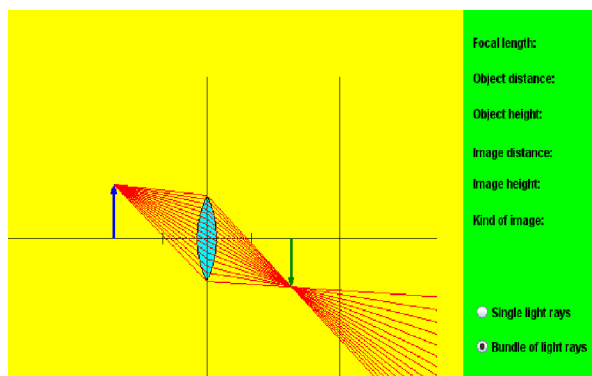


27 FYZIKÁLNÍ OPTIKA

Co je to fyzikální optika? Jaký je rozdíl mezi geometrickou a fyzikální optikou?

Ukažme si typickou aplikaci geometrické optiky



26 GEOMETRICKÁ OPTIKA

26.1 Základní zákony geometrické optiky

- Čáry, podél nichž se šíří světelná energie, neboli tzv. **světelné paprsky**, jsou obecně složité křivky,.
- **zákon odrazu a lomu** ,
- **paprsky z různých zdrojů procházející daným bodem se neovlivňují.**

26.1

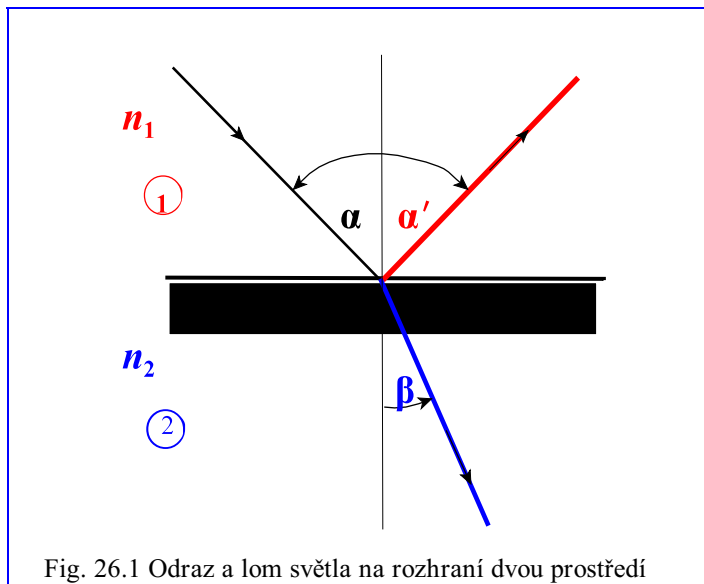
V homogenním a izotropním prostředí jsou světelné paprsky přímky.

26.2

Daným bodem prostoru může současně procházet více světelných paprsků, aniž by se vzájemně ovlivňovaly.

26.3

Zákon odrazu: při dopadu na rozhraní dvou prostředí (obr. 26.1) se světelný paprsek (částečně nebo úplně) odráží tak, že úhel dopadu α se rovná úhlu odrazu α' , $\alpha = \alpha'$, a paprsek zůstává v rovině dopadu (v rovině tvořené paprskem s kolmicí dopadu, tj. kolmicí na rovinné rozhraní).



26.4

Zákon lomu: na rozhraní dvou prostředí se světelný paprsek láme tak, že podíl sinů úhlu dopadu α a úhlu lomu β (obr. 26.1) se rovná konstantě nazvané relativní index lomu n_{21}

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}. \quad (26.1)$$

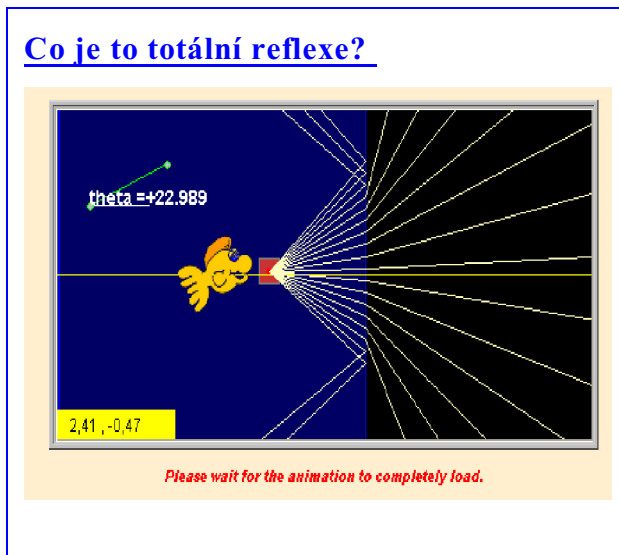
Relativní index lomu dvou prostředí se rovná podílu rychlostí šíření světla v prvním a druhém prostředí,

resp. podílu absolutních
indexů lomu n_2/n_1
definovaných podílem
rychlosti světla ve
vakuu a v daném prostředí

