

SVETLOVOD

JURAJ ŠÁCHA, Bratislava

Pri konštruovaní niektorých fyzikálnych prístrojov sme postavili pred úlohu previesť svetlo z jedného miesta na druhé s čo najmenšími stratami. Súčasťou, ktorá bude plniť túto úlohu, budeme nazývať svetlovodom. Plocha, cez ktorú bude vnikat 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 fotónásobiča.

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

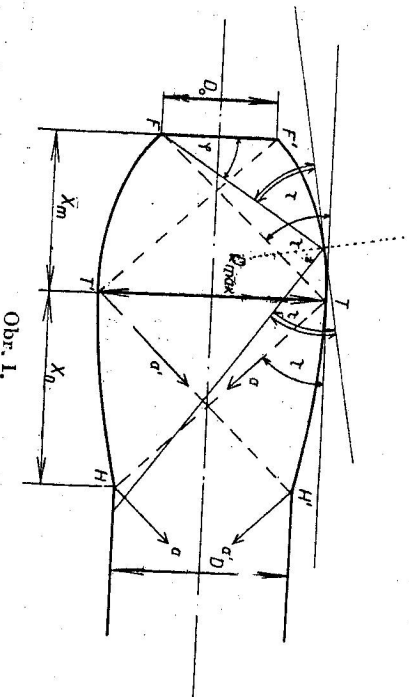
Tvar svetlovodu zvolíme taký, aby všetky svetelné lúče, ktoré prejdú čelom svetlovodu, neunikli zo svetlovodu von, ale sa dostali až na koniec svetlovodu. Svetelné lúče, ktoré prechádzajú ktorýmkoľvek miestom čela svetlovodu, dopadajú na rozhranie svetlovodu a obklopujúceho prostredia pod takým uhlom, 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 rovinnou, 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 pre rozhranie svetlovodu a obklopujúceho prostredia. Uhol totálnej reflexie ϵ , je uhol, ktorý zviera dopadajúci lúč s normálou k dopadovej ploche. Medzným uhlom τ budeme nazývať uhol imerný od dotýčnice k dopadovej ploche.

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

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

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 *logaritmického špirály*, ktorej pól leží v bode F . Logaritmická špirála je daná (v polárnych súradniciach) vzťahom

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

Odvodíme niektoré dôležité rozmery svetlovodu. Do bodu F dáme počítať 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 hĺbku prednej časti svetlovodu (vzdialenosť maximálneho priemeru svetlovodu od čela) a maximálny priemer svetlovodu.

$$x = r \sin \varphi, \quad \varphi_{\max} = 90^\circ - \tau,$$

$$x_{\max} = r \sin \varphi_{\max},$$

$$x_{\max} = D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \sin (90^\circ - \tau),$$

$$x_{\max} = D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \cos \tau,$$

$$y = r \cos \varphi,$$

$$y_{\max} = r \cos \varphi_{\max},$$

$$y_{\max} = D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \cos (90^\circ - \tau),$$

$$y_{\max} = D_0 e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \sin \tau.$$

Pre maximálny priemer D_{\max} dostaneme:

$$\frac{D_{\max}}{2} = y_{\max} = \frac{D_0}{2},$$

$$D_{\max} = 2y_{\max} = D_0,$$

$$D_{\max} = D_0 (2e^{c \operatorname{arc}(90^\circ - \tau)} \cdot \sin \tau - 1).$$

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. Nakreslime svetelný lúč, ktorý vychádza z bodu F a dopadá do bodu T a odraža sa. Obrysová krivka druhej 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 logaritmického špirály a je rovnobežná s osou svetlovodu). Z týchto údajov vieme hladanú parabolu zostrojiť (dokonca je jeden určujúci prvok zbytočný). Zostrojíme lúč a' , ktorý vychádza z bodu F' , dopadá do bodu T' a odraža sa. Lúč a' pretína parabolu v bode H' , v ktorom začína valcová časť svetlovodu. Vzďialenosť bodu H' od osi svetlovodu je minimálny polomer valcovej časti.

Pre odhad rozmerov zadnej časti zberacej hlavy môžeme použiť vzťahy:

$$D \doteq 0,75 D_{\max}; \quad x_n \doteq 8,7 \frac{D_{\max}}{t g \tau}.$$

Poznámka. Ak nemá svetlo uniknúť zo svetlovodu von, priemer valcovej časti nesmie byť menší, ako sme graficky zistili. Využitie svetla sa nezmení, ak priemer valcovej 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 balzantom. Časť je najlepšie robiť tak, ako boli počítané: predná časť, zadná časť a valcová časť. Celý svetlovod aj stýčné plochy musia byť dokonale vyčistené.

Záver

Článok prináša úplný návrh výroby a konštrukcie svetlovodu, ktorý zároveň je maximálne využité svetla, ktoré prejde celom svetlovodom. 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: Fotovegetafischer und ihre Anwendung in der Kernphysik, Berlin 1957.

Došlo 20. 1. 1958.

Laboratorium fyziky SAV Bratislava

СВЕТОВОД

ЮРАЙ ШАХА

Виноны

В этой статье дается совершенное предложение расцера и конструкии светопровода, который обеспечивает максимальное использование света, проходящего лобом светопровода. Статья выводит нужные отношения и метод графического решения.

LICHTLEITER

JURAJ ŠACHA

Zusammenfassung

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