

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V BRNĚ

---

FAKULTA PŘÍRODOVĚDECKÁ

Chw 16/84

# Sbírka úloh z optiky

Doc. RNDr. Jan Kučírek, CSc.

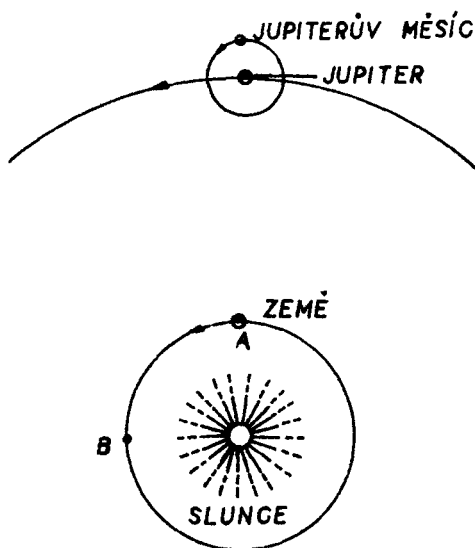
Naskenována pouze zadání  
a výsledky příkladu.

---

STÁTNÍ PEDAGOGICKÉ NAKLADATELSTVÍ

PRAHA

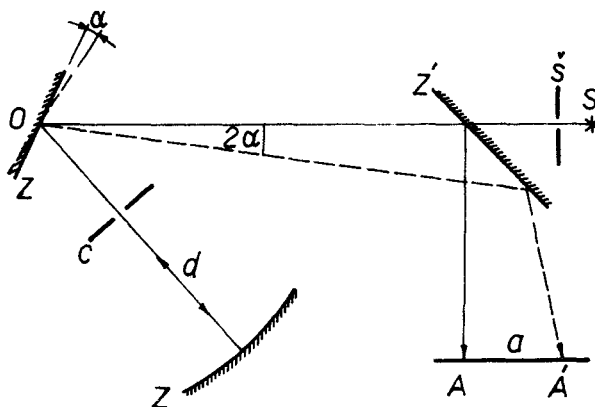
1. Srovnajte průměrnou tloušťku lidského vlasu ( $4 \cdot 10^{-2}$  mm) s vlnovou délkou žlutého světla (580 nm).
2. Viditelné světlo sahá od fialové části (asi 390 nm) do červené části (kolem 780 nm). Rychlost šíření elektromagnetických vln všeho druhu je ve vakuu rovna  $3 \cdot 10^8$  m s<sup>-1</sup>. Určete odpovídající frekvenční rozsah viditelného světla.
3. Römerova metoda měření rychlosti světla spočívala v pozorování doby oběhu jednoho z Jupiterových měsíců. Skutečná doba oběhu tohoto měsíce je 42,5 hod.
  - (a) Vezměte v úvahu, že rychlost světla je konečná a rozvažte, jak se změní zdánlivá doba oběhu tohoto měsíce, když se Země při svém pohybu kolem Slunce přesune z místa A do místa B (obr. 1).
  - (b) Jaká pozorování je třeba udělat k tomu, abychom mohli rychlost světla vypočítat?Předpokládejte, že se Jupiter na své dráze kolem Slunce pohybuje rychlostí pro naše výpočty zanedbatelnou.



Obr. 1.

4. Vypočtete rychlost světla ze známého průměru dráhy Země kolem Slunce, doby jejího oběhu a naměřené hodnoty aberace hvězd, která činí 20,47 obloukových sekund.
5. Ve Fizeauově pokusu měření rychlosti světla bylo použito ozubeného kola se 720 zuby, rovinné zrcadlo bylo od tohoto kola vzdáleno o 8630 metrů. Při jaké (minimální) úhlové rychlosti otáčení ozubeného kola poprvé pro pozorovatele světlo vymizelo?

6. Cornu použil pro měření rychlosti světla Fizeauovy myšlenky, jen zdokonalil laboratorní zařízení. Jeho ozubené kolo mělo 180 zubů při průměru 40 mm, a zrcadla byla od sebe vzdálena 22,9 km. Zjistěte, při jaké úhlové rychlosti otáčení ozubeného kola došlo k prvnímu vymizení světla.
7. Při Foucaultově pokusu měření rychlosti světla konalo zrcadlo 4800 otáček za minutu. Vzdálenost otočného zrcadla od pevného zrcadla kulového byla 4 m a úhel  $\alpha$ , o který se potočilo zrcadlo v době, za kterou vykonal paprsek dráhu  $2d$ , byl roven  $1,324 \cdot 10^{-4}$  radiánu (obr. 2). Určete z těchto hodnot rychlost šíření světla ve vakuu.



Obr. 2.

8. Určete energii fotonu pro  
(a) červené světlo ( $6000 \text{ \AA}$ )  
(b) rentgenovy paprsky ( $1 \text{ \AA}$ ).  
Při jaké teplotě je střední energie tepelného pohybu molekul pro jeden stupeň volnosti rovna vypočítané energii fotonu?
9. Vyjádřete energii fotonu, který odpovídá elektromagnetické vlně elektrického proudu o frekvenci 50 Hz a srovnajte ji s energií fotonů v oboru viditelného světla.
10. Jakou vlnovou délku má záření vysílané rozhlasovou stanicí, má-li frekvenci (a) 1000 kHz, (b) 100 MHz.
11. Najděte energii a vlnovou délku fotonu, který má stejnou hybnost jako 40 MeV (a) proton, (b) elektron.  
Určete, v jaké části spektra tento foton najdeme. (Elektron musíme řešit relativisticky!)

12. Srovnajte energii fotonu mikrovlny o vlnové délce 10 cm a He-Ne laseru ( $\lambda = 632,9$  nm).
13. Záření z mezihvězdných vodíkových mraků pozorujeme na vlnové délce 21 cm. O jaký druh elektromagnetického záření jde a jaká je frekvence a energie jeho fotonů?
14. Uveďte tři různé zdroje záření: zdroj gama záření ( $\lambda_1 = 10^{-12}$  m), zdroj zeleného světla ( $\lambda_2 = 500$  nm) a zdroj mikrovln ( $\lambda_3 = 1$  cm). Kolik fotonů musí každý ze zdrojů emitovat, aby vyzářil energii 1 joulu?
15. Atom sodíku absorbuje i vyzařuje elektromagnetické záření o délce vlny  $5,9 \cdot 10^{-7}$  m, která odpovídá žluté části viditelného spektra. Určete energii fotonů, které jsou přitom pohlceny nebo vyzářeny.
16. Určete vlnovou délku, příslušející gama záření o energii  $10^{19}$  eV.
17. Proton se nachází v klidu ve velmi velké vzdálenosti od Země (prakticky v nekonečnu). Vlivem zemské přitažlivosti je uveden do pohybu a padá na Zemi. Když dopadne, je veškerá jeho kinetická energie přeměněna v energii jediného světelného kvanta. Jaká bude frekvence a jaká bude vlnová délka tohoto kvanta a v které části spektra je můžeme pozorovat?  
Zanedbejte vliv ovzduší na pohyb protonu.
18. Zrnko písku má hmotnost  $10^{-5}$  g. Z jaké výšky musí dopadnout volným pádem na podložku, aby jeho kinetická energie v okamžiku dopadu byla právě rovna energii jednoho kvanta viditelného světla o vlnové délce 600 nm?  
Srovnajte s výsledkem příkladu 17 a proveďte diskusi obou výsledků!
19. Určete hybnost fotonu rentgenových paprsků o frekvenci  $10^{19}$  Hz.
20. Mrak kobytek jehož hustota je 100 jedinců v krychlovém metru, letí severním směrem rychlostí 6 metrů za minutu. Vypočtete plošnou hustotu toku kobytek, tj. množství kobytek, které projde jednotkovou plochou kolmou na směr šíření za jednu sekundu.

21. Laser o výkonu 1,0 mW má průměr světelného svazku roven 2 mm. Za předpokladu, že lze zanedbat divergenci tohoto svazku, vypočtete hustotu energie záření laseru.
22. Radarová anténa vyzařuje rovinné elektromagnetické vlny o frekvenci 100 MHz a plošná hustota jejího výkonu je  $19,88 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$ . Vypočtete plošnou hustotu toku fotonů, tj. počet fotonů procházejících jednotkovou kolmou plochou za jednotku času. Kolik fotonů najdeme průměrně v jednom kubickém metru prostoru, kam je anténa směřována?
23. Kolik fotonů je za vteřinu emitováno 100 W žárovkou, za předpokladu, že nedochází k tepelným ztrátám při přeměně elektrické energie ve světelnou a že vyzařované světlo je kvazimonochromatické o vlnové délce 550 nm. (Ve skutečnosti jsou tepelné ztráty v žárovce značné a jen asi 2,5 % energie se vyzáří ve formě světelné energie.)
24. Žárovka o napětí 3,0 voltů odebírá proud 0,25 A a jedno procento svého příkonu mění ve světelné záření o vlnové délce 550 nm. Svazek světla, které vysílá, má průřez  $10 \text{ cm}^2$ .
- (a) Kolik fotonů žárovka každou vteřinu vysílá?
- (b) Kolik fotonů se nachází v jednotkovém objemu světelného svazku?
- (c) Určete hustotu energie světelného svazku v okamžiku, kdy vychází ze žárovky.
25. Žárovka kapesní svítilny má výkon 1,5 W. Předpokládáme, že celý výkon je vyzářen při střední vlnové délce 500 nm rovnoměrně do všech směrů. Určete počet fotonů dopadajících za vteřinu na  $2 \text{ cm}^2$  plošky umístěné kolmo k paprskům ve vzdálenosti 1 m od zdroje.
26. Předpokládejte, že světlo s plošnou hustotou výkonu  $I$  dopadá kolmo na prostředí a je v něm dokonale absorbováno. Dokažte, že tlak záření, kterým na toto prostředí působí, lze vyjádřit vztahem  $P = \frac{I}{c}$ .
27. Dokonale absorbující ploška je ozařována 300 W světla po dobu 100 vteřin. Vypočtete celkovou hybnost, kterou světlo plošce udělilo.

28. Představte si kosmonauta, který se octne mimo kosmickou loď se svítílnou, vyzařující po neomezeně dlouhou dobu světelný výkon 10 W. Celková hmotnost kosmonauta je 100 kg. Jak dlouho by musel používat své svítílny jako pohonného motoru (tzv. fotonový pohon), aby dosáhl ve volném prostoru rychlosti  $10 \text{ m s}^{-1}$ ?
29. K tomu, aby došlo působením ultrafialových paprků k disociaci kysličníku uhelnatého na atomy kyslíku a uhlíku, je nezbytné dodat energii 11 eV. Jaká musí být minimální vlnová délka použitého ultrafialového záření, aby jeho vlivem došlo k disociaci?
30. Plynový zdroj vysílá světlo o vlnové délce 500 nm. Za předpokladu, že každá molekula působí jako oscilátor s nábojem  $e$  a amplitudou  $10^{-10} \text{ m}$ ,  
(a) vypočítejte střední výkon připadající na molekulu,  
(b) je-li celkový výkon záření zdroje 1 W, kolik molekul vysílá současně?
31. Světlo o vlnové délce 6000 Å je vysláno elektronem v atomu, který se chová jako slabě tlumený harmonický oscilátor s faktorem kvality  $Q = 5 \cdot 10^7$ . Určete šířku spektrální čáry.
32. Minimální intenzita světla, která je ještě zaregistrována lidským okem, je asi  $10^{-10} \text{ W m}^{-2}$ . Kolik fotonů o vlnové délce 560 nm musí dopadnout na pupilu oka za vteřinu, aby bylo dosaženo této minimální intenzity? Plocha pupily je asi  $10^{-4} \text{ m}^2$ .

33. Ukažte, že funkce  $u(x, t) = f(x \pm v t)$  je řešením jednorozměrné diferenciální vlnové rovnice.
34. Jsou-li funkce  $u_1(x, t)$  i  $u_2(x, t)$  řešením diferenciální vlnové rovnice, ukažte, že jejich součet, tj. funkce  $u_1(x, t) + u_2(x, t)$ , je rovněž jejím řešením.
35. Je zadán tvar vlny  
$$u(y, 0) = \frac{3}{2y^2 + 1}.$$
  
(a) Napište vztah pro odpovídající postupnou vlnu, pohybující se rychlostí  $2 \text{ m s}^{-1}$  ve směru osy  $y$ .  
(b) Načrtněte tvar vlny pro  $t = 0$  a  $t = 1 \text{ s}$ .
36. Odvoďte z Eulerova vztahu  $e^{i\psi} = \cos\psi + i \sin\psi$  výraz pro  $\cos\psi$  a  $\sin\psi$ .
37. Ukažte, že vztah  $u(z, t) = A e^{-(2z + 3t)^2}$  je rovnicí postupné vlny a proveďte, že je řešením vlnové rovnice.
38. Ukažte, že pro harmonickou vlnu typu  $A \sin k(x - v t)$  z požadavku její periodicity v prostoru tj. z podmínky  $u(x, t) = u(x \pm \lambda, t)$  nutně vyplývá, že  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ .
39. Nakreslete tvar vlny  $u(x, t) = A \cos(k x - \omega t)$  pro čas  $t = 0$ ,  $t = \frac{T}{4}$ ,  $t = \frac{T}{2}$ .
40. Proveďte, že harmonická vlnová funkce  $u(x, t) = A \sin(k x - \omega t)$  je řešením jednorozměrné diferenciální vlnové rovnice.
41. Proveďte, že výrazy v bodech (a) až (c) popisují postupnou harmonickou vlnu:  
(a)  $u = A \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \pm \frac{t}{T}\right)$   
(b)  $u = A \sin 2\pi \nu \left(\frac{x}{v} \pm t\right)$   
(c)  $u = A \sin 2\pi (\kappa x \pm \nu t)$   
kde  $\kappa = \frac{1}{\lambda}$ .
42. Je dána vlnová funkce pro světelnou vlnu  
 $u(x, t) = 10^3 \sin \pi (3 \cdot 10^6 x - 9 \cdot 10^{14} t)$ .  
Určete (v soustavě SI): (a) její rychlost, (b) vlnovou délku a barvu, (c) frekvenci, (d) periodu, (e) amplitudu.

43. Ukažte, že funkce  $u(r, t) = \frac{1}{r} f(r - vt)$  je řešením třírozměrné vlnové rovnice odpovídající kulové vlně, která se šíří ze středu, splývajícího s počátkem souřadnic, rychlostí  $v$ . V tomto výrazu je  $f(r - vt)$  libovolná funkce, jejíž první i druhá derivace existují.
44. Nakreslete tvar vlny  $u(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varepsilon)$  pro tři hodnoty počáteční fáze  $\varepsilon$  a to pro  $\varepsilon = 0, \frac{\pi}{2}, \pi$ .
45. Jakou okamžitou hodnotu má výchylka vlny  $u(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \pi)$  v bodě  $x = 0$ , v čase  $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}$  a  $T$ ?
46. Napište rovnici harmonické vlny, která se pohybuje v kladném směru osy  $x$  tak, že v čase  $t = 0$  je okamžitá výchylka bodu  $x = 0$  rovna 10 mm, bodu  $x = \frac{\lambda}{6}$  je rovna 20 mm a bodu  $x = \frac{5\lambda}{12}$  je nulová.
47. Rovnice postupné vlny má tvar  $u = 10^{-2} \sin 2\pi(2x - 100t)$ . Najděte (v soustavě SI): (a) její amplitudu, (b) vlnovou délku, (c) frekvenci, (d) rychlost šíření. Udělejte náčrt této vlny, ze kterého bude patrna její amplituda a vlnová délka.
48. Postupná vlna je dána rovnicí  $u = 2 \sin 2\pi(0,5x - 10t)$ . Narýsujte graf této vlny v délce několika vlnových délek pro  $t = 0$  a  $t = \frac{1}{40}$  s. Opakujte pro vlnu  $u = 2 \sin 2\pi(0,5x + 10t)$  a porovnejte výsledky.
49. V záporném směru osy  $x$  se šíří rovinná vlna. Nakreslete na milimetrový papír graf závislosti výchylky na čase v bodě  $x = 2 \cdot 10^{-5}$  cm v časovém intervalu  $1 \cdot 10^{-15}$  s do  $5 \cdot 10^{-15}$  s. V bodě  $x = 0$  a  $t = 0$  je výchylka rovna polovině amplitudy, vlnová délka je 6000 Å.
50. Vlna s frekvencí 500 Hz má fázovou rychlost  $350 \text{ m s}^{-1}$ .  
(a) Jak jsou vzdáleny od sebe dva body prostředí, jímž se vlna šíří, liší-li se jejich fáze o  $60^\circ$ ?  
(b) Jaký je fázový rozdíl mezi dvěma výchylkami určitého bodu po uplynutí časového intervalu 0,001 s?
51. Disperse elektromagnetických vln v horních vrstvách zemské atmosféry (v ionosféře) je dána empirickým vztahem



$v = \frac{a}{1 - b\lambda}$ , kde  $a$  a  $b$  jsou konstanty. Najděte grupovou rychlost těchto vln.

52. Ve studovaném prostředí je grupová rychlost  $w$  nepřímo úměrná fázové rychlosti  $v$  vlnění. Jak závisí fázová rychlost tohoto vlnění na frekvenci?

53. Fázová rychlost vlny

(a) v hluboké vodě je dána vztahem  $v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ ,

(b) pro povrchovou vlnu je  $v = \sqrt{\frac{2\pi\tau}{\rho\lambda}}$ , kde  $\tau$  je povrchové napětí a  $\rho$  hustota.

Vypočítejte v obou případech grupovou rychlost pro úzkou oblast frekvencí.

54. Určete disperzní zákon fázové rychlosti v těchto případech:

(a)  $w \rightarrow \infty$       (b)  $v \cdot w = c^2$       (c)  $w = \frac{1}{v}$

55. Dokažte, že pro elektromagnetickou vlnu lze poměr amplitudy elektrického a magnetického vektoru vyjádřit vztahem

$$\frac{E_0}{B_0} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{\omega}{k}.$$

56. Harmonická rovinná elektromagnetická vlna má elektrický vektor vertikální a šíří se ve směru osy  $x$ . Její frekvence je  $\nu = 5 \cdot 10^6$  Hz a amplituda  $E_0 = 0,04$  V m<sup>-1</sup>. Napište výrazy pro  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\vec{S}$  a vypočítejte  $\langle \vec{S} \rangle$ .

57. Rovinná elektromagnetická vlna má ve vakuu vlnovou délku 100 metrů. Maximální hodnota intenzity elektrického pole této vlny je  $10^{-4}$  V m<sup>-1</sup>.

(a) Napište možný tvar vektoru  $\vec{B}$  této vlny jako funkci souřadnice  $x$  a času  $t$ .

(b) Vypočítejte hodnotu výkonu, přenášeného touto vlnou ploškou o velikosti 1 cm<sup>2</sup>, orientovanou kolmo na směr šíření vlny.

58. V určité oblasti prostoru existuje magnetické pole, které je rovnoběžné s osou  $z$  a má osovou souměrnost, tj. jeho velikost v každém místě je závislá na vzdálenosti  $\vec{r}$  od osy  $z$ . Určete elektrické pole  $\vec{E}$  v libovolném místě prostoru, jestliže se velikost magnetického pole mění s časem.

59. Vypočítejte Poyntingův vektor a jeho střední hodnotu pro rovinnou elektromagnetickou vlnu ve vakuu postupující ve směru osy  $\underline{x}$ .
60. Elektrický vektor rovinné elektromagnetické vlny je ve vakuu dán vztahem  $E_x = 0$ ,  $E_y = 0,5 \cos [2\pi \cdot 10^8 (t - \frac{x}{c})]$ ,  $E_z = 0$   
(a) Určete vlnovou délku, stav polarizace a směr šíření této vlny.  
(b) Vypočtete magnetický vektor dané vlny.  
(c) Vypočtete střední hodnotu plošné hustoty výkonu dané vlny.  
Výpočty provádějte v soustavě SI.
61. Rovinná harmonická lineárně polarizovaná světelná vlna o vlnové délce 500 nm se šíří ve vakuu podél osy  $\underline{x}$ . Střední energie vlny jednotkové plochy je  $0,1 \text{ W m}^{-2}$  a rovina kmitů elektrického vektoru je rovnoběžná s osou  $\underline{y}$ . Napište rovnice, popisující elektrické a magnetické pole této vlny.
62. Rovinná harmonická lineárně polarizovaná světelná vlna s vlnovou délkou 500 nm se šíří ve vakuu ve směru, který leží v rovině  $xy$  a svírá s osou  $\underline{x}$  úhel  $45^\circ$ . Elektrický vektor kmitá rovnoběžně s osou  $\underline{z}$  a střední hodnota její intenzity je  $0,1 \text{ W m}^{-2}$ . Napište rovnice, popisující elektrické a magnetické pole této vlny.
63. Světelná vlna se šíří ve skle ( $n = 1,5$ ). Je-li amplituda elektrického pole světelné vlny rovna  $100 \text{ V m}^{-1}$ , jaká je amplituda magnetického pole této vlny? Jaká je velikost Poyntingova vektoru této vlny?
64. Sluneční záření dopadá na povrch Země, kde má intenzitu  $1,4 \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$ . Za předpokladu, že toto záření lze považovat za rovinné vlny, určete velikost amplitud elektrického a magnetického pole této vlny.
65. Rozhlasový vysílač má výkon  $P = 5 \cdot 10^4 \text{ W}$ ; vypočítejte maximální elektrické pole  $E_0$  a magnetické pole  $B_0$  ve vzdálenosti  $d = 100 \text{ km}$  za předpokladu, že anténa vysílače vyzařuje ve všech směrech stejně.
66. Radarový vysílač vysílá energii do kužele, jehož prostorový úhel je  $10^{-2}$  steradiánů. Ve vzdálenosti  $10^3 \text{ m}$  od vysílače má elektrické pole amplitudu  $10 \text{ V m}^{-1}$ . Určete amplitudu magnetického pole a výkon vysílače.

67. Když se elektron pohybuje v prostředí s rychlostí, jež převyšuje rychlost šíření světla v tomto prostředí, vyzařuje elektromagnetickou energii (Čerenkovův efekt). S jakou minimální rychlostí se musí elektron pohybovat v kapalině o indexu lomu  $n = 1,45$ , abychom mohli pozorovat Čerenkovovo záření?
68. Popište stav polarizace a orientace vlny  
$$\vec{E}(z, t) = \vec{i} E_0 \cos(kz - \omega t) + \vec{j} E_0 \cos(kz - \omega t + \frac{\pi}{4}).$$
69. Napište výraz pro lineárně polarizovanou vlnu s úhlovou frekvencí  $\omega$ , šířící se podél kladné osy  $z$  tak, že rovina jejích kmitů svírá s rovinou  $zx$  úhel  $30^\circ$ .
70. Napište rovnici lineárně polarizované vlny, šířící se s úhlovou frekvencí  $\omega$  podél kladné osy  $z$  tak, že elektrický vektor svírá v době  $t = 0$  v počátku souřadnic úhel  $120^\circ$  s kladným směrem osy  $x$ . Přesvědčte se, že tato vlna je kolmá k vlně v úloze č. 69.
71. Popište detailně vlnu, jejíž rovnice je  
$$\vec{E} = \vec{j} E_0 \sin(\frac{2\pi x}{\lambda} - \omega t) - \vec{k} E_0 \sin(\frac{2\pi x}{\lambda} - \omega t).$$
72. Popište vlnu  $\vec{E}(y, t)$ , která vznikne superpozicí dvou vlnění  
$$\vec{E}_x(y, t) = \vec{i} E_0 \cos k(y - vt) \quad \text{a} \quad \vec{E}_z(y, t) = -\vec{k} E_0 \cos k(y - vt)$$
  
Náčrtněte závislost  $\vec{E}(0, t)$  pro  $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}$  a  $T$ .
73. Vyjádřete matematicky lineárně polarizovanou rovinnou harmonickou vlnu jejíž skalární amplituda je  $E_0$ . Vlna se šíří podél přímky svírající v rovině  $xy$  úhel  $45^\circ$  s osou  $x$  a rovina  $xy$  je její kmitová rovina.
74. Popište polarizaci těchto dvou vln:  
$$\vec{E}_1 = E_0 [\vec{i} \cos(kz - \omega t) + \vec{j} \sin(kz - \omega t)]$$
$$\vec{E}_2 = E_0 [\vec{i} \sin(kz - \omega t) + \vec{j} \cos(kz - \omega t)].$$
75. Napište výraz pro pravotočivou kruhově polarizovanou vlnu, šířící se ve směru osy  $z$  tak, že v počátku souřadnic a v čase  $t = 0$  má její elektrický vektor směr opačný, než osa  $x$ .
76. Zkoumejte výsledek superpozice dvou příčných rovinných vln  
$$\vec{U} = \vec{U}_0 \exp(i\omega t - i\vec{k}\cdot\vec{r}), \quad \vec{V} = \vec{V}_0 \exp(i\omega t - i\vec{k}\cdot\vec{r}),$$
  
kde  $\vec{U}_0$  a  $\vec{V}_0$  jsou na sebe kolmé. Zaveďte do fáze vlny  $\vec{V}$  konstantní

fázový posuv  $\phi$  a zkoumejte výsledek této superpozice v závislosti na hodnotě  $\phi$ .

77. Přesvědčte se, že obecně elipticky polarizovaná vlna za jistých speciálních podmínek přechází
- v lineárně polarizovanou vlnu
  - v kruhově polarizovanou vlnu.
- Určete, jaké podmínky musí být pro to splněny.
78. Dokažte, že elipticky polarizovaná vlna může vzniknout superpozicí dvou kruhově polarizovaných vln - jedné levotočivé a druhé pravotočivé. Najděte výrazy pro tyto dvě vlny, které složeny by vedly ke vzniku eliptické pravotočivé vlny, šířící se podél osy  $z$  tak, že hlavní poloosa elipsy leží v ose  $y$ .
79. Popište polarizační stav vln vyjádřených těmito rovnicemi:
- $E_y = A \cos \omega(t - \frac{x}{c}), \quad E_z = A \sin \omega(t - \frac{x}{c})$
  - $E_y = A \cos \omega(t - \frac{x}{c}), \quad E_z = -A \cos \omega(t - \frac{x}{c})$
  - $E_y = A \cos \omega(t - \frac{x}{c}), \quad E_z = A \cos[\omega(t - \frac{x}{c}) - \frac{3}{4}\pi]$
  - $E_y = A \cos \omega(t - \frac{x}{c}), \quad E_z = A \cos[\omega(t - \frac{x}{c}) + \frac{\pi}{4}]$
- Určete magnetické pole.
80. Dvě elektromagnetické vlny téže frekvence a téže amplitudy jsou lineárně polarizovány ve směru  $Oy$ , přičemž se jedna šíří ve směru osy  $x$ , druhá ve směru osy  $z$ . Určete v závislosti na  $t$  a  $z$  výrazy pro tyto veličiny:
- výsledné elektrické pole,
  - výsledné magnetické pole,
  - hustotu energie  $\underline{w}$ ,
  - Poyntingův vektor  $\vec{S}$ ,
  - časové střední hodnoty veličin  $\underline{w}$  a  $\vec{S}$ .
81. Nakreslete obrázek, ze kterého by byl patrný typ polarizace vlnění, jehož elektrický vektor je dán vztahem:
- $\vec{E} = \vec{i} E_0 \cos(kz - \omega t) + \vec{j} E_0 \cos(kz - \omega t + \frac{\pi}{4})$
  - $\vec{E} = \vec{i} E_0 \cos(kz - \omega t) + \vec{j} 2E_0 \sin(kz - \omega t)$
  - $\vec{E} = \vec{i} E_0 \exp[i(kz - \omega t)] + \vec{j} 2E_0 \exp[i(kz - \omega t - \frac{3\pi}{4})]$
  - $\vec{E} = \hat{E}_0 \exp[i(kz - \omega t)]$ , kde  $\hat{E}_0 = (\vec{i} + 2\vec{j}) E_0$
- V případech vlnění sub (a), (b) a (c) vyjádřete též jejich komplexní amplitudy ve tvaru uvedeném v (d).

82. Popište co nejdůkladněji stav polarizace následujících elektromagnetických vln:

- (a)  $\vec{E} = \vec{i} E_0 \cos(kz - \omega t) - \vec{j} E_0 \cos(kz - \omega t)$
- (b)  $\vec{E} = \vec{i} E_0 \sin 2\pi \left(\frac{z}{\lambda} - \nu t\right) - \vec{j} E_0 \sin 2\pi \left(\frac{z}{\lambda} - \nu t\right)$
- (c)  $\vec{E} = \vec{i} E_0 \sin(\omega t - kz) + \vec{j} E_0 \sin(\omega t - kz - \frac{\pi}{4})$
- (d)  $\vec{E} = \vec{i} E_0 \cos(\omega t - kz) + \vec{j} E_0 \cos(\omega t - kz + \frac{\pi}{2})$ .

83. Napište výrazy pro elektrické pole následujících vln:

- (a) lineárně polarizovaná vlna postupující ve směru osy  $x$ . Vektor intenzity elektrického pole svírá úhel  $30^\circ$  s osou  $y$ .
- (b) pravotočivá elipticky polarizovaná vlna postupující ve směru osy  $y$ . Hlavní osa elipsy leží ve směru osy  $z$  a je rovna dvojnásobku malé osy.
- (c) lineárně polarizované světlo postupující v rovině  $xy$ . Směr šíření vlny svírá úhel  $45^\circ$  s osou  $x$  a směr polarizace je dán směrem osy  $z$ .

84. Je zadána funkce  $\vec{E}(z, t) = [\vec{i} \cos \omega t + \vec{j} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})] E_0 \sin kz$ . Jakou vlnu popisuje? Nakreslete náčrtek, ze kterého by byly patrné její hlavní vlastnosti.

85. Napište vztah pro elektrický a magnetický vektor elektromagnetické vlny, šířící se podél osy  $x$ :

- (a) Vlna je lineárně polarizovaná a rovina jejích kmitů svírá úhel  $45^\circ$  s rovinou  $xy$ .
- (b) Vlna je lineárně polarizovaná a rovina jejích kmitů svírá s rovinou  $xy$  úhel  $120^\circ$ .
- (c) Vlna je kruhově polarizovaná, pravotočivá.
- (d) Vlna je kruhově polarizovaná, levotočivá.

86. Dokažte analyticky, že na elipticky polarizované světlo lze nahlížet jako na superpozici lineárně a kruhově polarizovaného světla.

87. Ukažte, že příčná vlna šířící se podél osy  $x$  mající výchylku  $u$ , jejíž složky jsou

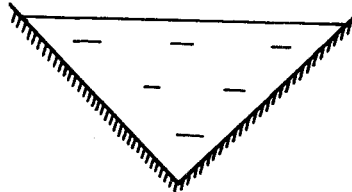
$$u_y = u_0 \sin(kx - \omega t) \quad u_z = u_0 \cos(kx - \omega t)$$

je kruhově polarizovaná. Určete směr této kruhové polarizace pro pozorovatele, hledícího ve směru osy  $x$ . Napište výrazy pro  $u_y$  a  $u_z$  podobné vlny, ale s opačným směrem polarizace.

88. Dokažte, že dvě lineárně polarizované světelné rovinné vlny, jejichž kmitosměry jsou na sebe kolmé, nemohou interferovat.
89. Určete frekvenční rozsah bílého světla a najděte, jaká je jeho časová a prostorová koherence.
90. Spektrální čistota zdroje může být vyjádřena veličinou  $\frac{\Delta\nu}{\nu}$ , tzv. frekvenční stabilitou. Například pro nízkotlakou rtuťovou výbojku naplněnou parami Hg<sup>198</sup> má spektrální čára 546,078 nm šířku 1000 MHz. Vypočtete pro ni koherenční dobu, koherenční délku a frekvenční stabilitu.
91. Vyjádřete vztah pro koherenční délku vlny s použitím šířky spektrální čáry  $\Delta\lambda$  odpovídající její frekvenční šířce  $\Delta\nu$ .
92. Vypočítejte koherenční délku  $\Delta x$  odpovídající světlu výbojky s koherenční dobou  $\Delta t \approx 10^{-9}$  s. Vypočítejte spektrální šířku  $\Delta\lambda$  tohoto světla, je-li  $\lambda \approx 6000 \text{ \AA}$ .
93. Hypotetický zdroj světla o vlnové délce 650 nm vysílá světelné pulsy nepřerušovaně vždy po dobu  $10^{-8}$  s. Vypočtete šířku emitované spektrální čáry a koherenční délku.
94. V roce 1963 dosáhli Jaseija, Javan a Townes krátkodobě frekvenční stabilitu He-Ne laseru pro čáru o vlnové délce 1153 nm rovnu  $8 \cdot 10^{-14}$ . Vypočtete odpovídající dobu a délku koherence.
95. Sovětský fyzik V. P. Čebotajev dosáhl v r. 1973 u metanem stabilizovaného He-Ne laseru frekvenční stabilitu záření o vlnové délce 1153 nm rovnu  $6 \cdot 10^{-16}$ . Tuto stabilitu se mu podařilo udržet po dobu 100 sekund. Vypočtete odpovídající dobu a délku koherence a srovnáním s výsledkem příkladu č. 94 si všimněte, jakého pokroku dosáhli na tomto poli fyzikové za jedno desetiletí.

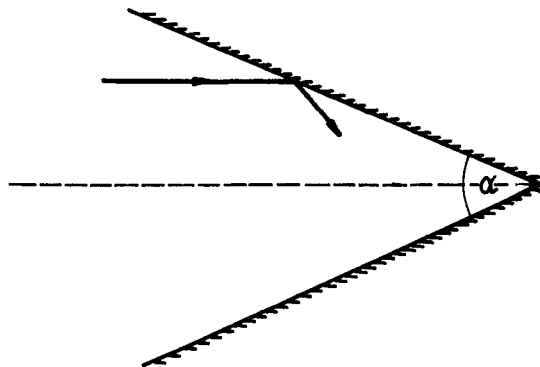
96. Dokažte, že dráha světelného paprsku, který vychází z bodu A a po odrazu na rovinném zrcadle dopadá do bodu B, je menší než kterákoliv jiná dráha spojující bod A, zrcadlo a bod B.
97. Jak vysoké musí být rovinné zrcadlo, které je nakloněno dopředu tak, že s horizontální rovinou svírá úhel  $\alpha$ , aby osoba výšky  $h$ , jejíž oko je v kolmé vzdálenosti  $a$  od zrcadla, se v něm právě celá uviděla?
98. Ukažte, že při rovnoměrném posunutí rovinného zrcadla o vzdálenost  $x$  podél normály, posunul se obraz o vzdálenost  $2x$ .
99. Dokažte, že paprsek světla odražený od rovinného zrcadla se otočí o úhel  $2\alpha$ , jestliže se zrcadlo otočí o úhel  $\alpha$  kolem osy kolmé k rovině dopadu.
100. Na rovinné zrcadlo dopadá ze světelného zdroje kolmo světelný paprsek tak, že po odrazu vytvoří na stínítku, vzdáleném od zrcadla na vzdálenost  $d = 5$  m a se zrcadlem rovnoběžným, světelnou stopu. Zrcadlo uvedeme do rovnoběžného otáčivého pohybu okolo svislé osy tak, že za každou vteřinu vykoná 10 otáček. Vypočítejte rychlost se kterou se bude pohybovat světelná stopa na stínítku a také rychlost světelné stopy v tom místě stínítka, které leží nejbližší k zrcadlu.
101. V jaké výšce nad povrchem Země se nachází upoutaný balón, vidíme-li z místa pozorování jeho odraz ve vodě pod depresním úhlem  $\alpha$  a balón sám pod elevačním úhlem  $\beta$ ? Pozorovací místo je ve výšce  $a$  nad hladinou.  
Řešte nejprve obecně a pak pro hodnoty  $\alpha = 39^{\circ}48'$ ,  $\beta = 33^{\circ}41'$  a  $a = 10$  m.
102. Určete úhel, který spolu svírají dvě rovinná zrcadla, je-li zjištěno, že světelný paprsek rovnoběžný s jedním ze zrcadel dopadá na soustavu a po čtyřech odrazech na ní se vrací po stejné dráze zpět.
103. Dvě navzájem kolmá zrcadla tvoří stěny nádoby, naplněné vodou, jak je patrné z obr. 11. Světelný paprsek dopadá shora kolmo na vodní hladinu.  
(a) Ukažte, že paprsek, který po odrazech z nádoby vychází, je rovnoběžný s paprskem dopadajícím a má opačný směr (za předpokladu dvou odrazů na povrchu zrcadel).

