# PÓT ZÁRTHELYI DOLGOZAT #1-2

2019-12-18

## 1. Lézeres védőszemüveg méretezése

Egy 40 W teljesítményű anyagmegmunkáló lézer üzemeltetéséhez $OD$ = 7 optikai denzitású védőszemüveget ír elő a szabvány ($OD = -\log_{10}(T)$). Mekkora a transzmittancia ($T$)? Mekkora minimális vastagság ($d$) szükséges, ha az alkalmazott szűrőanyagban a lézer $\lambda_0$ = 1070 nm-es hullámhosszán a behatolási mélység $\delta$ = 0,285 mm? A felületek Fresnel-reflexiójától eltekintünk. Mekkora a komplex törésmutató képzetes része ($\kappa$)? Ha a szűrő első felületének reflektanciája $R$ = 4,84%, akkor mekkora a polikarbonát hordozó törésmutatójának valós része ($n$)? A számolásban hanyagolja el a törésmutató képzetes részét. **25 p**

$$T = 10^{-OD} = 10^{-7} \tag{1}$$

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-2\frac{d}{\delta}} \to d = -\delta\frac{\ln T}{2} = 2{,}30\text{ mm} \tag{2}$$

$$\delta \equiv \frac{1}{k_{im}} = \frac{1}{k_0\kappa} = \frac{\lambda_0}{2\pi\kappa} \to \kappa = \frac{\lambda_0}{2\pi\delta} = \frac{0{,}00107}{2\pi\cdot 0{,}285} = 5{,}98\cdot 10^{-4} \tag{3}$$

$$R \approx \left|\frac{1-n}{1+n}\right|^2 \to n = \frac{1\mp\sqrt{R}}{1\pm\sqrt{R}} \to n_1 = 0{,}639 \text{ és } n_2 = 1{,}564. \tag{4}$$

Ezek közül csak a második megoldásnak van fizikai realitása.

## 2. Lencse-defókusz meghatározása mátrixoptikával

Egy optikai tengellyel párhuzamos síkhullám fókuszálását modellezzük paraxiális közelítésben egy vékonylencse esetén, az $y$-$z$ síkban (ld. 1. ábra). A nyalábot egy darab, a vékonylencse első felületére beeső tengelypárhuzamos fénysugár reprezentálja ($y_1$ = 5,0 mm, $q_1$ = 0). A levegőben lévő lencse első felületének görbületi sugara $r_1$ = 20 mm, a másodiké $r_2$ = −100 mm, a törésmutatója $n_1$ = 1,5, a vastagságát nullának tekintjük ($d_1$ = 0). Mekkora a lencse eredő törőereje ($P$) és effektív fókusztávolsága ($f'$)? $P$ ismeretében írja fel a lencse átviteli mátrixát az első felületről a másodikra, majd a teljes rendszer mátrixát a lencse első felületétől a második felülettől mért $f'$ + Δ$z$ távolságra lévő (defókuszált) képsíkig (Δ$z$ = 0,01 mm). Az átviteli mátrix segítségével határozza meg e képsíkon a megadott fénysugár koordinátáit ($y_3$ és $q_3$-at)! **25 p**

$$P = P_1 + P_2 = \frac{n_1 - 1}{r_1} + \frac{1 - n_1}{r_2} = \frac{1{,}5 - 1}{20} + \frac{1 - 1{,}5}{-100} = 0{,}03\ \ 1/\text{mm} \tag{5}$$

$$f' = \frac{1}{P} = 33{,}333\text{ mm} \tag{6}$$

$$\mathbf{M_{12}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -P_1 - P_2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0{,}03 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

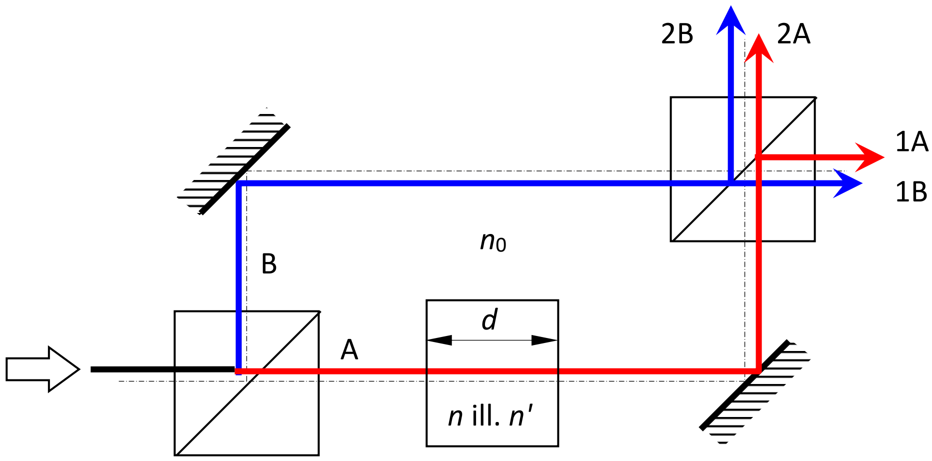
$$\mathbf{M_{13}} = \begin{bmatrix} 1 & f' + \Delta z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -P_1 - P_2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - (P_1 + P_2)(f' + \Delta z) & f' + \Delta z \\ -P_1 - P_2 & 1 \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\mathbf{M_{13}} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}00029 & 33{,}343 \\ -0{,}03 & 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\begin{bmatrix} y_3 \\ q_3 \end{bmatrix} = \mathbf{M_{13}} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ q_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ay_1 + Bq_1 \\ Cy_1 + Dq_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}0015\text{ mm} \\ -0{,}15\text{ rad} \end{bmatrix}. \tag{10}$$

