

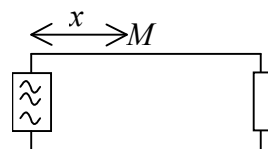
20 Elektromagnetické vlnenie a žiarenie

- zdrojom elektromagnetického vlnenia je kmitajúci elektromagnetický oscilátor

20.1 elektromagnetické vlnenie

20.1.1 postupná elektromagnetická vlna

- keď máme zapojený *nízko*frekvenčný zdroj, pre napätie a prúd platí:
 - o $u = U_m \sin \omega t$
 - o $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$
 - o predstavujeme si, že v určitom časovom okamihu je napätie a prúd pozdĺž celého vodiča rovnaké
 - o ide o kmity elektrického náboja
- inak je to, keď je spotrebič pripojený na zdroj napätia s vysokou frekvenciou. Keďže napätie zdroja sa veľmi rýchlo mení a zmeny napätia sa vedením šíria konečnou rýchlosťou, napätie medzi vodičmi vedenia je nielen funkciou času, ale aj funkciou vzdialenosti uvažovaného bodu vedenia od zdroja napätia. Deje vo vedení majú charakter elektromagnetického vlnenia
- vedenie tvorené dvoma vodičmi si môžeme predstaviť ako rad oscilačných obvodov spojených väzbou. Indukčnosť a kapacita sú rovnomerne rozložené pozdĺž vedenia – vedenie je **jednorozmerná sústava s rozloženými parametrami**
- keď v prvom elementárnom oscilačnom obvode vynútime kmitanie, rozkmitajú sa postupne ďalšie elementárne obvody a vedením sa šíri elektromagnetická vlna. V ľubovoľnom bode M vedenia vo vzdialenosti x od zdroja je medzi vodičmi napätie:



- o $u = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$, kde U_m je amplitúda napätia, T perióda napätia a λ vlnová dĺžka

elektromagnetickej vlny. Rovnica sa nazýva **rovnica postupnej elektromagnetickej vlny**

- rýchlosť elektromagnetického vlnenia v určitom prostredí je rovnaká ako rýchlosť svetla. Rýchlosť svetla vo vákuu je:
 - o $c = 2,997\,923 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- elektromagnetická vlna sa šíri aj vo vákuu
- veľká rýchlosť elektromagnetického vlnenia je dôvodom, prečo v obvodoch s nízkofrekvenčným zdrojom neuvažujeme o elektromagnetickom vlnení, ale iba o kmitaní
 - o napr. pri frekvencii 50 Hz, ktorú má striedavý prúd v energetickej sieti, je dĺžka príslušnej elektromagnetickej vlny vo vákuu:

- o $\lambda = \frac{c}{f} = 6000 \text{ km}$

- o to znamená, že výraz $\frac{x}{\lambda}$ v rovnici postupnej vlny je pri nízkych frekvenciách

zanedbateľne malý vzhľadom na člen $\frac{t}{T}$ aj pri veľkých vzdialenostiach, a preto rovnica postupnej vlny za týchto podmienok prechádza na rovnicu harmonického kmitania

- o $u = U_m \sin \omega t$

- elektrický prúd, ktorý preteká obvodom, závisí podľa vzťahu:

- o $i = I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

- keďže napätie v rôznych miestach vedenia je rozličné, tak ani náboj nie je na povrchu vodiča rozložený rovnomerne. Preto je rozličná aj intenzita elektrického poľa medzi vodičmi. Pribeh