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (26.2)$$

Absolutní index lomu je pak podíl rychlosti světla ve vakuu a daném prostředí

$$n = \frac{c}{v}.$$



Interference

Ohyb

Polarizace

Do fyzikální optiky zahrnujeme ty jevy, které vznikají v souvislosti se světlem, v kterých se zjevně projevuje jeho vlnová podstata. Jde především o jev **interference**, **ohybu** a **polarizace**. Je nutno však hned na tomto místě zdůraznit, že uvedené jevy nejsou nikterak omezeny na viditelný obor elektromagnetického záření (světlo), ale že je možno je pozorovat i v ostatních oborech elektromagnetického záření.

27.1 Interference

Světlo je elektromagnetické vlnění a jelikož s jevem interference vlnění jsme se již seznámili (článek 24.2), zdálo by se, že není potřebné se interferencí světla zvlášť zabývat. Podmínky vzniku interference jsou stejné. **Velmi malá vlnová délka světla** způsobuje, že tento jev pozorovaný u světla má některé specifické rysy.

PODMÍNKY VZNIKU INTERFERENCE

27.1

KOHERENCE dvou vln (paprsků) Dvě vlny jsou koherentní, je-li jejich rozdíl fází nezávislý na čase a mají -li stejnou rovinu polarizace.

Zdůvodnění

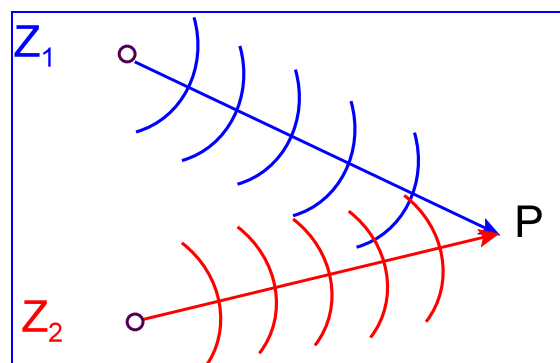
Dvě vlny , obecně různé

$$u_1 = A \sin(\omega_1 t - k_1 r_1 + \varphi_1)$$

$$u_2 = A \sin(\omega_2 t - k_2 r_2 + \varphi_2)$$

se mohou skládat jen pokud je splněno

$$(\omega_1 t - k_1 r_1 + \varphi_1) - (\omega_2 t - k_2 r_2 + \varphi_2) = konst.$$



Kdy dojde k interferenci ze dvou zdrojů ?

neboli musí platit :

$$\omega_1 = \omega_2, k_1 = k_2 \quad \text{a} \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \text{konstantní}$$

27.2

Dráhový rozdíl $|r_2 - r_1|$ ve vakuu se nahrazuje v prostředí s indexem lomu n rozdílem optických drah

$$\delta = n|r_2 - r_1|. \quad (27.1)$$

Optická dráha δ je definovaná jako součin skutečné dráhy proběhnuté světlem r a indexu lomu prostředí n .

Podmínka maxima interference je

$$n|r_2 - r_1| = N \lambda, \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots$$

podmínka minima interference je

$$n|r_2 - r_1| = (2N + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots$$

27.3

Jestliže se světlo odráží od opticky hustšího prostředí než ve kterém se šíří ($n_2 > n_1$), změní se jeho fáze o π , což je ekvivalentní proběhnutí optické dráhy $\lambda/2$. Při odrazu od prostředí opticky řidšího se fáze nemění.

PŘÍKLADY INTERFERENCE

I.

INTERFERENCE ZE DVOU KOHERENTNÍCH ZDROJŮ

(Youngův pokus - úloha v LC)

Youngův pokus - čím se řídí výsledek?



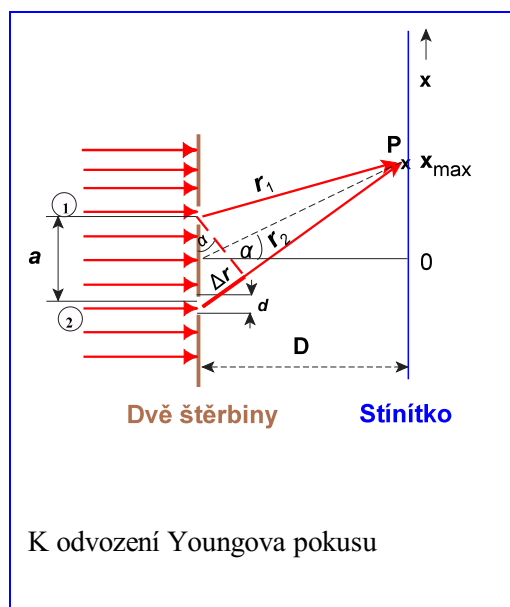
$$x_{\max} = \frac{N \lambda D}{a}$$

Maximum interference při interferenci ze dvou zdrojů (mohou to být štěrbin) nastává

