

Matematicko-fyzikálny časopis

Juraj Šácha
Svetlovod

Matematicko-fyzikálny časopis, Vol. 9 (1959), No. 1, 15--18

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/126935>

Terms of use:

© Mathematical Institute of the Slovak Academy of Sciences, 1959

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

SVETLOVOD

JURAJ ŠÁCHA, Bratislava

Pri konštruovaní niektorých fyzikálnych prístrojov sme postavení pred úlohu previesť svetlo z jedného miesta na druhé s čo najmenšími stratami. Súčiastku, ktorá bude plniť túto úlohu, budeme nazývať svetlovodom. Plocha, cez ktorú bude vnikáť svetlo do vnútra svetlovodu, budeme nazývať čelom svetlovodu. Svetlovod musí zaručiť, aby sa čo najviac svetla, ktoré prejde čelom svetlovodu, dostalo až na druhý koniec svetlovodu, kde je zariadenie, ktoré meria alebo indikuje svetelný tok. Napr. svetelné záblesky, ktoré vzniknú v scintilačnom kryštáli, snažíme sa pomocou svetlovodu s čo najmenšími stratami previesť na katódu fotonásobiča.

Ak symbolom J_0 označíme množstvo svetla prechádzajúce čelom svetlovodu a symbolom J množstvo svetla na konci, platí

$$J = J_0 e^{-kx},$$

kde x je dĺžka svetlovodu,

k je koeficient absorpcie svetla.

Ako vidíme, absorpcia svetla rastie s dĺžkou svetlovodu exponenciálne. Aby sme čo najviac znížili straty svetla, snažíme sa svetlovod spraviť čo najkratší a z materiálu, ktorého absorpcia je v pásme prepúšťaného žiarenia zanedbateľne malá.

Návrh tvaru svetlovodu

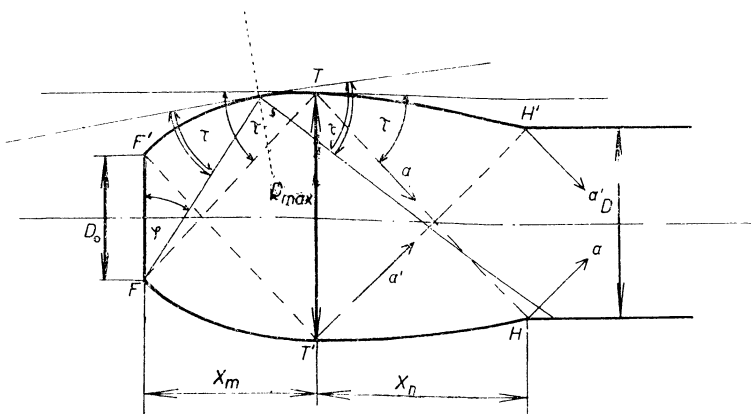
Tvar svetlovodu zvolíme taký, aby všetky svetelné lúče, ktoré prejdú čelom svetlovodu, neunikli zo svetlovodu von, ale sa dostali až na koniec svetlovodu. Svetelné lúče, ktoré prechádzajú ktorýmkoľvek miestom čela svetlovodu, dopadajú na rozhranie svetlovodu a obklopujúceho prostredia pod takým uhlom, že v každom mieste rozhrania nastane totálny odraz lúča do vnútra svetlovodu.

Svetlovod bude rotačne symetrický. Bude sa skladať z dvoch častí: *zberacej hlavy* a *valcovej časti*. Zberacia hlava musí zachytiť všetko svetlo a previesť ho do valcovej časti. Rozmery zberacej hlavy a minimálny priemer valcovej časti sú dané priemerom čela a indexom lomu materiálu svetlovodu. Valcová časť môže byť dlhá podľa potreby. Na konci valcovej časti je pripojené meracie

zariadenie. Svetlovod sa snažíme zhotoviť z materiálu s maximálnym možným indexom lomu. Niektoré hladiská, podľa ktorých treba navrhovať účelný tvar svetlovodu, boli už v literatúre uverejnené [1]. Aj čiastočné riešenie tohto problému bolo už uverejnené [2].

Výpočet tvaru zberacej hlavy

Zberaciu hlavu (obr. 1) v mieste maximálneho priemeru myslenu rovinou kolmou na os svetlovodu, rozdelíme na prednú a zadnú časť. Obe budeme riešiť samostatne, pričom je účelné tvar prednej časti stanoviť numericky a tvar zadnej časti graficky.



Obr. 1.

Predná časť: Pri výpočte svetlovodu poznáme veľkosť zdroja svetla (D_0), napr. priemer kryštálu, materiál svetlovodu (index lomu N) a prostredie, v ktorom bude svetlovod uložený (index lomu N'). Zo známych hodnôt indexov lomu môžeme vypočítať uhol totálnej reflexie pre rozhranie svetlovodu a obklopujúceho prostredia. Uhol totálnej reflexie ε je uhol, ktorý zvierajú dopadajúci lúč s normálou k dopadovej ploche. Medzným uhlom τ budeme nazývať uhol meraný od dotýčnice k dopadovej ploche.

Platí

$$\tau + \varepsilon = 90^\circ, \quad \sin \varepsilon = \frac{N'}{N}.$$

$$\tau = 90^\circ - \varepsilon.$$

Ak je svetlovod uložený vo vákuu alebo vo vzduchu, môžeme považovať $N' = 1$.

