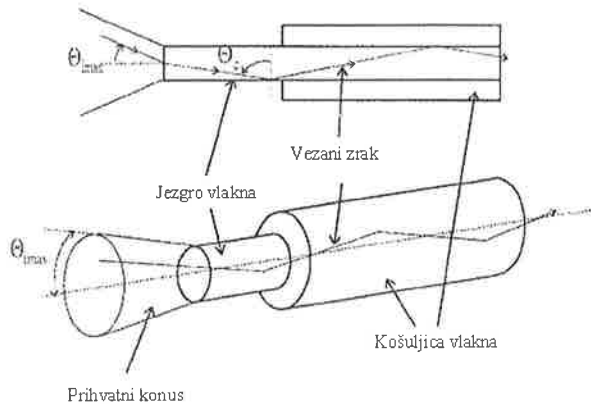
СЛИКА 2. Типови оптичких влакана: а) и б) влакна са степенастим профилем индекса преламања (која се још зову и хомогена), једнослојна и двослојна респективно; в) градијентно влакно без измене знака градијента.

У општем случају, сва оптичка влакна се могу груписати у две групе, и то: А) мултимодна оптичка влакна (са релативно великим пречником језгра), и Б) једномодна оптичка влакна. Критеријум на основу кога се одређује којој групи припада одређено влакно је карактеристични број, V -параметар влакна (енгл. *fiber parameter*)

и рачуна се по формули: $V = (2\pi a / \lambda) \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$, где је a радијус језгра влакна, λ таласна дужина светлости у вакууму, n_1 је максимална вредност индекса преламања језгра, а n_2 индекс преламања кошуљице. Величина $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ се назива *нумеричка апертура (NA)* влакна. Када је вредност за параметар V доста већа од јединице, тада се оптичка влакна називају *мултимодна*; на супрот томе реч је о *једномодним* влакнима.

Физичке основе оптичких влакана

На слици 3. је приказана двослојна цилиндрична структура оптичког влакна: унутрашњи цилиндар, тј. језгро индекса преламања n_1 , дуж кога се простире светлост, и спољашњи цилиндар, кошуљица влакна индекса преламања n_2 . Светлост улази у влакно под извесним углом θ у односу на осу, и након преламања на улазу погађа раздвојну површину језгро/кошуљица, тотално се рефлектује и напредује у правцу осе влакна.



СЛИКА 3.: Простирање светлости кроз влакно са степенастим профилем индекса преламања.

На слици је приказан један везани зрак који се простире под углом врло блиским критичном углу θ_c . Највећи могући угао под којим светлост може да погоди улаз у влакно, и да се при томе још увек тотално рефлектује у влакно, назива се прихватни угао θ_{\max} (енгл. *acceptance angle*). Претпостављајући да светлост долази из ваздуха, налази се да је: $\sin \theta_{\max} = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$, где је θ_c критични угао за тоталну рефлексију одређен релацијом $\sin \theta_c = n_2 / n_1$. Закључујемо да сви они зраци који наиђу на улаз влакна у домену углова $(0, \theta_{\max})$, након преламања на улазу у влакно,

тотално се рефлектују у влакну и напредују ка другом крају влакна. Из изложеног се види да светлост напредује кроз оптичко влакно захваљујући тоталној унутрашњој рефлексији. Дакле, геометријска оптика оптичких влакана заснива се првенствено на физичким законима од којих су најзначајнији: 1) закон праволинијског простирања светлости (у хомогеној средини); 2) закон међусобне независности простирања светлосних зрака; 3) закон одбијања светлости; и 4) закон преламања светлости. Када се говори о интензитету и фази одбијене и рефлектоване светлости на граници између два диелектрика, треба узети у обзир и Френелове (Fresnel) формуле које се могу успешно користити и у геометријском и у електромагнетном приступу при анализи оптичких таласовода.

Методe у третирању оптичких таласовода

За описивање карактеристика простирања светлости кроз оптички таласовод (влакно) се могу применити два приступа: електромагнетни и геометријски. Електромагнетни приступ је заснован на Максвеловим (Maxwell) једначинама и примени основних закона електродинамике. Овај приступ подразумева врло детаљну и подробну анализу вођених електромагнетних таласа чија је егзистенција везана за цилиндричну раздвојну површину између језгра и кошуљице влакна. Оптичко влакно се третира као хомогени диелектрик пермитивности ϵ_1 који је окружен другим диелектриком пермитивности ϵ_2 . Одређивање структуре ЕМ поља у таласоводу, подразумева исписивање и решавање Максвелових једначина уз примену одговарајућих граничних услова. Детаљан поступак и извођење компоненти поља читалац може наћи у литератури која је наведена на крају овог рада. Међутим, комплетан таласни приступ вођених и емитованих таласних мода оптичког влакна често је компликован задатак, посебно када су у питању влакна са одређеним нехомогеностима у структури.