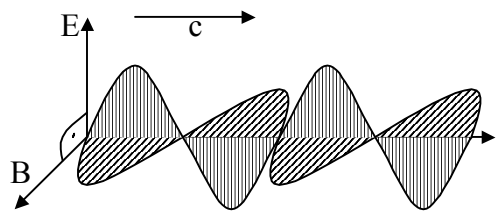
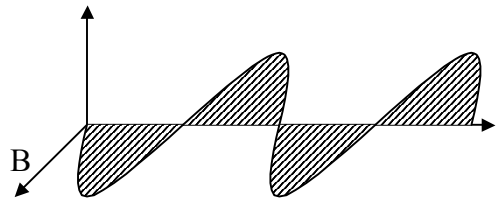
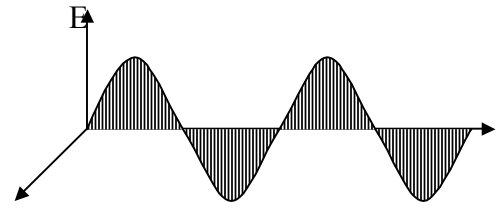
hodnot intenzity \vec{E} časovo premenného elektrického poľa pozdĺž vedenia v istom časovom okamihu vyjadruje sínusoida:

$$\circ \vec{E} = \vec{E}_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

- vedenie zakončené spotrebičom s rezistanciou R môžeme považovať za obvod striedavého prúdu s odporom. Ak sa v spotrebiči premení celá elektromagnetická energia na jeho vnútornú energiu, prúd vo vedení je vo fáze s napätím medzi vodičmi. Keď obvodom preteká elektrický prúd i , tak v okolí vodičov sa vytvorí časovo premenné magnetické pole; jeho magnetická indukcia \vec{B} má najväčšiu hodnotu v miestach, ktorými prechádza v danom okamihu najväčší prúd. Hodnoty magnetickej indukcie pozdĺž vedenia vyjadruje sínusoida:

$$\circ \vec{B} = \vec{B}_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

- keďže napätie a prúd vo vedení majú rovnakú fázu, majú rovnakú fázu aj sínusoidy v grafe intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pozdĺž vedenia. Vektory intenzity elektrického poľa a indukcie magnetickeho poľa sú navzájom kolmé a súčasne sú kolmé na smer šírenia elektromagnetickej vlny.
- pri prenose elektromagnetickej energie vzniká medzi vodičmi vedenia časovo premenné silové pole, ktoré má jednak elektrickú, jednak magnetickeú zložku (elektrická a magnetickeá zložka sa nedajú od seba oddeliť) a nazýva sa elektromagneticke pole. Energia sa neprenáša vodičmi, ale elektromagnetickeým poľom medzi nimi. Tento dej má charakter vlnenia.



20.1.2 stojatá elektromagnetickeá vlna

- pri postupnej elektromagnetickej vlne sa celá energia elektromagnetickeho vlnenia pohltí na konci vedenia (v spotrebiči)
- keď sa elektromagneticke vlnenie na konci vedenia odráža, vzniká iná situácia – stojatá elektromagnetickeá vlna. Takýto prípad napr. nastane, ak na konci vedenia nie je pripojený spotrebič (vedenie naprázdno). Pretože koniec vedenia má veľký odpor ($R \rightarrow \infty$), dosahuje napätie na konci vedenia najväčšiu hodnotu. Naopak, prúd má na konci stále nulovú hodnotu (vedenie je rozpojené). V celom vedení nastáva fázové posunutie napätia a prúdu o $\frac{\pi}{2}$.
- **napät'ová vlna** sa na konci vedenia odrazí s rovnakou fázou a interferuje s postupujúcou vlnou. Pre pôvodnú a odrazenú vlnu platí:

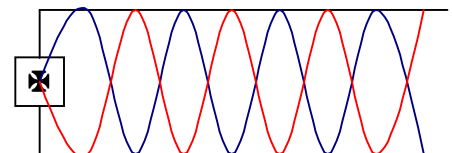
$$u_1 = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\circ u_2 = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$

- výsledná napät'ová vlna je daná sčítaním oboch vlín:

$$\circ u = u_1 + u_2 = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) = \underbrace{2U_m \cos \frac{2\pi x}{\lambda}}_{\text{amplitúda}_\text{napätia}} \sin \frac{2\pi t}{T}$$

- **kmitne** napätia:



- $\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1 \Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda} = k\pi \Rightarrow x = k \frac{\lambda}{2}$
- susedné kmitne sú od seba vzdialené $\frac{\lambda}{2}$

- **uzly napätia:**

- $\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = 0 \Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda} = (2k+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow x = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$
- susedné uzly sú od seba vzdialené $\frac{\lambda}{2}$
- vzdialenosť susedných kmitní a uzlov je $\frac{\lambda}{4}$

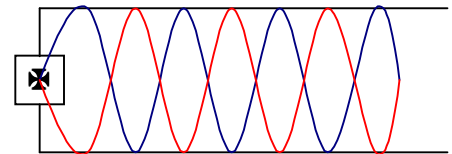
- poloha kmitní a uzlov napätia sa zisťuje pomocou tlejivky, ktorá sa rozsvieti v miestach kmitní napätia

- **prúdová vlna** sa na konci odrazí s opačnou fázou a interferuje s postupujúcou prúdovou vlnou. Pre pôvodnú a odrazenú vlnu platí:

$$i_1 = I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

○

$$i_2 = -I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$



- výsledná prúdová vlna je daná sčítaním oboch rovníc:

$$i = i_1 + i_2 = I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) - I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) = \underbrace{-2I_m \sin \frac{2\pi x}{\lambda}}_{\text{amplitúda napätia}} \cos \frac{2\pi t}{T}$$

- **kmitne prúdu:**

- $\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1 \Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda} = (2k+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow x = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$
- susedné kmitne sú od seba vzdialené $\frac{\lambda}{2}$

- **uzly prúdu:**

- $\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = 0 \Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda} = k\pi \Rightarrow x = k \frac{\lambda}{2}$
- susedné uzly sú od seba vzdialené $\frac{\lambda}{2}$

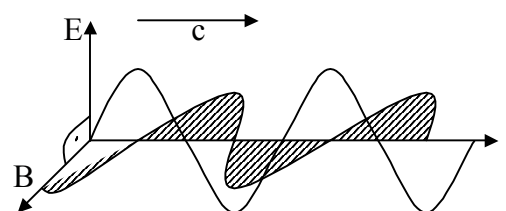
- vzdialenosť susedných kmitní a uzlov je $\frac{\lambda}{4}$

- poloha kmitní a uzlov prúdu sa zisťuje pomocou žiarovky, ktorá sa rozsvieti v miestach kmitní prúdu

- v okamihu, keď má napätie v kmitniach najväčšiu hodnotu, prúd v celom vedení sa rovná nule. Celá energia elektromagnetickej vlny sa premenila na energiu elektrického poľa. Naopak, keď je v kmitniach prúd najväčší, pozdĺž celého vedenia je nulové napätie. Energia elektromagnetickej vlny je sústredená v magnetickom poli. Stojatým elektromagnetickým vlnením sa energia neprenáša, len sa mení na energiu elektrického poľa a naopak. V stojatej elektromagnetickej vlne sú časovo

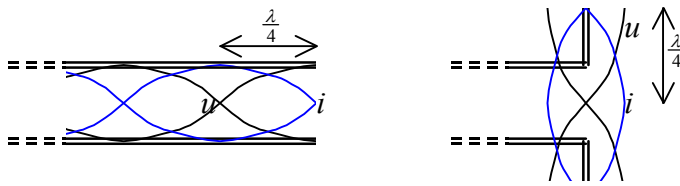
premenné vektory \vec{E} a \vec{B} fázovo posunuté o $\frac{\pi}{2}$ (tam ,

kde je intenzita elektrického poľa je maximálna, je indukcia magnetického poľa nulová a naopak).