- (b) Opakujte tento rozbor pro případ obecného úhlu dopadu paprsků v rovině nákresu.
- (c) Za použití tří zrcadel proveďte třírozměrnou analogii této úlohy a rozeberte pro ni případ obecného úhlu dopadu a tři odrazů na zrcadlech.



Obr. 11.

104. Ke kolika odrazům dojde na dokonale lesklém dutém kovovém kuželi s vrcholovým úhlem  $\alpha$ , jestliže paprsek dopadá rovnoběžně s osou kužele v místě A (obr. 12)?

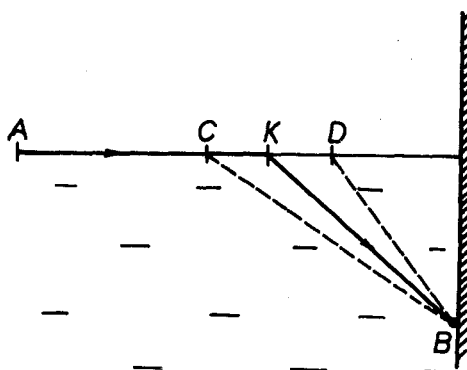


Obr. 12.

105. Dvě zrcadla svírají úhel  $\varphi$ . Na zrcadla dopadá paprsek, který leží v rovině kolmé k hraně úhlu. Vypočtete úhel  $\delta$  o který se odchýlí paprsek po odrazech na obou zrcadlech.
106. Kolik vlastních obrazů uvidí pozorovatel v místnosti, jejíž dvě přilehlé stěny a strop jsou dokonale zrcadlícími plochami? Vysvětlete.
107. Dokažte, že paprsek, který se postupně odrazí na třech zrcadlech na sebe kolmých, postupuje opačným směrem než před odrazy. Na tomto principu pracují i laserové odražeče, instalované na Měsíci.



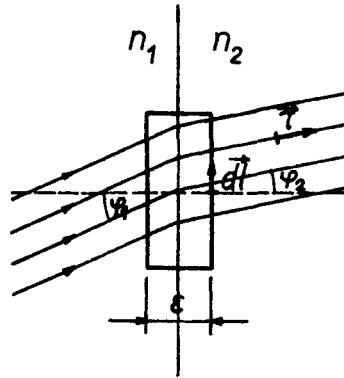
108. Vypočtete tloušťku vrstvy vzduchu ( $n = 1,0003$ ) ve které by bylo obsaženo o jednu vlnovou délku žlutého světla ( $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$ ) více, než ve stejně tlusté vrstvě vakua.
109. Když kráčí chodec po chodníku, jde rychlostí  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ , když jde po zoraném poli je jeho rychlost pouze  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Vyšel z bodu A, který leží 50 m západně od stěny a míří do bodu B, ležícího u stěny 40 m jižně od kraje pole (obr. 13).
- (a) Po jaké dráze AKB musí jít chodec, aby do bodu B dorazil za nejkratší dobu?
- (b) Jak dlouhou dobu půjde?
- (c) Jakou dobu by potřeboval, kdyby šel po trase ACB nebo ADB, když body C a D leží 3 m na západ a 3 m na východ od bodu K, kde chodec odbočil v případě (a)?



Obr. 13.

110. Dokažte, že optická dráha světelného paprsku, který vychází z bodu A a po lomu na rovinném rozhraní dvou prostředí dopadá do bodu B, je menší, než optická dráha libovolného jiného paprsku spojujícího body A a B.
111. Dvě různá optická prostředí s indexy lomu  $n_1$  a  $n_2$  jsou oddělena rovinným rozhraním. Určete, kterým směrem má postupovat světelný paprsek, aby z daného bodu A v prvním prostředí dospěl do bodu B v druhém prostředí za co nejkratší dobu.
112. Ukažte, že  $\oint n^2 d\vec{l} = 0$  (křivkový integrál po uzavřené křivce,  $\vec{e}$  je jednotkový vektor tečny k paprsku,  $d\vec{l}$  je element délky křivky). Pomocí této rovnice odvoďte Snellův zákon pro rovinné rozhraní (obr. 14). Rozhraní leží v bodě  $x = 0$ , pro  $x \leq 0$  je index lomu  $n_1$ , pro  $x > 0$  je index lomu  $n_2$ . Integrační cestu volte

podle obrázku a proveďte limitní přechod  $\epsilon \rightarrow 0$ .



Obr. 14.

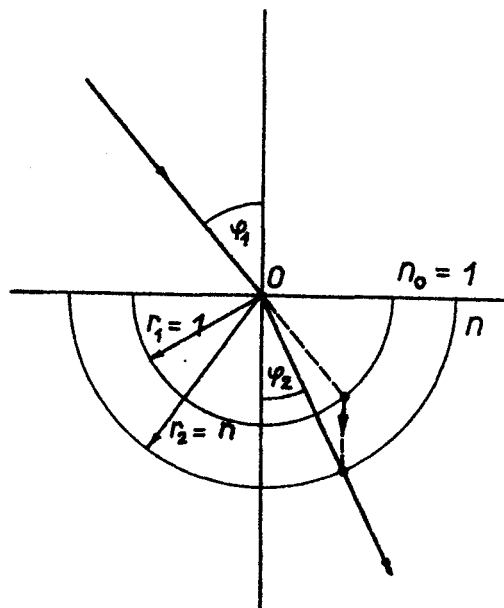
113. Existuje jednoduchá geometrická konstrukce paprsku lomeného na rozhraní vzduch / dielektrikum: V bodě dopadu narýsujeme dvě polokružnice - jednu o poloměru 1 a druhou o poloměru  $\underline{n}$  (v libovolných jednotkách). Dopadající paprsek prodloužíme až protne jednotkovou kružnici (obr. 15), z průsečíku spustíme kolmici k rozhraní a určíme její průsečík s kružnicí o poloměru  $\underline{n}$ . Lomený paprsek prochází tímto bodem.

(a) Proveďte toto pravidlo.

(b) Použijte pro případ kdy  $n = 1,5$  a úhel dopadu je  $60^\circ$ .

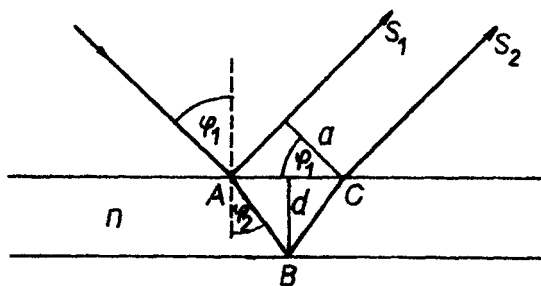
(c) Opakujte pro  $n = 0,80$  a úhly dopadu  $30^\circ$  a  $60^\circ$ .

Dosažené výsledky ověřte výpočtem ze Snellova zákona.



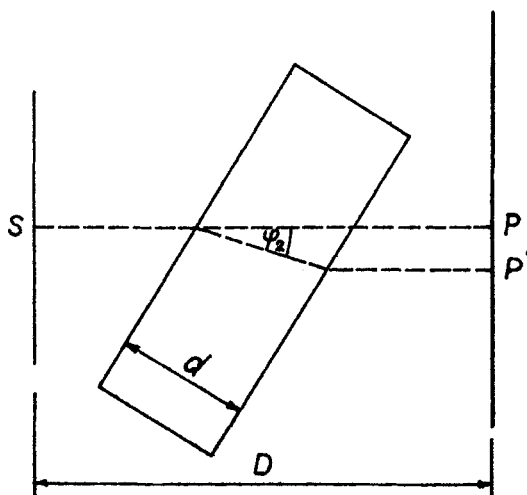
Obr. 15.

114. Na skleněnou desku s indexem lomu  $n = 1,5$  dopadá světelný paprsek. Pod jakým úhlem dopadl, jestliže lomený paprsek svírá s paprskem odraženým na rozhraní úhel  $\beta = 60^\circ$ ?
115. Světelný paprsek dopadá na rovinné rozhraní dvou průhledných prostředí o indexech lomu  $1,60$  a  $1,40$ . Paprsek přechází z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího. Úhel dopadu  $\varphi_1 = 30^\circ$ . Vypočítejte  
(a) úhel lomu,  
(b) deviaci paprsku.
116. Světelný paprsek postupující nejprve vzduchem, prochází postupně třemi různými prostředími, které jsou vzájemně odděleny rovnoběžnými rovinnými rozhraními a po průchodu vystupuje znovu do vzduchu. Dokažte, že paprsek vystupující do vzduchu po lomu bude vzhledem k dopadajícímu jen posunutý a najděte velikost tohoto posunutí. Indexy lomu jednotlivých prostředí jsou:  $n_1 = 1,5$ ,  $n_2 = 1,3$ ,  $n_3 = 1,4$  a tloušťky příslušných planoparalelních vrstev  $d_1 = 2$  cm,  $d_2 = 3$  cm,  $d_3 = 4$  cm. Na první rozhraní dopadá paprsek pod úhlem  $60^\circ$ .
117. Paprsek světla dopadá pod úhlem  $\varphi_1 = 60^\circ$  na skleněnou planoparalelní destičku tloušťky  $d = 20$  mm. Index lomu skla  $n = 1,50$ . Po obou stranách destičky je vzduch. Vypočtete posunutí mezi dopadajícím a vystupujícím paprskem.
118. Na planoparalelní skleněnou desku o indexu lomu  $n$  (obr. 16) dopadá světelný paprsek pod úhlem  $\varphi_1$ , částečně se odráží jako paprsek  $s_1$ , částečně vniká do desky a po odrazu na druhé stěně vystupuje rovnoběžně s paprskem  $s_1$  jako paprsek  $s_2$ . Při jakém úhlu  $\varphi_1$  je vzdálenost  $s_1$  a  $s_2$  maximální?



Obr. 16.

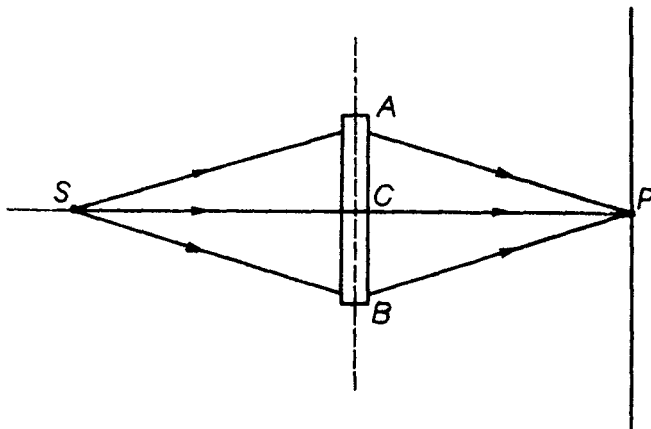
119. Planparalelní skleněná destička (index lomu 1,6) je 8 cm silná. Vypočtete prostorové posunutí světelného paprsku, který na ni dopadá pod úhlem  $45^\circ$ . S použitím jednoduché grafické metody (př. 113) narýsujte dráhu tohoto světelného paprsku při průchodu destičkou.
120. Světelný paprsek dopadá pod úhlem  $35^\circ$  na skleněnou destičku o indexu lomu 1,3 a tloušťce 6 cm. Přímě k této destičce přiléhá jiná, jejíž index lomu je 1,5.  
(a) Jaký je úhel dopadu a lomu na rozhraní mezi oběma destičkami?  
(b) Je-li druhá destička 5 cm tlustá, určete prostorové posunutí paprsku po průchodu oběma destičkami.
121. Světlo ze zdroje S, nacházejícího se 1 m od stínítka, je soustředěno do úzkého svazku rovnoběžných paprsků a dopadá do bodu P stínítka (obr. 17). Když vložíme do cesty světelným paprskům skleněnou destičku ( $n = 1,5$ ) tloušťky 0,2 m tak, že se v ní světlo šíří ve směru, který svírá s původním směrem šíření světelných paprsků ve vzduchu úhel  $30^\circ$ , najděte:  
(a) boční posun paprsků  $PP'$ ,  
(b) o kolik se zvýší čas, potřebný k uražení dráhy  $SP'$  vzhledem k času, potřebnému k uražení původní dráhy SP.



Obr. 17.

122. Nechť je S - zdroj světla a P - jeho obraz, vytvořený čočkou ACB. Vzdálenost  $SC = CP = 1$  m. Čočka má na okrajích (obr. 18) v bodech A a B tloušťku 3 mm. Jestliže světelný paprsek projde dráhu SCP

za stejnou dobu, jako vzdálenosti SAP a SBP, jaká musí být tloušťka čočky v jejím středu (v bodě C)? Index lomu skla čočky je 1,6.



Obr. 18.

123. Světelný paprsek  $s_1$  prochází prostředím o indexu lomu  $n_1$ , potom jako  $s_2$  planoparalelní vrstvou tloušťky  $d$  o indexu lomu  $n_2$ , z které vystupuje do prostředí o indexu lomu  $n_3$  jako  $s_3$ . Na první rozhraní dopadá paprsek  $s_1$  pod úhlem  $\alpha$ . Pro indexy lomu platí  $n_1 > n_2 > n_3$ .

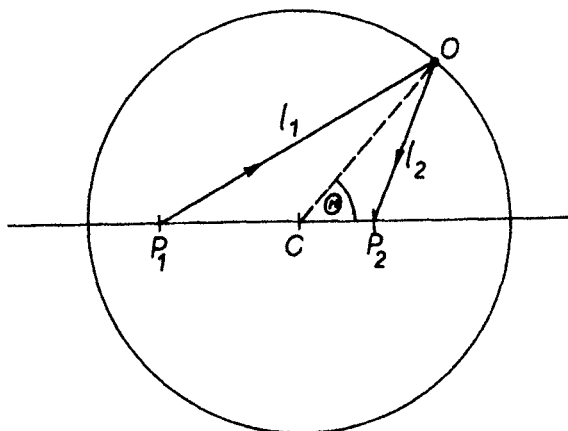
- (a) V jaké vzdálenosti  $x$  od druhého rozhraní se protnou prodloužené paprsky  $s_1$  a  $s_3$ ?
- (b) Určete podmínku řešitelnosti úlohy a vysvětlete ji za uvedeného předpokladu  $n_1 > n_2 > n_3$ .
- (c) K jaké hodnotě  $x_m$  se blíží vzdálenost  $x$ , když se úhel neomezeně zmenšuje?

Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $n_1 = 1,75$ ,  $n_2 = 1,50$ ,  $n_3 = 1,00$ ,  $d = 10,0$  cm,  $\alpha = 30^\circ$ .

124. Půlválec je zhotoven ze skla o indexu lomu  $n = \sqrt{2}$ . Na jeho rovinnou plochu dopadají světelné paprsky pod úhlem dopadu  $\alpha = 45^\circ$ . Světelné paprsky jsou v rovině kolmé na osu válce. Z které části válce paprsky vystupují?

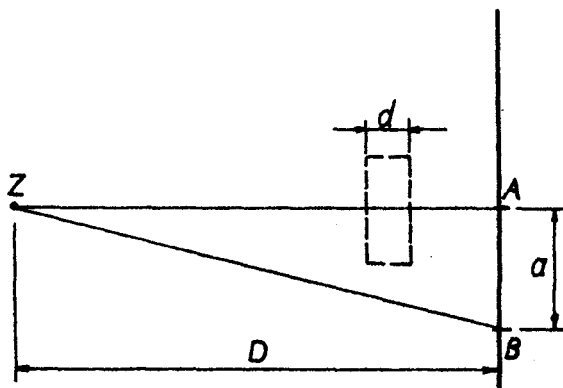
125. Světelný paprsek dopadá ze vzduchu na vodní kapku kulovitěho tvaru, láme se do ní a po odrazu v kapce vystupuje z ní ven. Vypočítejte úhel, pod kterým musí paprsek dopadnout, aby odchylka vystupujícího červeného paprsku byla vzhledem k dopadajícímu paprsku maximální. Jak velká bude tato odchylka? Index lomu vodní kapky pro červenou barvu  $n_\lambda = 1,331$ .

126. Bod C je středem odrazející koule o poloměru  $R = 1$  m. Najděte hodnotu úhlu  $\theta$  tak, aby dráha  $\overline{P_1O} + \overline{P_2O}$  byla skutečnou optickou dráhou pro paprsek šířící se z bodu  $P_1$  do bodu  $P_2$  odrazem v bodě O. Je dáno:  $\overline{P_1C} = 30$  cm,  $\overline{P_2C} = 40$  cm (obr. 19).



Obr. 19.

127. Bodový zdroj světla Z (obr. 20) vysílá světlo o vlnové délce  $\lambda = 500$  nm. A a B jsou dva body na stínítku, které jsou od sebe vzdáleny 10 mm. Stínítko je od zdroje Z vzdáleno 1000 mm.
- (a) O kolik vln je více na dráze ZB než na dráze ZA?
  - (b) Paprsku ZA byla dána do cesty planoparalelní skleněná destička o indexu lomu  $n = 1,50$  tak, aby její stěny byly kolmé k paprsku ZA. Jak veliká musí být tloušťka destičky, aby počet vln na dráze ZA byl stejný jako na dráze ZB?



Obr. 20.

128. Vrstva éteru ( $n_e = 1,36$ ) tloušťky  $h_e = 20$  mm plave na vrstvě vody ( $n_v = 1,33$ ) tloušťky  $h_v = 40$  mm. Jaká je zdánlivá vzdálenost hladiny éteru ode dna nádoby, díváme-li se do nádoby svisle dolů?
129. Pohár s rovným dnem, 100 mm hluboký, je naplněn alkoholem ( $n_a = 1,361$ ). Druhý úplně stejný pohár je naplněn zčásti vodou ( $n_v = 1,333$ ), zčásti minerálním olejem ( $n_o = 1,473$ ), který na vodě plave. Tloušťka olejové vrstvy je taková, že na výšku kapalinových sloupců v obou pohárech připadá stejný počet vlnových délek, jestliže jimi prochází světlo svisle dolů. Jak veliká je tloušťka vrstvy minerálního oleje?
130. Malý předmět je na dně jezera v hloubce 2 metrů. Pozorovatel na člumu přímo nad ním jej pozoruje. Za předpokladu paraxiálních paprsků vypočtete v jaké vzdálenosti jej vidí.
131. Na stolku mikroskopu je skleněná destička 3 mm tlustá. Nejprve zaostříme mikroskop na horní povrch destičky, potom snížíme tubus mikroskopu a zaostříme na její spodní povrch. Abychom snadno zaostřili, jsou na horním i spodním povrchu destičky vyryté značky. Tubus přitom snížíme o 2 mm. Vypočtete index lomu destičky  $n$ .
132. Bodový zdroj je 80 cm pod povrchem vody ve velkém bazénu. Najděte poloměr největší kružnice na povrchu vody, z jejíhož vnitřku může světlo vycházet z vody do vzduchu.
133. Svítící bod A leží ve výšce  $h_1$  nad klidným povrchem vody. V hloubce  $h_2$  pod povrchem vody je horizontálně položeno rovinné zrcadlo. Vypočítejte, v jaké svislé vzdálenosti od svítícího bodu A leží jeho zdánlivý obraz v zrcadle. Index lomu vody je  $n$ . Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $h_1 = 5,0$  cm,  $h_2 = 8,0$  cm,  $n = \frac{4}{3}$ .
134. V hloubce  $h$  pod povrchem vody je svítící bod. Voda má index lomu  $n$ , vzduch  $n_0$ .
- (a) V jaké hloubce  $x$  pod povrchem vody vidíme svítící bod, když se díváme ve směru, který s rozhraním svírá úhel  $\beta$ ?
- (b) Graficky znázorněte poměr  $\frac{x}{h}$  jako funkci úhlu  $\beta$  v intervalu  $0 \leq \beta \leq 90^\circ$  pro  $n = \frac{4}{3}$ ,  $n_0 = 1,00$ .
135. Vodou, která má index lomu  $n_1$ , procházejí dva rovnoběžné paprsky  $s_1$ ,  $s_2$ . Paprsek  $s_1$  vychází z vody přímo do vzduchu, jehož index lomu je  $n_0 < n_1$ , paprsek  $s_2$  prochází nejprve planparalelní

destičkou o indexu lomu  $n_2 > n_0$  a z ní teprve do vzduchu.

(a) Budou paprsky  $s_1$  a  $s_2$  rovnoběžné i ve vzduchu?

(b) Dostane se paprsek  $s_2$  do vzduchu, bude-li se paprsek  $s_1$  na vodní hladině totálně odrážet? Uvažte případy  $n_2 > n_1$  a  $n_2 < n_1$ .

136. Potápěč je ponořen v čisté vodě a dívá se vzhůru. Jeho oči jsou v hloubce  $h$  pod povrchem vody.

(a) Jak se jeví potápěči prostor nad povrchem vody?

(b) Jak veliká část vodního prostoru je pro něj průhledná?

Index lomu oka je přibližně stejný jako index lomu vody. Řešte nejprve obecně, potom pro hodnotu  $h = 1,5$  m. Index lomu vody je  $n = \frac{4}{3}$ .

137. Pozorovatel stojí na okraji vodního bazénu, ve kterém je hloubka vody  $h = 2,81$  m a pozoruje předmět ležící na jeho dně. V jaké hloubce  $h'$  se vytvoří obraz pozorovaného předmětu, je-li směr ve kterém pozorovatel vidí obraz, odchýlen od kolmice na vodní hladinu o úhel  $\alpha = 60^\circ$ ?

138. Svislá tyč je ponořena 2 metry ve vodě uprostřed bazénu a ještě půl metru vyčnívá nad vodou. Slunce je právě  $45^\circ$  nad obzorem. Jak dlouhý je stín tyče na dně bazénu?

139. Korková zátka plave na klidné hladině rybníka, jehož hloubka je  $h = 1,6$  m. Kde se nachází stín zátky na dně rybníka, když právě slunce zapadá?

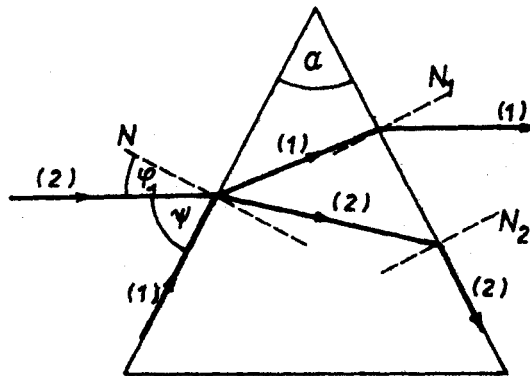
140. Válcová nádoba nahoře otevřená má průměr  $D = 200$  mm a výšku  $h = 75$  mm. Uprostřed dna je drobná černá tečka a nádoba je zcela naplněna vodou. Vypočtete minimální poloměr kruhového neprůhledného disku, plovoucího na hladině, který by zabránil tomu, aby tečka mohla být spatřena.

141. Optický hranol s lámavým úhlem  $50^\circ$  má minimální deviace pro jistý paprsek  $35^\circ$ . Jaký bude úhel minimální deviace pro tento paprsek, když hranol ponoříme do vody?

142. Na hranol s lámavým úhlem  $54^\circ$  dopadá monochromatické světlo, pro něž je index lomu materiálu, ze kterého je hranol zhotoven, roven 1,63. Jaká je minimální deviace tohoto světelného paprsku po lomu?



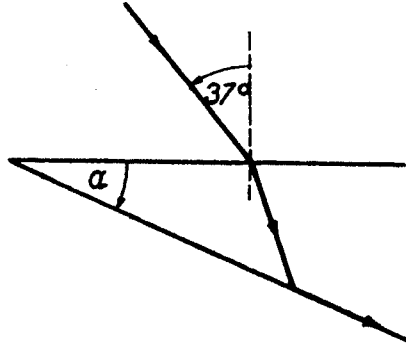
143. Hranol s vrcholovým úhlem  $60^\circ$  má index lomu 1,5.  
(a) Najděte deviaci paprsku, dopadajícího pod úhlem  $40^\circ$ .  
(b) Najděte minimální deviaci a odpovídající úhel dopadu.
144. Minimální deviace jistého hranolu je  $30^\circ$ , jeho vrcholový úhel je  $50^\circ$ . Najděte index lomu skla, ze kterého je hranol zhotoven a úhel dopadu, splňující podmínku minimální deviace.
145. Jestliže paprsky dopadají na druhou stěnu hranolu pod úhlem, který je větší jak kritický úhel, dochází k úplnému odrazu, paprsek hranolem neprochází a je odrážen zpět. Tohoto principu se velmi často užívá u různých optických přístrojů.  
(a) Ukažte, že pro  $n > 1$  lze podmínku pro to, aby alespoň jeden paprsek z hranolu vycházel, psát ve tvaru  $\alpha \leq 2\varphi_M$ , kde  $\varphi_M$  je kritický úhel.  
(b) Proveďte diskusi rozmezí hodnot úhlů dopadu  $\varphi_1$ , pro které paprsek může z hranolu vyjít. Toto rozmezí  $\psi$  je na obrázku vyznačeno dvěma krajními paprsky (obr. 21). Lze je vyjádřit vztahem  $\cos \psi = n \sin(\alpha - \varphi_M)$  - dokažte.  
(c) Proveďte diskusi možných hodnot  $\psi$  v závislosti na lámavém úhlu hranolu .



Obr. 21.

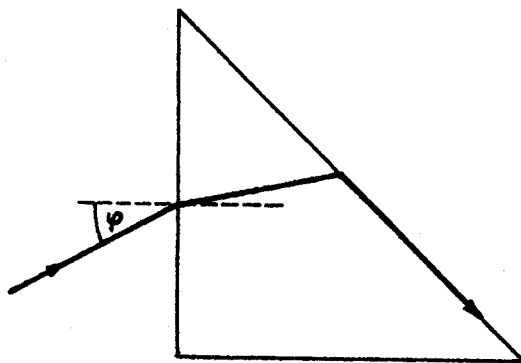
146. Aplikujte výsledky příkladu 145 na případ hranolu s lámavým úhlem  $45^\circ$  a o indexu lomu 1,5. Najděte hodnotu  $\psi$ . Proveďte diskusi chodu paprsku, který dopadá kolmo na jednu stranu hranolu. Analogicky prostudujte hranol s lámavým úhlem  $35^\circ$ .

147. Světelný paprsek dopadá na skleněný hranol (index lomu 1,6) pod úhlem dopadu  $37^\circ$  (obr. 22). Jaký musí být vrcholový úhel tohoto hranolu, aby došlo k totálnímu odrazu?



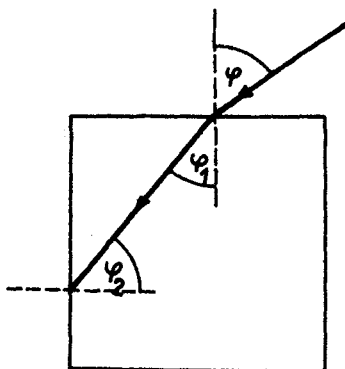
Obr. 22.

148. Paprsek dopadá na skleněný pravouhlý rovnoramenný hranol rovnoběžně s přeponou  $BC = 8$  cm a to v bodě A, pro který  $BA = 1$  cm. V kterém bodě D a v jakém směru opustí paprsek hranol? Index lomu skla  $n = 1,6$ .
149. Ukažte, že pro hranol s velmi malým lámavým úhlem  $\alpha$  je pro paprsky, dopadající téměř kolmo na jednu jeho hranu, deviace rovna  $(n - 1)\alpha$ .
150. Světlo dopadá na pravouhlý rovnoramenný skleněný hranol ( $n = 1,55$ ) jak je patrné z obr. 23. Vypočtete úhel dopadu, při kterém dojde k totálnímu odrazu na zadní stěně hranolu.



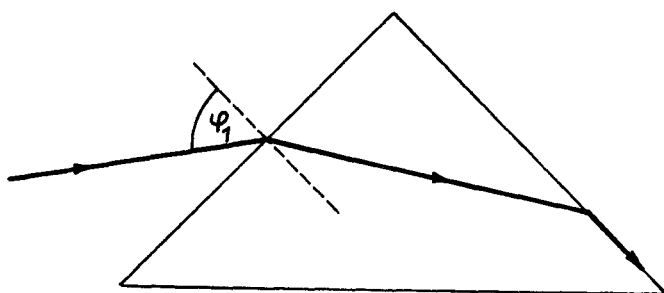
Obr. 23.

151. Světlo dopadá pod úhlem  $45^\circ$  na horní stěnu skleněné krychle (obr. 24). Index lomu skla  $n = 1,414$ . Bude paprsek totálně odražen na svislé stěně krychle?



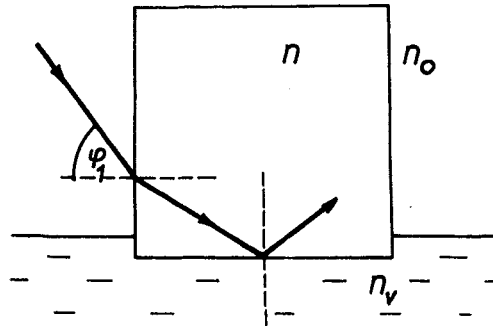
Obr. 24.

152. Světelný paprsek dopadá na přední stěnu optického hranolu pod takovým úhlem  $\varphi$ , že po lomu hranolem procházející paprsek dopadá na zadní stěnu hranolu právě pod hraničním úhlem a neláme se. Vypočítejte, jaký je index lomu skla, ze kterého je hranol vyroben, je-li jeho lámavý úhel  $\alpha$ .
153. Daný paprsek monochromatického světla dopadá ze vzduchu na pravouhlý hranol tak, že po lomu v něm se pohybuje právě po rozhraní mezi druhou stěnou hranolu a vzduchem (obr. 25).
- Určete index lomu skla, ze kterého je hranol zhotoven, jako funkci úhlu dopadu  $\varphi_1$ , při kterém k popsané situaci došlo.
  - Proveďte ocenění maximální hodnoty indexu lomu použitého skla.
  - Na základě grafické analýzy chodu paprsků rozvažte, co se stane, když úhel dopadu bude poněkud menší než  $\varphi_1$ , nebo poněkud větší než  $\varphi_1$ .



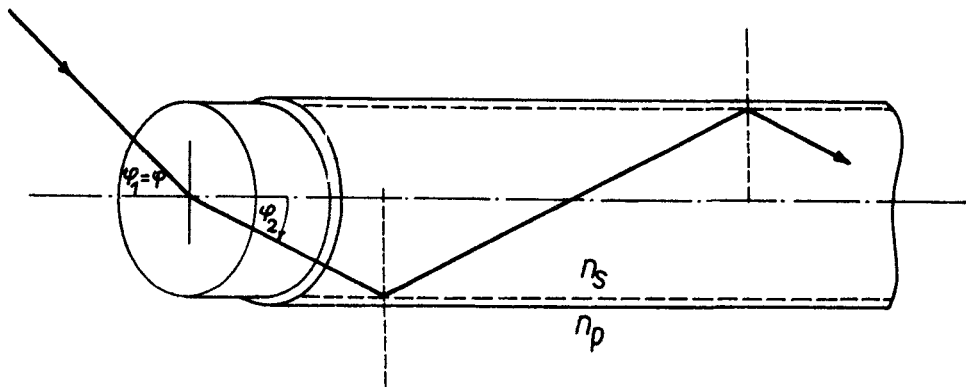
Obr. 25.

154. Jaký index lomu má skleněná kostka (obr. 26), jestliže při úhlu dopadu  $45^\circ$  dojde k totálnímu odrazu světla na dolní stěně ponořené do vody. (Tohoto principu měření indexu lomu se používá v mnohých refraktometrech).



Obr. 26.

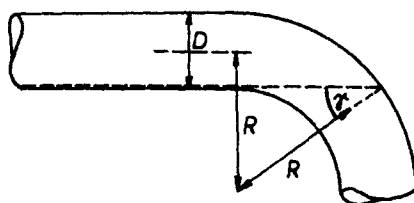
155. Na obr. 27 je tenké skleněné vlákno (index lomu  $n_s$ ) s ochranným povlakem z umělé hmoty (index lomu  $n_p < n_s$ ). Existuje jistý maximální úhel dopadu světla na vybroušenou čelní plošku, kolmou k ose vlákna  $\varphi$  takový, že veškeré světlo dopadající pod úhly dopadu  $\varphi_1 < \varphi$  se totálně odráží na stěnách vlákna a prakticky beze ztrát se vláknem šíří v libovolném směru (na tom je založena tzv. vláknová optika). Dokažte, že platí  $\sin \varphi = \frac{1}{n_o} \sqrt{n_s^2 - n_p^2}$ .



Obr. 27.

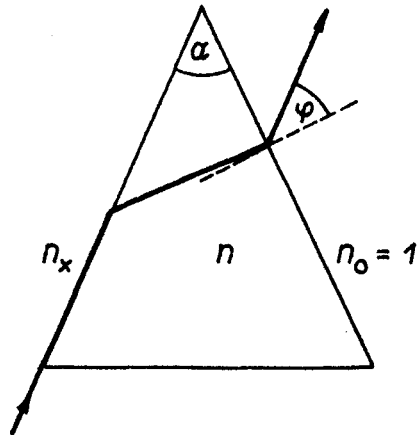
156. Světlo dopadá kolmo na jednu hranu diamantu ( $n = 2,40$ ).
- Jaká část světla se odráží?
  - Čemu je roven Brewsterův úhel pro diamant?

157. Optické vlákno, jehož jádro je z těžkého flintu ( $n = 1,66$ ) a obal z korunového skla ( $n = 1,52$ ) vede světelné paprsky bezztrátově. Jaká je maximální úhlová apertura (poloviční vrcholový úhel kužele světla, které do vlákna vchází) světla, které vláknem prochází?
158. Rovnoběžný svazek paprsků vstupuje do optického vlákna o průměru  $D$ . Určete nejmenší poloměr  $R$  pod jakým může být vlákno specifikované v příkladu 157 stočeno. Všimněte si, že úhel  $\gamma$  na obr. 28 musí být takový, aby zajišťoval totální odraz světelných paprsků.



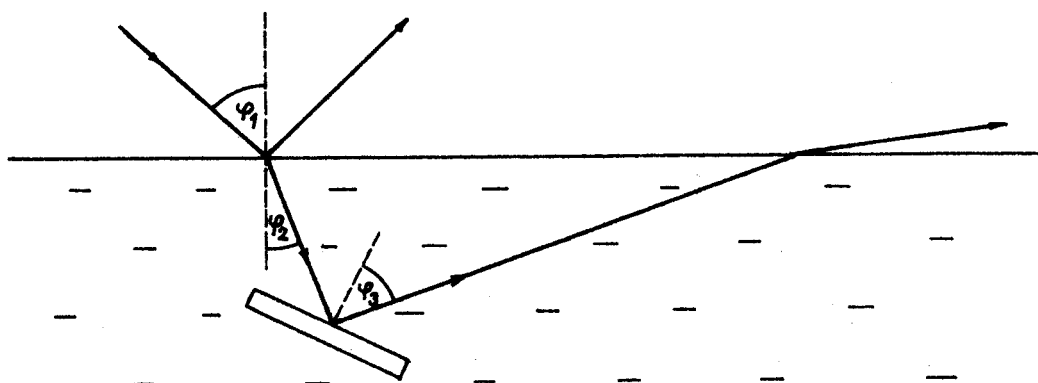
Obr. 28.