Na rozhranie svetlovodu a obklopujúceho prostredia bude dopadať pod najnepriaznivejším uhlom lúč vychádzajúci z bodu F . Aby tento lúč v celej

prednej časti hlavy dopadal na rozhranie pod uhlom τ , musí mať rozhranie tvar *logaritmickéj špirály*, ktorej pól leží v bode F . Logaritmická špirála je daná (v polárnych súradniciach) vzťahom

$$r = D_0 e^{c\varphi}, \quad \text{kde} \quad c = \frac{1}{\operatorname{tg} \tau}.$$

Odvodme niektoré dôležité rozmery svetlovodu. Do bodu F dáme počiatok súradných osí tak, aby os x bola rovnobežná s rotačnou osou svetlovodu. Bod T bude mať súradnice x_{\max} a y_{\max} . Vypočítajme tieto súradnice a pomocou nich hrúbku prednej časti svetlovodu (vzdialenosť maximálneho priemeru svetlovodu od čela) a maximálny priemer svetlovodu.

$$\begin{aligned} x &= r \sin \varphi, & \varphi_{\max} &= 90^\circ - \tau, \\ x_{\max} &= r \sin \varphi_{\max}, \\ x_{\max} &= D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \sin(90^\circ - \tau), \\ x_{\max} &= D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \cos \tau, \\ y &= r \cos \varphi, \\ y_{\max} &= r \cos \varphi_{\max}, \\ y_{\max} &= D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \cos(90^\circ - \tau), \\ y_{\max} &= D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \sin \tau. \end{aligned}$$

Pre maximálny priemer D_{\max} dostaneme:

$$\begin{aligned} \frac{D_{\max}}{2} &= y_{\max} = \frac{D_0}{2}, \\ D_{\max} &= 2y_{\max} = D_0, \\ D_{\max} &= D_0 (2e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \sin \tau - 1). \end{aligned}$$

Poznámka. Na dostatočne presné stanovenie tvaru krivky stačí vypočítať hodnoty r pre $\varphi = 0^\circ$ až $\varphi = 180^\circ$ odstupňované po 10° .

Zadná časť: Narysujeme si prednú časť. Nakreslíme svetelný lúč, ktorý vychádza z bodu F a dopadá do bodu T a odráža sa. Obrysová krivka druhej časti je parabola, ktorá má ohnisko v bode F a jej os je rovnobežná so smerom lúča a (po odrazení v bode T). Okrem toho poznáme jeden bod paraboly (bod T) a smer dotýčnice paraboly v bode T (dotýčnica paraboly v bode T je spoločná s dotýčnicou logaritmickéj špirály a je rovnobežná s osou svetlovodu). Z týchto údajov vieme hľadanú parabolu zostrojiť (dokonca je jeden určujúci prvok zbytočný). Zostrojíme lúč a' , ktorý vychádza z bodu F' , dopadá do bodu T' a odráža sa. Lúč a' pretína parabolu v bode H' , v ktorom začína valcová časť svetlovodu. Vzďalenosť bodu H' od osi svetlovodu je minimálny polomer valcovej časti.

Pre odhad rozmerov zadnej časti zberacej hlavy môžeme použiť vzťahy:

$$D \doteq 0,75D_{\max}; \quad x_i \doteq 8,7 \frac{D_{\max}}{\operatorname{tg} \tau}.$$

Poznámka. Ak nemá svetlo uniknúť zo svetlovodu von, priemer valeovej časti nesmie byť menší, ako sme graficky zistili. Využitie svetla sa nezmení, ak priemer valeovej časti bude väčší ako D , maximálne D_{\max} .

Ak nemáme k dispozícii dostatočne veľký kus materiálu, aby sme svetlovod mohli spraviť z jedného kusa, môžeme ho spraviť z častí, zlepených napr. kanadským balzomom. Časť je najlepšie robiť tak, ako boli počítané: prednú časť, zadnú časť a valeovú časť. Celý svetlovod aj styčné plochy musia byť dokonale vyleštené.

Záver

Článok prináša úplný návrh výpočtu a konštrukcie svetlovodu, ktorý zaručuje maximálne využitie svetla, ktoré prejde čelom svetlovodu. V článku sú uvedené potrebné vzťahy a postup grafického riešenia.

LITERATÚRA

- [1] R. L. Garwin: The Design of Liquidal Scintillation Cells, The Review of Scientific Instruments 23 (1952), 755—757.
- [2] W. Hartmann, F. Bernhard: Fotovervielfacher und ihre Anwendung in der Kernphysik, Berlin 1957.

Došlo 20. I. 1958.

Laboratorium fyziky SAV Bratislava

СВЕТОВОДЪ

ЮРАЙ ШАХА

Выводы

В этой статье дается совершенное предложение расчета и конструкции световода, который обеспечивает максимальное использование света, проходящего любым световодом. Статья вводит нужные отношения и метод графического решения.

LICHTLEITER

JURAJ ŠÁCHA

Zusammenfassung

Dieser artikel bringt einen vollständigen Entwurf und eine Konstruktionsbeschreibung eines Lichtleiters, welcher eine maximale (möglichst hohe) Ausnützung des durch Stirn durchgehendes Lichtes garantiert. Die Arbeit enthält notwendige Formeln und den Fortgang den graphischen Lösung.