Odvození

Předpokládejme, že na dvojici štěrbin dopadá koherentní svazek, v našem případě laseru (Obr. 1). Vlivem ohybu na štěrbinách se paprsky ohýbají do všech směrů (i když s různou intenzitou Vyberme dva paprsky **1** a **2** , které dopadají do stejného bodu **P**, kde interferují (skládají se).

Jaká bude intenzita v bodě **P**? Oba paprsky mají při dopadu na štěrbinu stejnou fázi, ale při dopadu na stínítko je paprsek 2 fázově zpožděn oproti paprsku 1 vlivem rozdílu drah $|\Delta r|$



$$\Delta\varphi = \Delta r \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1)$$

Na stínítku tedy vznikne maximum intenzity tehdy , když $\Delta\varphi = N 2\pi$,
 kde $N = 0, 1, 2, 3, \dots$,
 neboli tehdy, když bude splněna podmínka

$$\Delta r_{\max} = N\lambda \quad (2)$$

Rozdíl vzdáleností Δr splňuje vzhledem k velké vzdálenosti stínítka , $D \gg a$ (Obr. 1)

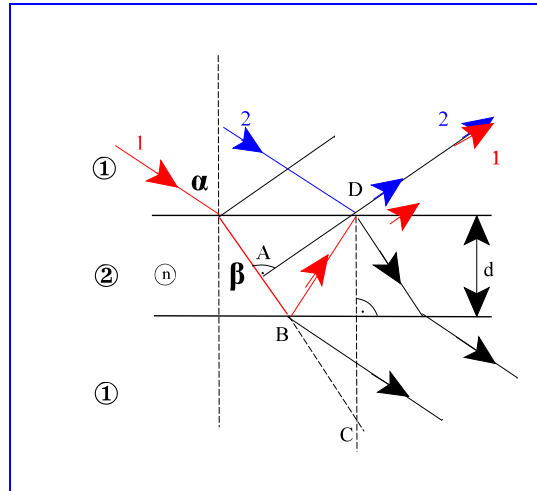
$$\Delta r = a \sin \alpha = a \operatorname{tg} \alpha = a x/D. \quad (3)$$

Spojením rovnice (2) a (3) dostaneme výslednou rovnici pro polohu maxima na stínítku

$$(4) \quad x_{\max} = \frac{N\lambda D}{a}$$

Z této rovnice (4) ze známých veličin N , λ a D a z měřené veličiny x_{\max} zjistíme vzdálenost šěrbin a .

II. INTERFERENCE NA TENKÉ VRSTVĚ



27.4

Při interferenci na tenké planparalelní vrstvě vzniká maximum interference **v odraženém světle**, je-li splněna podmínka

$$2d(n^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} = (2N - 1) \frac{\lambda}{2}, \quad N = 1, 2, 3 \dots, \quad (27.2)$$

a minimum interference je-li splněna podmínka

kde n je absolutní index lomu vrstvy, d její tloušťka, α úhel dopadu. **V procházejícím světle** je podmínka

$$2d(n^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} = N\lambda, \quad N = 1, 2, 3 \dots, \quad (27.3)$$

maxima (27.3) a podmínka minima interference (27.2).

Odvození interference na tenké vrstvě

Předpokládejme, že na planoparalelní destičku dopadá rovinná monochromatická vlna. Paprsek 1 se na rozhraní částečně odráží, částečně láme. Jeho část, která se odráží od spodního rozhraní interferuje s odraženým paprskem 2 (interference v odraženém světle).

Jelikož části paprsků 1 a 2 se před interferencí šířily ve dvou rozličných prostředcích, je nutno vzít v úvahu i to, že se v těchto prostředcích šířily různými rychlostmi.

Nyní již lehce najdeme podmínky (27.2) a (27.3). Z obr. 27.3 je vidět, že rozdíl optických drah paprsků 1 a 2 interferujících po odraze je dráha $AB+BD$ (resp. $AB+BC$) násobená indexem lomu.