159. S jakým nejmenším poloměrem může být svinuto optické vlákno, jehož jádro má průměr  $0,05$  mm, aniž by docházelo k podstatnějším světelným ztrátám? Index lomu jádra je  $1,52$  a index lomu pláště  $1,66$ .
160. Ve válcovém optickém vlákně, jehož koncové plošky jsou kolmé k ose vlákna, je úhel, se kterým světlo z vlákna vystupuje, roven úhlu dopadu. Platí to i pro případ konických světelných vláken, které se užívají pro získání poněkud zvětšených obrazů? Předpokládejte počáteční průměr vlákna  $0,05$  mm, jeho délka  $25$  mm a výsledné zvětšení rovno  $2$ .
161. Svazek světla dopadající z prostředí o indexu lomu  $n_x$  tečně na Abbého hranol (obr. 29), vystoupí z hranolu pod úhlem  $\varphi$ .
- (a) Jestliže je index lomu skla, ze kterého je hranol vyroben, roven  $n$  a vrcholový úhel hranolu je  $\alpha$ , dokažte, že platí vztah  $n_x = \sin \alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} + \cos \alpha \sin \varphi$ .  
Na tomto principu je založeno měření indexu lomu kapalin.
- (b) Najděte  $n_x$ , když  $n = 1,6$ ,  $\alpha = 45^\circ$  a naměřený úhel  $\varphi = +15^\circ$  a  $-15^\circ$ .



Obr. 29.

162. Určete úhel dopadu a lomu světelného paprsku, je-li paprsek odražený od skleněné destičky ( $n = 1,50$ ) zcela polarizován.
163. Mezní úhel pro světelný paprsek je v jistém prostředí  $45^\circ$ . Najděte jeho Brewsterův úhel.
164. Vypočtete Brewsterův úhel pro následující případy:  
(a) světlo dopadá na sklo s indexem lomu 1,6,  
(b) světlo vychází ze skla s indexem lomu 1,6,  
(c) rozhlasová vlna dopadá na hladinu vody, jejíž index lomu pro uvažovaný kmitočet je roven 9.
165. Vypočtete mezní úhel a Brewsterův úhel pro rozhraní vzduch / voda ( $n_v = 1,33$ ) a pro rozhraní vzduch / flintové sklo ( $n_s = 1,75$ ).
166. Proveďte grafické znázornění chodu paprsků světla planoparalelní skleněnou deskou o indexu lomu 1,52 za předpokladu, že světlo dopadá ze vzduchu na první rozhraní pod Brewsterovým úhlem. Doložte výpočtem a ukažte na obrázku, že i na druhé rozhraní dopadá lomený paprsek pod Brewsterovým úhlem, a že stejná podmínka je splněna i pro zpětný chod paprsků. (Na této skutečnosti je založeno použití tzv. Brewsterových okének v laserech.)
167. Světlo dopadá na vodní hladinu pod takovým úhlem, že odražené světlo je úplně polarizováno.  
(a) Jaký je úhel dopadu?  
(b) Ve vodě je ponořena skleněná deska ( $n = 1,5$ ) s vyleštěným povrchem (obr. 30). Paprsek odražený od povrchu skleněné desky je úplně polarizován. Najděte úhel, který svírá vodní hladina s povrchem skleněné desky.



Obr. 30.

168. Světlo polarizované v rovině, svírající s rovinou dopadu úhel  $\alpha = 45^\circ$  dopadá na povrch skla pod úhlem  $30^\circ$ . Určete, ve které rovině je polarizováno světlo odraženého paprsku. Index lomu skla je 1,46.
169. Svazek kruhově polarizovaného světla dopadá na skleněný povrch ( $n_g = 1,5$ ) pod úhlem  $45^\circ$ . Popište přesně stav polarizace odraženého světla.
170. (a) Jak vysoko musí být Slunce nad obzorem, aby světlo odražené od povrchu klidné vodní hladiny bylo úplně polarizováno?  
(b) V jaké rovině kmitá vektor elektrické intenzity  $\vec{E}$  vlny v odraženém světle?
171. V otevřené nádobě se nachází průzračná kapalina. Bylo zjištěno, že při úhlu dopadu světla rovnému  $45^\circ$  dochází k jeho totálnímu odrazu. Když na kapalinu necháme dopadat světlo shora, bude při jistém úhlu dopadu odražený paprsek dokonale lineárně polarizován. Najděte, při kterém úhlu dopadu se tak stane.
172. Lineárně polarizované světlo dopadá pod úhlem  $45^\circ$  na skleněnou destičku (index lomu 1,5). Najděte koeficienty odrazivosti a propustnosti, leží-li elektrický vektor dopadající vlny  
(a) v rovině dopadu,  
(b) v rovině kolmé k rovině dopadu.
173. Rovinná lineárně polarizovaná vlna dopadá ze vzduchu na prostředí o indexu lomu  $n$  pod Brewsterovým úhlem. Elektrický vektor dopadající vlny leží v rovině dopadu a jeho amplituda je  $E_0$ .

Vypočtěte:

- (a) intenzitu dopadající vlny,
- (b) amplitudu  $E_r$  lomené vlny,
- (c) intenzitu lomené vlny.

Srovnajte výsledky případů (a) a (c) a vysvětlete.

174. Rovinná elektromagnetická vlna dopadá kolmo na rovinné rozhraní, oddělující prostředí s indexem lomu  $n_1$  od prostředí s indexem lomu  $n_2$ . Ukažte, že koeficient odrazivosti a propustnosti se v tomto případě vyjádří vztahy

$$R = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad \text{a} \quad T = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

Všimněte si, že v tomto případě nerozlišujeme mezi  $p$  a  $s$  složkou. Nakreslete elektrický a magnetický vektor v této dopadající, odražené a lomené vlně pro případ, že (a)  $n_1 < n_2$  (b)  $n_1 > n_2$ .

175. Na rozhraní voda / vzduch dopadá pod úhlem  $75^\circ$  lineárně polarizované světlo, jehož rovina kmitů svírá s rovinou dopadu úhel  $30^\circ$ . Vypočítejte odrazivost a fázový rozdíl kolmé a rovnoběžné složky odražené vlny.
176. Na rozhraní sklo / vzduch ( $n_g = 1,56$ ) dopadá ze vzduchu paprsek přirozeného světla. Určete stupeň polarizace prošlého paprsku, dopadá-li světlo pod Brewsterovým úhlem. Jak velká část intenzity složky polarizované v rovině dopadu se při průchodu pohltí?
177. Na skleněnou desku o indexu lomu 1,50 dopadá paprsek přirozeného nepolarizovaného světla pod úhlem  $60^\circ$ . Vypočtete stupeň polarizace odraženého paprsku.
178. Lineárně polarizované elektromagnetické vlnění s azimutem  $135^\circ$  se totálně odrazí na rozhraní vody a vzduchu. Relativní permitivita vody  $\epsilon_r = 81$ . Pod jakým úhlem musí dopadat toto vlnění, aby odražené vlnění bylo kruhově polarizováno? Bude tato polarizace pravotočivá nebo levotočivá?
179. Lineárně polarizované světlo dopadá na povrch skleněné desky o indexu lomu 1,73 pod úhlem  $60^\circ$ . Elektrický vektor v dopadajícím světle svírá s rovinou dopadu  $30^\circ$ . Jaká část dopadajícího světla se odráží na prvním rozhraní?
180. Svazek nepolarizovaného světla dopadá na povrch skla o indexu lomu 1,523 pod úhlem  $70^\circ$ .



- (a) Jaká část dopadajícího světla se odráží?  
(b) Jaký je v odraženém světle poměr složky  $E_p$  ke složce  $E_s$ ?
181. (a) Světlo dopadá kolmo na skleněnou destičku ( $n = 1,5$ ). Najděte její koeficient odrazivosti a propustnosti.  
(b) Opakujte výpočet pro případ, že světlo dopadá kolmo ze skla do vzduchu.  
(c) Proveďte diskusi změny fáze v obou případech.
182. Skleněná destička s indexem lomu  $n_s$  je pokryta tenkou vrstvou o indexu lomu  $n_v$ . Když označíme index lomu vzduchu  $n_0$ , dokažte, že pro kolmý dopad bude koeficient odrazu mezi vzduchem a vrstvou i mezi vrstvou a skleněnou destičkou roven za předpokladu, že  $n_v = \sqrt{n_s n_0}$ . Najděte poměr koeficientů odrazivosti pro úhel dopadu  $10^\circ$  a  $n_s = 1,52$ .
183. Najděte, kdy je pro kolmý dopad světla na rozhraní dvou dielektrik rovna intenzita světla odraženého a lomeného, tj.  $\rho = \tau = 0,5$ .
184. Na rovinné rozhraní dvou prostředí dopadá kolmo světelné záření tak, že dopadající vlna s jednotkovou amplitudou se do prvního prostředí odráží s amplitudou  $r$  a do druhého prostředí vstupuje s amplitudou  $t$ . Na totéž rozhraní dopadá z druhého prostředí kolmo vlna s jednotkovou amplitudou, odráží se zpět do druhého prostředí s amplitudou  $r'$  a do prvního prostředí prochází s amplitudou  $t'$ . Využijte princip superpozice a invariantnost vzhledem ke zpětnému chodu času k odvození Stokesova vztahu  $r^2 + t t' = 1$  a  $r = -r'$ .
185. Svazek světla dopadá na rozhraní dvou dielektrik pod úhlem  $\varphi_1$ . Dokažte, že součet energie odražené a lomené je roven energii dopadající.
186. V optickém přístroji prochází světlo šesti čočkami za sebou. Čočky jsou vyrobeny ze skla o indexu lomu 1,60. Určete, jaká část světla projde přístrojem za předpokladu, že úhly dopadu světla na čočky jsou velmi malé.
187. Složený objektiv se skládá ze dvou čoček, z nichž jedna je vyrobena ze skla o indexu lomu  $n_1 = 1,52$  a druhá ze skla o indexu lomu  $n_2 = 1,60$ . Čočky jsou slepeny kanadským balzámem jehož index lomu je  $n_3 = 1,54$ . Určete ztrátu světla v objektivu vzniklou odrazem za předpokladu, že úhly dopadu světla na povrch čoček jsou malé.

Srovnejte tuto ztrátu s případem, kdy obě čočky nejsou slepeny a zůstává mezi nimi vzduch.

188. Křemennou destičkou prochází při kolmém dopadu světla 92 % světelné energie. Určete index lomu destičky.

189. Vlna o vlnové délce 2,0 m a frekvenci 1000 Hz se šíří mezi dvěma nekonečnými planoparalelními a dokonale odrážejícími rovinami, vzdálenými od sebe 1,2 m.

- (a) Určete fázovou rychlost vlny v tomto vlnovodu pro první mod.  
 (b) Jaký úhel dopadu vlna svírá s oběma rovinami?  
 (c) Vypočtete mezní frekvenci uvažovaného vlnovodu.

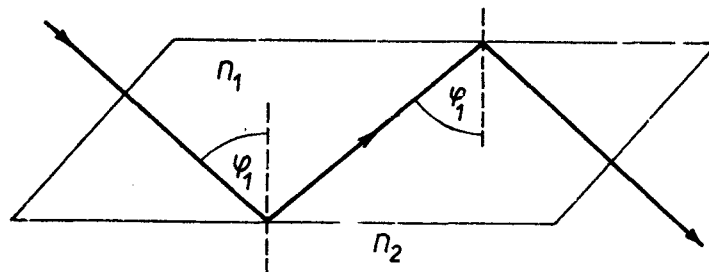
190. Uvažujte případ totálního odrazu lineárně polarizované vlny, jejíž kmitočet svírá s rovinou dopadu úhel  $45^\circ$ . Ukažte, že fázový posuv složky rovnoběžné ke složce kolmé, tj.  $\delta = \delta_p - \delta_s$  vyhovuje rovnici

$$\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{\cos^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \frac{\sqrt{n_1^2 \sin^2 \varphi_1 - n_2^2}}{n_1 \cos \varphi_1}$$

Ukažte také, že relativní fázový posuv má maximum, když

$$\cos \varphi_1 = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2}}, \text{ kde } \varphi_1 \text{ je úhel dopadu.}$$

191. Pomocí výsledků příkladu 190 studujte Fresnelův hranol, ve kterém dochází ke dvěma totálním odrazům po sobě. Celkový fázový posuv bude  $2\delta$ . Je-li  $2\delta = \frac{\pi}{2}$ , funguje Fresnelův hranol jako zařízení pro získání kruhově polarizovaného světla. Najděte minimální hodnotu jeho indexu lomu a určete odpovídající úhel dopadu pro takový hranol (obr. 31).



Obr. 31.

192. Mějme skleněnou destičku o indexu lomu  $\underline{n}$  a tloušťce  $\underline{d}$ , vloženou mezi zdroj monochromatického záření  $\underline{S}$  a pozorovatele  $\underline{O}$  (obr. 33).

(a) Ukažte, že při zanedbání absorpce ve skleněné destičce, způsobí tato destička změnu fáze

$$\frac{\omega(n-1)d}{c}$$

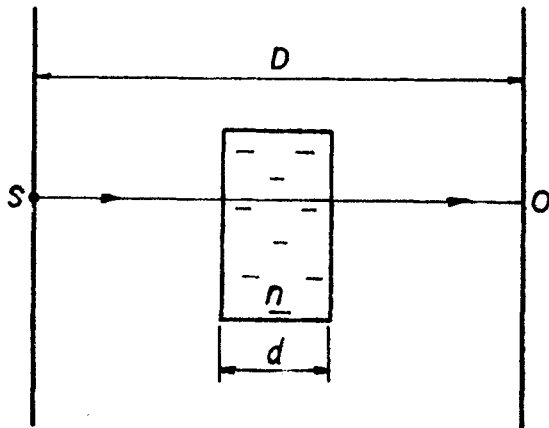
aniž dojde ke změně její amplitudy  $E_0$ .

(b) Je-li fázový rozdíl malý (buď proto, že  $\underline{d}$  je velmi malé nebo že index lomu je blízký k jedné), ukažte, že pozorovatel vnímá vlnu, která může být rozložena na původní, s amplitudou  $E_0$ , která by k němu dopadala bez vložené destičky, a na druhou vlnu s amplitudou

$$\frac{E_0 \omega(n-1)d}{c}$$

a s fázovým rozdílem  $\frac{\pi}{2}$ .

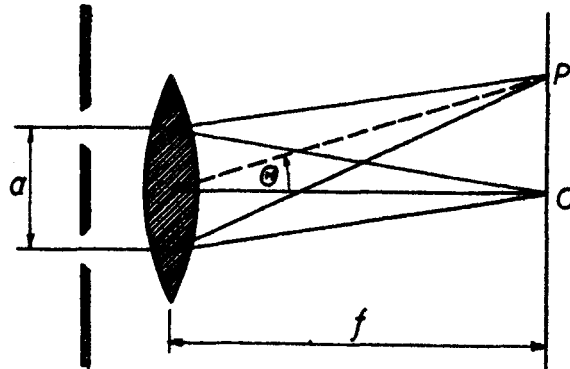
(Tento příklad ukazuje vliv materiálního prostředí na elektromagnetickou vlnu.)



Obr. 33.

193. Dvě štěrbin, vzdálené  $\frac{1}{2}$  mm jsou osvětleny světlem modré čáry Cd o vlnové délce  $\lambda = 4800 \text{ \AA}$ . Jak daleko musíme od štěrbin umístit stínítko, abychom obdrželi proužky, mezi nimiž je vzdálenost 1 mm?
194. V jistém uspořádání Youngova interferenčního pokusu jsou štěrbin ve vzdálenosti 0,2 mm od sebe a interferenční jev pozorujeme na stínítku vzdáleném 0,5 metru. Vypočtete vzdálenost mezi hlavním maximem a třetím minimem na stínítku, osvětlíme-li štěrbin světlem o vlnové délce 500 nm.
195. Jaká je vlnová délka použitého světla v Youngově pokusu, když vzdálenost štěrbin je  $d = 0,6 \text{ mm}$  a na stínítku ve vzdálenosti 5 m jsou interferenční maxima vzdálena o  $x = 4 \text{ mm}$ ? Jak se změní interferenční obrazec provedeme-li Youngův pokus ve stejném uspořádání ve vodě?
196. Dvojitá štěrbina je osvětlena rovnoběžným svazkem světla plynového laseru (He - Ne) o vlnové délce  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ . Ve vzdálenosti  $L = 5 \text{ m}$  od štěrbin je umístěno stínítko. Vypočítejte vzdálenost interferenčních proužků na stínítku, je-li vzdálenost štěrbin  $c = 0,5 \text{ mm}$ . Jaká je nejmenší vzdálenost stínítka, aby bylo možné provést pokus bez optické soustavy?
197. Dvě rovnoběžné štěrbin vzdálené 1 mm od sebe, jsou osvětleny červeným světlem o vlnové délce 650 nm. Interferenční proužky pozorujeme na stínítku ve vzdálenosti 1 m od štěrbin.
- (a) Najděte vzdálenost mezi dvěma sousedními jasnými proužky a mezi dvěma sousedními tmavými proužky.
- (b) Určete vzdálenost třetího tmavého proužku a pátého jasného proužku od centrálního maxima.
198. Vypočtete vzdálenost prvního maxima od středního maxima při Youngově interferenčním pokusu, a to pro fialové světlo vlnové délky  $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$  a pro červené světlo vlnové délky  $\lambda_2 = 700 \text{ nm}$ . Vzdálenost středů štěrbin je  $d = 0,1 \text{ mm}$  a kolmá vzdálenost stínítka od štěrbin je  $L = 500 \text{ mm}$ .
199. Jeden z možných způsobů pozorování interferenčních proužků od dvojštěrbiny spočívá v tom, že dvojštěrbinu osvětlíme svazkem rovnoběžných paprsků a za ni pak dáme spojnou čočku. Interferenční proužky pozorujeme v ohniskové rovině této čočky na stínítku (obr. 34). Ukažte, že vzdálenosti jasných proužků od centrálního maxima jsou rovny

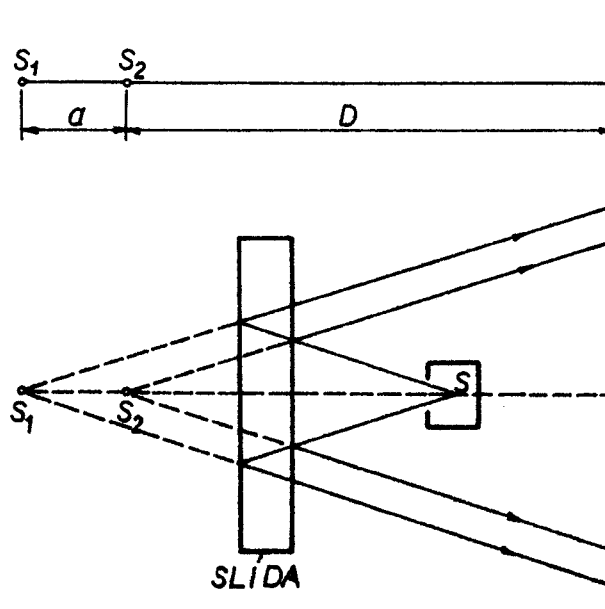
$x_m = m \left( \frac{f \lambda}{a} \right)$  a vzdálenosti tmavých proužků od centrálního maxima jsou rovny  $x'_m = (2m + 1) \frac{f \lambda}{2a}$  kde  $m$  je celé číslo,  $f$  je ohnisková vzdálenost použité čočky a  $a$  je vzdálenost obou štěrbin.



Obr. 34.

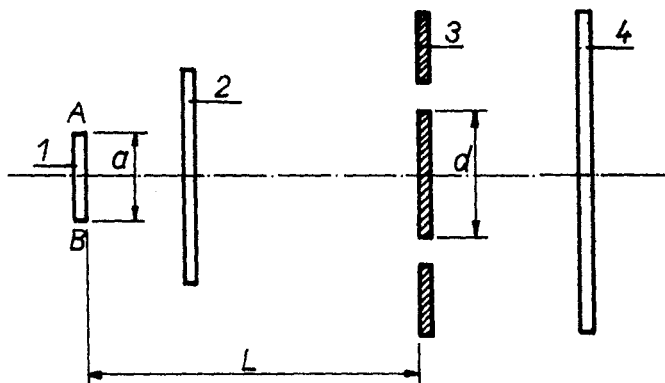
200. Představte si, že Youngův interferenční pokus předvedeme pod vodou. Jak se změní pozorované rozdělení intenzity na stínítku? Doložte své závěry příslušnými výpočty.
201. Když jedna ze štěrbin v Youngově interferenčním pokusu bude překryta tenkou vrstvou průhledného materiálu o indexu lomu 1,4 posune se centrální interferenční maximum o 2,2 proužku. Jestliže je vlnová délka dopadajícího světla 500 nm, jaká je tloušťka uvažované vrstvy?
202. Youngova dvojštěrbina je osvětlena světlem, sestávajícím ze dvou diskretních vlnových délek. Jedna vlnová délka je známa, je to  $\lambda_1 = 550$  nm. Určete druhou vlnovou délku, jestliže bylo zjištěno, že její třetí interferenční maximum splývá na stínítku se čtvrtým minimem vlnové délky  $\lambda_1$ .
203. Umělá družice Kosmos 325 krouží kolem Země ve výšce 400 km a vysílá nepřetržitě rádiové signály na vlnové délce 15 cm. Pozemní stanice sledují její let pomocí dvou spojených parabolických antén, vzdálených od sebe 100 m. Při přeletu družice nad stanicí je zjištěno, že fluktuace intenzity přijímaného rádiového signálu se opakuje s frekvencí 0,1 s. Zanedbejte zakřivení zemského povrchu v okolí stanice a vypočtete rychlost pohybu družice.

204. Proveďte rozbor úhlového rozložení intenzity od (a) tří a (b) pěti identických zdrojů vlnění, ležících na přímce ve vzdálenosti  $a$  od sebe. Předpokládejte, že  $a = \frac{\lambda}{2}$ .
205. Jistý astronomický radiointerferometr se skládá z 32 antén, vzdálených 7 m od sebe a rozložených v jedné přímce. Každá anténa je opatřena parabolickým reflektorem a je naladěna pro příjem radiovln o vlnové délce 21 cm. Signály, přijímané jednotlivými anténami, jsou smíšeny a pozorovatel sleduje výsledný signál. Tato soustava je tedy ekvivalentní soustavě 32 stejně vzdálených zdrojů, ležících na jedné přímce.
- (a) Najděte úhlovou vzdálenost mezi dvěma sousedními hlavními maximy.
- (b) Vypočtete úhlovou šířku centrálního maxima.
206. Vysvětlete interferenční jev, vznikající na stínítku, osvětleném dvěma blízkými koherentními zdroji  $S_1$  a  $S_2$ , vzdálenými o  $a$  a situovanými na přímce, kolmé ke stínítku. Stínítko je ve vzdálenosti  $D$  (obr. 35). Při praktickém provedení tohoto tzv. Pohlva interferenčního pokusu získáme oba zdroje odrazem světelného zdroje na přední a zadní stěně slídové destičky.



Obr. 35.

207. Dvě velmi úzké rovnoběžné štěrbin jsou vyřezány v neprůhledném stínítku 3 ve vzdálenosti d. Stínítko se štěrbinami je osvětleno dlouhým rovným svítícím kovovým páskem 1 šířky a, položeným kolmo na směr obou štěrbin ve vzdálenosti L. Skleněný filtr 2 propouští jen světlo o vlnové délce  $\lambda$ . Prošlé světlo dává vzniknout interferenčnímu obrazu, který pozorujeme na druhém stínítku 4 situovaném v dosti značné vzdálenosti od štěrbin (obr. 36). Jestliže vzdálenost mezi štěrbinami zvětšíme na hodnotu  $d = d_0$ , interferenční jev zmizí. Určete šířku a svítícího proužku.



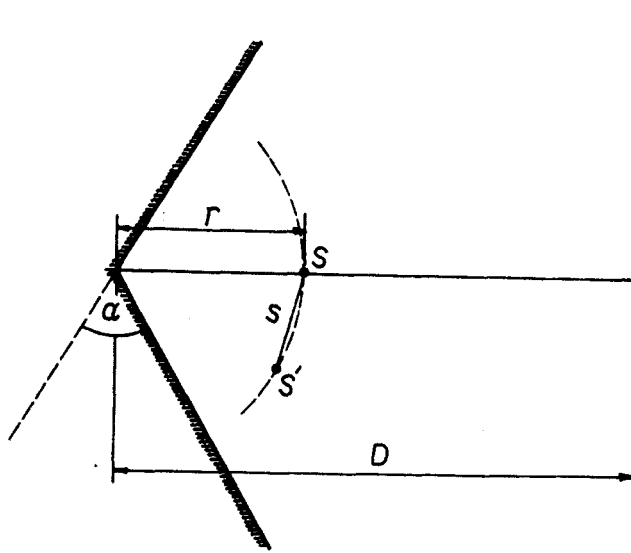
Obr. 36.

208. Bodový zdroj světla o vlnové délce 550 nm osvětluje dvě svíslé stejné štěrbin, vzdálené od sebe 2 mm. Interferenční jev pozorujeme na stínítku rovnoběžném s rovinou obou štěrbin ve vzdálenosti 1 m. Každý bod stínítka je jednoznačně popsán dvojicí souřadnic  $(x, y)$  (osa  $y$  je rovnoběžná se štěrbinami).
- Vypočtete a znázorněte graficky, jak se mění osvětlení stínítka.
  - Jak se změní rozložení osvětlení stínítka, nahradíme-li bodový zdroj světla úzkou štěrbinou, rovnoběžnou s oběma štěrbinami?
  - Pro pozorování interferenčních proužků na stínítku použijeme místo neozbrojeného oka tenkou čočku s ohniskovou vzdáleností 2 cm. Jaké výhody přináší použití čočky? Naznačte polohu čočky a oka vzhledem ke stínítku, kdy budou podmínky pro pozorování proužků optimální.
  - Určete viditelnost proužků, umístíme-li před jednu štěrbinu neutrální optický filtr optické hustoty  $D = 2$ . Předpokládejte, že filtr nezpůsobí žádné fázové změny v soustavě.

(Poznámka: optická hustota je definována jako dekadický logaritmus poměru intenzity světla dopadajícího na filtr a intenzity světla z filtru vyšlé).

209. Najděte obecný vztah pro vzdálenost proužků vytvořených Fresnelovým dvojhranolkem, jehož index lomu je  $n$  a lámavý úhel  $A$ , na stínítku ve vzdálenosti  $D$ , jestliže prostředí mezi dvojhranolkem a stínítkem má index lomu  $n'$ .
210. Pomocí Fresnelova dvojhranolku byly získány interferenční proužky na stínítku ve vzdálenosti 80 cm. Při osvětlení dvojhranolku světlem o vlnové délce 600 nm vzniklo na stínítku celkem 21 proužků, ležících na 2,4 mm délky stínítka. Najděte lineární vzdálenost obou virtuálních zdrojů, vytvořených dvojhranolkem.
211. Dokažte, že vzdálenost  $a$  mezi oběma virtuálními zdroji, vytvořenými Fresnelovým dvojhranolkem jehož index lomu je  $n$  a obě jeho části svírají velmi malý úhel  $A$ , je rovna  $a = 2(n - 1)A d$  kde  $d$  je vzdálenost osvětlovacího zdroje od dvojhranolku a úhel  $A$  je měřen v radiánech.
212. Vypočtete vzdálenost mezi interferenčními proužky, je-li dvojhranolek zhotoven ze skla o indexu lomu 1,5, úhel mezi oběma jeho stěnami je  $2^\circ$  a zdroj zeleného světla ( $\lambda = 500$  nm) se nachází 5 cm před ním. Stínítko je ve vzdálenosti 1 m.
213. Dvě rovinná zrcadla svírají spolu úhel  $\alpha = 10'$ . Štěrbinu (představující zdroj světla) rovnoběžná s průsečnicí zrcadel je vzdálena  $r = 10$  cm od průsečnice. Vlnová délka světla je 600 nm. Interferenční obrazec pozorujeme na stínítku, které je vzdáleno 270 cm od průsečnice zrcadel (obr. 37).
- (a) Jaká je vzdálenost interferenčních proužků na stínítku?  
(b) Co se stane, posuneme-li štěrbinu o  $s = 2$  mm tak, aby  $r$  zůstalo stejné?  
(c) Co se stane, zvětšíme-li  $r$  dvakrát?
214. V Lloydově interferenčním pokusu se světlem o vlnové délce 5000 Å se zjistilo, že maxima jsou od sebe vzdálena o 1 mm. Stínítko s interferenčním jevem je vzdáleno od bodového zdroje 1 m. Vypočtete vzdálenost zdroje od roviny zrcadla.

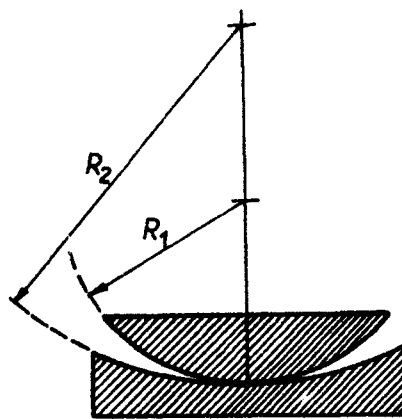




Obr. 37.

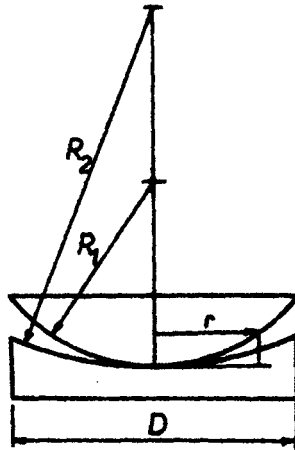
215. Při pokusu s Lloydovým zrcadlem je osvětlená štěrbiná, zastupující zdroj světla, spolu se svým virtuálním obrazem ve vzdálenosti 20 cm od levé hrany zrcadla. Zrcadlo je 30 cm dlouhé a stínítko se nachází u pravé hrany zrcadla kolmo na ně. Vypočtete, v jaké vzdálenosti od hrany zrcadla leží první maximum, je-li štěrbiná osvětlená červeným světlem o vlnové délce  $7200 \text{ \AA}$  přesně 2 mm nad zrcadlem.
216. Mikrovlnný detektor je situován na břehu jezera ve výšce 50 cm nad hladinou. Při sledování pomalého východu galaktického zdroje mikrovln (radiohvězdy) nad jezerem detektor zaznamenává střídavá maxima a minima intenzity přijímaného signálu. V jaké úhlové vzdálenosti je zdroj nad obzorem v okamžiku registrace prvního intenzitního maxima? Radiová hvězda vysílá na vlnové délce  $\lambda = 21 \text{ cm}$ .
217. Tenká ploskovypuklá čočka má průměr  $D$ , poloměr křivosti  $r$  a index lomu  $n$ . Čočka je rozříznuta kolmo ke své rovinné ploše na dvě stejné části. Tyto části jsou od sebe vzdáleny o  $d \ll D$  (Billetova dvojčočka). Na osu symetrie tohoto systému ve vzdálenosti  $x_1$  ( $|x_1| > |f|$ ) je umístěn bodový zdroj světla. Vpravo od tohoto systému na straně rovinné části čočky je ve vzdálenosti  $d$  stínítko rovnoběžné s čočkou. Na něm vznikne  $N$  interferenčních proužků. Určete  $N$  jako funkci vlnové délky světla  $\lambda$ , tj.  $N = f(\lambda)$ . Celá soustava se nachází ve vzduchu.

218. Ukažte, že poloměr jasných Newtonových kroužků, vznikajících na plankonvexní čočce s poloměrem křivosti  $R$ , se dá vyjádřit vztahem  $r^2 = m \lambda R$  a poloměr křivosti tmavých Newtonových kroužků vztahem  $r^2 = (2m + 1) \frac{\lambda R}{2}$  kde  $m$  je kladné číslo a  $\lambda$  vlnová délka světla, osvětlující čočku. Index lomu vzduchu je roven jedné.
219. Poloměr křivosti konvexního povrchu plankonvexní čočky je roven 120 cm. Čočka je položena konvexní plochou na dokonale rovinnou skleněnou desku a osvětlena shora červeným světlem o vlnové délce 650 nm. Najděte průměr třetího jasného interferenčního kroužku.
220. Položíme-li plankonvexní čočku konvexní plochou na rovinnou skleněnou desku a osvětlíme-li systém shora monochromatickým světlem, vzniknou Newtonovy interferenční kroužky. Poloměr prvního světlého kroužku je  $r = 1$  mm.
- (a) Jaká je vlnová délka použitého monochromatického světla, je-li poloměr křivosti konvexní kulové plochy  $R = 4$  m?
- (b) Jaký bude poloměr prvního světlého kroužku, vyplní-li se prostor mezi čočkou a deskou vodou?
221. Poloměr křivosti konvexní kulové plochy plankonvexní čočky je  $R_1 = 2000$  mm. Čočka je položena konvexní stranou na konkávní kulovou plochu plankonkávni čočky (obr. 38). Poloměr křivosti konkávní kulové plochy je  $R_2 = 4000$  mm. Čočky jsou osvětleny shora červeným světlem vlnové délky  $\lambda = 625$  nm. Najděte poloměr třetího světlého interferenčního kroužku v odraženém světle.



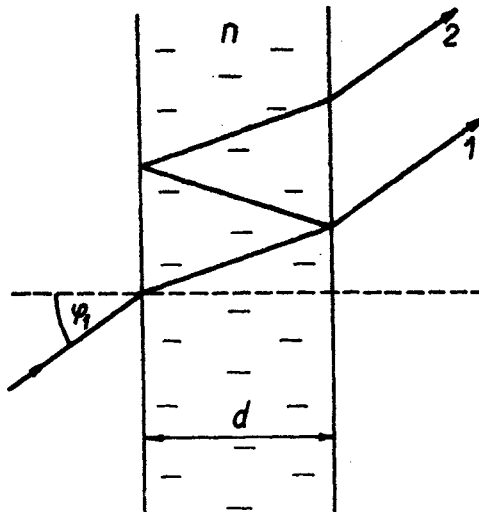
Obr. 38.

222. Plankonvexní čočka je položena konvexní stranou na konkávní plochu plankonkávni čočky (obr. 39). V sodíkovém světle ( $\lambda = 589,6 \text{ nm}$ ) kterým byly čočky shora osvětleny, se objevily od bodu dotyku střídavě tmavé a světlé kroužky. Poloměr prvního tmavého kroužku byl  $r = 5 \text{ mm}$ . Jak veliký je poloměr křivosti  $R_1$  plankonvexní čočky, je-li poloměr křivosti plankonkávni čočky  $R_2 = 50 \text{ mm}$ ? Kolik se objevilo v odraženém světle tmavých kroužků, byl-li průměr čoček  $D = 25 \text{ mm}$ ?



Obr. 39.

223. Odvoďte hodnotu dráhového rozdílu  $\delta$  mezi paprsky 1, 2 vystupujícími z planoparalelní destičky o tloušťce  $d$ , je-li  $n$  index lomu destičky (obr. 40).