У срединама где се индекс преламања незнатно мења на растојањима реда величине таласне дужине светлости (ово је типично за мултимодна оптичка влакна) може се за описивање простирања светлости користити и техника геометријске оптике. Суштина ове методе је да се простирање светлости кроз таласовод своди на праћење историје зрак по зрак, при томе занемарујући таласне ефекте. Ова метода у литератури је позната као *ray-tracing*.

Набројмо неке од тема које су актуелне у свету и код нас када су у питању оптичка влакна: 1) Теоријски третман и мерење слабљења вођених таласа у оптичким влакнима и истраживања атенуационих механизма; 2) Израчунавање губитака у мултимодним и једномодним оптичким влакнима, који су последица микро и макро закривљености; 3) Нумерички третман формула којима се описује простирање светлосне снаге кроз мултимодна и једномодна оптичка влакна са акцентом на примену неких приближних нумеричких метода; 4) Симулација простирања светлости кроз оптичка влакна применом *ray-tracing* методе; 5) Примена оптичких влакана у конструкцији разноврсних оптичких сензора. Кроз све ове теме прожима се спрега између електромагнетног и геометријског третмана проблема. Из богатог списка публикованих књига и научних радова који се односе на ову значајну проблематику, упућујемо читаоце на списак литературе који је дат у додатку.

Оптичка влакна су данас постала уобичајени стандард у комуникацијама. Ласерска светлост може се применом оптичких влакана пренети на веома велика растојања, и до неколико хиљада километара. Поред телекомуникација, још једна широка област где су оптичка влакна нашла своју примену јесу оптички сензори. Велики број различитих типова сензора заснован на пластичним оптичким влакнима је комерцијализован; на пример сензори за детектовање разних деформација на некој површини, сензори за мерење растојања, облика, боја, рН вредности, сензори за мерење закривљености, густине и многи други. Развој флуоросцентних пластичних оптичких влакана омогућио је појаву низа софистицираних сензора за детектовање јонизујућег зрачења. Бројне су предности коришћења оптичких влакана у односу на конвенционалне водове, као на пример већи капацитет преноса информација, имунитет на спољашње утицаје, посебно на електромагнетне утицаје, као и њихова релативно ниска цена.

Књиге, научни часописи и web адресе

Преглед најзначајнијих књига из оптичких таласовода.

- [K1] Adams M. J., *An Introduction to Optical waveguides*, (John Wiley & Sons, Chichester, 1981).
- [K2] Arditty H. J., Dakin J. P. and Kersten R. T. (Eds.), *Optical Fiber Sensors*, (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1989).
- [K3] Arnaud J., *Beam and Fiber Optics*, (Academic Press, New York, 1976).
- [K4] Barnoski M. K., *Fundamentals of Optical Fiber Communications*, (Academic Press, New York, 1976).
- [K5] Clarricoats P. J. B. (Ed.), *Optical Fibre Waveguides*, (Peter Peregrinus, Sevenage, 1975).
- [K6] Dakin J. P. and Culshaw B., (Eds.), *Optical Fiber Sensors*, (Atech House, Boston London, 1988).
- [K7] Hunsperger R. G., *Integrated Optics: Theory and Technology*, (Springer Press, Berlin, 1995).
- [K8] Kapany N. S., *Fiber Optics: Principles and Applications*, (Academic Press, New York, 1967).
- [K9] Kapany N. S. and Burke J. J., *Optical Waveguides*, (Academic Press, New York, 1972).
- [K10] Lacy E. A., *Fiber Optics*, (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1982).
- [K11] Marcuse D., *Principles of Optical Fiber Measurements*, (Academic Press, New York, 1981).
- [K12] Marcuse D., *Light-Transmission Optics*, (Van Nostrand Reinhold, Princeton, 1972).
- [K13] Marcuse D., *Theory of Dielectric Optical Waveguides*, (Academic Press, New York, 1974).
- [K14] Marcuse D., *Integrated Optics*, (IEEE Press, New York, 1973).
- [K15] Owyang G. H., *Foundations of Optical Waveguides*, (Elsevier, New York, 1981).
- [K16] Snyder W. A. and Love J., *Optical Waveguide Theory*, (Chapman and Hall, London, 1983).
- [K17] Pierre A. Belanger, *Optical Fiber Theory*, (World Scientific, Singapore, 1993)
- [K18] Born M., Wolf E., *Principles of Optics*, (Pergamon, Oxford, 1970)
- [K19] Aleñ H. Cherin, *An Introduction to optical fibers*, (Bell Telephone Lab., 1983).
- [K20] Koshihira M., *Optical waveguide theory by the finite element method*, (KTK Scientific, Kluwer Academic, Tokyo, 1992).
- [K21] Sodha M. A., and Ghatak A. K., *Inhomogeneous Optical Waveguides*, (Plenum Press, New York and London, 1977).
- [K22] Lewin L., Chang C. D., Kuester F. E., *Electromagnetic waves and curved structures*, (Stevenage: P. Peregrinus on behalf of the IEE, c1977).
- [K23] Colin R. E., *Field Theory of guided waves*, 2nd ed. (New York: IEEE Press, c1991.).
- [K24] Okoshi Takanori, *Optical Fibers*, (New York: Academic Press, 1982).