## 3. Gáz törésmutatójának mérése Mach-Zehnder interferométerrel

Mach-Zehnder interferométerben vizsgálja a levegő törésmutatójának hőmérsékletfüggését He-Ne lézerrel. A levegőt tartalmazó küvetta hossza $d$ = 10,0 mm, a hullámhossz $\lambda_0$ = 633 nm. Írja fel paraméteresen az 1. nyalábban az A és B nyalábok közötti optikai úthosszkülönbséget (*OPD*)! A teljes rendszer $n_0$ törésmutatójú gáztérben van elhelyezve, az osztókockákat teljesen egyformának tekintjük, a küvetta falvastagságát elhagyagolhatja. Írja fel az ebből származtatható fáziskülönbséget ($\delta$) az ideális 50%-os osztórétegek fázistolásának figyelembevételével! Mekkora a küvettában lévő levegő $n'$ törésmutatója $T'$ = −40°C-on, ha $n$ = 1,00031 $T$ = 20°C-on mérve, valamint $\delta' - \delta$ = 2,98 rad? Ha 20°C-on éppen maximális volt az 1. nyaláb intenzitása ($\delta$ = 0), ennek hány százalékára esik vissza −40°C-on az intenzitás? **25 p**




$$OPD = OPL_A - OPL_B = nd - n_0 d = (n - n_0)d \tag{11}$$

$$\delta = (n - n_0)d\frac{2\pi}{\lambda_0} + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} = (n - n_0)d\frac{2\pi}{\lambda_0} \tag{12}$$

$$\delta' - \delta = (n' - n)d\frac{2\pi}{\lambda_0} = 2{,}98 \rightarrow n' = n + 2{,}98\frac{\lambda_0}{d2\pi} = 1{,}00034 \tag{13}$$

$$I_1 = I_{1\mathrm{A}} + I_{1\mathrm{B}} + 2\sqrt{I_{1\mathrm{A}} I_{1\mathrm{B}}}\cos\delta \tag{14}$$

$$I_{1\mathrm{A}} = I_{1\mathrm{B}} \quad \rightarrow \; I_1 = 2I_{1\mathrm{A}} + 2I_{1\mathrm{A}}\cos\delta \tag{15}$$

$$\frac{I_1{}'}{I_1} = \frac{2I_{1\mathrm{A}} + 2I_{1\mathrm{A}}\cos\delta'}{2I_{1\mathrm{A}} + 2I_{1\mathrm{A}}\cos\delta} = \frac{1 + \cos\delta'}{1 + 1} = \frac{1 + \cos 2{,}98}{1 + 1} = 0{,}651\%. \tag{16}$$

## 4. Lézerrezonátor vizsgálata többhullám interferenciával

Egy GaAs vegyületfélvezetőből előállított $\lambda_0$ = 840,046 nm középhullámhosszú, Fabry-Pérot rezonátoros lézerdiódát vizsgálunk, az anyag komplex törésmutatója $n$ = 3,65 ; $\kappa$ = 0,074, a környező közeg levegő (azaz a törésmutatója 1,0). A téglatest alakú rezonátor hossza $d$ = 1,0 mm, a felületek nincsenek semmilyen bevonattal ellátva, csak a nagy törésmutató miatt tükrösek. Számítsa ki a félvezető/levegő határfelület reflektanciáját ($R$) merőleges beesés esetén, a komplex törésmutató figyelembevételével! A rezonátorban oda-vissza verődő fényt többhullám interferenciával modellezük, az egy körülfutás alatt elszenvedett fáziskésés $\delta$. Mekkora fáziskésés-változás esetén ($\delta_{\mathrm{FWHM}}/2$) esik a rezonátor transzmittanciáját leíró Airy-függvény a felére? Hányadik rezonátormódusban ($m$) működik a lézer? (Az optikai úthossz számolásakor csak a törésmutatót valós részét vegye figyelembe.) Ha eggyel nagyobb módusba vált a lézer, mekkorát változik a hullámhossz ($\lambda_{0,m+1} - \lambda_{0,m}$)? **25 p**

$$R = \left|\frac{n - i\kappa - 1}{n - i\kappa + 1}\right|^2 = \frac{(n-1)^2 + \kappa^2}{(n+1)^2 + \kappa^2} = \frac{7{,}0023 + 0{,}00548}{21{,}62 + 0{,}00548} = 32{,}41\% \tag{17}$$

$$\frac{\delta_{FWHM}}{2} = \frac{1 - R}{\sqrt{R}} = 1{,}187 \text{ rad} \tag{18}$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2d = m \cdot 2\pi \rightarrow m = \frac{2d}{\lambda} = \frac{2dn}{\lambda_0} = 8690 \tag{19}$$

$$\frac{2dn}{\lambda_{0,m+1}} = 8691 \rightarrow \lambda_{0,m+1} = 839{,}949 \text{ nm} \tag{20}$$

$$\lambda_{0,m} = 840{,}046 \text{ nm} \rightarrow \lambda_{0,m+1} - \lambda_{0,m} = -97 \text{ pm.} \tag{21}$$