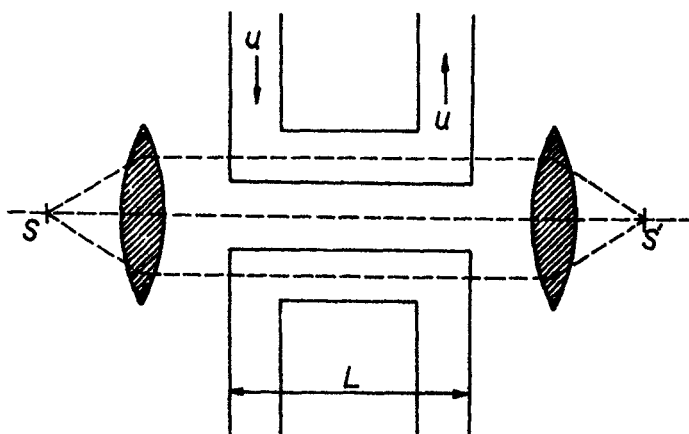


Obr. 40.

224. Tenká vrstva tloušťky  $2,4 \cdot 10^{-6}$  m a indexu lomu 1,4 je osvětlena monochromatickým světlem o vlnové délce 620 nm. Najděte nejmenší úhel dopadu, pro který je na vrstvě splněna v odraženém světle podmínka
- (a) maxima (konstruktivní interference),
  - (b) minima (destruktivní interference).
- Jak se tyto podmínky změny při pozorování v proslém světle?
225. Tenká vrstva  $\text{MgF}_2$  ( $n_1 = 1,38$ ) je nanášena na skleněný povrch ( $n_2 = 1,50$ ). Jaká musí být minimální tloušťka této vrstvičky, aby v proslém světle působila konstruktivní interferenci pro vlnovou délku 550 nm? (Předpokládejte kolmý dopad světla.)
226. Světlo vlnové délky 5000 Å dopadá kolmo ze vzduchu na vrstvičku materiálu o tloušťce 0,0001 cm. Index lomu tohoto materiálu je 1,375. Část světla proniká do vrstvičky, odráží se a vrací se zpět do vzduchu.
- (a) Kolik vln se vytvoří podél cesty světla ve vrstvičce?
  - (b) Jaký je fázový rozdíl mezi vlnou, která opouští vrstvičku a která do ní vniká?
227. Mýdlová blána má index lomu  $n = 1,35$ . Monochromatické světlo o vlnové délce  $\lambda = 550$  nm dopadá kolmo na mýdlovou blánu, jejíž tloušťka se vlivem působení síly tíže klínovitě zvětšuje.
- (a) Jaká tloušťka blány odpovídá prvnímu jasnému proužku (v odraženém světle)?
  - (b) Jaká tloušťka blány odpovídá druhému jasnému proužku?
  - (c) Je-li vzdálenost těchto dvou sousedních jasných proužků právě 3 mm, jaký je vrcholový úhel této klínové blány?
228. Ukažte, že na skleněné destičce o indexu lomu  $n$ , pokryté tenkou vrstvou o indexu lomu  $n_v = \sqrt{n}$ , tloušťky  $\frac{\lambda}{4}$ , dochází při kolmém dopadu světla vlnové délky  $\lambda_0$  k destruktivní interferenci paprsků odražených od horní a dolní plochy, omezující tenkou vrstvou. (Tohoto způsobu se používá ke snížení odrazivosti čoček a desek optických přístrojů a taková vrstva se nazývá antireflexní vrstvou.)
229. Najděte tloušťku mydlinové blány ( $n = 1,33$ ), na níž by se odráželo žluté světlo vlnové délky  $\lambda = 600$  nm. Předpokládejte kolmý dopad a odraz prvního řádu. Jaká je vlnová délka tohoto světla v mydlinové vrstvě?

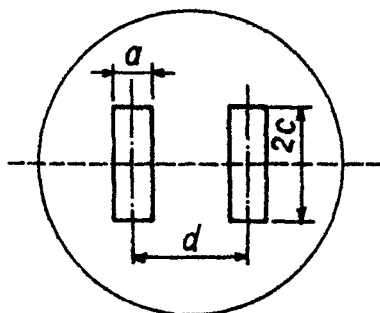
230. Spojité spektrum je promítnuto kolmo na skleněnou desku pokrytou stejnorodou vrstvou průhledného laku. Při pozorování v odraženém světle se objeví ve spektru dva tmavé pruhy, které přísluší vlnovým délkám  $\lambda_1 = 600 \text{ nm}$  a  $\lambda_2 = 428,6 \text{ nm}$ . Index lomu skla je  $n_g = 1,60$  a index lomu laku  $n = 1,50$ . Vypočtete tloušťku vrstvy laku.
231. Dvě vybroušené rovinné destičky jsou na sebe položeny tak, že na jednom konci se dotýkají a na druhém, ve vzdálenosti  $a = 10 \text{ cm}$ , je vložen staniolový lístek tloušťky  $h = 0,02 \text{ mm}$ . Určete vzdálenost dvou sousedních interferenčních maxim, když kolmo na vrstvu dopadá monochromatické světlo vlnové délky  $589 \text{ nm}$ .
232. Vložíme-li mezi dvě skleněné obdélníkové planparalelní destičky na jednom konci proužek tenkého papíru, vznikne mezi skly velmi tenká klínová vrstva vzduchu. Při kolmém osvětlení světlem sodíkové výbojky ( $\lambda = 589,6 \text{ nm}$ ) vzniknou světlé a tmavé interferenční pruhy. Na délce  $10 \text{ mm}$  měřené ve směru kolmém na hranu klínu se jich vytvořilo 10. Vypočtete úhel klínové vrstvy.
233. Dvě skleněné desky dlouhé  $10 \text{ cm}$  položíme na sebe. Na jedné straně mezi ně vložíme kovový proužek, jehož výška je  $0,1 \text{ mm}$ , takže se vytvoří mezi oběma deskami tenký vzduchový klín. Sklo je osvětleno shora světlem vlnové délky  $5460 \text{ \AA}$ . Kolik tmavých interferenčních pásů budeme pozorovat v odraženém světle na  $1 \text{ cm}$  délky?
234. Určete tloušťku dielektrické protiodrazové vrstvy na skleněném objektivu tak, aby minimum odrazivosti prvního řádu nastalo při vlnové délce  $5460 \text{ \AA}$  (zelená čára Hg). Předpokládejte přibližně kolmý dopad světla na povrch objektivu a stejnou odrazivost na obou rozhraních vrstvy. Index lomu vrstvy je  $1,72$ .
235. Nad skleněnou broušenou kostkou o hraně  $2,00 \text{ cm}$  je umístěna broušená destička tak, že mezi ní a kostkou vznikne planparalelní tenká vzduchová interferenční vrstva. Ozáříme-li destičku kolmo shora zářením vlnových délek  $400,0 \text{ nm}$  až  $1150 \text{ nm}$ , pro něž je destička propustná, je splněna podmínka maximálního odrazu na interferenční vrstvě právě pro dvě vlnové délky uvedeného oboru, a to pro  $\lambda = 400,0 \text{ nm}$  a ještě pro jednu další vlnovou délku. Určete vlnovou délku této další vlny. Vypočtete, oč by bylo nutno zvýšit teplotu kostky, aby se dotkla destičky. Teplotní součinitel délkové roztažnosti je  $\alpha = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , index lomu vzduchu  $n_0 = 1$ . Vzdálenost dolní stěny kostky od destičky se při zahřívání nemění.

236. Polonekonečné dielektrikum, pokryté vrstvou o tloušťce  $d$ , je umístěno ve vakuu a kolmo na ně dopadá rovinná elektromagnetická vlna. Předpokládáme, že permeabilita obou prostředí  $\mu = 1$  a že index lomu vrstvy je  $n_1$  a index lomu dielektrika je  $n_2$ . Vyjádřete amplitudu odražené vlny za pomoci indexů lomu  $n_1$  a  $n_2$  a vlnové délky této vlny ve vakuu  $\lambda$ . Za jakých podmínek je tato amplituda odražené vlny nulová a co to fyzikálně znamená?
237. Odvoďte výraz pro amplitudu odraženého světla u odrazového interferenčního filtru.
238. Na interferenční filtr charakterizovaný hodnotami  $R = 0,8$ ,  $2 n d = 10^4 \text{ \AA}$  dopadá bílé světlo. Ve viditelné oblasti propustí filtr jediné maximum pro  $\lambda_0 = 5000 \text{ \AA}$ . Za tento filtr zařadíme druhý s touž hodnotou  $R$ ; jakou hodnotu  $2 n d$  musí mít tento filtr, aby spektrální rozsah propuštěného světla byl co nejmenší.
239. Odvoďte výraz pro pološířku  $\Delta\lambda$  spektrálního rozsahu propuštěného interferenčním filtrem.
240. Navrhněte interferenční filtr s použitím tenké vrstvy kryolitu ( $n = 1,35$ ) vložené mezi dvě polopropustné kovové vrstvy. Chceme, aby s tímto filtrem byla propuštěna modrá čára spektra rtuti o vlnové délce  $435,8 \text{ nm}$ .  
(a) Jak se změní poloha maxima propustnosti filtru, jestliže jej nakloníme o  $10^\circ$ ?  
(b) Jaká musí být minimální tloušťka kryolitové vrstvy?
241. Určete spektrální šířku propustnosti interferenčního filtru pro vlnovou délku  $5770 \text{ \AA}$  při kolmém dopadu světla. Odrazivost na rozhraních vrstvy filtru je  $98 \%$  a filtr pracuje v druhém interferenčním řádu.
242. Světlo o frekvenci  $\nu$ , vyzařované zdrojem  $S$  (obr. 41) prochází soustavou, vyobrazenou na obrázku. Vrchním potrubím teče rychlostí  $u$  kapalina, jejíž index lomu je  $n$ , v dolním potrubí je stejná kapalina v klidu. Jaká je minimální hodnota rychlosti kapaliny, pro kterou budeme v bodě  $S'$  pozorovat destruktivní interferenci?
243. Michelsonův interferometr ozáříme svazkem světla z He-Ne laseru o vlnové délce  $632,8 \text{ nm}$ , jehož frekvenční stabilita je  $2 \cdot 10^{-10}$ . Jak daleko musíme posunout pohyblivé zrcadlo interferometru, aby došlo k vymizení interferenčních proužků?

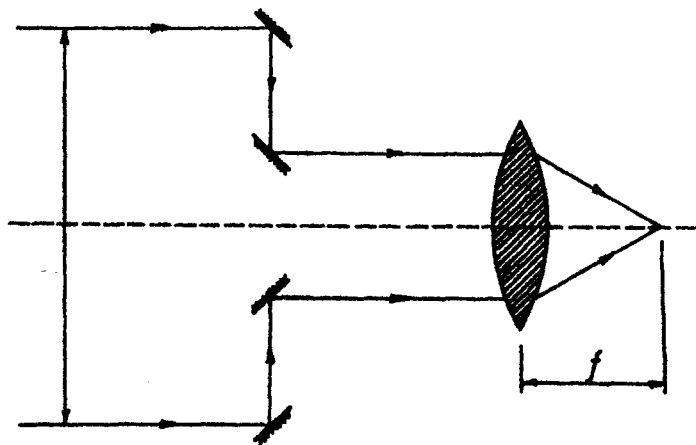


Obr. 41.

244. Michelsonův interferometr je osvětlen červenou kadmiovou čarou o vlnové délce  $643,847 \text{ nm}$ , která má šířku  $0,0013 \text{ nm}$ . O jakou délku musíme posunout pohyblivé zrcadlo interferometru, aby interferenční obraz zmizel? Vyjádřete tento posuv počtem vlnových délek.
245. Před vstupní obrušou hvězdářského dalekohledu je umístěna dvojitá štěrbinová podle obr. 42. Popište rozložení intenzity v ohniskové rovině dalekohledu (interferenční obrazec nebude vlivem konečných rozměrů jednoduchý). V upravené verzi tohoto zařízení (Michelsonův stelární interferometr) na obr. 43 je efektivní vzdálenost štěrbin  $\underline{h}$ . Jaký vliv má tato úprava na interferenční obrazec?



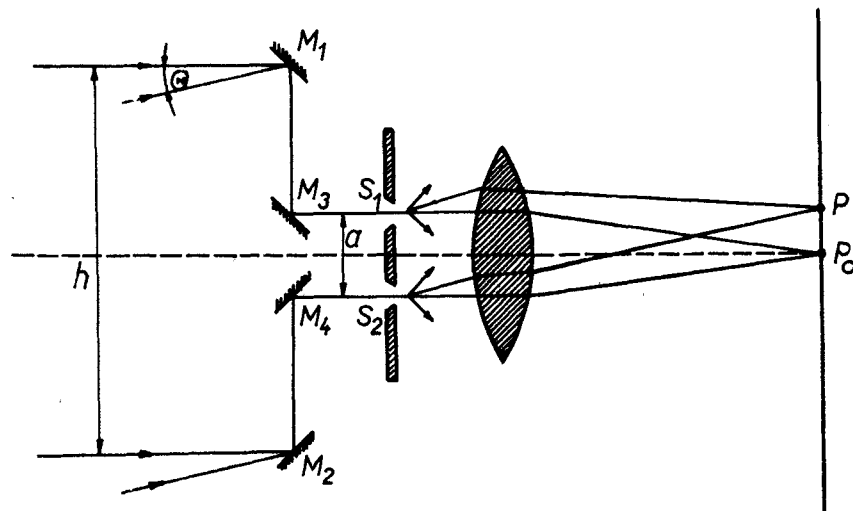
Obr. 42.



Obr. 43.

246. Na obr. 44 je znázorněn tzv. Michelsonův stelární interferometr. Zrcadla  $M_1$  a  $M_2$  jsou pohyblivá a je možné měnit jejich vzdálenost  $h$ . Přístroj se zaměří na studovanou hvězdu a pak se mění vzdálenost  $h$  tak dlouho, dokud při jisté hodnotě  $h_0$  interferenční proužky nevymizí.

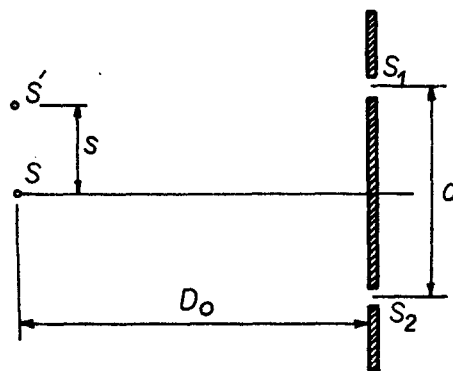
Když Michelson studoval hvězdu  $\alpha$ -Ori Betelgeuze, zjistil, že pro vlnovou délku 570 nm vymizení nastalo pro  $h_0 = 307$  cm. Jaký je úhlový průměr této hvězdy?



Obr. 44.

247. Červená kadmiová čára má vlnovou délku  $\lambda = 6438 \text{ \AA}$ ; vypočítejte, při jakých dráhových rozdílech lze pozorovati interferenční jevy, je-li  $\Delta\lambda = 0,013 \text{ \AA}$ .

248. Vypočítejte stupeň prostorové koherence pro štěrbinu v Youngově pokusu (obr. 45), jsou-li jako zdroje použity dva stejné bodové monochromatické nekoherentní zdroje.  $s = 2 \text{ mm}$ ,  $D_0 = 5 \text{ m}$ ,  $a = 1 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$ .



Obr. 45.

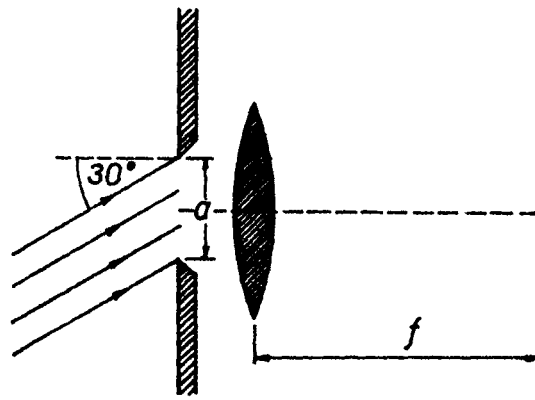


249. Jestliže ze Země vidíme Slunce jako disk úhlového průměru  $0,5^\circ$ , vypočtete největší plochu kruhu, ve kterém pro libovolné dva otvory v něm obsažené získáme od Slunce dobrý interferenční obraz. (Tato plocha je někdy nazývána koherenční plochou.) Vlnovou délku světla vezměte rovnu 550 nm.
250. Určete viditelnost interferenčních proužků na stínítku při Youngově pokusu se spektrální čarou  $5500 \text{ \AA}$  ze slunečního světla, je-li vzdálenost štěrbin  $0,10 \text{ mm}$ .
251. V roce 1869 ukázal Verdet, že světlo vycházející ze dvou malých otvorů ve stínítku osvětleném Sluncem, vykazovalo pozorovatelnou interferenci, když vzdálenost otvorů byla menší než  $\frac{1}{20} \text{ mm}$ . Zdůvodněte.
252. Najděte výraz pro vzdálenost  $a_0$  mezi štěrbinami Youngovy dvojštěrbin, při které poprvé vymizí interferenční proužky. Předpokládejte, že dvojštěrbin je osvětlena kvazimonochromatickým zdrojem světla o vlnové délce  $\lambda$  ve tvaru kruhu o průměru  $d$ , který je ve vzdálenosti  $D_1$  od ní. Stínítko, na kterém interferenční jev pozorujeme, je ve vzdálenosti  $D$  od dvojštěrbin.
253. Kvazimonochromatický zdroj světla ( $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ ) se používá jako zdroj v Youngově interferenčním pokusu. Stínítko s kruhovým otvorem o průměru  $0,1 \text{ mm}$  umístěné ve vzdálenosti  $2 \text{ m}$  od dvojštěrbin, omezuje dopadající světelný svazek od zdroje. Vzdálenost štěrbin je proměnná. Při jaké vzdálenosti mezi středy dvojštěrbin dojde k prvnímu vymizení interferenčních proužků na vzdáleném stínítku?
254. Vyjádřete viditelnost  $V$  interferenčních proužků jako funkci komplexního stupně koherence  $\hat{\rho}(\tau)$ .

255. Rovnoběžný svazek monochromatického světla o vlnové délce 450 nm dopadá kolmo na štěrbinu šířky 1 mm. Těsně za štěrbinou je umístěná čočka s ohniskovou vzdáleností 1 m. Na stínítku, umístěném v ohniskové rovině čočky, se vytvoří ohybový obraz. Určete vzdálenost minima prvního, druhého a třetího řádu od hlavního maxima.
256. Na štěrbinu šířky 0,5 mm dopadá kolmo rovnoběžný svazek monochromatického světla a na stínítku, které je od štěrbinu ve vzdálenosti 3,5 m se objeví ohybový Fraunhoferův jev. Vypočítejte vlnovou délku světla, je-li střed prvního tmavého pásu vzdálený od středu obrazu o 4,2 mm.
257. Úzká štěrbinu je osvětlená rovnoběžným svazkem bílého světla, dopadajícího na ni kolmo. Určete, pro kterou vlnovou délku splyne střed třetího tmavého pásu se středem druhého tmavého pásu pro červenou barvu o vlnové délce 690,0 nm.
258. Rovnoběžný svazek monochromatického světla o vlnové délce  $\lambda = 600$  nm prochází štěrbinou, jejíž šířka je 0,2 mm a je zaostřen čočkou na stínítko. První maximum leží 3 mm od hlavního maxima. Určete ohniskovou vzdálenost použité čočky.
259. Rovnoběžný svazek zelených paprsků odfiltrovaných ze světla rtuťové výbojky ( $\lambda = 564,1$  nm) prochází štěrbinou o šířce

0,4 mm, která je připevněna na čočce o ohniskové vzdálenosti 40 cm. Jaká je lineární vzdálenost hlavního maxima k prvnímu minimumu na stínítku v ohniskové rovině čočky?

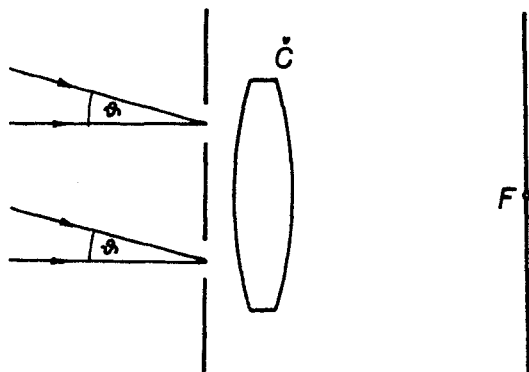
260. Fraunhoferova difrakce vzniká na štěrbině šířky 0,4 mm a je zviditelněna na stínítku v ohniskové rovině čočky. Ohnisková vzdálenost použité čočky je 1 m a štěrbinu je osvětlena dvěma vlnovými délkami  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$ . Bylo zjištěno, že čtvrté minimum pro vlnovou délku  $\lambda_1$  splývá s pátým minimem pro vlnovou délku  $\lambda_2$  a je přesně 5 mm od hlavního maxima. Určete obě vlnové délky.
261. Najděte poloviční úhlovou šířku středního světlého pruhu při Fraunhoferově ohybu na štěrbině šířky  $a = 1,4 \cdot 10^{-3}$  mm, je-li osvětlena monochromatickým světlem vlnové délky (a) 400 nm, (b) 700 nm.
262. Pro zviditelnění Fraunhoferovy difrakce na jednoduché štěrbině o šířce 0,1 mm je použita čočka s ohniskovou vzdáleností 120 cm. Pod jakým úhlem leží minimum N-tého řádu? Jak daleko od středního maxima leží toto minimum na stínítku? Počítejte obecně a pak dosaďte  $N = 4$ ,  $\lambda = 600$  nm. Předpokládejte, že počítaný úhel je malý.
263. Rovinná monochromatická vlna (vlnová délka  $\lambda$ ) dopadá pod úhlem  $30^\circ$  na neprůhledné stínítko s dlouhou úzkou štěrbinou šířky  $a$  (obr. 48). Za stínítkem je spojná čočka, jejíž optická osa je kolmá k rovině stínítka. Popište difrakční jev, pozorovaný v ohniskové rovině čočky.



Obr. 48.

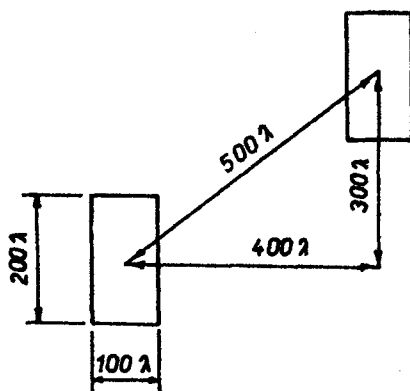
264. Načrtněte rozložení intenzity na stínítku při Fraunhoferově difrakci na jednoduché štěrbině. Intenzitu vyneste jako funkci úhlu odklonu  $\theta$  a na stejnou osu nanášejte odpovídající hodnoty fázového rozdílu (tj. na vodorovné ose budete mít dvojí stupnici).
265. Mějme centrální maximum Fraunhoferovy difrakce na jednoduché štěrbině šířky  $0,2 \text{ mm}$ , zaostřené čočkou ohniskové délky  $60 \text{ cm}$  na stínítku. Vlnová délka použitého monochromatického světla je  $500 \text{ nm}$ .
- (a) Jaká je úhlová šířka tohoto maxima, počítaná jako úhel, omezený levým a pravým minimem, obklopujícími hlavní maximum?
- (b) Jak velká je lineární šířka tohoto maxima?
266. Dvojitá štěrbiná dává vzniknout Fraunhoferovu difrakčnímu obrazu, který je zčásti způsoben šířkou štěrbin  $a$  a zčásti jejich vzájemnou vzdáleností  $b$ . Udělejte přibližný náčrtek rozložení intenzity jako funkce úhlu odklonu  $\theta$ . Předpokládejte přitom dostatečně malé úhly. Vysvětlete jednotlivá maxima a minima intenzity! Vlnová délka světla je  $\lambda$ .
267. Interferenční jev vznikající interferencí svazků vycházejících ze dvou stejných rovnoběžných štěrbin, jejichž středy jsou od sebe ve vzdálenosti  $d = 0,1 \text{ mm}$ , je pozorován na stínítku ve vzdálenosti  $L = 1 \text{ m}$  od roviny štěrbin. Štěrbiny jsou osvětleny monochromatickým světlem o vlnové délce  $\lambda = 590 \text{ nm}$ , které dopadá na rovinu štěrbin kolmo. Po obou stranách středního maxima lze pozorovat pět světlých proužků, avšak za těmito proužky je intenzita světla velmi malá.
- (a) Vypočtete přibližnou šířku  $a$  štěrbin.
- (b) Vypočtete vzdálenost mezi sousedními světlými proužky.
268. Ohybové proužky od dvou stejných rovnoběžných štěrbin pozorujeme v ohniskové rovině čočky  $\check{C}$  (obr. 49).  $Z_1$  a  $Z_2$  jsou nekonečně vzdálené zdroje monochromatického světla. Zdroje mají tvar přímek rovnoběžných se štěrbinami. Při jaké úhlové odchylce  $\varphi$  zmizí ohybové proužky? Vzdálenost středů štěrbin  $d$  je velká ve srovnání se šířkou štěrbin  $a$  a vlnovou délkou světla  $\lambda$ .
269. Při pozorování difrakce na dvojštěrbině bylo zjištěno, že třetí hlavní maximum chybí.
- (a) Nakreslete rozložení intenzity světla na stínítku pro několik maxim na obě strany od hlavního maxima a vysvětlete příčinu vymizení maxima třetího řádu.

(b) Najděte poměr šířky štěrbin ke vzdálenosti jejich středů  $a/b$ .

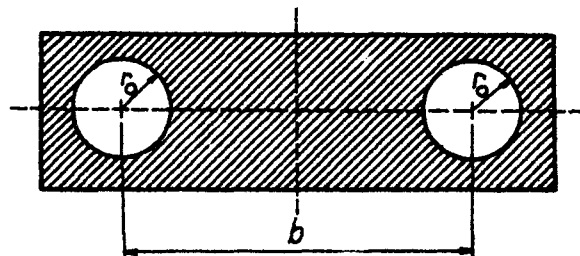


Obr. 49.

270. Proveďte diskusi rozložení intenzity na stínítku při Fraunhoferově difrakci od tří identických štěrbin, stejně od sebe vzdálených. Předpokládejte, že světlo na soustavu štěrbin dopadá kolmo.
271. Nakreslete v polárních souřadnicích rozložení intenzity záření, přijímaného ve velké vzdálenosti od 4 koherentních a ekvidistantních zářičů, jejichž vzájemná vzdálenost činí  $\frac{\lambda}{2}$ .
272. Obdélníková štěrbina je osvětlena světlem vlnové délky  $5000 \text{ \AA}$ . Rozměry štěrbin jsou  $1 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ . Jaké jsou rozměry hlavního maxima v difrakčním obrazci vytvořeném na stínítku  $50 \text{ m}$  vzdáleném a rovnoběžném s rovinou štěrbin? Světlo dopadá na rovinu štěrbin kolmo.
273. Jak velká musí být hrana čtvercového otvoru, kterým prochází světlo, aby první minimum intenzity na jedné ze souřadnicových os stínítka mělo stejnou polohu jako první minimum intenzity při difrakci na kruhovém otvoru? Uvažujte Fraunhoferovo přiblížení.
274. Popište kvantitativně rozložení intenzity při Fraunhoferově difrakci na dvojité štěrbině podle obrázku (obr. 50). Štěrbiny jsou identické. Předpokládejte, že štěrbin jsou těsně před spojnou čočkou o ohniskové délce  $f = 10^6 \cdot \lambda$ .
275. Popište kvantitativně rozložení intenzity při Fraunhoferově difrakčním jevu na dvojité štěrbině (obr. 51) s kruhovými otvory. Studujte změny v rozložení intenzity pro tyto případy:  
 $r_0 = \frac{b}{2}, \frac{b}{5}, \frac{b}{100}$ .



Obr. 50.

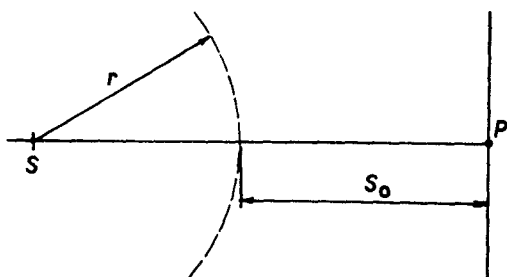


Obr. 51.

276. Popište analyticky Fraunhoferovu difrakci na štěrbině tvaru mezi-kruží. Diskutujte velikost a šířku hlavního maxima v závislosti na poměru poloměru  $r_1/r_2$ . ( $r_1 < r_2$ )
277. Rovinná monochromatická vlna vlnové délky 600 nm dopadá kolmo na neprůhledné stínítko s obdélníkovým otvorem o velikosti 0,5 x 1,0 mm.
- (a) Popište difrakční obrazec pozorovatelný v ohniskové rovině spojné čočky o ohniskové vzdálenosti 2 m, přiložené těsně za otvor.
- (b) Vypočtete strany obdélníka tvořeného tmavými proužky kolem centrálního maxima.
278. Vypočtete poloměr centrálního kroužku při Fraunhoferově difrakci obrazu hvězdy, vytvořeného
- (a) objektivem o průměru 2,5 cm a s ohniskovou vzdáleností 7,5 cm,
- (b) dalekohledem o průměru 15 cm a s ohniskovou vzdáleností 1,5 m. Pro výpočet berte vlnovou délku světla rovnu 560 nm.
279. Stínítko s kruhovým otvorem o průměru 0,4 cm je osvětleno kolmo dopadající rovinnou vlnou. V dopadajícím světle jsou zastoupeny dvě vlnové délky, a to  $\lambda_1 = 600$  nm a  $\lambda_2 = 400$  nm. Najděte body na ose kruhového otvoru, které budou osvětleny světlem jen jedné vlnové délky.
280. Rovinná monochromatická světelná vlna o vlnové délce 500 nm dopadá kolmo na stínítko, ve kterém je kruhový otvor o průměru 0,4 cm.
- (a) Určete polohy bodů ležících na ose kruhového otvoru v nichž je splněna podmínka maximální a minimální intenzity difrakovaného světla.

(b) Jak daleko od stínítka se objeví poslední difrakční minimum?

281. Černé stínítka s kulatým otvorem o poloměru  $a$  je situováno v rovině  $xy$  tak, že střed otvoru splývá s počátkem souřadnic. Na stínítka dopadá rovinná vlna  $u = e^{ikz}$ , kde  $k = 2\pi/\lambda$ . Najděte bod na kladné části osy  $z$  ( $z \gg a$ ), kde bude intenzita přibližně nulová.
282. Jaký je maximální fázový rozdíl sekundárních zdrojů nacházejících se v jedné Fresnelově zóně? Odhadněte počet Fresnelových zón pro fialovou čáru Hg a pro  $r = s_0 = 10$  cm (obr. 52).



Obr. 52.

283. Monochromatický bodový zdroj v bodě S vyzařuje světlo vlnové délky  $6000 \text{ \AA}$ . Paprsky procházejí kruhovým otvorem, jehož střed je v bodě A a rovina otvoru je na směr SA kolmá. Vzdálenost  $SA = 10$  cm. Za otvorem je ve vzdálenosti 20 cm od bodu A stínítka s rovinou otvoru rovnoběžné. Kolik Fresnelových zón projde otvorem, je-li jeho poloměr 1 cm?
284. Bodový zdroj ( $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ ) osvětluje stínítka ve vzdálenosti 11 m. Mezi zdroj a stínítka dáme ve vzdálenosti 5 m od stínítka další stínítka s otvorem o průměru 4,2 mm. Bude intenzita v centru difrakčního obrazce větší nebo menší ve srovnání s intenzitou v tomto bodě, když tam stínítka s otvorem nebylo?
285. Vyjádřete plochu  $k$ -té Fresnelovy zóny pro případ sférické vlny. Ukažte, že poměr této plochy a její vzdálenosti od zdroje nezávisí na čísle  $k$  a je stejný pro všechny zóny. Proveďte analýzu této skutečnosti a najděte její fyzikální význam.
286. Vyjádřete plochu  $k$ -té Fresnelovy zóny pro případ rovinné vlny. Vypočtete plochu první zóny pro případ, že dopadající rovinná vlna má vlnovou délku 600 nm a pozorovatel se nachází ve vzdálenosti 0,5 m od čela vlny.

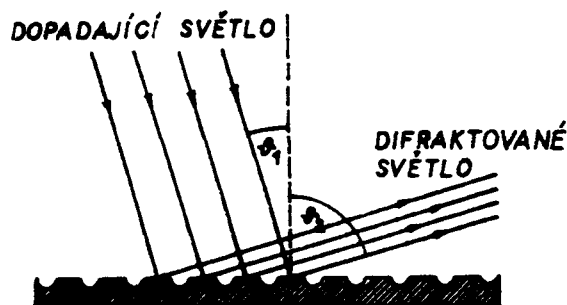
287. Najděte výraz pro vnější poloměr Fresnelovy zóny pro rovinnou vlnu, pozorovanou ve vzdálenosti  $r_0$ .
288. Monochromatické světlo vlnové délky 600 nm přichází od vzdáleného zdroje ke kruhovému otvoru. Fresnelova difrakce je pozorována na stínítku, vzdáleném 1 m od otvoru. Určete průměr kruhového otvoru, prochází-li jím  
(a) jen jedna Fresnelova zóna,  
(b) první čtyři Fresnelovy zóny.
289. Bod ve vzdálenosti 1 cm od kruhového otvoru je osvětlen zářením vlnové délky 500 nm. Jestliže průměr otvoru odpovídá 10 Fresnelovým zónám, určete jeho velikost.
290. Vypočítejte intenzitu  $I_0$  ve středu Fresnelovy plošky vytvořené ohybem světla o vlnové délce  $\lambda$  na kruhovém terčíku v místě, které je ve vzdálenosti  $R_1$  od terčíku, má-li bodový zdroj od terčíku vzdálenost  $R_0$ . Bodový zdroj a vyšetřované místo leží na ose terčíku.
291. Rovnoběžný svazek světla o vlnové délce 560 nm prochází kruhovým otvorem o průměru 2,60 mm. Na stínítku vzdáleném 1 m od otvoru pozorujeme Fresnelovu difrakci.  
(a) Bude střed difrakčního obrazu světlý nebo tmavý?  
(b) O jakou minimální vzdálenost je třeba přemístit stínítko, abychom stav osvětlení středu difrakčního obrazu, nalezený v (a) změnili na právě opačný?
292. Svazek záření He-Ne laseru ( $\lambda = 632,8$  nm) je vhodně rozšířen a ve tvaru rovinné vlny směřován do okuláru dalekohledu, zaostřeného na nekonečno. Vypočtete poloměr první Fresnelovy zóny při pozorování ve vzdálenosti 1,58 m na ose dalekohledu.
293. V dírkové komoře (camera obscura) je fotografická deska vzdálena od čelní stěny o 10 cm. Jak veliký musí být otvor, abychom získali ve viditelném světle ( $\lambda = 500$  nm) snímek Slunce s nejlepším rozlišením?
294. Oční pupila má průměr 3 mm. Za použití Rayleighova rozlišovacího kritéria určete, na jakou vzdálenost rozliší oko dvě rovnoběžné čáry, narysované na listě papíru ve vzdálenosti 50 cm. Na jakou vzdálenost může oko za ideálních atmosférických podmínek v noci rozlišit přední světla automobilu, jehož reflektory jsou 180 cm



od sebe? Pro výpočty berte vlnovou délku viditelného světla rovnu 550 nm.

