

spektrografu možno skúmať aj neviditeľné časti zloženého svetla. Ale pretože sklo tieto žiarenia silne pohlcuje, na štúdium infračerveného svetla sa používa optika (hranoly a šošovky) zhotovená z kamennej soli a na štúdium ultrafialového svetla kremenná optika alebo optika vyrobená z kazivca.

Úlohy na cvičenie

1. Sviečka stojí pred dutým zrkadlom vo vzdialenosti 60 cm od jeho vrcholu. Keď ju priblížime k zrkadlu o 10 cm, zväčší sa vzdialenosť obrazu od zrkadla o 80 cm. Aká je ohnisková vzdialenosť zrkadla? (40 cm alebo 85,7 cm).
2. Zdroj svetla je vo vzdialenosti d od tienidla. Do akej vzdialenosti od zdroja treba umiestniť tenkú spojnú šošovku s ohniskovou vzdialenosťou f , aby sa na tienidle vytvoril reálny obraz zdroja? ($a_{12} = l/2 \pm \sqrt{l^2/4 - lf}$).
3. Dokažte, že najmenšia vzdialenosť medzi predmetom a jeho obrazom vytvoreným tenkou spojnou šošovkou je $d = 4f$.
4. V akej vzdialenosti pred dutým zrkadlom s ohniskovou vzdialenosťou $f = 16$ cm má sa nachádzať oko, aby sa videlo vo vzdialenosti $l = 24$ cm? (8 cm).
5. Dve tenké spojky zhotovené z rovnakého skla majú ohniskové vzdialenosti f_1 a f_2 . Dokážte, že pri vzájomnej vzdialenosti $d = (f_1 + f_2)/2$ predstavujú achromatickú kombináciu!

13. INTERFERENCIA A OHYB SVETLA

13.1. Základné poznatky. Interferenciou a ohybom mechanického vlnenia hmotného prostredia sme sa zaoberali už v 1. diele tejto učebnice. Interferencia a ohyb elektromagnetického (vo zvláštnom prípade svetelného) vlnenia nastáva za podmienok v podstate rovnakých a odohráva sa podľa podobných pravidiel. V dôsledku veľmi malej vlnovej dĺžky svetla (asi 10^{-3} mm) interferencia, a preto aj ohyb svetla, sa však od podobných javov mechanických kvantitatívne predsa líšia, a to najmä v týchto dvoch bodoch:

1. malá vlnová dĺžka svetla umožňuje vznik tzv. *čistých interferenčných javov*, pri ktorých nedochádza súčasne aj k pozorovateľnému ohybu svetla;
2. veľmi vysoká frekvencia svetelného vlnenia, $\nu = c/\lambda$, je príčinou toho, že pozorovať možno len interferenciu svetla vychádzajúceho z toho istého zdroja, ktoré sme odrazom, lomom alebo nejakým iným spôsobom rozdelili na tzv. *koherentné*, t. j. od seba závislé vlnenia.

Objasníme si nutnosť koherencie svetelných vlnení pre vznik pozorovateľného interferenčného javu. Predstavme si, že vo vákuu alebo nejakom inom priehľadnom hmotnom prostredí postupujú v tom istom smere súčasne dve rovinné svetelné vlnenia, charakterizované elektrickými vektormi $\mathbf{E}_1 = \mathbf{f}_1(\mathbf{r}, t)$

a $\mathbf{E}_2 = \mathbf{f}_2(\mathbf{r}, t)$. Podľa vzorcov (7.2.4) a (7.2.6) absolútne hodnoty príslušných magnetických vektorov sú potom: $H_1 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_1$ a $H_2 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_2$, takže hustoty prúdenia žiarivej energie v obidvoch týchto vlneniach sú:

$$\sigma_1 = |\mathbf{E}_1 \times \mathbf{H}_1| = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_1^2 = kE_1^2$$

$$\sigma_2 = |\mathbf{E}_2 \times \mathbf{H}_2| = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_2^2 = kE_2^2$$

Podľa vzorca $\sigma = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}| = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E^2 = kE^2$ hustota prúdenia žiarivej energie vo výslednom vlnení je však

$$\begin{aligned} \sigma &= k(\mathbf{E} \cdot \mathbf{E}) = k(\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \cdot (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) = kE_1^2 + kE_2^2 + 2k\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 = \\ &= \sigma_1 + \sigma_2 + 2k\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \end{aligned}$$

líši sa teda od súčtu $\sigma_1 + \sigma_2$ o člen $\Delta\sigma = 2k\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2$. S ohľadom na tento člen môžu nastať tieto dva prípady. Keď vlnenia, ktorých superpozíciu máme na mysli, sú nepravidelné a od seba nezávislé, vektory \mathbf{E}_1 a \mathbf{E}_2 zvierajú spolu práve tak často uhol ostrý ako tupý a stredná hodnota člena $\Delta\sigma = 2k\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2$ aj vo veľmi krátkom časovom intervale sa rovná nule. V tom prípade ľudským okom pozorovaná alebo aj nejakým dokonalejším fyzikálnym prístrojom registrovaná intenzita osvetlenia steny, na ktorú svetelné vlnenie dopadá, rovná sa súčtu intenzít, ktoré by sa pozorovali za jestvovania vždy len jedného vlnenia.