- [K25] Meardon, S. L. Wymer (Susan L. Wymer), The elements of fiber optics, (Englewood Cliffs, N. J.: Regents/Prentice Hall, c1993).
[K26] Marcuse D., Theory of Dielectric Optical Waveguides, (Academic Press, New York, 1991)

Преглед међународних часописа из физике у којима се публикују научни радови из области оптичких влакана:

- [Ч1] Applied Optics, <http://ao.osa.org/journal/ao/about.cfm>
[Ч2] Applied Physics B: Lasers & Optics <http://link.springer.de/link/service/journals/00340/index.htm>
[Ч3] Optics Express <http://www.opticsexpress.org>
[Ч4] Optics Letters <http://www.opticsinfobase.org/current.cfm?journal=3>
[Ч5] Optics Communications <http://www.elsevier.com/locate/optcom>
[Ч6] Journal of Modern Optics <http://www.tandf.co.uk/journals/titles/09500340.asp>
[Ч7] Fiber & Integrated Optics <http://www.tandf.co.uk/journals/titles/01468030.asp>
[Ч8] Journal of Optics A: Pure and Applied Optics <http://www.iop.org/Journals/jopa>
[Ч9] Optik <http://www.elsevier.com/locate/optik>
[Ч10] Optical Fiber Technology <http://www.elsevier.com/locate/yofte>
[Ч11] Journal of Lightwave Technology <http://jlt.osa.org/journal.cfm>
[Ч12] Journal of Optics B: Quantum & Semiclassical Optics <http://www.iop.org/>
[Ч13] Optical Materials <http://www.elsevier.com/locate/optmat>
[Ч14] Optical Engineering <http://www.spie.org/oe>
[Ч15] Optical and Quantum Electronics <http://springerlink.metapress.com>

Преглед неких web адреса где се може наћи материјал едукативног карактера о оптичким влакнима:

1. What is Optical Fibers made off? <http://www.pslc.ws/macrog/fiberopt/of.htm>
2. Optical Fiber http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber
3. Principles and Characteristics of Optical Fibers
http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6_7_Haile_Mariam/Haile-Mar%20text.htm
4. Fibre Optic Technologies http://www.gare.co.uk/technology_watch/fibre.htm
5. The Fiber Optic Association, Inc. <http://www.thefoa.org/>
6. Lennie Lightwave's Guide To Fiber Optics <http://www.jimhayes.com/lennielw/basics.html>
7. Fibers <http://www.rp-photonics.com/fibers.html>
8. How Fiber Optics Work <http://electronics.howstuffworks.com/fiber-optic.htm>
<http://www.play-hookey.com/optics/fiber1.html>
9. Optical fibers <http://www.mse.cornell.edu/courses/engri111/op-fiber.htm>
10. Optical Fibers Lecture Notes
<http://www.cooper.edu/engineering/projects/gateway/ee/solidmat/modlec4/modlec4.html>
11. A Fiber-Optic Chronology http://www.sff.net/people/Jeff_Hecht/history.html
12. A Reference Guide to Optical Fibers and Light Guides http://www.pti-nj.com/obb_fibers.html
13. Optical Fiber Calculations <http://www.ee.byu.edu/photonics/fibercalculator.phtml>
14. Optical Fiber Specifications <http://www.oceanoptics.com/products/fiberspecs.asp>
15. Basic Principles of Fiber Optics
<http://www.corningcablesystems.com/web/college/fibertutorial.nsf/basprin?OpenForm>