295. Astronaut je v kosmické lodi na oběžné dráze kolem Země ve výšce 160 km. Jak velké musí být předměty na zemském povrchu, aby je pouhým okem rozlišil? Pro výpočet použijte Rayleighova rozlišovacího kritéria a předpokládejte, že oční pupila má průměr 4 mm.
296. Rozsvícené světlometry přijíždějícího auta jsou od sebe vzdáleny 130 cm. Určete na jakou vzdálenost mohou být rozlišeny pouhým okem kdyby rozlišovací schopnost oka byla určována výhradně difrakcí. Průměr pupily oka je 5 mm, efektivní vlnová délka záření reflektorů je 550 nm.
297. Pro pozorování dvou vzdálených bodových zdrojů světla, nacházejících se 1 m od sebe, je použit dalekohled, jehož objektiv je zcloněn stínítkem se štěrbinou 1 mm širokou. Do jaké vzdálenosti od dalekohledu mohou být pozorované zdroje ještě rozlišeny?
298. Dvě stejně jasné hvězdy jsou na obloze ve vzdálenosti jedné obloukové sekundy. Za předpokladu, že vyzařují světlo o vlnové délce 550 nm, určete:
- (a) nejmenší průměr objektivu dalekohledu kterým by byly tyto hvězdy ještě rozlišeny,
  - (b) zvětšení použitého dalekohledu, nutné k rozlišení,
  - (c) ohniskovou vzdálenost okuláru tohoto dalekohledu, jestliže jeho objektiv má ohniskovou vzdálenost 180 cm.
299. Stínítka se dvěma malými dírkami 1,5 mm od sebe vzdálenými je umístěno před silný zdroj světla a pozorováno čočkou, zakrytou clonkou, v jejímž středu je kruhový otvor o průměru 4 mm. Z jaké maximální vzdálenosti mohou být obě dírky rozlišeny? (Vlnovou délku světla vezměte rovnu 550 nm).
300. Na ohybovou mřížku, která má 100 vrypů na 1 mm, dopadá kolmo rovnoběžný svazek červeného světla (vlnová délka 700 nm). Vypočítejte, v jaké vzdálenosti od sebe bude první a třetí světlý proužek na stínítku, postaveném ve vzdálenosti 1 metru od mřížky.
301. Určete nejvyšší řád spektra, ve kterém ještě můžeme pozorovat červenou čáru 700 nm pomocí optické mřížky, mající na 1 mm 300 vrypů.

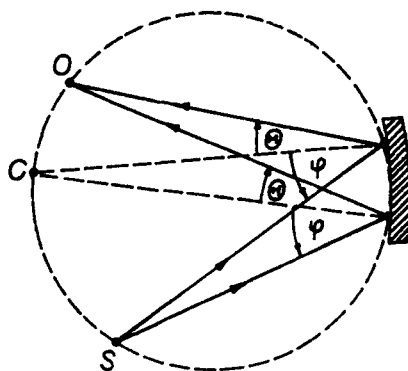
302. Na optickou mřížku, která má na milimetru 310 vrypů, dopadá kolmo rovnoběžný svazek bílého světla. Na stínítku se vytvoří barevný ohybový jev. Určete úhlovou odchylku zelené čáry (540 nm), která se překrývá s fialovou čarou (405 nm) ze spektra nejbližšího vyššího řádu.
303. Difrakční mřížka má 2000 vrypů na 1 cm a je osvětlena světlem o vlnové délce 560 nm.  
(a) Vypočtete úhel pod kterým lze pozorovat hlavní maximum.  
(b) Kolik maxim různých řádů je možné pro tuto vlnovou délku danou mřížkou pozorovat?
304. Difrakční mřížka má  $N$  vrypů, délka každého vrypu je rovna polovině délky předcházejícího. Vzdálenosti mezi sousedními vrypy jsou stejné a rovny  $d$ . Jaká bude závislost úhlového rozdělení intenzity světla o vlnové délce  $\lambda$  ?
305. Difrakční mřížka na odraz je zhotovena tak, že leštěný kovový povrch je porušen soustavou jemných ekvidistantních vrypů, vytvořených diamantovým hrotem (obr. 53). Lesklý povrch mezi vrypy je ekvivalentní štěrbinám běžné difrakční mřížky na průhled. Ukažte, že hlavní maxima splňují podmínku  $a(\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2) = m\lambda$  kde  $a$  je vzdálenost mezi sousedními vrypy.



Obr. 53.

306. Mřížka obsahující 4000 vrypů na 1 cm je 4 cm dlouhá. Vypočtete její rozlišovací schopnost ve spektru prvního řádu. Rozliší tato mřížka obě čáry sodíkového dubletu (589,0 a 589,6 nm)?
307. Jestliže velmi zhruba omezíme viditelné světlo vlnovými délkami 400 a 700 nm, jaké úhlové intervaly obsáhnou spektra prvního a druhého řádu, vytvořená při kolmém dopadu světla na mřížku s 6000 vrypy na 1 cm?

308. Rovinná difrakční mřížka má 4000 vrypů na 1 cm. Vypočtete úhlovou vzdálenost mezi  $\alpha$  a  $\beta$  čarami záření atomu vodíku ve spektru druhého řádu, jejichž vlnové délky jsou 656 a 410 nm. Uvažujte kolmý dopad světla na mřížku.
309. Rovinná monochromatická vlna o vlnové délce 600 nm dopadá kolmo na rovinnou mřížku s 500 vrypů na milimetr. Určete odchylku spektra prvního, druhého a třetího řádu.
310. Ukažte, že bez ohledu na počet vrypů na jednotku délky difrakční mřížky se bude při kolmém dopadu světla na mřížku překrývat fialová část spektra třetího řádu s červenou částí spektra druhého řádu.
311. Pro zajištění správné fokusace se ve spektroskopii používá tzv. Rowlandova montáž difrakční mřížky na odraz (obr. 54). Předpokládejme, že  $C$  je střed křivosti mřížky a že čárkovaná kružnice má průměr rovný poloměru křivosti mřížky. Ukažte, že pro libovolný zdroj světla  $S$ , umístěný na kružnici (a) mají všechny světelné paprsky, dopadající na mřížku, stejný úhel dopadu, (b) všechny paprsky které jsou difragovány mřížkou pod stejným úhlem konvergují do jediného bodu  $O$  na kružnici. Výhoda montáže spočívá v tom, že při fotografování spektra stačí umístit fotografickou desku, vytvarovanou vhodně do tvaru kruhového oblouku, do místa  $O$ , kde může být ostře spektrum příslušného řádu vyfotografováno.



Obr. 54.

312. Navrhněte difrakční mřížku, pro kterou by leželo maximum třetího řádu vlnové délky 6000 Å ve směru, odchýleném o  $30^\circ$  od přímého

směru. Rozlišovací schopnost navrhované mřížky musí být taková, že dokáže rozlišit dvě blízké vlnové délky, lišící se o  $0,5 \text{ \AA}$ .

Vypočtěte:

- (a) vzdálenost vrypů mřížky,
- (b) její rozlišovací schopnost,
- (c) minimální počet vrypů,
- (d) minimální rozměr mřížky.

313. Difrakční mřížka má 5000 vrypů na 1 cm. Vypočtěte
- (a) dispersi pro vlnovou délku 500 nm ve spektru druhého řádu,
  - (b) úhlovou vzdálenost mezi dvěma spektrálními čarami o vlnové délce 500 a 510 nm ve spektru druhého řádu.
314. Difrakční mřížka má 2000 vrypů na 1 cm, každá štěrbina je  $10\,000 \text{ \AA}$  široká. Nakreslete rozložení intenzity prošlého světla pro vlnovou délku  $4500 \text{ \AA}$ . Chybí některý difrakční řád? Když ano, který?
315. Hranice viditelného spektra jsou přibližně 400 nm a 700 nm.
- (a) Najděte úhlovou šířku viditelného spektra prvního řádu vytvořeného rovinnou mřížkou, která má na šířce 25,4 nm 15 000 čar.
  - (b) Ukažte, že fialový okraj viditelného spektra třetího řádu se překrývá s červeným okrajem spektra druhého řádu.
  - (c) Jaká smí být maximálně šířka štěrbin  $a$ , má-li být vytvořeno celé spektrum druhého řádu?
316. Najděte podmínku, při níž je intenzita  $m$ -tého hlavního maxima ohybové mřížky nulová. Mřížková konstanta mřížky je  $d$ , šířka štěrbin je  $a$ .
317. Jaký minimální počet vrypů na 1 cm musí mít difrakční mřížka, abychom rozlišili sodíkový dublet ve spektru druhého řádu? (Vlnové délky berte rovny 589,0 nm a 589,6 nm.)
318. Lineární difrakční mřížka má 2000 vrypů na 2 cm. Vypočtěte úhlovou vzdálenost difrakčních maxim ve spektru druhého řádu pro sodíkový dublet při kolmém dopadu světla.
319. Pro rozbor sodíkového spektra používáme difrakční mřížku širokou 5 cm. Světlo na ni dopadá kolmo. Určete minimální počet vrypů potřebný k rozlišení sodíkového dubletu ve spektru prvního řádu. Jaká bude v tomto případě úhlová vzdálenost obou čar dubletu? (Vlnové délky sodíkového dubletu 5890 a 5896  $\text{\AA}$ .)

320. Kosinová difrakční mřížka je zařízení, kde se propustnost mění podle vztahu  $t(x) = \frac{1}{2} A (1 + B \cos \theta x)$ ,  $|A| < 1$ ,  $|B| < 1$ . Mřížka má délku  $2x_0$  a periodický motiv se opakuje celkem  $N = x_0 \lambda / \pi$ . Vypočtete rozložení intenzity v závislosti na difrakčním úhlu  $\alpha$ .
321. Uvažujte lineární difrakční mřížku ve Fraunhoferově přiblížení. Velikost štěrbin je  $\frac{d}{4}$ , mřížková konstanta je  $d$ .
- (a) Diskutujte rozložení intenzity v difrakčním jevu, který se pozoruje v ohniskové rovině čočky, jestliže se mřížka skládá ze 2, 4, 100 štěrbin. Vlnová délka je  $\lambda$ . Jaký vliv má počet štěrbin na polohu a šířku hlavních a vedlejších maxim?
- (b) Jak se mění v ohniskové rovině rozložení intenzity, mění-li se úhel dopadu světla na mřížku?
- (c) Diskutujte vliv divergence primárního svazku paprsků na polohu a šířku maxim. Dopadající svazek má divergenci  $\Delta \theta = \frac{\lambda}{10 d}$ .
322. Určete úhlovou dispersi pro světlo vlnové délky  $5000 \text{ \AA}$  ve spektru druhého řádu pro lineární difrakční mřížku s 5000 vrypy na 1 cm.
323. Mějme mřížku na odraz, jejíž vrypy jsou sice ve stejných vzdálenostech, ale jejich odrazivost je střídavě vždy  $1 + a$ ,  $1 - a$ ,  $1 + a$ ,  $1 - a$ , atd. Jak se bude měnit difrakční obraz, jestliže se bude  $a$  měnit od nuly do jisté hodnoty, která je mnohem menší než jednička?
324. Vzdálenost mezi hlavními rovinami krystalu kamenné soli je  $2,82 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . Bylo zjištěno, že první řád Braggovy difrakce monochromatického rentgenova záření se nachází ve směru, svírajícím úhel  $10^\circ$  s rovinou krystalu.
- (a) Vypočtete vlnovou délku použitého rentgenova záření.
- (b) Pod jakým úhlem lze pozorovat maximum druhého řádu?
325. Chlorid sodný NaCl je kubický krystal o hustotě  $2,178 \text{ g cm}^{-3}$ . Najděte délku strany jeho elementární buňky a určete úhel, odpovídající difrakčnímu maximu prvního a druhého řádu při Braggově difrakci monochromatických rentgenových paprsků o vlnové délce  $3,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ .
326. Elektrony jsou urychleny z klidu potenciálním rozdílem 500 voltů. Tento svazek elektronů je pak užít pro získání difraktogramu jisté látky. Difrakční maximum druhého řádu se nachází v místě stínítka, jehož spojnice s místem dopadu elektronů na vzorek svírá úhel  $40^\circ$

s původním směrem šíření elektronů ve svazku. Vypočtete vzdálenosti atomových rovin studované látky, na kterých došlo k difrakci elektronového svazku.

327. Pro jistý krystal je známo, že difrakční maximum třetího řádu leží v místě, ve kterém detektor svírá se směrem dopadajícího rentgenova záření úhel  $50,0^\circ$ . Vlnová délka rentgenova záření je  $1,20 \text{ \AA}$ . Vypočtete vzdálenosti atomových rovin ve studovaném krystalu, na kterých k difrakci dochází.
328. Při pozorování difrakce rentgenových paprsků, jejichž vlnová délka je konstantní, byla na určitém krystalu pozorována difrakční maxima při úhlech  $16,2^\circ$ ,  $31,0^\circ$ ,  $32,8^\circ$ ,  $50,0^\circ$ ,  $64,6^\circ$ . Dokázali byste interpretovat tento výsledek měření?
329. V rentgenově trubici jsou elektrony urychlovány potenciálním rozdílem  $10^5 \text{ V}$ . Vzniklé rentgenovo záření je analyzováno pomocí krystalů kamenné soli ( $d = 2,82 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ). Najděte úhel, při kterém se objeví difrakční maximum prvního řádu pro nejkratší vlnovou délku, vyzařovanou uvažovanou trubicí.
330. Svazek rentgenových paprsků vlnové délky  $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$  dopadá na práškový vzorek, složený z mikroskopických krystalků KCl náhodně orientovaných. Mřížková konstanta krystalu KCl je  $3,14 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . Fotografický film je ve vzdálenosti 10 cm od práškovitého vzorku.
- (a) Najděte poloměry kružnic, odpovídajících maximu prvního a druhého řádu při difrakci na rovinách, nacházejících se ve vzdálenosti rovné mřížkové konstantě KCl.
- (b) Najděte poloměry kružnic, odpovídajících maximu prvního a druhého řádu při difrakci na rovinách, svírajících s rovinami studovanými v (a) úhel  $45^\circ$ .

331. Svíčka stojí 60 cm před dutým zrcadlem. Když ji přiblížíme k zrcadlu o 10 cm, zvětší se vzdálenost obrazu od zrcadla o 80 cm. Jaká je ohnisková vzdálenost zrcadla?
332. Je-li ohnisková vzdálenost  $f$  kulového zrcadla a jeho zvětšení  $m$ , dokažte, že poloha předmětu a jeho obrazu je dána vztahy:  
$$a = \frac{f(m-1)}{m}, \quad a' = -f(m-1).$$
333. Jestliže se předmět, který byl původně ve vzdálenosti 60 cm od konkávního zrcadla posune o 10 cm blíže k němu, pak vzdálenost předmětu a jeho obrazu vzroste 2,5 krát. Určete ohniskovou vzdálenost zrcadla.
334. Konkávní zrcadlo vytváří reálný převrácený obraz, který je třikrát větší než předmět a nachází se ve vzdálenosti 28 cm od něho. Najděte ohniskovou vzdálenost zrcadla.
335. Konkávní zrcadlo na holení má ohniskovou vzdálenost rovnou 15 cm. Najděte optimální vzdálenost osoby od zrcadla, je-li pro pozorování okem nejvhodnější vzdálenost 25 cm od pozorovaného objektu. Jaké bude zvětšení pro tento případ?
336. Konvexní zrcadlo má poloměr křivosti 1 m. Najděte polohu obrazu a jeho zvětšení, je-li vzdálenost předmětu od zrcadla rovna 0,60 m. Podobný výpočet proveďte pro virtuální předmět ve vzdálenosti (a) 0,30 m, (b) 0,80 m.
337. Konkávní zrcadlo má poloměr křivosti 1 m. Najděte polohu obrazu předmětu a příslušné zvětšení, je-li vzdálenost předmětu od zrcadla rovna: (a) 140 cm, (b) 100 cm, (c) 80 cm, (d) 50 cm, (e) 30 cm.
338. Nádoba naplněná rtutí se otáčí kolem svislé osy stálou úhlovou rychlostí  $\omega$ . Povrch rtuti vytvoří duté zrcadlo. Vypočítejte jeho ohniskovou vzdálenost.
339. Předmět leží 30 cm vlevo od konvexního kulového zrcadla o poloměru křivosti 20 cm. Najděte polohu obrazu: (a) výpočtem, (b) graficky.
340. Dvě kulová zrcadla, vypuklé a duté, mající stejně veliký poloměr křivosti  $r$ , jsou umístěna na společné optické ose ve vzdálenosti  $3r$  od sebe a jsou obrácena zrcadlicími plochami proti sobě.

- (a) Do kterého místa na společné optické ose je nutno umístit malý svítící předmět, má-li se jeho obraz ve vypuklém zrcadle zobrazit dutým zrcadlem v témže místě, ve kterém je předmět?
- (b) Je výsledný obraz skutečný nebo zdánlivý?
- (c) Jak veliké je příčné zvětšení tohoto obrazu vzhledem k předmětu?

341. Duté a vypuklé zrcadlo mají stejné poloměry křivosti. Vzdálenost vrcholů obou zrcadel je  $\underline{d}$  a středy křivosti kulových ploch obou zrcadel leží na jedné přímce (soustava je opticky centrovaná). Ve které vzdálenosti  $\underline{x}$  od dutého zrcadla postavíme předmět, aby jeho obrazy byly v obou zrcadlech stejně velké?
342. Označíme-li  $q_1$  a  $q_2$  vzdálenosti předmětu a jeho obrazu od ohniska sférického zrcadla, ukažte, že zobrazovací rovnice tohoto zrcadla může být vyjádřena v Newtonově formě jako  $q_1 q_2 = f^2$ .  
Můžete z tohoto vztahu dokázat, že předmět a jeho obraz jsou vždy na stejné straně od ohniska?
343. V zrcadlovém dalekohledu je použito duté zrcadlo o poloměru křivosti 2,00 m. V ohnisku zrcadla je umístěn přijímač záření ve tvaru kruhové desky, jejíž rovina je kolmá k optické ose dalekohledu. Jaký rozměr musí mít přijímač, aby zachytil veškerý tok záření, který je odražen zrcadlem, jestliže průměr zrcadla je 50 cm? Kolikrát se zmenší tok záření zachycený přijímačem, jestliže se rozměry přijímače zmenší o jednu osminu?
344. Dvě dutá kulová zrcadla  $Z_1$  a  $Z_2$  s ohniskovými vzdálenostmi  $f_1$  a  $f_2$  ( $f_1 \neq f_2$ ) mají společnou optickou osu a jejich vrcholky mají vzájemnou vzdálenost  $\underline{d}$ . Mezi zrcadla postavíme na jejich společnou optickou osu malý předmět A, který zrcadlo  $Z_1$  zobrazí do obrazu  $A'$ . Tento je předmětem pro zrcadlo  $Z_2$  a toto zrcadlo jej zobrazí do obrazu  $A''$ .
- (a) V jaké vzdálenosti od vrcholu zrcadla  $Z_1$  musí být předmět A umístěn, aby druhý obraz  $A''$  měl od vrcholu stejného zrcadla  $Z_1$  tutéž vzdálenost?
  - (b) V jaké vzdálenosti od vrcholu zrcadla  $Z_1$  je v tomto případě první obraz  $A'$ ?
- Řešte nejprve obecně a pak pro hodnoty  $f_1 = 10,00$  cm,  $f_2 = 40,00$  cm a  $d = 110,0$  cm.
345. Do jaké vzdálenosti od dutého zrcadla se má postavit pozorovatel, aby zdánlivý obraz svého oka viděl v konvenční vzdálenosti 25 cm? Ohnisková vzdálenost zrcadla je 16 cm.



346. Předmět výšky 15 mm je ve vzdálenosti 32 cm od vrcholu dutého zrcadla (poloměru křivosti 48 cm). Kde bude jeho obraz a jak bude veliký?
347. Duté sférické zrcadlo má poloměr křivosti 56 cm. Do jaké vzdálenosti od jeho vrcholu je třeba umístit předmět, aby jeho obraz byl (a) reálný, 4x zvětšený, (b) zdánlivý, 4x zvětšený.
348. (a) Bodový svítící zdroj je umístěn na optické ose dutého zrcadla ve vzdálenosti 1,5 poloměru zrcadla od vrcholu. Určete polohu obrazu.  
(b) Tentýž zdroj je na ose vypuklého zrcadla ve vzdálenosti rovné  $n$ -násobku jeho ohniskové vzdálenosti. Určete polohu obrazu.
349. (a) Jakého zrcadla je třeba užít, aby vznikl na stěně, která je vzdálena 3 m od zrcadla, obraz vlákna žárovky, které se nachází ve vzdálenosti 100 mm před zrcadlem?  
(b) Jaká je výška obrazu, je-li výška předmětu 5 mm?
350. Duté sférické zrcadlo má poloměr křivosti  $R$ . Jeho vrchol označme  $V$ . Světelný paprsek postupující rovnoběžně s optickou osou dopadá na zrcadlo v bodě  $A$ , vzdáleném o délku  $y$  od optické osy. Odražený paprsek protíná optickou osu v bodě  $B$ . Vypočítejte největší možnou hodnotu veličiny  $y$ , jestliže má být vyhověno požadavku, že relativní chyba, které se dopouštíme, klademe-li  $VB = \frac{R}{2}$ , smí být nejvýše  $p$  %. Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $R = 50$  cm,  $p = 1$  %.
351. Kulové zrcadlo duté o poloměru křivosti  $r_1$  a kulové zrcadlo vypuklé o poloměru křivosti  $r_2$  jsou k sobě obrácena zrcadlicími plochami a mají společnou optickou osu. Vzdálenost jejich vrcholů je  $d$ . Předmět (malá úsečka kolmá k optické ose) je umístěn mezi zrcadly ve vzdálenosti  $l$  od vypuklého zrcadla. Je dáno  $r_1 = 30$  cm,  $r_2 = 20$  cm,  $d = 45$  cm,  $l = 25$  cm.  
(a) Určete polohu, příčné zvětšení a vlastnosti obrazu vytvořeného odrazem paprsků postupně od dutého a pak od vypuklého zrcadla.  
(b) Narýsujte zobrazení ve vhodném měřítku.  
(c) Ukažte graficky, zda vzniká také druhý obraz, vytvořený odrazem paprsků postupně od vypuklého a pak od dutého zrcadla.
352. Duté a vypuklé zrcadlo o stejné ohniskové vzdálenosti 20 cm jsou postaveny proti sobě tak, že jejich optické osy splývají a jejich vzájemná vzdálenost je 50 cm. Ve vzdálenosti 30 cm od

dutého zrcadla leží bodový svítící předmět. Kde vznikne jeho obraz  
(a) po odrazu nejprve na dutém a pak na vypuklém zrcadle,  
(b) po odrazu na vypuklém a pak na dutém zrcadle.

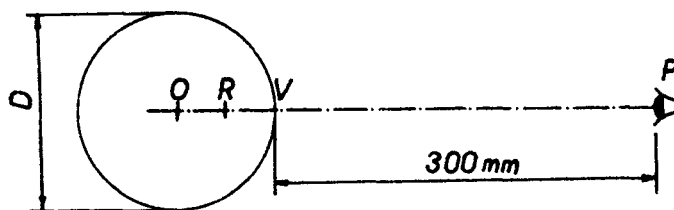
353. Sférická aberace kulového zrcadla je definována jako rozdíl ohniskových vzdáleností paraxiálních paprsků  $f$  a okrajových paprsků  $f_0$ . Ukažte, že  $f - f_0 = f(\sec \alpha - 1)$ , kde  $\alpha$  je úhel dopadu okrajového paprsku rovnoběžného s optickou osou.
354. Konkávní zrcadlo má poloměr křivosti 10 cm a jeho průměr je 16 cm. Najděte sférickou aberaci zrcadla a srovnejte s jeho ohniskovou vzdáleností.
355. Ve vzdálenosti  $l$  od vnějšího povrchu prázdné skleněné kulové baňky, jejíž vnější poloměr je roven  $R$ , je postaven plochý předmět. Při jeho pozorování v odrazu vidíme dva obrazy, přičemž menší z nich pokrývá  $p$  % většího. Určete tloušťku  $d$  skla, ze kterého je baňka vyrobena. Lom světla v baňce zanedbejte. Předpokládáme, že předmět je velmi malý, takže zobrazování se děje jen nulovými paprsky. Řešte nejprve obecně a pak pro hodnoty  $R = 6,0$  cm,  $l = 3,0$  cm,  $p = 98$  %.
356. Vnější průměr skleněné kapiláry je  $D$ , její index lomu je  $n$ . Když se na kapiláru díváme z boku, jeví se nám vnitřní průměr její dutiny roven  $d'$ . Jaký je skutečný vnitřní průměr této kapiláry?
357. Uvnitř skleněné koule o poloměru 10 cm je bublinka vzduchu. Pozorovateli hledícím ve směru osy kulové lámavé plochy se zdá, že bublinka je na optické ose ve vzdálenosti 2,5 cm od povrchu koule. Zjistěte v jaké skutečné vzdálenosti od povrchu koule se bublinka nachází.
358. Skleněné těžitko tvaru polokoule leží svou rovinnou plochou na potištěné stránce papíru. Pozorovatel se dívá svisle dolů směrem ke středu polokoule. Najděte polohu a příčné zvětšení obrazu písma, které se nachází uprostřed rovinné plochy polokoule. Index lomu skla  $n = 1,50$ .
359. Na vnitřní stěně skleněné válcové trubice jsou vyryté dvě rýhy, rovnoběžné s osou trubice. V trubici je kapalina neznámého indexu lomu  $n$ . Skutečná vzdálenost rýh je  $y$ , zdánlivá vzdálenost měřená z protilehlé strany trubice je  $y_1$ . Když index lomu vzduchu je  $n_1$

a index lomu skla  $n_2$ , dokažte, že index lomu kapaliny  $n$  je možno vypočítat ze vztahu

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{n_1} \left( \frac{r_2}{r_1} + \frac{y}{y_1} \right) + \frac{1}{n_2} \left( 1 - \frac{r_2}{r_1} \right) \right]$$

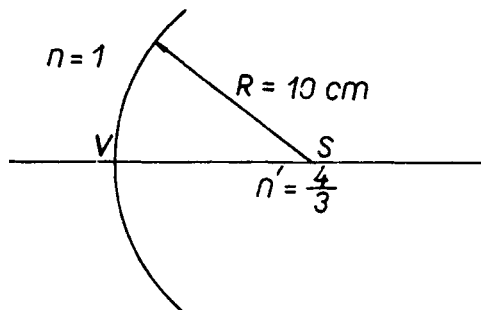
kde  $r_1$  je vnější,  $r_2$  vnitřní poloměr trubice.

360. Malá ryбка R se nachází ve vzdálenosti 75 mm od středu O kulového akvária o průměru  $D = 300$  mm (obr. 56).
- (a) Najděte polohu obrazu rybky a jeho příčné zvětšení, jak jej vidí pozorovatel P.
- (b) Najděte polohu obrazu pozorovatelova oka a jeho příčné zvětšení, jak jej vidí ryбка.



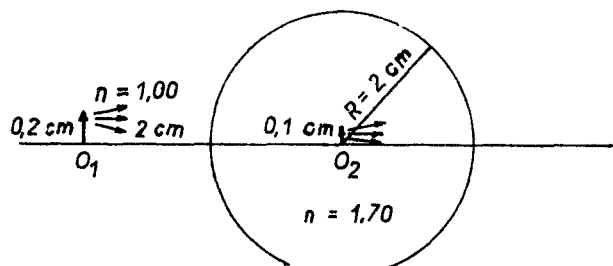
Obr. 56.

361. Najděte ohniskové vzdálenosti optické soustavy, specifikované na obr. 57. Najděte polohu a velikost obrazu, vytvořeného touto soustavou, jestliže 1 cm vysoký vzpřímený předmět je ve vzdálenosti (a) 50 cm nalevo od V, (b) 30 cm nalevo od V, (c) 20 cm nalevo od V, (d) 20 cm napravo od V (virtuální předmět). V případě, že by byl obraz situován v nekonečnu, udejte místo jeho velikosti úhel, který svírají zobrazující paprsky s optickou osou.



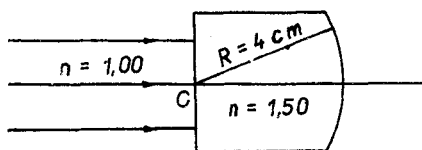
Obr. 57.

362. Mějme lámavý povrch, daný na obr. 57. Dopadající paprsek prochází bodem, ležícím 15 cm nalevo od vrcholu ve výšce 1 cm od optické osy a svírá s ní úhel 0,030 radiánů. Najděte výšku a úhel sklonu lomeného paprsku 20 cm napravo od vrcholu.
363. Najděte polohu a velikost výsledného obrazu předmětů  $O_1$  a  $O_2$  zobrazených optickou soustavou specifikovanou na obr. 58.



Obr. 58.

364. Optická soustava je specifikována kresbou na obr. 59.
- (a) Vypočtete, kde bude zaostřen svazek rovnoběžných paprsků, dopadajících na soustavu zleva.
- (b) Proveďte výpočet pro případ, že optickou soustavu obrátíte o  $180^\circ$ .

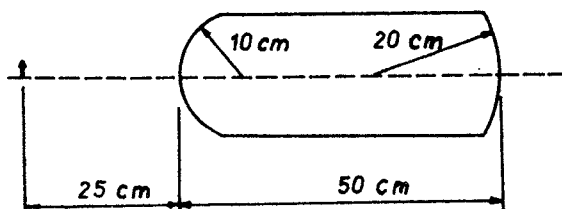


Obr. 59.

365. Průhledná skleněná tyč 40 cm dlouhá je na jednom konci rovná a na druhém konci zakulacena do tvaru polokoule o poloměru 12 cm. Předmět se nachází na ose tyče ve vzdálenosti 10 cm od polokulovitého konce.
- (a) Najděte polohu výsledného obrazu tohoto předmětu.
- (b) Jaké je zvětšení?
- Index lomu tyče je 1,50.
366. Válcová skleněná tyč o indexu lomu 1,5 je zakončena dvěma konvexními kulovými povrchy s poloměrem křivosti 10 a 20 cm (obr. 60). Délka tyče měřená mezi vrcholy je 50 cm. Šipka 1 mm dlouhá leží

před prvním kulovým povrchem, kolmo na osu válce, ve vzdálenosti 25 cm od vrcholu. Vypočtete

- (a) polohu a velikost obrazu šipky, vytvořeného první plochou,  
(b) polohu a velikost obrazu šipky, vytvořeného oběma povrchy.  
Určete vždy, zda se jedná o skutečný nebo zdánlivý obraz.

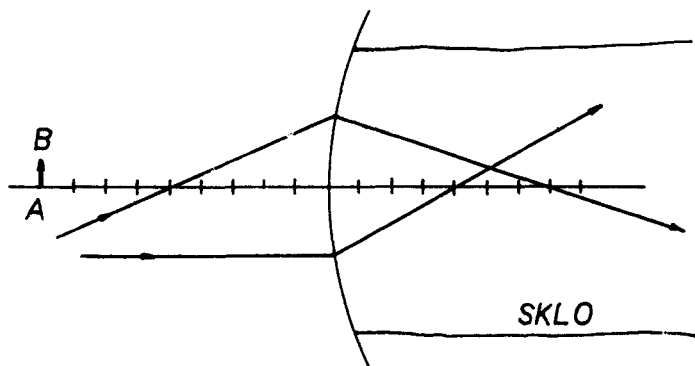


Obr. 60.

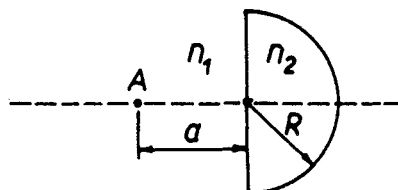
367. Určete polohu ohnisek soustavy v příkladu 366 a znázorněte na obrázku.
368. Skleněná tyč o indexu lomu 1,5 je na obou koncích zbroušena do polokulovitého tvaru s poloměry 5 cm. Umístíme-li na osu tyče ve vzdálenosti 20 cm od jednoho jejího konce malý předmět, vznikne obraz ve vzdálenosti 40 cm od druhého konce tyče. Určete délku této tyče.
369. Úzký svazek rovnoběžných paprsků vstupuje do plné skleněné koule v radiálním směru. Poloměr koule je 30 mm a index lomu skla 1,50.  
(a) Ve kterém bodě vně koule se paprsky protnou?  
(b) Jaký by musel být index lomu skla koule, aby se paprsky protínaly ve vrcholu druhé plochy?
370. Do jaké vzdálenosti před skleněnou kulovou plochou o poloměru křivosti  $r_0$  je třeba umístit předmět, aby jeho obraz byl za kulovým rozhraním stejně daleko, jako je předmět před ním?
371. Na obr. 61 je patrný chod dvou paprsků lámavou kulovou plochou, tvořenou rozhraním vzduchu a skla. Určete polohy ohnisek soustavy, polohu středu kulové plochy a index lomu skla. Najděte obraz úsečky AB. Kde leží hlavní body a uzlové body soustavy? (Proveďte graficky i výpočtem.)
372. Prostředí ve tvaru polokoule o poloměru  $R$  a indexu lomu  $n_2$  je ponořeno do kapaliny o indexu lomu  $n_1$ , jak je patrné z obr. 62. Předmět se nachází ve vzdálenosti  $a$  od středu polokoule na její

ose. Ukažte, že v případě, že se obraz nachází ve vzdálenosti  $b$  od středu polokoule, platí vztah

$$\frac{n_1^2}{a} + \frac{n_2^2}{b} = \frac{n_2 (n_2 - n_1)}{R}$$



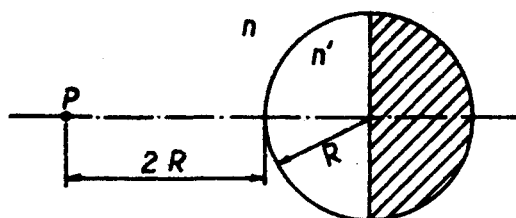
Obr. 61.



Obr. 62.

373. Průhledné prostředí je omezeno konkávním kulovým povrchem o poloměru křivosti 60 cm. Jeho index lomu je 1,5. Určete ohniskovou vzdálenost. Najděte polohu obrazu a zvětšení, je-li předmět ve vzdálenosti (a) 2,40 m, (b) 1,60 m, (c) 0,60 m od povrchu. Opakujte řešení tohoto problému, je-li uvažovaný povrch konvexní.
374. Dvě různá homogenní prostředí mají indexy lomu  $n_1$  a  $n_2$  ( $n_1 < n_2$ ) a jsou oddělena kulovou plochou o poloměru  $r$ . Střed křivosti  $S$  kulového rozhraní leží v druhém prostředí.
- Stanovte ohniskovou vzdálenost  $f$  pro přechod osových světelných paprsků z prostředí o indexu lomu  $n_1$  do druhého prostředí.
  - Vyšetřete kdy platí  $f = 2r$ .
  - Na milimetrovém papíře narysujte graf závislosti  $\frac{f}{r}$  na relativním indexu lomu v mezích  $1,0 \leq \frac{n_2}{n_1} \leq 2,5$ .
375. Plná skleněná koule o poloměru  $R$  a indexu lomu  $n = 1,50$  má polovinu svého povrchu postříbřenou (obr. 63). Malý předmět je umístěn na ose koule ve vzdálenosti  $2R$  od vrcholu nepostříbřené polokoule. Najděte polohu obrazu vytvořeného touto optickou soustavou.
376. Skleněná tyč s indexem lomu  $n = 1,5$  je na obou koncích ohraničena kulovými plochami o poloměru  $r_0$ . Délka tyče je  $3r_0$ . Vypočtete, v jaké vzdálenosti od vrcholu zadní kulové plochy vznikne obraz

bodového zdroje, nacházejícího se na optické ose ve vzdálenosti  $r_0$  před přední kulovou plochou.