Jelikož však platí

$$ABC = 2d \cos \beta,$$

bude

$$\delta = 2nd \cos \beta.$$

Dále platí zákon lomu $\sin \alpha / \sin \beta = n$, takže platí i rovnice

$$\cos \beta = (1 - \sin^2 \beta)^{\frac{1}{2}} = \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (27.5)$$

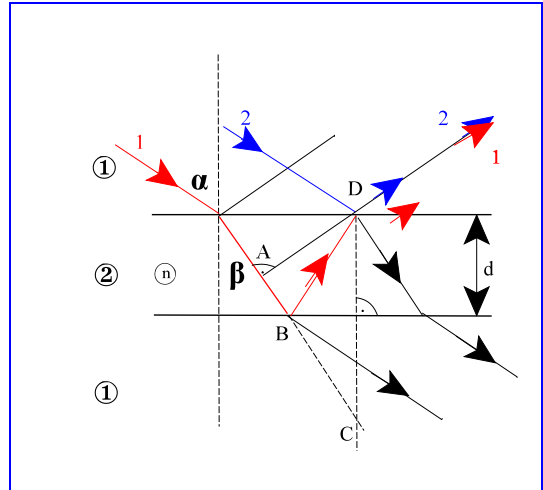
Využitím rovnice (27.5) můžeme psát pro rozdíl optických drah

$$\delta = 2d(n^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}. \quad (27.6)$$

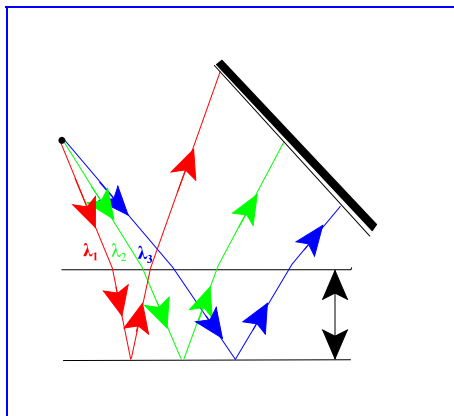
Uvážíme-li, že paprsek 2 se odrazil od prostředí opticky hustšího, musíme k rozdílu optických drah (27.6) přičíst $\lambda/2$, bude podmínka maxima interference

$$2d(n^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} + \frac{\lambda}{2} = N\lambda, \quad N = 1, 2, 3 \dots,$$

což je již podmínka (27.2).



Obr. 27.3 K odvození podmínek maxima a minima interference na vrstvě



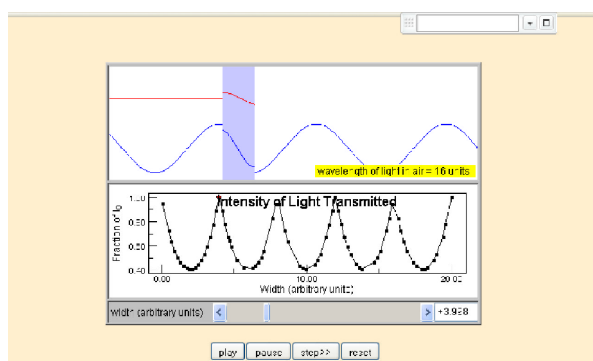
Obr. 27.4 Využití interference pro zobrazení spektra záření

Dopadá-li na tenkovou vrstvu světlo složené z více monochromatických vlnění pod různými úhly, každému z nich odpovídá maximum, resp. minimum v jiném místě stínítka (obr. 27.4), protože podmínky (27.2) a (27.3) jsou pro různé hodnoty vlnové délky splnitelné jen pro různé úhly α . Na stínítku vznikne tak soubor čar, z kterých každá odpovídá jedné vlnové délce. Tento soubor nazýváme spektrem a podle stoupající hodnoty čísla N hovoříme o spektru 1., 2. a dalších řádů. Jestliže však složené (bílé) světlo dopadá na destičku pod stejným úhlem, mohou se podmínky (27.2) a (27.3) splnit jen pro některé vlnové délky λ , takže tenkou vrstvu pozorujeme v odraženém (prošlém) světle

zbarvenou. Tento jev je příčinou obarvení např. mastných skvrn na vodě a je příčinou i např. takového jevu, jako je duha. V tomto případě funkci tenkých destiček mají mikroskopické kapky vody v ovzduší.

Tuto vlastnost tenkých vrstev využíváme na př. pro rozklad bílého záření. Velmi významné v praxi je použití interference k měření tloušťky tenkých vrstev v elektrotechnice a jiných oblastech. Napařením, resp. naprášením vznikají tenké vrstvy, jejichž tloušťka se pohybuje asi od 100 do 10 000 nm. Vzhledem k vlnové délce světla (300-700 nm) jsou to ideální planoparalelní destičky na pozorování interference a při známém indexu lomu a známé vlnové délce použitého světla můžeme pomocí interference stanovit velmi přesně tloušťku vrstvy. (obr. 27.4)

Interference na TV - vliv tloušťky vrstvy na odražené světlo



Interference na TV - vliv vlnové délky na odražené světlo