Keď však skladajúce sa vlnenia sú od seba závislé, stredná hodnota člena $\Delta\sigma = 2k\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2$ aj v dlhom časovom intervale nerovná sa vo všeobecnosti nule. To má za následok, že v tomto druhom prípade stredná hodnota hustoty prúdenia žiarivej energie σ nerovná sa súčtu stredných hodnôt σ_1 a σ_2 ; preto ani priemerná intenzita osvetlenia steny, na ktorú svetlo dopadá, nerovná sa súčtu intenzít za jestvovania vždy len jedného vlnenia, ale je väčšia alebo menšia, prípadne rovná sa aj nule.

Keď napríklad je stále $\mathbf{E}_2 = \mathbf{E}_1 = \mathbf{E}$, je

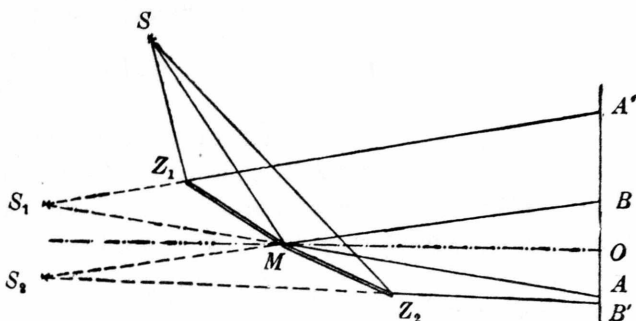
$$\sigma_s = k(E_1^2 + E_2^2 + 2\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2)_s = 4kE_s^2 = 4\sigma_{1s} = 4\sigma_{2s}$$

Slovami: Interferenciou dvoch rovnakých vlnení, ktoré sa zhodujú aj vo fáze, vzniká štvornásobné osvetlenie.

Keď je však napríklad stále $\mathbf{E}_2 = -\mathbf{E}_1 = -\mathbf{E}$, je $\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = 0$, čiže dve svetelné vlnenia môžu sa vzájomne aj rušiť, takže potom aj nimi súčasne vyvolávané osvetlenie sa rovná nule.

S ohľadom na tieto okolnosti hovoríme, že interferovať môžu len koherentné svetelné vlnenia, hoci v skutočnosti k interferencii dvoch svetelných vlnení dochádza vždy a len s tým rozdielom, že interferencia nekoherentných svetelných vlnení nie je pozorovateľná.

13.2. Fresnelove zrkadlá. Z obsahu predchádzajúceho článku vyplýva, že nemôže nastať (pozorovateľná) interferencia svetla vychádzajúceho z dvoch od seba nezávislých svetelných zdrojov, napríklad z plameňov dvoch sviečok alebo z vlákien dvoch žiaroviek, lebo všetky realizovateľné svetelné zdroje



Obr. 13.1.

skladajú sa z veľkého počtu atómov a molekúl, ktoré sú od seba nezávislými elementárnymi zdrojmi svetla. Predsa však možno pomerne ľahko a rôznym spôsobom vytvoriť koherentné svetelné vlnenia pomocou zariadení, z ktorých najznámejšie sú Fresnelove zrkadlá.

Fresnelove zrkadlá (obr. 13.1) sú dve sklené zrkadlá Z_1 a Z_2 , zvierajúce spolu uhol skoro 180° . Osvetľujú sa pomocou úzkej štrbiny S , rovnobežnej s priesečnicou rovín obidvoch zrkadiel. Svetlo dopadajúce na zrkadlá odráža sa od nich tak, ako keby vychádzalo z obrazov štrbiny S_1 a S_2 , ktoré sú veľmi blízko pri sebe a predstavujú dva koherentné svetelné zdroje. Svetelné kužele AS_1A' a BS_2B' , ktoré z nich vychádzajú, majú spoločnú časť AMB , do ktorej sa dostáva svetlo z obidvoch virtuálnych a koherentných sekundárnych svetelných zdrojov S_1 a S_2 . Do stredu tohto priestoru, a teda aj do bodu O na tienidle, prichádzajú obidve svetelné vlny s rovnakou fázou, a preto sa tu zosilňujú. Po obidvoch stranách bodu O sú miesta, na ktoré obidve svetelné vlny určitých vlnových dĺžok dopadajú s opačnou fázou, a preto sa rušia atď. Pri používaní jednofarebného svetla vzniká takto na tienidle sústava svetlých a tmných pruhov. Pri používaní bieleho svetla rôznym farbám zodpovedajúce svetlé a tmné pruhy nie sú všetky na tých istých miestach, v dôsledku čoho len prostredný pruh je biely a je obklopený pruhmi farebnými.