Obr. 63.

377. Skleněná válcová nádoba s rovinným dnem je částečně naplněná vodou a rotuje okolo své osy, která je svislá, s frekvencí  $\nu$ . Relativní index lomu pro přechod světelných paprsků ze vzduchu do vody je  $n$ . Vypočítejte ohniskovou vzdálenost čočky, která se při rotaci nádoby vytvoří z vody. Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $n = 1,33$ ,  $\nu = 8,33 \text{ s}^{-1}$ ,  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ .
378. Zdroj je zafixován ve vzdálenosti  $L$  od stínítka. Vypočtete, do jaké vzdálenosti od zdroje je třeba umístit tenkou spojkou s ohniskovou vzdáleností  $f$ , aby se na stínítku vytvořil reálný obraz zdroje. Najděte podmínku, kdy je úloha řešitelná.
379. Tenká ploskodutá čočka je ponořená ve vodorovné poloze do vody dutou stranou dolů tak, že prostor pod ní je vyplněn vzduchem. Celková optická mohutnost této soustavy je  $-2,6$  dioptrií. Určete poloměr křivosti čočky.
380. Dokažte, že nejmenší vzdálenost mezi předmětem a jemu příslušejícím obrazem, vytvořeným spojkou o ohniskové vzdálenosti  $f$ , je rovna  $4f$ .
381. Bodový zdroj světla umístěný na optické ose spojky, se přibližuje k čočce stálou rychlostí  $v_1$ . Jakou rychlostí se přitom bude pohybovat jeho obraz?
382. Bikonkávní tenká čočka je omezena kulovými plochami o poloměrech 40 cm (přední) a 50 cm (zadní) a její index lomu je 1,75.  
(a) Najděte její ohniskovou vzdálenost.  
(b) Výpočtem i graficky najděte polohu a velikost 1 cm předmětu, nacházejícího se ve vzdálenosti  $2f$ ,  $f$  a  $\frac{f}{2}$  nalevo od vrcholu čočky a ve vzdálenosti  $\frac{f}{2}$  napravo od vrcholu čočky.

383. Odvoďte výraz pro prvou a druhou ohniskovou vzdálenost tenké čočky o indexu lomu  $n_2$ , která má po své levé straně prostředí o indexu lomu  $n_1$  a po své pravé straně prostředí o indexu lomu  $n_3$ .
384. Jaká je ohnisková vzdálenost tenké spojky a jaké zvětšení poskytuje, když předmět vzdálený od ní 20 cm se zobrazí za čočkou ve vzdálenosti 35 cm?
385. Spojka o ohniskové vzdálenosti 42 cm dává 3x zvětšený zdánlivý obraz předmětu. Najděte polohu předmětu a jeho obrazu.
386. Tenká dvojbypuklá čočka optické mohutnosti  $D$  vytvoří obraz se zvětšením  $m$ . Vypočtete v jaké vzdálenosti od ní má být předmět a kde se vytvoří jeho obraz.
387. Paprsky, které se sbíhají do bodu  $P$  jsou zachyceny rozptylkou ještě dříve, než do tohoto bodu dojdou. Najděte polohu obrazu, když rozptylka je ve vzdálenosti 0,9 m před bodem  $P$ . Její optická mohutnost je  $-\frac{5}{3}$  dioptrie.
388. Skleněná plankonvexní čočka o poloměru křivosti 14 cm vytvoří obraz předmětu ve vzdálenosti o 105 cm menší, než je vzdálenost předmětu od čočky. Jaká je tato vzdálenost předmětu od čočky?
389. Tenká skleněná dvojbypuklá čočka vytvoří obraz předmětu ve vzdálenosti 10 cm od čočky. Když ponoříme předmět i čočku do vody aniž bychom měnili jejich vzájemnou vzdálenost, vytvoří se obraz ve vzdálenosti 60 cm od čočky. Jaká je ohnisková vzdálenost čočky ve vzduchu?
390. Spojka vytvoří obraz svítícího zdroje na stínítku ve vzdálenosti 1 metru od zdroje. Když čočku posuneme o 20 cm blíže ke stínítku do jiné polohy (při zafixované poloze zdroje a stínítka), vznikne na stínítku znovu obraz zdroje. Jaká je ohnisková vzdálenost čočky?
391. Spojka zobrazí předmět na stínítku tak, že výška obrazu je 9 cm. Když pohybuje čočkou ke stínítku aniž bychom měnili polohu předmětu a stínítka, vznikne znovu ostrý obraz předmětu tak, že jeho výška je 4 cm. Vypočtete skutečnou výšku předmětu.
392. Svítící předmět a stínítko jsou postaveny kolmo k optické ose tenké spojné čočky a jsou od sebe vzdáleny o délku  $L$ . Posunujeme-li čočkou po optické ose v prostoru mezi předmětem a stínítkem,



vytvoří se na stínítku ostrý obraz předmětu ve dvou polohách čočky.

- (a) Jakou velikost má poměr  $\frac{l}{f}$ , kde  $f$  značí ohniskovou vzdálenost čočky? Jaký je vztah mezi těmito polohami čočky a vzdáleností předmětu od stínítka?
- (b) Dokažte, že v každé z těchto poloh je vzdálenost čočky od předmětu rovna vzdálenosti čočky od stínítka v druhé poloze.
- (c) Jakou velikost by měl poměr  $\frac{l}{f}$ , kdyby
- (ca) existovala jen jedna poloha,
- (cb) neexistovala žádná poloha čočky, při které by se vytvořil na stínítku reálný obraz?
- (d) Dokažte, že v případě (a) je velikost předmětu geometrickým průměrem velikostí obou obrazů.

393. Předmět o výšce  $y$  je umístěn mezi rovinným zrcadlem a předmětovým ohniskem tenké spojné čočky. Vzdálenost spojky od zrcadla je  $v$ , její ohnisková vzdálenost je  $f$ .

- (a) Proč se za spojkou vytvoří dva skutečné obrazy?
- (b) Jak velkou vzdálenost  $x$  od čočky musí mít předmět výšky  $y$ , aby větší z obrazů měl trojnásobnou velikost než menší z nich? Správnost výsledku ověřte výpočtem poměru velikostí obou obrazů a konstrukcí. Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $v = 16$  cm,  $f = 6$  cm,  $y = 5,5$  cm.

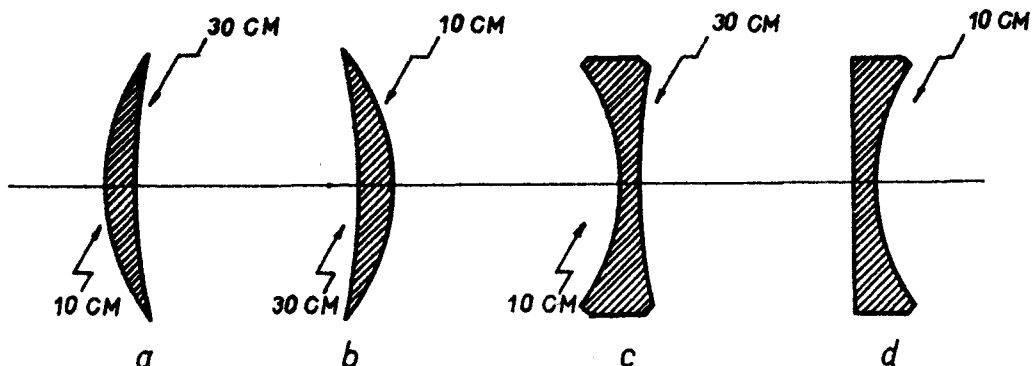
394. Tenká ploskovypuklá čočka má průměr  $2R$ , poloměr křivosti  $r$  a index lomu  $n_0$ . Je postavena tak, že po její levé straně je vzduch ( $n_1 = 1$ ) a po její pravé straně průhledné prostředí, jehož index lomu je  $n_2 \neq 1$ . Konvexní strana čočky hraničí se vzduchem. Ve vzduchu ve vzdálenosti  $x$  od čočky (měřeno na hlavní optické ose) se nachází bodový monochromatický zdroj světla. Dokažte, že v Gaussově prostoru mezi polohou obrazu určenou vzdáleností  $x'$  od čočky a polohou světelného zdroje platí vztah  $\frac{f}{x} + \frac{f}{x'} = 1$ , kde  $f$  je předmětová (ve vzduchu) a  $f'$  obrazová (v prostředí s indexem lomu  $n_2$ ) ohnisková vzdálenost.

395. Čočka zobrazí předmět na stínítku, vzdáleném 12 cm od ní. Když se čočka posune o 2 cm od předmětu, je třeba k získání ostrého obrazu posunout stínítko o 2 cm blíže k předmětu. Jaká je ohnisková vzdálenost čočky?

396. Nakreslete všechny možné čočky, které lze získat kombinováním dvou kulových povrchů s absolutními hodnotami poloměrů křivosti 10 a 20 cm. Které z nich jsou spojky a které rozptylky? Vypočtete

pro každý případ ohniskovou vzdálenost. Index lomu skla předpokládejte roven 1,5.

397. Ukažte, že pro kulovou čočku platí vztah  $q_1 q_2 = f^2$ , kde  $q_1$  je vzdálenost předmětu od prvního ohniska a  $q_2$  je vzdálenost obrazu od obrazového ohniska. Vyjděte z čočkové rovnice.
398. Vyneste graficky závislost polohy předmětu na poloze obrazu pro (a) kulové zrcadlo, (b) spojnou čočku. Provéřte, že v obou případech dostáváme rovnosou hyperbolu. Vyneste rovněž pro oba případy zvětšení jako funkci polohy obrazu.
399. Předmět o výšce 1 cm je umístěn ve vzdálenosti 5 cm od rozptylky (dvojduté čočky), jejíž ohnisková vzdálenost je 10 cm.
- (a) Je obraz předmětu skutečný nebo neskutečný?
  - (b) Je obraz předmětu vzpřímený nebo převrácený?
  - (c) Jak daleko od čočky se obraz nachází?
  - (d) Jak velký je vzniklý obraz?
400. Máme k dispozici jednu spojnou čočku a jednu rozptylku, ohnisková vzdálenost každé čočky je 15 cm. Tyto čočky použijeme k zobrazení nějakého předmětu, např. plamene svíčky.
- (a) Vytvoří spojka skutečný obraz předmětu třikrát zvětšený?
  - (b) Vytvoří rozptylka skutečný obraz předmětu o velikosti třikrát menší, než je předmět?
- Jestliže ano, jak daleko od čočky musíme předmět umístit?
401. Předmět se nachází ve vzdálenosti 5 cm od spojně dvojevypuklé čočky, jejíž ohnisková vzdálenost je 10 cm.
- (a) Je obraz předmětu skutečný nebo neskutečný?
  - (b) Je obraz vzpřímený nebo převrácený?
  - (c) Jak daleko od čočky se obraz nachází?
402. Na obr. 64 jsou znázorněny různé typy tenkých čoček spolu s poloměry křivosti jejich lámavých ploch. Vypočtete ohniskovou délku každé čočky. Index lomu skla položte roven 1,67.
403. Předmět se nachází 10 cm před tenkou čočkou o ohniskové vzdálenosti 30 cm.
- (a) Najděte polohu obrazu výpočtem a konstrukcí.
  - (b) Vypočtete příčné zvětšení a zjistěte, zda je obraz skutečný nebo neskutečný, převrácený nebo vzpřímený.



Obr. 64.

404. Tenká čočka o indexu lomu  $n$  a poloměrech křivosti lámavých ploch  $R_1$  a  $R_2$  leží na rozhraní dvou prostředí s indexy lomu  $n_1$  a  $n_2$ . Označíme-li  $s_1$  a  $s_2$  vzdálenosti předmětu a jeho obrazu od čočky a  $f_1$  a  $f_2$  odpovídající ohniskové vzdálenosti, ukažte, že platí vztah
- $$\frac{f_1}{s_1} + \frac{f_2}{s_2} = 1.$$

405. Dvojevypuklá čočka o indexu lomu 1,5 má poloměry omezujících kulových ploch rovny 0,20 a 0,30 m. Najděte její ohniskovou vzdálenost. Určete polohu obrazu a zvětšení, nachází-li se předmět ve vzdálenosti od čočky (a) 0,80 m, (b) 0,48 m, (c) 0,40 m, (d) 0,24 m, (e) 0,20 m. Uvažte rovněž případ virtuálního předmětu ve vzdálenosti 0,20 m za čočkou.

406. Dvojkonkávní čočka o indexu lomu 1,5 má poloměry omezujících kulových ploch rovny 20 a 30 cm.

(a) Najděte její ohniskovou vzdálenost.

(b) Určete polohu obrazu a zvětšení, je-li předmět ve vzdálenosti 0,20 m od čočky.

Uvažte rovněž virtuální předmět ve vzdálenosti

(c) 0,40 m od čočky,

(d) 0,20 m od čočky.

407. Spojka má ohniskovou vzdálenost 0,60 m. Najděte polohu předmětu, jehož obraz je

(a) skutečný a třikrát zvětšený,

(b) skutečný a třikrát zmenšený,

(c) zdánlivý, třikrát zvětšený.

408. Určete ohniskovou vzdálenost čočky a její typ, jestliže vytvoří obraz předmětu, vzdáleného 1,20 m od ní
- (a) reálný ve vzdálenosti 80 cm od čočky,
  - (b) zdánlivý ve vzdálenosti 3,20 m od čočky,
  - (c) zdánlivý ve vzdálenosti 0,60 m od čočky,
  - (d) reálný, dvakrát zvětšený.
409. Dvě tenké čočky s ohniskovými vzdálenostmi  $f_1$  a  $f_2$  jsou ve vzdálenosti  $D$  od sebe. Najděte ohniskovou vzdálenost této soustavy  $f$  a polohy hlavních rovin.
410. Dvě tenké čočky, jedna o ohniskové vzdálenosti  $f$  a druhá o ohniskové vzdálenosti  $-f$  jsou zafixovány ve vzdálenosti  $f$  od sebe.
- (a) Najděte polohu hlavních rovin a ohniskových rovin této soustavy.
  - (b) Nechť má druhá čočka ohniskovou vzdálenost  $\frac{f}{6}$  a obě čočky jsou ve vzdálenosti  $\frac{2f}{3}$ . Vypočtete totéž co v (a) i pro tento případ. Výpočty proveďte graficky.
411. Čočka o ohniskové vzdálenosti  $f_1$  vytvoří skutečný obraz vzdáleného předmětu, který prohlížíme zvětšovací sklem o ohniskové vzdálenosti  $f_2$ . Jaké bude úhlové zvětšení soustavy jestliže při pozorování máme oko zaostřeno na nekonečno?
412. Jestliže umístíme předmět do příslušné vzdálenosti od spojné čočky, vznikne na stínítku vzdáleném 20 cm od ní ostrý obraz. Nyní vložíme přesně do poloviny vzdálenosti mezi spojkou a stínítkem rozptylku. Aby v tomto případě vznikl na stínítku ostrý obraz předmětu, musíme stínítko přesunout o 20 cm dále. Jaká je ohnisková vzdálenost použité rozptylky? Nakreslete chod paprsků v obou případech.
413. Optická soustava je tvořena dvěma dotýkajícími se čočkami: jedna plankonkávní z flintového skla a druhá bikonvexní z korunového skla. Poloměr křivosti společné plochy je 0,20 m a poloměr křivosti druhé plochy čočky z korunového skla je 0,12 m. Najděte ohniskovou vzdálenost soustavy (index lomu flintového skla je 1,627 a korunového skla 1,517).
414. Okulár optického přístroje sestává ze dvou stejných spojek, každá o ohniskové vzdálenosti 5 cm, vzdálených 2,5 cm. Najděte polohu ohnisek soustavy.

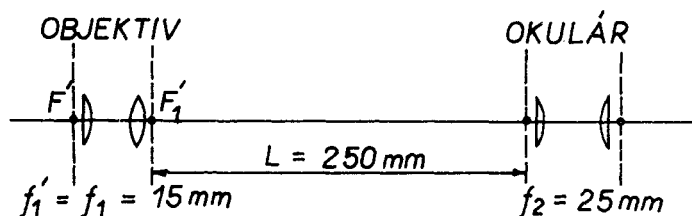
415. Soustava čoček je složena ze dvou spojek s ohniskovými vzdálenostmi 30 a 60 cm. Proveďte rozbor závislosti polohy průsečíku paprsku, dopadajícího na soustavu rovnoběžně s optickou osou, s optickou osou soustavy na vzdálenosti obou čoček. Uvažte případy, kdy je tato vzdálenost obou čoček rovna: (a) 20 cm, (b) 50 cm, (c) 90 cm, (d) 120 cm.
416. Centrovaná optická soustava se skládá ze dvou tenkých čoček s optickými mohutnostmi 2 a 5 dioptrií, vzdálených od sebe o 10 cm. Vypočítejte v jaké vzdálenosti od středu první čočky se nachází obrazové ohnisko popsané soustavy.
417. Dvě spojky s ohniskovými vzdálenostmi 3 a 4 cm jsou od sebe vzdáleny o 15 cm. Vypočtete, do jaké vzdálenosti před první čočku je třeba umístit předmět, aby tato optická soustava vytvořila zdánlivý obraz v konvenční vzdálenosti 25 cm od oka. První čočku považujte za objektiv, druhou za okulár, oko je přiloženo těsně k okuláru.
418. Tři tenké spojné čočky o ohniskové vzdálenosti  $f$  jsou umístěny ve stejných vzdálenostech za sebou na společné optické ose vodorovného směru. Předmět je umístěn vlevo od levé krajní čočky. Určete polohu výsledného obrazu, jeho velikost vzhledem k předmětu a další vlastnosti (skutečný - zdánlivý, vzhledem k předmětu přímý - převrácený) v těchto případech:
- (a) Vzdálenost předmětu od levé krajní čočky je  $2f$ , vzdálenost středů sousedních čoček je  $f$ .
- (b) Vzdálenost předmětu od levé krajní čočky je  $3f$ , vzdálenost středů sousedních čoček je  $\frac{3}{2}f$ .
- Předpokládáme, že všude v okolí čoček je stejné prostředí, např. vzduch. Řešte analyticky i graficky.
419. Dvě tenké spojné čočky o ohniskových vzdálenostech  $f_1$  a  $f_2$  mají společnou optickou osu. V předmětovém prostoru první čočky (o ohniskové vzdálenosti  $f_1$ ) je ve vzdálenosti  $a$  od jejího středu malá úsečka délky  $y$  kolmá k optické ose. Její obraz vytvořený prvou čočkou (první obraz) je skutečný, má velikost  $y_1$  a nachází se mezi první a druhou čočkou. Obraz  $y_2$  úsečky  $y_1$  vytvořený druhou čočkou (druhý obraz) je zdánlivý a má velikost  $y_2 = k y$  (kde  $k > 0$ ).
- (a) Vypočítejte vzdálenost  $d$  obou čoček nejprve obecně, potom pro hodnoty  $a = 50$  cm,  $f_1 = 30$  cm,  $f_2 = 40$  cm,  $k = 4$ .
- (b) Jaké hodnoty mohou mít veličiny  $a$  a  $k$  při daných neproměnných

hodnotách obou ohniskových vzdáleností, jestliže úloha má být možná?

(c) Konstrukcí se přesvědčte, že hodnota vypočítaná pro  $\underline{d}$  je správná.

420. Centrovaná optická soustava se skládá ze 4 tenkých čoček. První a třetí je rozptylka, druhá a čtvrtá je spojka. Vzdálenosti mezi čočkami jsou postupně  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ . Ohniskové vzdálenosti všech čoček mají stejnou absolutní hodnotu  $\underline{f}$ . Před první čočkou je na optické ose ve vzdálenosti  $a_1$  svítící bod. Určete polohu jeho obrazu. Úlohu řešte obecně a pak výpočtem pro hodnoty  $a_1 = 12,0$  cm,  $d_1 = 8,0$  cm,  $d_2 = 6,0$  cm,  $d_3 = 12,0$  cm,  $|f| = 6,0$  cm. Výpočet ověřte konstrukcí.
421. Teleobjektiv je složen ze spojky ( $f_1 = 30$  cm) a z rozptylky ( $f_2 = -10$  cm), vzdálenost mezi oběma čočkami je 27,5 cm. Kam musíme umístit fotografickou desku, chceme-li na ní ostře zobrazit předmět nacházející se ve vzdálenosti 10 m před první čočkou? Znázorněte graficky chod paprsků touto soustavou.
422. Objektiv mikroskopu má ohniskovou vzdálenost 4 mm. Obraz vytvořený tímto objektivem leží 180 mm od jeho obrazového ohniska. Ohnisková vzdálenost okuláru je 31,25 mm.
- (a) Jaké je zvětšení mikroskopu?
- (b) Neozbrojené oko může rozlišit dva body, pokud jejich vzdálenost není menší jak 0,1 mm. Jaká může být minimální vzdálenost dvou bodů, aby bylo možné je rozlišit pod tímto mikroskopem?
423. Ohnisková délka objektivu mikroskopu je 3 mm, jeho okuláru 3 cm a celková délka mikroskopu je 16 cm. Určete do jaké vzdálenosti před objektiv je třeba umístit předmět, aby bylo možné jeho obraz jasně pozorovat v konvenční vzdálenosti 25 cm?
424. Dané čočky se užívá k projekci diapozitivů na stínítko umístěné 48 m od čočky. Příčné zvětšení obrazu je  $m = 100$ . Jestliže posuneme stínítko o 2,5 m blíže k čočce, o jakou délku je nutno posunout diapozitiv (vzhledem k čočce), aby obraz na stínítku byl zase zaostřen?
425. Keplerův hvězdářský dalekohled má objektiv ohniskové vzdálenosti 42 cm a okulár ohniskové vzdálenosti 1,4 cm. Jak je dlouhý dalekohled a jaké je jeho úhlové zvětšení?

426. Fotografický teleobjektiv se skládá z tenké spojky o ohniskových vzdálenostech 200 mm a tenké rozptylky, jejíž ohniskové vzdálenosti jsou -200 mm. Čočky jsou od sebe ve vzdálenosti  $L = 100$  mm. Vypočtete ohniskové vzdálenosti teleobjektivu a polohu ohnisek a hlavních bodů.
427. Mikroskop je složen z částí, jejichž parametry jsou patrné z obr. 65.
- Najděte výslednou ohniskovou vzdálenost a polohu hlavních rovin dané soustavy.
  - Vyobrazený mikroskop se používá k získání reálného obrazu ve vzdálenosti 500 mm napravo od  $F_2$ . Jak daleko od  $F_1$  musí ležet předmět?
  - Jaké je výsledné příčné zvětšení pro situaci z případu (b)?
  - Najděte odpověď na otázky (b) a (c) pro případ, že získáváme zdánlivý obraz 250 mm nalevo od  $F_2'$ .



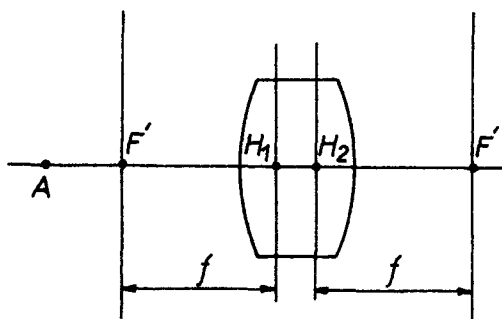
Obr. 65.

428. Jaké je zvětšení mikroskopu, jehož objektiv má ohniskovou vzdálenost 5 mm, okulár 20 mm a délka celého tubusu mikroskopu je 12 cm?
429. Objektiv fotografického aparátu má ohniskové vzdálenosti 120 mm. Jestliže se fotografuje velmi vzdálený předmět, je objektiv v takové poloze, že nejbližší bod jeho zadní plochy je od roviny filmu ve vzdálenosti 90 mm. O jakou délku a v jakém směru vzhledem k filmu je nutno posunout objektiv, aby bylo možno vyfotografovat malý předmět ve skutečné velikosti?
430. Průměr Měsíce je 2500 km a jeho vzdálenost od Země je 380 000 km. Najděte úhlový průměr obrazu Měsíce, vytvořeného astronomickým dalekohledem jehož objektiv má ohniskovou vzdálenost 4 m a ohnisková vzdálenost jeho okuláru je 10 cm.

431. Dalekohled je zaostřený tak, že okem, akomodovaným na nekonečno, v něm vidíme ostrý obraz Měsíce. Ve vzdálenosti  $d$  od okuláru umístíme stínítko. Jak musíme posunout okulár, který má ohniskovou vzdálenost  $f$ , aby se ostrý obraz Měsíce objevil na stínítku?  
Úlohu řešte pro dalekohled:  
(a) hvězdářský (Keplerův)  
(b) terestrický (Galileův).  
Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $f = 2,00$  cm,  $d = 16$  cm.
432. Ohniskové vzdálenosti lupy jsou 125 mm.  
(a) Jaké je její zvětšení, jestliže obraz vznikne v nekonečnu?  
(b) Jaké je zvětšení lupy, jestliže obraz vznikne 25 cm před okem?
433. Lupa s ohniskovou vzdáleností 5 cm vytvoří obraz předmětu ve vzdálenosti 40 cm od lupy. Jaké zvětšení lupa poskytne, je-li oko od ní vzdáleno o 2 cm?
434. Předmět je pozorovaný lupou vzdálenou 2 cm od oka. Vypočtete ohniskovou vzdálenost lupy, když se při šestinásobném zvětšení vytvoří obraz 30 cm od ní.
435. Ohnisková mohutnost lupy je 10 dioptrií. Vypočtete, do jaké vzdálenosti od lupy je třeba umístit předmět, aby jeho obraz zřetelně viděl pozorovatel s okem těsně k lupě přiloženým. Konvenční zra-  
ková vzdálenost je 25 cm. Jaké zvětšení lupa poskytuje?
436. Optická mohutnost skleněné dvojbypuklé čočky je ve vzduchu 12 dioptrií. Jaká bude její mohutnost ve vodě?
437. Skleněná koule o poloměru  $R$  a indexu lomu  $n = 1,50$  slouží jako tlustá čočka. Najděte polohu jejích ohnisek, vypočtete její ohniskové vzdálenosti a určete polohu jejích hlavních bodů.
438. Zjistěte tloušťku skleněné dvojbypuklé čočky, která se ve vzduchu chová jako rozptylka. Poloměry kulových ploch ohraničujících čočku, jsou rovny 1 cm.
439. Skleněná dvojbvydutá tlustá čočka má poloměry křivosti obou svých ploch rovny 10 cm a tloušťku 5 cm. Vypočtete její ohniskovou vzdálenost, polohu jejích hlavních rovin a určete polohu obrazu předmětu, který je ve vzdálenosti 20 cm od předního vrcholu čočky.

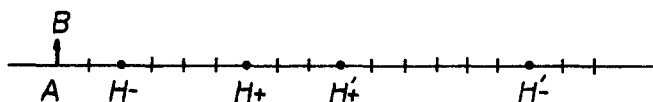


440. Určete polohy ohnisek a hlavních rovin dvojevypuklé tlusté čočky a zakreslete je spolu s čočkou v měřítku do obrázku. Parametry čočky jsou:  $n = 1,50$ ,  $d = 2,00$  cm,  $r_1 = 10,00$  cm,  $r_2 = -4,00$  cm.
441. Spojná čočka ze skla s indexem lomu  $1,50$  má poloměry kulových ploch  $r_1 = 10$  cm a  $r_2 = -4$  cm a tloušťku  $d = 2$  cm. Průměr obruby čočky je 3 cm. Určete průměr Airyho skvrny při zobrazení nekonečně vzdáleného zdroje s vlnovou délkou  $6000 \text{ \AA}$ .
442. Najděte ohniskovou délku, polohu ohnisek a hlavních bodů jednoduché dvojevypuklé čočky. Její index lomu je roven  $1,50$ , osová tloušťka je 25 mm, poloměr předního povrchu je 22 mm a zadního povrchu je 16 mm.
443. Na obr. 66 je zadána tlustá čočka svými hlavními body  $H_1$  a  $H_2$  a ohnisky  $F$  a  $F'$ . Najděte graficky obraz svítícího bodu  $A$ , vytvořený touto čočkou.



Obr. 66.

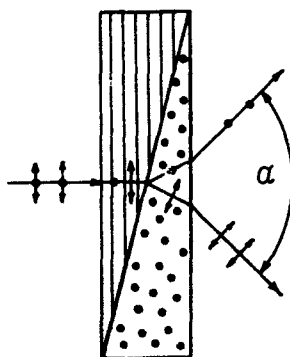
444. Optická soustava je na obr. 67 určena pomocí svých hlavních bodů. Kde leží obraz jednotkové úsečky  $AB$ ? Výpočet ověřte konstrukcí.



Obr. 67.

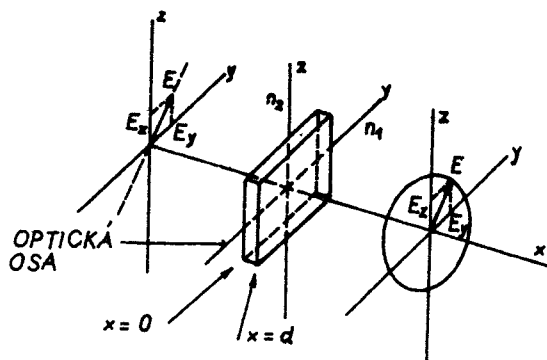
445. Vyjasněte, za jakých podmínek nezávisí ohnisková vzdálenost tlusté čočky na její tloušťce?

446. Svazek světla ze sodíkové výbojky dopadá kolmo na křemennou destičku, jejíž optická osa je na paprsek kolmá. Vypočtete vlnovou délku řádného a mimořádného paprsku a jejich frekvence. Sodíková výbojka vyzařuje světlo o vlnové délce 589,3 nm.
447. Na tenkou planparalelní monokrystalickou vrstvu z dusičnanu sodného dopadá kolmo paprsek lineárně polarizovaného žlutého sodíkového světla. Povrch vrstvy je rovnoběžný s optickou osou. Určete tloušťku vrstvy tak, aby vycházející světlo bylo kruhově polarizované. Jaký úhel musí svírat kmitosměr dopadajícího světla s optickou osou krystalu, aby bylo prošlé světlo polarizované kruhově?
448. Vypočtete úhel, který vystupující řádný a mimořádný paprsek svírá po průchodu Wollastonovým hranolem. Hranol je zhotoven z islandského vápence a jeho klínová vrstva (obr. 68) svírá úhel  $15^\circ$ .



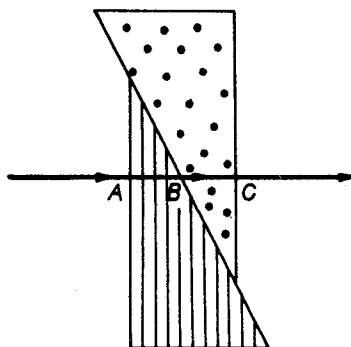
Obr. 68.

449. Svazek rovnoběžných paprsků žlutého světla dopadá na destičku islandského vápence pod úhlem  $50^\circ$ . Destička je vyříznuta tak, že optická osa je rovnoběžná s jejím povrchem a kolmá k rovině dopadu. Najděte úhlovou vzdálenost obou vystupujících paprsků.
450. Hranol s lámavým úhlem  $60^\circ$  je zhotovený z jednoosého dvojlomného krystalu a zaručuje minimální deviace řádného paprsku  $46^\circ$  a mimořádného paprsku  $40^\circ$ . Určete indexy lomu pro oba paprsky.
451. Rovnoběžný svazek lineárně polarizovaného světla o vlnové délce 590 nm (ve vakuu) dopadá na krystal islandského vápence. Najděte vlnové délky řádného a mimořádného paprsku v krystalu a příslušné frekvence.



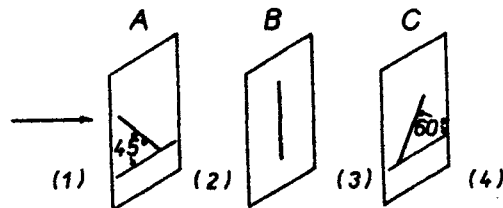
Obr. 69.

452. Najděte tloušťku destičky islandského vápence, která je potřeba k získání fázového rozdílu (a)  $\frac{\lambda}{4}$ , (b)  $\frac{\lambda}{2}$ , (c)  $\lambda$ , mezi řádným a mimořádným paprskem o vlnové délce 589,3 nm.
453. Jak bude polarizována světelná vlna po průchodu čtvrtvlnou destičkou, jestliže elektrický vektor dopadající lineárně polarizované vlny svírá s optickou osou destičky úhel  $30^\circ$ ?
454. Babinetův kompensátor (obr. 70) sestává ze dvou křemenných klínů, které mohou být vzájemně posouvány podél stěny dotyku. Klíny jsou vyřezány tak, že jejich optické osy jsou navzájem kolmé a proto řádný paprsek v jednom klínu je mimořádným paprskem ve druhém klínu. Ukažte, že pro každý paprsek je fázový rozdíl způsobený průchodem přes kompensátor roven  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_1 - n_2)(e - e')$ , kde  $e = \overline{AB}$  a  $e' = \overline{BC}$ . Proto při posouvání jednoho klínu po povrchu druhého můžeme tento fázový rozdíl plynule měnit.



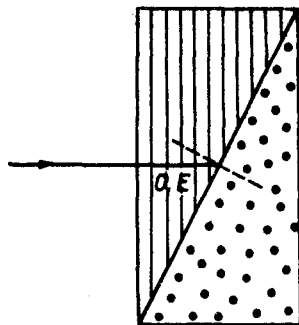
Obr. 70.

455. Elipticky polarizovaný světelný svazek, daný vztahem  $\vec{E}(z, t) = \vec{i} E_0 \sin(kz - \omega t) + \vec{j} E_0 \sin(kz - \omega t + \frac{\pi}{4})$  dopadá kolmo na ideální polarizátor, jehož propustný směr svírá úhel  $45^\circ$  s osou  $x$ . Napište výraz pro vystupující svazek a popište jeho polarizační stav.
456. Polarizátor a analyzátor jsou orientovány tak, že prochází maximální intenzita světla. Jaká část této intenzity je v proslém světle, jestliže pootočíme analyzátor o úhel (a)  $30^\circ$ , (b)  $45^\circ$ , (c)  $60^\circ$ , (d)  $90^\circ$ , (e)  $120^\circ$ , (f)  $135^\circ$ , (g)  $150^\circ$ , (h)  $180^\circ$ ? Vyneste do grafu poměr  $I/I_{\max}$  pro vypočtené úhly pootočení analyzátoru.
457. Přirozené světlo dopadá na trojici polarizačních filtrů. Směr polarizace druhého filtru svírá se směrem polarizace prvního filtru úhel  $30^\circ$ , směr polarizace třetího filtru svírá se směrem polarizace druhého filtru úhel  $45^\circ$ . Vypočtete jaká část intenzity dopadajícího světla je trojicí filtrů propuštěna.
458. Na obr. 71 jsou polaroidové desky A a C s vyznačenými směry maximální propustnosti. B je destička z dvojlomného materiálu, jehož optická osa je svislá. Všechny tři desky jsou navzájem rovnoběžné. Nepolarizované světlo vstupuje zleva. Určete stav polarizace světelného paprsku v bodech 2, 3 a 4.



Obr. 71.

459. Na obr. 72 je znázorněn tzv. Wollastonův hranol, slepený ze dvou křemenných hranolů. Optická osa pravého hranolu leží v nákrešně. Dopadající paprsek, kolmý na povrch Wollastonova hranolu, dává vzniknout řádnému a mimořádnému paprsku, který se v levém hranolu šíří stejným směrem, ale s rozličnou rychlostí. Nakreslete, jak se řádný a mimořádný paprsek šíří v udaném hranolu a jak se šíří po průchodu oběma hranoly vzduchem.



Obr. 72.

460. Svazek bílého lineárně polarizovaného světla dopadá kolmo na křemennou destičku 0,865 mm tlustou, vyřezanou rovnoběžně s optickou osou. Rovina kmitů elektrického vektoru dopadajícího světla svírá úhel  $45^\circ$  s osou destičky. Zanedbáme-li změny rozdílu indexů lomu destičky s vlnovou délkou, určete:

- Která vlnová délka mezi 600 a 700 nm vychází z destičky lineárně polarizovaná?
- Která vlnová délka vychází kruhově polarizovaná?
- Předpokládejte, že paprsky vycházející z destičky procházejí ještě analyzátozem, jehož směr maximální propustnosti je kolmý k rovině kmitů dopadajícího světla. Které vlnové délky v prošlém světle chybějí?

461. Svazek světla prochází Nicolovým hranolem  $N_1$  a kyvetou, naplněnou prostředím rozptylujícím světlo. Tato kyveta je pozorována ve směru kolmém na optickou osu druhým Nicolovým hranolem  $N_2$ . Původně jsou oba hranoly nastaveny tak, aby v zorném poli pozorovatele byla maximální intenzita rozptýleného světla.

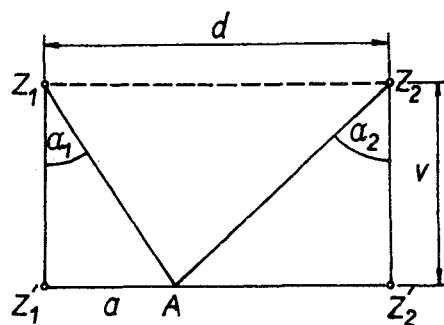
- Hranol  $N_2$  otočíme o  $90^\circ$ . Jak se změní zorné pole?
- Otočíme nyní i hranolem  $N_1$  o  $90^\circ$ . Je zorné pole v hranolu  $N_2$  otočeném podle bodu (a) světlé nebo tmavé?
- Vrátíme hranol  $N_2$  do jeho původní polohy. Je jeho zorné pole světlé nebo tmavé?

Doložte nákresem resp. výpočty.

462. Experimentálně bylo zjištěno, že každý gram cukru, rozpuštěný  $1 \text{ cm}^3$  vody, způsobí otočení roviny polarizace lineárně polarizované elektromagnetické vlny o  $+66,5^\circ$  na každý centimetr dráhy. Kyveta 30 cm dlouhá je naplněná cukerným roztokem s koncentrací 15 g cukru v  $100 \text{ cm}^3$  roztoku. Najděte úhel stočení lineárně polarizovaného světla po průchodu kyvetou.

463. Najděte obsah cukru ve válcové 30 cm dlouhé kyvetě o průřezu  $2 \text{ cm}^2$ , jestliže rovina polarizace prošlého světla byla stočena o  $39,7^\circ$ .
464. Optická aktivita cukrů může být užita při určování množství cukru ve vzorku moči. Jestliže uvážíme, že typický vzorek odebrané moči má objem  $100 \text{ cm}^3$ , bude kyveta 30 cm dlouhá dostačovat k nalezení přírůstku koncentrace cukru  $1 \text{ mg}$  na  $1 \text{ cm}^3$ ? Uvažte, že přesnost odečtu na polarimetrické stupnici je  $0,1^\circ$ .
465. Ideální polarizátor se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí  $\omega$  mezi dvojicí zkřížených ideálních polarizátorů. Ukažte, že vycházející intenzita světla bude mít tvar  $I = \frac{I_1}{8} (1 - \cos 4\omega t)$ , kde  $I_1$  je intenzita světla, propuštěná prvním polarizátorem. Jak se tento výraz změní, použijeme-li k vyjádření intenzitu dopadajícího přirozeného světla  $I_0$ ?
466. Světlo prochází řadou ideálních polarizátorů. Jejich roviny polarizace jsou orientovány přibližně stejným směrem, náhodné odchylky směru dvou sousedních rovin polarizace  $\varphi$  se podřizují Gaussovu rozložení  $B e^{-a\varphi^2}$ . Najděte střední koeficient zeslabení celé soustavy, připadající na jeden polarizátor, jestliže za jednotkovou intenzitu vezmeme světlo, prošlé prvním polarizátorem. Předpokládejte, že  $a \gg 1$ .
467. Kruhově polarizované světlo dopadá na soustavu tří polarizačních filtrů. Osy prvního a třetího jsou na sebe kolmé (polaroidy jsou zkříženy) a osy prvního a druhého svírají úhel  $\beta$ . Určete intenzitu prošlého světla.

468. Stůl je osvětlený dvěma žárovkami, umístěnými na stropě ve vzájemné vzdálenosti 1 metru, ve výšce 2 metry nad stolní deskou. Vypočtete, jaká bude intenzita osvětlení  
 (a) v bodech ležících pod zdroji světla,  
 (b) uprostřed mezi těmito body,  
 je-li svítivost každé ze žárovek 200 cd.
469. Uprostřed nad kruhovou stolní deskou o poloměru 1 metru je zavěšen zdroj světla. Vypočítejte, do jaké výšky jej musíme zavěsit, aby intenzita osvětlení okraje stolu byla největší.
470. Vypočtete osvětlení, které působí dva zdroje o svítivostech  $I_1$  a  $I_2$  v daném bodě A na spojnici jejich průmětů (obr. 75). Řešte nejprve obecně a pak pro  $I_1 = I_2 = 2000$  cd,  $d = 9$  m,  $v = 4,5$  m a  $a = 4,5$  m.



Obr. 75.

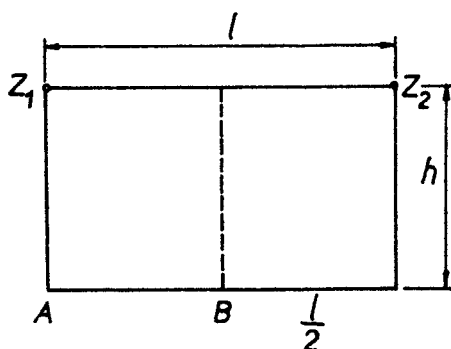
471. Zdroj o svítivosti 1800 cd osvětluje ze vzdálenosti 5 m sádrouvou desku o velikosti 30 x 30 cm ve směru  $30^\circ$  od normály k desce. Určete její osvětlení.
472. Stěna je osvětlená dvěma stejnými svíčkami, postavenými vedle sebe a vzdálenými od stěny právě 1 metr. Vypočítejte, o jakou vzdálenost musíme ke stěně přiblížit jednu ze svíček tak, aby osvětlení stěny bylo stejné, když zhasneme druhou svíci.

473. Pod stropem montážní haly jsou umístěna ve výšce  $h$  nad podlahou dvě osvětlovací tělesa, vzdálená od sebe o  $l$ . Jaké je osvětlení na podlaze v místě A a v místě B (obr. 76)?

(a) Jestliže světelný tok každého z obou zdrojů  $Z_1$  a  $Z_2$  je  $\phi$ .

(b) Jestliže světelný tok zdroje  $Z_1$  je  $\phi_1$  a světelný tok zdroje  $Z_2$  je  $\phi_2$ ?

Předpokládáme, že každý z obou zdrojů má ve všech směrech stejnou směrovou svítivost. Zanedbáváme vliv osvětlení stropu. Zdroje  $Z_1$  a  $Z_2$  považujte za bodové zdroje světla. Řešte nejprve obecně, potom pro hodnoty  $h = 4$  m,  $l = 3$  m,  $\phi = 250$  Dlm,  $\phi_1 = 300$  Dlm,  $\phi_2 = 200$  Dlm.



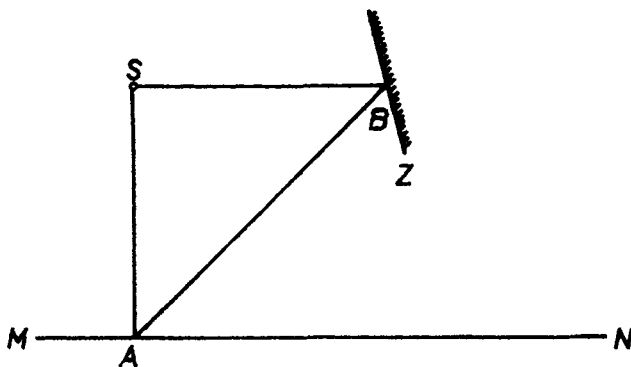
Obr. 76.

474. Dvě žárovky o svítivostech 79 cd a 250 cd jsou umístěny ve výšce 3 m kolmo nad stolem, jejich vzdálenost je 4 m. Jaké osvětlení je v místě ležícím svisle pod první žárovkou?
475. V místnosti tvaru krychle visí uprostřed stropu lampa. Jak vysoko nad podlahou musí být lampa zavěšena, aby osvětlení rohů místnosti bylo maximální? Plocha místnosti je  $25 \text{ m}^2$ . (Žárovku považujeme za bodový zdroj světla.)
476. Lampa u stropu dává v horizontálním směru svítivost 60 cd. Jaký světelný tok dopadá na obraz o ploše  $0,5 \text{ m}^2$ , visí-li vertikálně na stěně vzdálené 4 m od lampy, jestliže na protilehlé stěně je umístěno ve vzdálenosti 2 m od lampy veliké zrcadlo?
477. Ulice široká 20 m je osvětlena svítilnami o 500 cd zavěšenými ve výšce 4 m nad středem ulice. Vypočítejte jejich největší přípustnou vzdálenost, aby osvětlení dlažby nikde nekleslo pod 2 lx.
478. Plátno v kině má délku 5 m a výšku 4 m. Jak velké je osvětlení na plátně, když se žádá, aby osvětlení promítací stěny v lx bylo číselně 50 násobkem délky plátna? Jaký je světelný tok dopadající



na plochu plátna? Jaká musí být svítivost zdroje, když se počítá, že se ztrácí 48 % světelného toku při průchodu clonkami a okénkem v promítací kabině?

479. Počítáme-li, že maximální osvětlení zemského povrchu Sluncem je přibližně  $10^5$  lx, jaké osvětlení by Slunce asi vyvolalo za jinak stejných podmínek na povrchu planety Marsu, jehož střední vzdálenost od Slunce je 1,524 R, a na povrchu Venuše, jejíž střední vzdálenost od Slunce je 0,723 R (R značí poloměr zemské dráhy kolem Slunce)?
480. Žárovka o svítivosti 20 cd je na jednom konci fotometrické lavice 3 m dlouhé; na druhém konci je žárovka o neznámé svítivosti. Je-li fotometr ve vzdálenosti 2 m od standardní žárovky, určete svítivost žárovky ve směru fotometru.
481. Sál je 4,8 m vysoký, 9 m dlouhý a 6 m široký. V každém rohu je světelný zdroj o svítivosti 200 cd zavěšený na závěsu 120 cm dlouhém a 150 cm vzdáleném od obou stěn rohu. Vypočítejte přímé osvětlení stolu 90 cm vysokého, stojí-li ve středu sálu.
482. Bodový zdroj světla S osvětluje rovinu MN (obr. 77); jak se změní osvětlení v bodě A, ve kterém paprsek z bodu S dopadá na rovinu kolmo, postavíme-li ze strany ke zdroji zrcadlo Z tak, aby  $\overline{SB} = \overline{SA}$ .



Obr. 77.

483. Na spojnici dvou světelných zdrojů o svítivostech  $I_1$  a  $I_2$  a vzájemné vzdálenosti  $a$  určete místo, v němž je minimální osvětlení.
484. Bodový zdroj je zavěšen ve výši 120 cm nad stolem. Osvětlení stolu v bodě, jenž je patou kolmice spuštěné ze zdroje, je 100 luxů.

- (a) Určete osvětlení stolu v bodě, jenž je ve vzdálenosti 90 cm od prvního bodu.  
(b) V jaké vzdálenosti od prvního bodu je osvětlení 20 lx?

485. Zdroj o svítivosti 100 cd je 50 cm nad vodorovným stínítkem, opatřeným otvorem o poloměru 1 cm a umístěným přímo pod zdrojem. Světlo prochází tímto otvorem a dopadá na druhé vodorovné stínítko, jež je 50 cm vzdáleno od prvního.

- (a) Určete světelný tok, který dopadá na druhé stínítko.  
(b) Spodní strana prvního stínítka je osvětlena odraženým světlem od druhého stínítka. Vypočítejte osvětlení v bodě vzdáleném 50 cm od středu otvoru na spodní straně stínítka za předpokladu, že druhé stínítko je dokonalý rozptylovač o odrazivosti 0,8.

486. Duté zrcadlo má poloměr křivosti  $R$  a jeho kruhový okraj má průměr  $d$ . V ohnisku zrcadla je umístěný světelný zdroj o svítivosti  $I$ . Před zrcadlem ve vzdálenosti  $l$  ( $l > \frac{R}{2}$ ) od jeho vrcholu je rovinné stínítko kolmé na optickou osu zrcadla. Určete

- (a) osvětlení stínítka v bodě C na optické ose,  
(b) světelný tok odrážený zrcadlem.

Řešte nejprve obecně, potom část (a) pro hodnoty  $R = 1,0$ ,  $d = 0,20$  m,  $I = 50$  cd,  $l = 1,0$ . Ztráty při odrazu považujte za zanedbatelné.

487. Žárovka o svítivosti 200 cd osvětluje fotoelektrický článok o ploše  $12,5$  cm<sup>2</sup> ve vzdálenosti 90 cm.

- (a) Jaké je osvětlení článku?  
(b) Jaký je světelný tok jdoucí k článku?

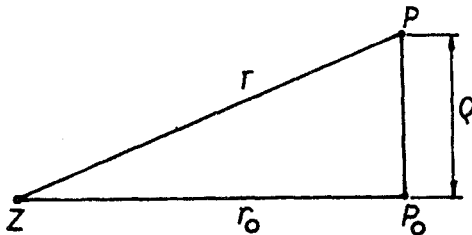
488. Jaké je osvětlení na podlaze uprostřed mezi dvěma lampami, z nichž každá má svítivost 2000 cd, je-li vzdálenost lamp 9 m a jejich výška nad podlahou 4,5 m?

489. Světelný zdroj o svítivosti 100 cd je 150 cm nad středem stolu kruhového tvaru poloměru 1 m. Jaké osvětlení je uprostřed stolu, jaké na okraji?

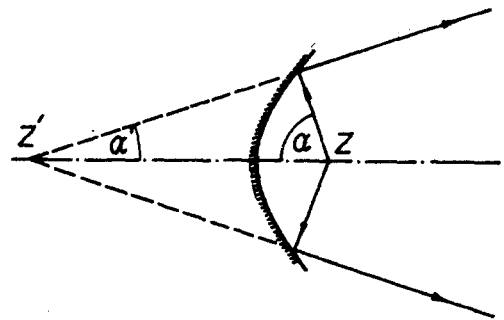
490. Světelný zdroj o svítivosti 50 cd vysílá světlo do přístroje, jehož vstupní otvor má průměr 30 mm a vzdálenost zdroje od otvoru je 5 m. Určete světelný tok, který do přístroje vniká.

491. Dvě lampy o svítivosti 50 cd a 9 cd jsou umístěny ve vzdálenostech 50 cm a 30 cm od fotometru na téže straně přístroje. V jaké vzdálenosti od fotometru musí být umístěna třetí lampa o svítivosti 27 cd, aby byly obě strany fotometru stejně osvětleny? V jaké vzdálenosti by musela být umístěna třetí lampa, kdyby čára spojující lampu s přístrojem měla sklon  $60^\circ$  ke kolmici?
492. Vypočítejte osvětlení na zemi uprostřed mezi dvěma pouličními svítilnami 91 m vzdálenými a 4,5 m vysokými, má-li každá lampa svítivost 400 cd.
493. Ve vzdálenosti 2 m od lampy je požadováno osvětlení 60 lx. Jaká musí být svítivost lampy? Má-li nejsilnější použitelná lampa polovinu žádané svítivosti, jak je nutno ji umístit, aby se dostalo požadované osvětlení 60 lx?
494. V jaké výšce by měla být umístěna žárovka v místnosti, jejíž stěny, strop a podlaha jsou začerněny, aby osvětlení bylo maximální v bodě 5 cm vzdáleném od bodu, kde kolmice ze zdroje na podlahu protíná podlahu? Jaký by byl úhel dopadu v tomto bodě?
495. Osvětlení plným světlem slunečním v poledne na povrchu Země je 100 000 lx. Kdyby Měsíc byl dokonale bílou koulí s dokonale matným povrchem, jaké by bylo osvětlení na povrchu Země při úplňku o půlnoci?
496. Žárovky 500 W o výkonnosti  $15 \text{ lm W}^{-1}$  je použito pro promítání diapozitivů. Je-li žárovka tak daleko od kondenzoru, že  $\frac{1}{10}$  světla jí vydaného dopadá na kondenzor a 10 % tohoto světla je propuštěno na plátno, kde se tvoří obraz 150 x 150 cm, určete osvětlení na plátně.
497. Světelný tok dopadající na kondenzor promítacího přístroje je 12 000 lm a průměrné osvětlení plátna  $1,7 \text{ m}^2$  je 54 lx. Stanovte část dopadajícího světla, propuštěného optickou soustavou.
498. V promítacím přístroji se používá žárovka, která vydává celkový světelný tok 4800 lumenů. Při promítání je obdélníkové promítací plátno o rozměrech 2 x 1,5 metrů rovnoměrně osvětlené tak, že intenzita jeho osvětlení je rovna 4 luxům. Jaká část světelného toku, vyslaného žárovkou, dopadne na projekční plátno?

499. Pomocí dvojbypuklé čočky vytvoříme na stínítku obraz Slunce. Čočka má průměr  $d = 9$  cm a ohniskovou vzdálenost  $f = 50$  cm. Jak veliký bude obraz Slunce, jeví-li se nám průměr Slunce pod zorným úhlem  $32'$ ? Kolikrát bude osvětlení obrazu větší než přímé sluneční osvětlení?
500. Jaký poloměr by měla kružnice, která odpovídá v rovině stínítka vrstevnici, kde je intenzita poloviční než ve středu této kružnice? Nakreslete graf závislosti intenzity ve středu kružnice v závislosti na vzdálenosti stínítka od bodového zdroje (obr. 78).



Obr. 78.



Obr. 79.

501. Parabolický reflektor odráží 50 % světla ze zdroje o svítivosti 5000 cd, umístěného v blízkosti ohniska, přičemž poloviční úhlový otvor reflektoru je roven  $60^\circ$  (obr. 79). Vypočítejte zvýšení svítivosti v případě, že reflektor osvětluje kruhovou plochu o průměru 6 m ve vzdálenosti 150 m. Určete osvětlení plochy.

Výsledky úloh a řešení

1.  $d/\lambda \approx 69$
2. 770 - 380 THz
3. (a) Zatmění se opozdí o 22 minut (b) Na základě celoročního pozorování určíme rozdíl největší a nejkratší doby oběhu pozorovaného měsíce. Tento rozdíl je roven době, kterou potřebují světelné paprsky k uražení dráhy rovné průměru orbity Země.
4.  $c = 2,95 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
5.  $\omega_{\min} = 75,78 \text{ s}^{-1}$
6.  $\omega_1 = 228,48 \text{ s}^{-1}$
7.  $c = 3,037 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
8. (a)  $E_1 = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $T_1 = 4,80 \cdot 10^4 \text{ K}$   
(b)  $E_2 = 1,99 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ ;  $T_2 = 2,88 \cdot 10^8 \text{ K}$
9.  $E = 33,15 \cdot 10^{-33} \text{ J} \approx 10^{-13} E_1$  (z předešlého příkladu)
10. (a)  $\lambda = 300 \text{ m}$  (b)  $\lambda = 3 \text{ m}$
11. (a)  $4,39 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ ;  $0,45 \cdot 10^{-14} \text{ m}$  - gama záření  
(b)  $6,0 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ ;  $3,31 \cdot 10^{-14} \text{ m}$  - gama záření
12.  $E_L : E_M = 1,58 \cdot 10^5$
13. Mikrovlny;  $E = 9,47 \cdot 10^{-25} \text{ J}$ ;  $\nu = 1,4 \text{ GHz}$
14.  $5 \cdot 10^{12}$ ;  $2,5 \cdot 10^{17}$ ;  $5 \cdot 10^{22}$
15.  $E = 3,37 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
16.  $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-25} \text{ m}$
17.  $\nu = 160 \text{ THz}$ ;  $\lambda = 1,875 \text{ }\mu\text{m}$ ; infračervená oblast
18.  $h = 3,38 \cdot 10^{-12} \text{ m}$  (průměr atomu je asi  $10^{-10} \text{ m}$ )
19.  $2,21 \cdot 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1}$
20. 10 kobylek/ $\text{m}^2 \text{ s}$
21.  $1,06 \cdot 10^{-6} \text{ J m}^{-3}$
22.  $3 \cdot 10^{24} \text{ fotonů/m}^2 \text{ s}$ ;  $10^{16} \text{ fotonů/m}^3$
23.  $2,765 \cdot 10^{20} \text{ fotonů/s}$

24. (a)  $2,08 \cdot 10^{16}$  fotonů/s (b)  $6,9 \cdot 10^{10}$  fotonů/m<sup>3</sup>  
 (c)  $7,5 \text{ W m}^{-2}$
25.  $6,0 \cdot 10^{13}$  fotonů/s
27.  $p = 10^{-4} \text{ kg m s}^{-1}$
28.  $t \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ s}$  ( $\approx 937$  roků)
29.  $\lambda = 112,9 \text{ nm}$
30. (a)  $5,75 \cdot 10^{-12} \text{ W}$  (b)  $1,74 \cdot 10^{11}$
31.  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ nm}$
32.  $2,8 \cdot 10^4$  fotonů/s
35. (a)  $u(y, t) = \frac{3}{2(y - 2t)^2 + 1}$
42. (a)  $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$  (b) 666 nm; červená (c) 450 THz  
 (d)  $2,2 \cdot 10^{-15} \text{ s}$  (e)  $10^3 \text{ V m}^{-1}$
45. -A; 0; A; 0; -A
46.  $u(x, t) = 2 \cdot 10^{-2} \sin(kx - \omega t + \frac{\pi}{6})$
47. (a)  $10^{-2} \text{ m}$  (b) 0,5 m (c) 100 Hz (d)  $50 \text{ m s}^{-1}$
50. (a) 0,117 m (b)  $\pi$
51.  $w = v^2(1 - 3b\lambda^2)/a$
52.  $v = \nu \sqrt{a} / \sqrt{\nu^2 - k^2}$
53. (a)  $v/2$  (b)  $3v/2$
54. (a)  $v = K\nu$  (b)  $(c/v)^2 = u^2 = 1 + (\lambda/u) \cdot \frac{du}{d\lambda}$   
 (c)  $v = \nu / \sqrt{\nu^2 - K^2}$
56.  $E_y = 0,04 \sin \varphi$ ;  $H_z = 1,06 \cdot 10^{-4} \sin \varphi$ ;  $S = 4,24 \cdot 10^{-6} \sin^2 \varphi$ ;  
 $\varphi = (3,14 \cdot 10^7 t - 0,105 x)$ ;  $\langle \vec{S} \rangle = 2,12 \cdot 10^{-6} \text{ W m}^{-2}$
57. (a)  $B = 3,33 \cdot 10^{-13} \sin(6,28 \cdot 10^{-2} x - 1,88 \cdot 10^7 t)$   
 (b)  $1,33 \cdot 10^{-15} \text{ W}$
58.  $E = -(r/2) \frac{dB}{dt}$
59.  $\vec{S} = \vec{i} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \left\{ A_y^2 \cos^2 \left[ \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) + \varphi_y \right] + A_z^2 \cos^2 \left[ \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) + \varphi_z \right] \right\}$   
 $\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (A_y^2 + A_z^2)$

60. (a) 3 m; vlna polarizovaná v rovině xy se šíří v kladném směru osy x (b)  $B = B_z = E_y/c$  (c)  $3,32 \cdot 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$
61.  $E_y = 8,68 \sin [4\pi \cdot 10^6(x - ct)]$ ;  
 $B_z = (8,68/c) \sin [4\pi \cdot 10^6(x - ct)]$
62.  $B_x = -2,05 \cdot 10^{-8} \sin 2\pi \cdot 10^{14} [6t - 1,41 \cdot 10^{-8}(x + y)]$ ;  
 $B_y = -B_x$ ;  $B_z = 0$ ;  
 $E_x = E_y = 0$ ;  
 $E_z = -8,68 \sin 2\pi \cdot 10^{14} [6t - 1,41 \cdot 10^{-8}(x + y)]$
63.  $H_o = 0,398 \text{ A m}^{-1}$ ;  $S_{\max} = 39,8 \text{ W m}^{-2}$ ;  $\langle S \rangle = 19,9 \text{ W m}^{-2}$
64.  $E_o = 1,027 \text{ kV m}^{-1}$ ;  $H_o = 2,73 \text{ A m}^{-1}$ ;  $B_o = 3,42 \cdot 10^{-6} \text{ T}$
65.  $E_o = 17,32 \text{ mV m}^{-1}$ ;  $B_o = 5,77 \cdot 10^{-11} \text{ T}$
66.  $B_o = 0,33 \cdot 10^{-7} \text{ T}$ ;  $P = 1,32 \text{ kW}$
67.  $v_{\min} = 2,069 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
68. Elipticky polarizovaná levotočivá vlna
69.  $\vec{E}(z, t) = E_o(0,886 \vec{i} + 0,5 \vec{j}) \cos(kz - \omega t + \alpha_o)$
70.  $\vec{E}(z, t) = E_o(-0,5 \vec{i} + 0,886 \vec{j}) \cos(kz - \omega t)$
71. Lineárně polarizovaná vlna s azimutem  $135^\circ$  šířící se ve směru osy x
72. Lineárně polarizovaná vlna
73.  $\vec{E} = 0,71 E_o(-\vec{i} + \vec{j}) \cos[\omega t - (x + y) \frac{\pi\sqrt{2}}{\lambda}]$
74. Kruhově polarizovaná vlna;  $E_1$  - levotočivá  $E_2$  - pravotočivá
75.  $\vec{E} = -E_o \vec{i} \cos(\omega t - kz) + E_o \vec{j} \sin(\omega t - kz)$
76. Obecně získáme elipsu, která pro  $\phi = 0$  a  $\phi = \pi$  přechází v úsečku
77. (a) Při fázovém posuvu  $0$ ;  $\pm\pi$ ;  $\pm 2\pi$ ; ... (b) Při fázovém posuvu  $\pm \frac{\pi}{2}$  a při splnění podmínky  $E_{ox} = E_{oy}$
79. (a) Pravotočivá kruhově polarizovaná vlna (b) Lineárně polarizovaná vlna, kmitová rovina ve druhém a čtvrtém kvadrantu (c) Pravotočivá elipticky polarizovaná vlna (d) Levotočivá elipticky polarizovaná vlna
80. (a)  $E_y = A [\cos(\omega t - kx) + \cos(\omega t - kz)]$ ;  $E_x = E_z = 0$   
 (b)  $H_z = A \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}} \cos(\omega t - kx)$ ;  $H_x = -A \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}} \cos(\omega t - kz)$ ;  
 $H_y = 0$

(c)  $w = \epsilon_0 E^2$  (d)  $S_x = E_y H_z; S_y = 0; S_z = -E_y H_x$

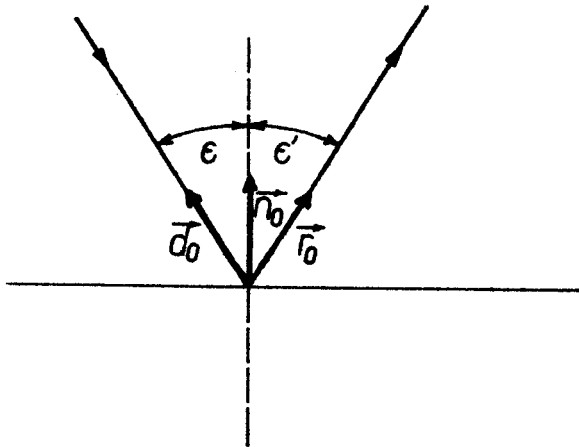
(e)  $\langle w \rangle = \epsilon_0 A^2 [1 + \cos k(x - z)]$

$\langle S \rangle = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} A^2 [1 + \cos k(x - z)]$

81. (a) Levotočivá elipticky polarizovaná vlna (b) Pravotočivá elipticky polarizovaná vlna (c) Pravotočivá elipticky polarizovaná vlna (d) Lineárně polarizovaná vlna, azimut  $63,5^\circ$
82. (a) Lineárně polarizovaná vlna, azimut  $315^\circ$  (b) Lineárně polarizovaná vlna, azimut  $135^\circ$  (c) Levotočivá elipticky polarizovaná vlna (d) Levotočivá kruhově polarizovaná vlna
83. (a)  $\vec{E}_0 = 0,71 E_0 (\sqrt{3} \vec{j} + \vec{k})$  (b)  $\vec{E}_0 = E_0 (\vec{i} - 2i \vec{k})$   
(c)  $\vec{E}_0 = E_0 \vec{k}$
84. Levotočivá kruhově polarizovaná vlna
85. (a)  $E_x = 0; E_y = E_z = E_0 \sin(kx - \omega t)$  (b)  $E_x = 0;$   
 $E_y = -0,5 E_0 \sin(kx - \omega t); E_z = 0,87 E_0 \sin(kx - \omega t)$   
(c)  $E_x = 0; E_y = E_0 \cos(kx - \omega t); E_z = E_0 \sin(kx - \omega t)$   
(d)  $E_x = 0; E_y = E_0 \cos(kx - \omega t); E_z = -E_0 \sin(kx - \omega t)$   
Ve všech případech  $B_x = 0; B_y = -E_z/c; B_z = E_y/c$
87. Levotočivá kruhově polarizovaná vlna, pravotočivou vlnu získáme např. změnou znaménka u  $\omega t$
89.  $\Delta \nu = 385 \text{ THz}; \Delta t = 2,597 \cdot 10^{-15} \text{ s}; \Delta l = 779 \text{ nm}$
90.  $10^{-9} \text{ s}; 0,3 \text{ m}; 1,82 \cdot 10^{-6}$
91.  $\Delta l = \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda_0}$
92.  $30 \text{ cm}; 0,012 \text{ \AA}$
93.  $0,0014 \text{ \AA}; 3 \text{ m}$
94.  $4,8 \cdot 10^{-2} \text{ s}; 14,4 \cdot 10^6 \text{ m}$
95.  $6,4 \text{ s}; 19,2 \cdot 10^8 \text{ m}$
97.  $a h \sin \alpha / (h \cos \alpha + 2a)$
100.  $628 \text{ m s}^{-1}$
101.  $90,23 \text{ m}$
102.  $22,5^\circ$



103. Řešíme s použitím vektorového vztahu pro odraz světla na rovinném rozhraní  $\vec{r}_0 = -\vec{d}_0 + 2(\vec{d}_0 \cdot \vec{n}_0) \vec{n}_0$  (obr. 89) - viz též příklad 107



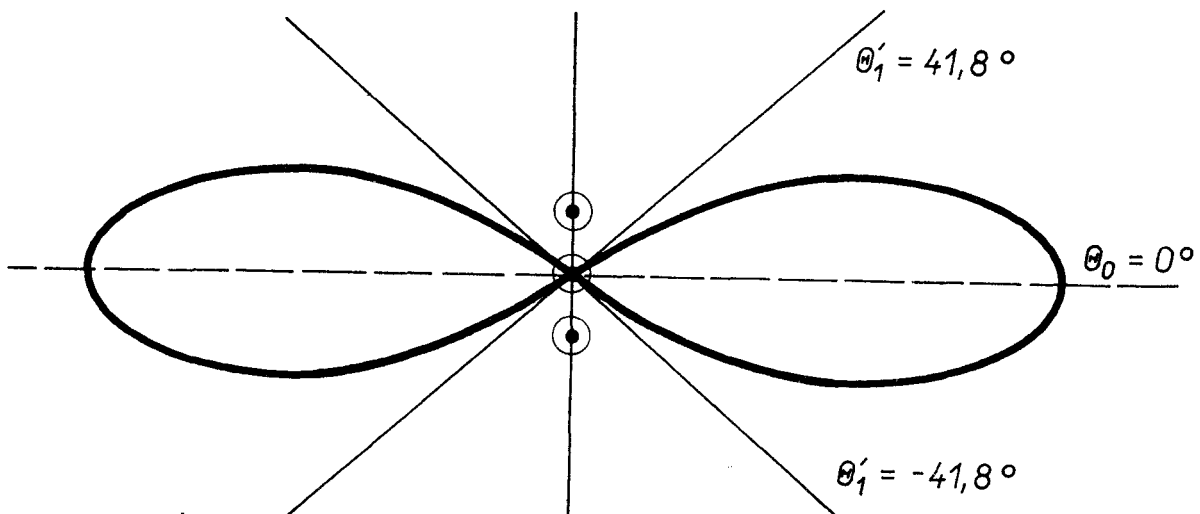
Obr. 89.

104.  $N$  je celé číslo;  $N \geq \frac{\pi}{\alpha} - \frac{1}{2}$
105.  $2\varphi$
106. 7 obrazů - tři jednoduché, tři dvojité a jeden trojnásobný odraz
107. Řešíme na základě zákona odrazu ve vektorovém tvaru:  
 $\vec{r}_0 = -\vec{d}_0 + 2(\vec{d}_0 \cdot \vec{n}_0) \vec{n}_0$  (viz obr. 89)
108. 2 mm
109. (a) Dráha KB svírá s přímkou AK úhel  $41,8^\circ$  (b) 63,1 s  
 (c) 63,2 s
114.  $79,1^\circ$
115. (a)  $34,85^\circ$  (b)  $4,85^\circ$
116. 4,8 cm
117. 10,25 mm
118.  $\varphi_{\max} = \arcsin \sqrt{n^2 - n \sqrt{n^2 - 1}}$
119. 2,87 cm
120. (a)  $26,3^\circ$ ;  $22,8^\circ$  (b) 1,374 cm
121. (a) 10,5 cm (b)  $4,5 \cdot 10^{-10}$  s
122. 8 mm
123. (a) 1,1 cm (b)  $\sin \alpha \leq (n_3/n_1)$ ;  $\sin \alpha < (n_2/n_1)$  - jinak nastává totální odraz (c) 2,2 cm
124. Světelné paprsky z půlválce vystoupí pro středový úhel  $\varphi$  splňující podmínku  $75^\circ \leq \varphi \leq 165^\circ$

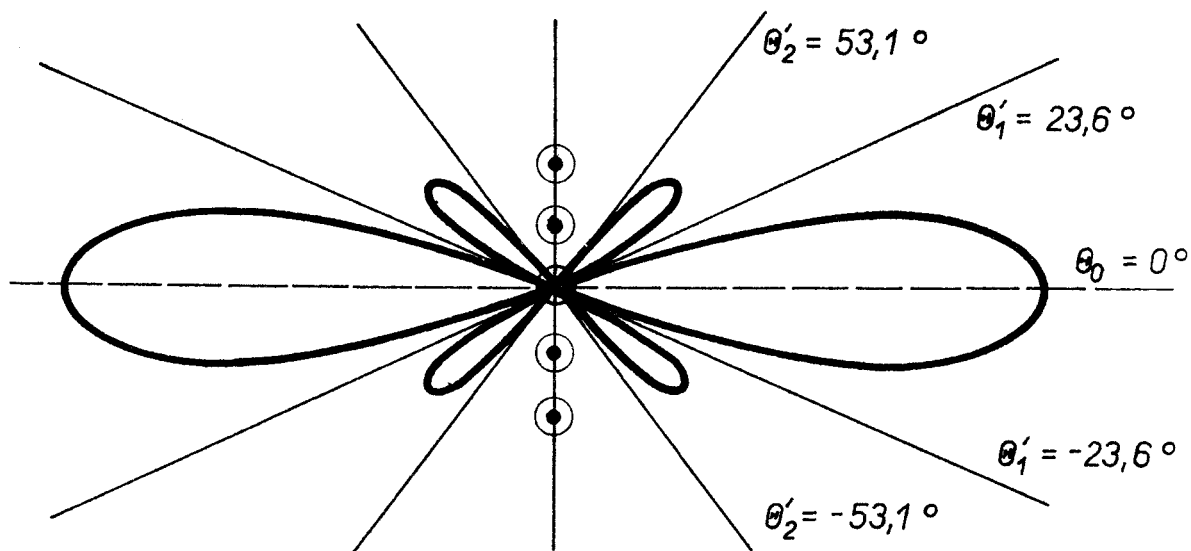
125.  $42,3^\circ$
126.  $114,67^\circ$
127. (a) 100 (b) 0,1 mm
128. 4,48 cm
129. 2,0 cm
130. 1,5 m pod hladinou
131.  $n = 1,5$
132. 90,71 cm
133.  $x = 2(h_1 + h_2/n) = 22$  cm
134. (a)  $x = h n_0 \sin \beta / \sqrt{n^2 - n_0^2 \cos^2 \beta}$
135. (a) Ano (b) Ne
136. (a) Celý prostor vidí uvnitř rotačního kužele s vrcholovým úhlem  $97,2^\circ$  (b) Poloměr průhledné části povrchu je 1,7 m
137. 0,6 m
138. 1,75 m
139. 1,8 m od paty kolmice
140. 85,1 mm
141.  $11,1^\circ$
142.  $41,47^\circ$
143. (a)  $38,5^\circ$  (b)  $37,2^\circ$  pro úhel dopadu  $48,6^\circ$
144.  $n = 1,52$ ;  $\varphi = 40^\circ$
145. (c)  $\gamma_m \geq \alpha/2$
146.  $\psi = 85,2^\circ$ ; paprsek dopadající kolmo hranolem neprojde;  
 $\psi' = 41,8^\circ$ ; při kolmém dopadu paprsek hranolem prochází
147.  $16,6^\circ$
148. Po totálním odrazu na přeponě prochází paprsek hranolem tak, že vyjde v bodě, který je 1,85 cm vzdálen od podstavy a pokračuje ve stejném směru jako paprsek dopadající
150.  $7,5^\circ$
151. Ano
152.  $n = \sqrt{1 + \sin^2 \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} / \sin \varphi$
153. (a)  $n = \sqrt{1 + \sin^2 \varphi_1}$  (b)  $n \leq \sqrt{2}$

154. 1,51
156. (a) asi 17 % (b)  $67,4^\circ$
157.  $41,85^\circ$
158.  $R \geq 11,36 D$
159. 0,57 mm
160. Platí
161. (b) 1,3
162.  $56,3^\circ$ ;  $33,7^\circ$
163.  $35,3^\circ$
164. (a)  $58^\circ$  (b)  $32^\circ$  (c)  $83,7^\circ$
165.  $48,6^\circ$  a  $53,1^\circ$ ;  $34,8^\circ$  a  $60,25^\circ$
167. (a)  $53,1^\circ$  (b)  $11,5^\circ$
168. Azimut odraženého světla je  $303^\circ$
169. Elipticky polarizované světlo
170. (a)  $36,9^\circ$  (b) V rovině kolmé k rovině dopadu
171.  $54,7^\circ$
172. (a)  $r_p = 0,092$ ;  $t_p = 0,728$  (b)  $r_s = -0,303$ ;  $t_s = 0,697$
175.  $\varphi = 1$ ;  $\delta_{rp} = 117^\circ$ ;  $\delta_{rs} = 136^\circ$
176. 0,095; Všechno světlo polarizované v rovině dopadu prochází
177. 0,979
178. Podmínka splněna pro úhly dopadu  $6,4^\circ$  a  $44,65^\circ$ ; Pravotočivá polarizace
179. 6,25 %
180. (a) 17,6 % (b) 0,336
181. (a)  $R = 0,2$ ;  $T = 0,8$  (b)  $R = -0,2$ ;  $T = 1,2$  (c) Fáze se změní v případě (b)
182. 0,976 pro p - složku a 1,001 pro s - složku
183.  $n_1/n_2 = 5,83$
186. 51,8 %
187. Neprojde 9,4 % v případě lepených čoček a 18 % v případě vzduchové mezery
188.  $n = 1,51$

189. (a)  $574,7 \text{ m s}^{-1}$  (b)  $33,6^\circ$  (c)  $1,25 \cdot 10^8 \text{ Hz}$   
191.  $n_{\text{min}} = 1,50$ ;  $\varphi_1 = 51,75^\circ$   
193.  $1,04 \text{ m}$   
194.  $3,125 \text{ mm}$   
195.  $480 \text{ nm}$  - modré světlo; interferenční maxima budou vzdálena o  $x' = 3 \text{ mm}$   
196.  $6,33 \text{ mm}$ ;  $0,4 \text{ m}$   
197. (a)  $0,65 \text{ mm}$  (b)  $1,625 \text{ mm}$  a  $3,25 \text{ mm}$   
198.  $2,0 \text{ mm}$  pro fialové světlo a  $3,5 \text{ mm}$  pro červené světlo  
200. Šířka interferenčních proužků v prostředí o indexu lomu  $n$  se zmenší, platí pro ni  $\xi = \frac{1}{n} \xi_0$  ( $\xi_0$  - šířka interferenčních proužků ve vzduchu)  
201.  $2,75 \mu\text{m}$   
202.  $641,7 \text{ nm}$   
203.  $6 \text{ km s}^{-1}$   
204. (a) Existuje jediné hlavní maximum pro  $\theta_0 = 0^\circ$  a jediné minimum pro  $\theta_1' = \pm 41,8^\circ$  (obr. 90) (b) Existuje jediné hlavní maximum pro  $\theta_0 = 0^\circ$ , dvě minima pro  $\theta_1' = \pm 23,6^\circ$  a  $\theta_2' = \pm 53,1^\circ$  a tedy i jedno vedlejší maximum mezi nimi (obr. 91)



Obr. 90.



Obr. 91.

205. (a)  $1,72^\circ$  (b)  $1,9 \cdot 10^{-3}$  rad ( $\approx 0,1^\circ$ )
206. Pro poloměr k-tého interferenčního proužku  $r_k = D \sqrt{\frac{a^2}{k^2 \lambda^2} - 1}$
207.  $a = \frac{L\lambda}{2d_0}$
208. (b)  $0,275$  mm (c) Ve vzdálenosti  $1,9$  cm (d)  $V = 0,2$
209.  $\xi = \frac{D\lambda}{2b(n - n') A}$  (b - vzdálenost štěrbin od dvojhranolku)
210.  $4,20$  mm
212.  $0,3$  mm
213. (a)  $2,89$  mm (b) Střed interferenčního jevu se potočí o  $5,4$  cm  
(c) Šířka proužků se zúží na polovinu
214.  $0,25$  mm
215.  $0,135$  mm
216.  $6,03^\circ$
217.  $N = D \frac{(n - 1)}{r\lambda} \delta$
219.  $1,40$  mm
220. (a)  $500$  nm (b)  $0,867$  mm
221.  $2,50$  mm

222.  $R_1 = \frac{r^2 R_2}{\lambda R_2 + r^2} = 49,9 \text{ mm}; 6 \text{ proužků}$
223.  $d = 2n d \cos \varphi_2$ ;  $\varphi_2$  - úhel lomu
224. (a)  $32,7^\circ$  (b)  $20,32^\circ$ ; v odraženém světle pozorujeme doplňkový obraz
225. 99,6 nm
226. (a)  $(5,5 \pm 0,5)$  vlny (b)  $(11 \pm 1)\sigma$
227. (a) 204 nm (b) 408 nm (c)  $1,358 \cdot 10^{-4} \text{ rad} (\approx 28'')$
229.  $d = 112,5 \text{ nm}; \lambda' = 450 \text{ nm}$
230. 500 nm
231. 1,47 mm
232.  $2,95 \cdot 10^{-4} \text{ rad} (\approx 1')$
233. 36,63 proužků/cm
234.  $d = 159 \text{ nm}$
235. 500 nm;  $3,1^\circ \text{C}$
236.  $n_1 = \sqrt{n_2}$  pro tloušťku  $d = \frac{2k+1}{4n_1} \lambda$  (tzv. neviditelné sklo)
237.  $A_{\text{max}}^2 = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}}$
238.  $1,3 \cdot 10^4 \text{ nm}$
239.  $\Delta\lambda \approx \frac{2\lambda_0}{\pi m \sqrt{c}}$ ;  $m = 1, 2, \dots$
240. (a) 432,16 nm (b) 161,4 nm
241.  $\Delta\lambda = 9,3 \text{ \AA}$
242.  $u_{\text{min}} = \frac{c^2}{2L \nu (n^2 - 1)}$
243. 1582 m
244.  $\Delta l = 15,94 \text{ cm}$  tj.  $24,76 \cdot 10^4$  vlnových délek
246.  $2,26 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$
247. 32 cm
248.  $\mathcal{N} = \text{sinc} \left( \frac{2\pi}{\lambda} \frac{a \cdot s}{2D_0} \right) = 0,32$

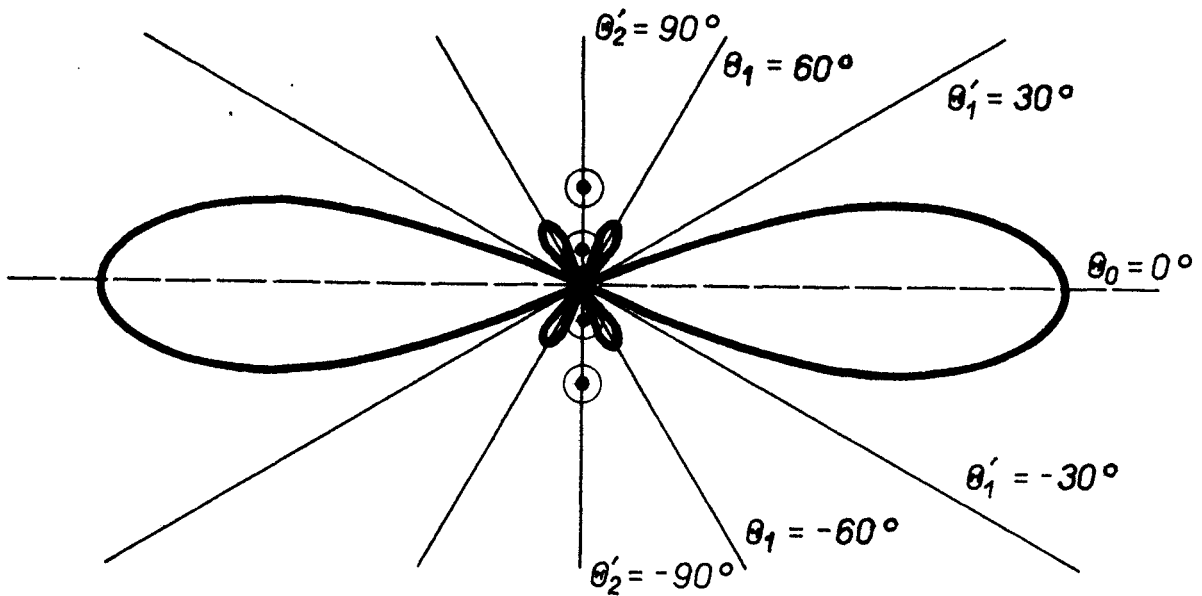
249.  $3,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$
250. 0,17
251. Koherenční délka pro sluneční kotouč vychází  $0,07 \text{ mm} > \frac{1}{20} \text{ mm}$
252.  $a_0 = 1,22 \frac{\lambda}{d} \cdot D_1$
253. 14,38 mm
254.  $V = \frac{2 \sqrt{I_1 I_2} |\hat{\gamma}(\tau)|}{I_1 + I_2}$  kde  $I_1, I_2$  jsou intenzity obou interferujících zdrojů
255. 0,45 mm; 0,9 mm; 1,35 mm
256. 600 nm
257. 460 nm
258.  $f' = 0,66 \text{ m}$
259. 0,56 mm
260.  $\lambda_2 = 400 \text{ nm}; \lambda_1 = 500 \text{ nm}$
261. (a)  $16,6^\circ$  (b)  $30^\circ$
262.  $\sin \alpha = N \lambda / a; y = f' \sin \alpha; \alpha = 0,024 \text{ rad}; y = 28,8 \text{ mm}$
265. (a)  $0,286^\circ$  (b) 3,0 mm
267. (a) 0,02 mm (b) 5,9 mm
268.  $\nu = (2k \pm 1) \frac{\lambda}{2d}; k = 0, 1, 2, \dots$
269. (b) 1/3
271. Viz obr. 92
272. 50 x 17 mm
273.  $a = 1,64 R$

274.  $I(P) = I_0 \text{sinc}^2 \frac{2\pi}{10^4} \xi \text{sinc}^2 \frac{\pi}{10^4} \eta \cos^2 \frac{\pi}{10^4} (3\xi + 4\eta)$

kde souřadnice  $(\xi, \eta)$  vyjadřujeme v násobcích vlnové délky

275.  $I(P) = I_0 \left[ \frac{I_1 \left( \frac{k r_0 r}{b} \right)}{\frac{k r_0 r}{b}} \right]^2 \cdot \cos^2 \left( \frac{k}{2b} r l \cos \phi \right)$

Otvorová funkce v hranatých závorkách se pro jednotlivé studované případy mění tak, že se zvětší středově symetrická část obrazu 2,5 krát a 50 krát, hustota proužků však zůstane zachována



Obr. 92.

277. (b) 4,8 x 2,4 mm
278. (a) 0,002 mm (b) 0,007 mm
279.  $Z_1 = 6,67/k_1$ ;  $Z_2 = 10/k_2$ ;  $k_1, k_2 = 1, 2, 3, \dots$   
 $2k_2 \neq 3k_1$  (vzdálenosti jsou uvedeny v metrech)
280. (a)  $y = 8/k$  - pro maxima je  $k = 1, 2, 3, \dots$ ; pro minima je  
 $k = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$  (b) 4 m
281.  $z = (a^2 - k^2 \lambda^2)/2k\lambda$
282. Maximální fázový rozdíl je  $\pi$ ; asi  $3,57 \cdot 10^5$  Fresnelových zón
283. 2500 Fresnelových zón
284. Intenzita se zvětší asi 4 krát
285.  $A_k = \frac{\lambda \pi \varphi}{\varphi + r_0} \left[ r_0 + \frac{(2k+1)\lambda}{4} \right]$ ;  $\frac{A_k}{r_k} = \frac{\lambda \pi \varphi}{\varphi + r_0}$
286.  $A_k = \lambda \pi (r_0 + \frac{2k+1}{4} \lambda) = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$
287.  $R_k = \sqrt{k r_0 \lambda}$
288. (a) 1,55 mm (b) 3,098 mm
289.  $d = 0,45 \text{ mm}$
290.  $I_0 = C_0 / (R_0 + R_1)^2$



291. (a) Střed difrakčního obrazu bude světlý (b) -0,25 m (směrem k otvoru)
292.  $R_1 = 1 \text{ mm}$
293.  $D = 0,22 \text{ mm}$
294. 2,23 km; 8,05 km
295. Kolem 27 m
296. 9,7 km
297. 1640 m
298. (a) 0,14 m (b) 82,5 (c) 2,18 cm
299. 8,94 m
300. 14,0 cm
301. 4
302.  $30^\circ$
303. (a)  $12,9^\circ$  (b) 17
304. 
$$I(\alpha) = I_0 \frac{1 + 2 \frac{-2N}{4} - 2(1-N) \cos N\delta}{\frac{5}{4} - \cos \delta} ; \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha$$
306. Ano,  $\Delta\lambda_{\min} = 0,037 \text{ nm}$
307.  $\Delta\alpha_1 = 10,9^\circ$ ;  $\Delta\alpha_2 = 28,45^\circ$
308.  $12,51^\circ$
309.  $17,45^\circ$ ;  $36,87^\circ$ ;  $64,16^\circ$
312. (a)  $3,6 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$  (b) 12000 (c) 4000 (d) 1,4 cm
313. (a)  $1,15 \cdot 10^4 \text{ rad cm}^{-1}$  (b)  $4,0^\circ$
314. 5. a 10. difrakční řád vymizí
315. (a)  $10,67^\circ$  (b) Nastane překryvání (c) 846,6 nm
316.  $m = k \frac{d}{a}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ )
317. 491 vrypů na 1 cm
318.  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$  ( $\approx 24''$ )
319. 982 vrypů;  $0,118 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$  ( $\approx 2,4''$ )
320. 
$$I(\alpha) = I_0 \left\{ \text{sinc } k\alpha x_0 + \frac{B}{2} \left[ \text{sinc}(\beta - k\alpha x_0) + \text{sinc}(\beta + k\alpha x_0) \right] \right\}$$

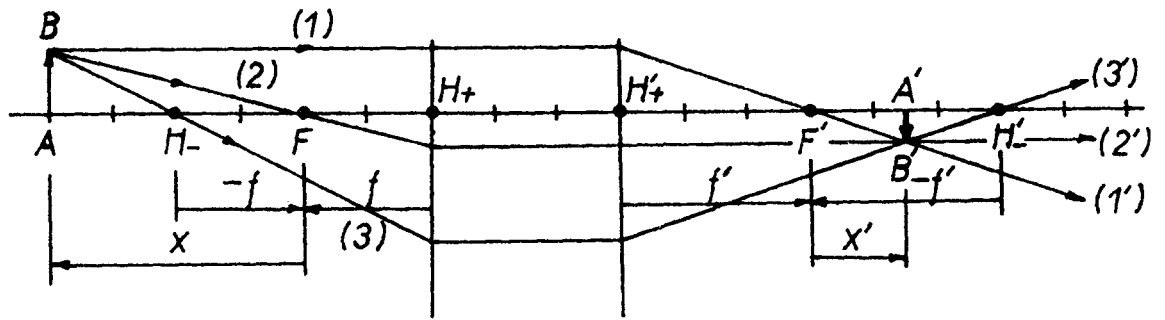
321. (a) Poloha hlavních maxim se nemění, počet vedlejších maxim s rostoucím počtem štěrbin roste a jejich šířka se zmenšuje  
(b) Dojde k posuvu difrakčního obrazu jako celku (c) Relativní zvětšení šířky maxima  $\mu = 1 + N/10$
322.  $1,155 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$
323.  $I = I_0 \frac{\sin^2 \frac{N\delta}{2}}{N^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}} \left( 1 + a^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\delta}{2} \right); \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha$
324. (a)  $9,79 \cdot 10^{-11} \text{ m}$  (b)  $20,3^\circ$
325.  $5,627 \text{ \AA}; \quad 15,54^\circ$
326.  $1,61 \text{ \AA}$
327.  $4,26 \text{ \AA}$
328. První, třetí a čtvrtá hodnota difrakčního úhlu odpovídá difrakci na jedné soustavě meziatomových rovin o vzdálenosti  $d$ , druhý a pátý úhel difrakci na jiné soustavě meziatomových rovin o vzdálenosti  $d'$  ( $d' > d$ )
329.  $1,253^\circ$
330. (a)  $8 \text{ mm}$  a  $16,1 \text{ mm}$  (b)  $1,13 \text{ cm}$  a  $2,31 \text{ cm}$
331.  $f = 40 \text{ cm}$  nebo  $85,7 \text{ cm}$
333.  $f = 40 \text{ cm}$  nebo  $37,5 \text{ cm}$
334.  $f = 10,5 \text{ cm}$
335.  $a = 8 \text{ cm}; \quad m = 2,125$
336.  $-0,27 \text{ m}; \quad 0,45$  (a)  $0,75 \text{ m}; \quad 2,5$  (b)  $-1,3 \text{ m}; \quad -1,6$
337. (a)  $0,78 \text{ m}; \quad -0,55$  (b)  $1,0 \text{ m}; \quad -1$  (c)  $1,33 \text{ m}; \quad -1,66$   
(d)  $\infty; \quad -$  (e)  $-0,75 \text{ m}; \quad 2,5$
338.  $f = \frac{g}{2\omega^2}$
339. (a)  $-7,5 \text{ cm}$
340. (a)  $a = 1,618 r$  (b) Obraz je skutečný, převrácený a zmenšený  
(c)  $-0,03$
341.  $x = (d + r)/2$
343.  $R_d = 1,96 \text{ mm}; \quad \text{tok záření se zmenší 4 krát}$
344. (a)  $41,8 \text{ cm}$  nebo  $13,1 \text{ cm}$  (b)  $41,8 \text{ cm}$  nebo  $13,1 \text{ cm}$   
(řešení pro obě možné polohy je symetrické)
345.  $8 \text{ cm}$

346.  $a' = 96$  cm, převrácený obraz bude velký 4,5 cm
347. (a) 35 cm (b) 21 cm
348. (a) 0,75 r (b)  $a' = n f / (n + 1)$
349. (a) Použijeme duté zrcadlo poloměru křivosti 19,35 cm  
(b) Obraz bude převrácený o velikosti 15 cm
350.  $y_{\max} = R \sqrt{p(200 + p)} / (100 + p) = 7$  cm
351. (a)  $a_2 = -15$  cm;  $m = 6$ ; vzhledem k předmětu je vzniklý obraz přímý a zvětšený
352. (a)  $a_2' = -20$  cm; obraz leží ve stejném místě optické osy jako předmět (b)  $a_2' = 30$  cm; obraz leží ve stejném místě jako předmět
354.  $f - f' = 3,33$  cm  $\approx f$
355.  $d = \frac{R(10 - \sqrt{p})(R + 21)}{R(10 + \sqrt{p}) + 201} = 0,40$  mm
356.  $d' = d/n$  (pro  $d'/D \ll 1$ )
357. 3,3 cm
358.  $a' = r$ ;  $m = 1,5$
360. (a) -6,43 cm; 1,14 (b) 120 cm; 3
361.  $f = 30$  cm;  $f' = 40$  cm; (a) 1,0 m; -1,5 cm (b) Předmět leží v ohnisku; zobrazující paprsky svírají úhel  $-1,43^\circ$  s optickou osou (c) -0,8 m; 3 cm (d) 0,16 m; 0,6 cm
362.  $h = 1,325$  cm;  $\sigma' = 0,01125$  rad ( $\approx 38,6^\circ$ )
363. Předmět  $O_1$ : 4,182 cm; -0,31 cm; Předmět  $O_2$ : -2 cm; 0,17 cm
364. (a)  $x_2' = 8$  cm - paprsky se soustředí v ohnisku soustavy  
(b)  $x_2' = 5,3$  cm
365. (a) -43,8 cm (b) 1,71
366. (a) 150 cm; -4 mm (b) 25 cm; -1,5 mm
367.  $x_{F'}' = -20$  cm (vlevo od  $V_2$ );  $x_F = 5$  cm (vlevo od  $V_1$ )
368.  $l = 50$  cm
369. (a) 1,5 cm (b) 2,0
370.  $a = 5r_0$
371.  $f = 2,143$  cm;  $f' = 4,0$  cm;  $r = 1,856$  cm;  $n' = 1,866$ ;  
 $a' = 5,31$  cm

373.  $f = -1,2 \text{ m}$ ;  $f' = -1,8 \text{ m}$  (a)  $-1,2 \text{ m}$ ;  $0,33$  (b)  $-1,03 \text{ m}$ ;  $0,43$  (c)  $-0,6 \text{ m}$ ;  $0,66$ ; pro konvexní povrch bude  $f = 1,2 \text{ m}$   $f' = 1,8 \text{ m}$  (a)  $3,6 \text{ m}$ ;  $-1$  (b)  $7,2 \text{ m}$ ;  $-3$  (c)  $-1,8 \text{ m}$ ;  $2$
374. (a)  $f = r \frac{n_2}{n_2 - n_1}$  (b) Platí pro  $n_2 = 2n_1$
375.  $a' = -2R$  (obraz se nachází ve vrcholu postříbřené části koule)
376.  $a' = 4r_0$
377.  $f = \frac{R}{(2 \tau \nu)^2 (1 - n)} = -1,1 \text{ cm}$
378.  $x = \frac{L}{2} \pm \sqrt{\frac{L^2}{4} - fL}$ ; tato poloha existuje jen, když  $L \geq 4f$ .
379.  $19,23 \text{ cm}$
381.  $v_2 = -\frac{f^2}{x^2} v_1$  ( $x$  je Newtonova souřadnice bodového zdroje)
382. (a)  $-29,63 \text{ cm}$  (b)  $-59,26 \text{ cm}$ ;  $-1 \text{ cm}/\infty/29,63 \text{ cm}$ ;  $2 \text{ cm}/-9,88 \text{ cm}$ ;  $0,66 \text{ cm}/$
383.  $f = n_1/D$ ;  $f' = n_3/D$ ;  $D = \frac{n_2 - n_1}{r_1} + \frac{n_3 - n_2}{r_2}$   
 ( $r_1$  a  $r_2$  jsou poloměry křivosti první a druhé lámavé plochy tenké čočky)
384.  $12,73 \text{ cm}$ ;  $-1,75$
385.  $28 \text{ cm}$ ;  $-84 \text{ cm}$
386.  $a = (m - 1)/m D$ ;  $a' = (1 - m)/D$
387.  $-1,8 \text{ m}$
388.  $140 \text{ cm}$  nebo  $21 \text{ cm}$
389.  $9 \text{ cm}$
390.  $24 \text{ cm}$
391.  $6 \text{ cm}$
392. (a)  $\frac{L}{f} > 4$ ;  $a_1 + a_2 = L$  (ca)  $\frac{L}{f} = 4$  (cb)  $\frac{L}{f} < 4$
393.  $x = (v + f)/2 = 11 \text{ cm}$
395.  $4 \text{ cm}$  nebo  $-24 \text{ cm}$
396. Bikonvexní spojka,  $f = 13,3 \text{ cm}$ ; bikonkávní rozptylka,  $f = -13,3 \text{ cm}$ ; konkávně-konvexní spojka,  $f = 40 \text{ cm}$ ; konvexně-konkávní rozptylka,  $f = -40 \text{ cm}$

399. (a) Neskutečný (b) Vzpřímený (c) 3,33 cm vlevo od rozptylky (d) 0,67 cm
400. (a) Ano, když předmět umístíme ve vzdálenosti 60 cm od čočky (b) Ne
401. (a) Neskutečný (b) Vzpřímený (c) 10 cm vlevo od čočky
402. (a) 22,4 cm (b) 22,4 cm (c) -11,2 cm (d) -14,9 cm
403. (a) -15 cm (b) 1,5; obraz je neskutečný a vzpřímený
405.  $f = 0,24 \text{ m}$  (a) 0,34 m; -0,425 (b) 0,48 m; -1 (c) 0,6 m; -1,5 (d)  $\infty$  (e) -1,2 m; 6; pro virtuální předmět je  $x' = 0,11 \text{ m}$  a zvětšení 0,54
406. (a) -0,24 m (b) -0,11 m; 0,54 (c) -0,6 m; -1,5 (d) 1,2 m; 6
407. (a) 2,4 m (b) 0,8 m (c) -1,2 m
408. (a) 0,48 m - spojka (b) 1,92 m - spojka (c) -1,2 m - rozptylka (d) 0,8 m - spojka
409.  $f = f' = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - D}$ ;  $x_1(H) = - \frac{D f_1}{f_1 + f_2 - D}$ ;  $x_2'(H') = - \frac{D f_2}{f_1 + f_2 - D}$
410. (a)  $x_1(F) = 2f$ ;  $x_2'(F') = 0$ ;  $x_1(H) = f$ ;  $x_2'(H') = -f$   
 (b)  $x_1(F) = -5f$ ;  $x_2'(F') = -f/3$ ;  $x_1(H) = -4f$ ;  $x_2'(H') = 2f/3$
411.  $g = f_1/f_2$
412. -15 cm
413. 0,266 m
414.  $x_1(F) = x_2'(F') = 1,67 \text{ cm}$
415. (a) 8,57 cm (b) -30 cm (c)  $\infty$  (d) 180 cm
416. 23,3 cm
417. 4,05 cm vlevo od objektivu
418. (a) -f; obraz je zdánlivý, převrácený, ve skutečné velikosti (b) 3f; obraz je skutečný, přímý, ve skutečné velikosti
419. (a)  $d = f_2 + f_1 \frac{a - f_2/k}{a - f_1} = 100 \text{ cm}$  (b)  $a > 30 \text{ cm}$ ;  $k \geq 1,5$
420.  $a_4' = 6,0 \text{ cm}$
421. 5,55 cm za střed druhé čočky

422. (a) 360 (b)  $2,8 \cdot 10^{-4}$  mm
423. 3,07 mm
424. 0,264 mm od čočky
425. 43,4 cm; 30
426.  $f = f' = 400$  mm;  $x_1(F) = 600$  mm;  $x_2'(F') = 200$  mm;  
 $x_1(H) = 200$  mm;  $x_2'(H') = -200$  mm
427. (a) -1,5 mm; 2,4 mm; 4,0 mm (b) 0,9 mm vlevo od  $F_1$   
(c) 332 (d) 0,89 mm vlevo od  $F_1$ ; -168,3
428. 237,5
429. 95 mm
430.  $20,9^\circ$
431. (a) 0,29 cm (b) 0,23 cm
432. (a) 2 (b) 3
433. 5,36
434. 4,5 cm
435. 7,14 cm vlevo od lupy; 3,5
436. 4D
437. Obě ohniska leží symetricky vzhledem ke středu koule ve vzdálenosti  $1,5R$ ;  $f = f' = 1,5R$ ; hlavní body splývají se středem koule
438.  $d > 6$  cm
439.  $f = f' = -9,23$  cm;  $a(H) = -a'(H') = 1,54$  cm;  $p' = -6,46$  cm (vlevo)
440.  $a(F) = 5,0$  cm;  $a'(F') = 5,6$  cm;  $a(H) = -1,0$  cm;  $a'(H') = -0,4$  cm
441.  $2,9 \cdot 10^{-6}$  m
442.  $f = f' = 23,6$  mm;  $a(F) = 11,37$  mm;  $a'(F') = 14,7$  mm;  
 $a(H) = 12,2$  mm;  $a'(H') = -8,9$  mm
444. Hlavní rovina předmětová a obrazová kladná je na obr. 67 označena  $H_+$  a  $H'_+$  (pro ni je  $m = 1$ ), hlavní rovina předmětová a obrazová záporná je označena symboly  $H_-$  a  $H'_-$  (pro ně je  $m = -1$ ), podrobněji viz [19], str. 257 a násl.  
Výpočtem najdeme polohu ohniskových rovin a ohniskové vzdálenosti a z Newtonovy zobrazovací rovnice polohu obrazu. Velikost obrazu určíme z definiční rovnice příčného zvětšení. Dostáváme  $f = 2$ ;  $f' = 3$ ;  $x' = 1,5$ ;  $y' = -0,5$ . Ověřovací konstrukce je na obr. 93.



Obr. 93.

445. Optická mohutnost některého rozhraní musí být rovna nule (čočka plankonvexní nebo plankonkávní)
446. 381,6 nm; 379,4 nm;  $5,1 \cdot 10^{14}$  Hz
447.  $d = (2m + 1) 5,94 \cdot 10^{-4}$  mm; kmitosměr svírá s optickou osou úhel  $\pi/4$ ;  $m = 0, 1, 2, \dots$
448.  $5,22^\circ$
449.  $3,69^\circ$
450.  $n_o = 1,597$ ;  $n_e = 1,532$
451. 355 nm; 397 nm;  $5,096 \cdot 10^{14}$  Hz
452. (a) 856,6 nm; (b)  $1,713 \mu\text{m}$  (c)  $3,43 \mu\text{m}$
453. Elipticky polarizovaná vlna, hlavní poloosa elipsy je rovnoběžná s optickou osou destičky
455.  $\vec{E}'(z, t) = \sqrt{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} (\vec{i} + \vec{j}) E_0 \sin(kz - \omega t + \varphi)$ ; lineárně polarizovaná vlna
456. (a)  $0,745 I_0$  (b)  $0,5 I_0$  (c)  $0,25 I_0$  (d) 0 (e)  $0,25 I_0$   
(f)  $0,5 I_0$  (g)  $0,745 I_0$  (h)  $I_0$
457. 18,8 %
458. Ve (2) je světlo lineárně polarizováno ve směru propustnosti desky A, ve (3) je světlo elipticky polarizováno a ve (4) je světlo lineárně polarizováno ve směru propustnosti desky C
460. (a) 605,50 nm; 629,72 nm; 655,95 nm; 684,47 nm  
(b) 617,37 nm; 642,57 nm; 669,91 nm; 699,68 nm  
(c) 605,50 nm; 655,95 nm

461. (a) Zorné pole se zatmí (b) Zorné pole zůstane tmavé  
(c) Zorné pole zůstane tmavé

462.  $299,25^\circ$

463. 1,19 g

464. Přesnost dostačuje

466.  $A_1 = 1/2a$

467.  $\frac{1}{8} \sin^2 2\alpha$

468. (a) 85,7 lx (b) 91,2 lx

469. 70 cm

$$470. E = v \left[ \frac{I_1}{(v^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{I_2}{[v^2 + (d - a)^2]^{3/2}} \right] = 69,4 \text{ lx}$$

471. 62,3 lx

472. 0,7 m

473. (a) 18,8 lx; 20,42 lx (b) 20 lx; 20,42 lx

474. 14,33 lx

475. 2,5 m

476. 2,34 lm

477. 13,1 m

478. 250 lx; 5000 lm; 9615 lm; 765,13 cd; 2000 sb

479. Na Marsu  $4,35 \cdot 10^4$  lx; na Venuši  $1,9 \cdot 10^5$  lx

480. 5 cd

481. 27,1 lx

482. Osvětlení se zvýší 1,12 krát

$$483. x = \frac{a \sqrt[3]{I_1}}{\sqrt[3]{I_1} + \sqrt[3]{I_2}}$$

484. (a) 51,2 lx (b) 1,66 m

485. (a) 0,126 lm (b)  $3,2 \cdot 10^{-2}$  lx

$$486. (a) E = \frac{4I}{(2l - R)^2} + \frac{4I}{R^2} = 400 \text{ lx} \quad (b) \phi = I \frac{\pi d^2}{R^2} = 2\pi \text{ lm}$$

487. (a) 246,9 lx (b) 0,308 lm

488. 69,83 lx

489. 44,4 lx; 25,6 lx



- 490.  $1,4 \cdot 10^{-3}$  lm
- 491. 30 cm; 21,2 cm
- 492. 0,037 lx
- 493. 240 cd; do vzdálenosti 1,41 m
- 494. 3,54 cm;  $54,7^{\circ}$
- 495.  $6,76 \cdot 10^{-6}$  lx
- 496. 33,3 lx
- 497. 0,45 %
- 498. 0,25 %
- 499. 4,65 mm; 383 krát
- 500.  $\varphi = r_0$
- 501.  $6,25 \cdot 10^6$  cd; 277,8 lx