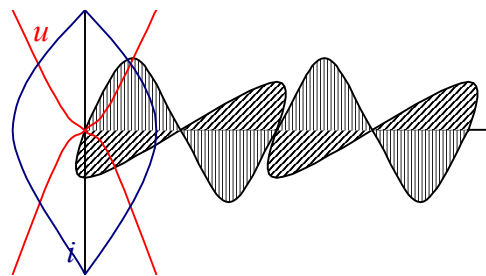


20.1.3 elektromagnetický dipól

- elektromagnetické vlnenie, ktoré sa šíri dvojvodičovým vedením, je s vedením úzko spojené a jeho energia je sústredená prevažne medzi vodičmi. V oznamovacej technike je však často potrebné, aby napr. vysielač vyžaroval elektromagnetické vlnenie do väčšieho priestoru. To možno dosiahnuť úpravou konce vedenia, pri ktorej sa vodiče dĺžky $\frac{\lambda}{4}$ roztvoria do smeru kolmého na vedenie.



- v odchylených častiach vedenia vznikajú prúdy, ktoré majú v každom okamihu súhlasný smer, a magnetické pole prúdu môže tak zasahovať do celého okolia. Napätie na koncoch vodičov dosahuje periodicky najvyššie hodnoty a vzniká elektrické pole, ktoré tiež zasahuje do okolia.
- napätie a prúd utvárajú stojaté vlnenie. Napätie má na koncoch dipólu kmitňu a v strede uzol, prúd má, naopak, na koncoch uzol a v strede kmitňu.
- kmitanie dipólu je spojené so vznikom elektrického a magnetického poľa v jeho okolí, ktorým sa prenáša energia elektromagnetického vlnenia do priestoru – vzniká výsledné **elektromagnetické pole dipólu**. Najväčšia časť energie sa vyžaruje v smeroch kolmých na os dipólu, kým v smere osi dipól energiu nevyžaruje.



20.2 elektromagnetické žiarenie a jeho energia

- každý druh elektromagnetického žiarenia je charakterizovaný frekvenciou f a vlnovou dĺžkou λ , pričom:
 - o $\lambda = \frac{c}{f}$
- elektromagnetické vlny vznikajú v podstate dvoma spôsobmi:
 - o každá častica, ktorá sa pohybuje s nenulovým zrýchlením, vyžaruje elektromagnetické vlny (tento mechanizmus sa uplatňuje napr. pri vysielaní televíznych alebo rádiových vln, pri žiarovke)
 - o druhý spôsob vyžarovania súvisí so zmenami vo vnútornej štruktúre jednotlivých atómov a molekúl. pri týchto zmenách sa mení pohybový stav elektrónov v atóme a atóm vysiela elektromagnetické žiarenie

20.2.1 spektrum elektromagnetického žiarenia

Oblasť	Vlnová dĺžka [m]	Kmitočet [Hz]	Energia 1 kvanta [eV]
dlhé vlny	10^4	10^4	10^{-10}
stredné vlny	10^3	10^5	10^{-9}
krátke vlny	10^2	10^6	10^{-8}
veľmi krátke vlny	10	10^7	10^{-7}
ultrakrátke vlny	1	10^8	10^{-6}
radarové vlny	10^{-1}	10^9	10^{-5}

milimetrové vlny	10^{-3}	10^{10} 10^{11}	10^{-4} 10^{-3}
ďaleká infračervená	10^{-4}	10^{12}	10^{-2}
blízka infračervená	10^{-5}	10^{13}	10^{-1}
viditeľné svetlo	10^{-6}	10^{14}	10^1
ultrafialová	10^{-7}	10^{15}	10^{10}
mäkké žiarenie X	10^{-8}	10^{16}	10^2
tvrdé žiarenie X	10^{-9}	10^{17}	10^3
žiarenie γ	10^{-10}	10^{18}	10^4

- ľudské oko je citlivé iba na malú časť spektra elektromagnetického žiarenia, ktorú nazývame svetlo $\lambda \in (380,780)nm$. Väčšie vlnové dĺžky má **infračervené žiarenie** (zakaleným prostredím preniká rýchlejšie ako svetlo). Kratšie vlnové dĺžky má **ultrafialové žiarenie** (v rozpätí 350 nm až 14 nm; jeho zdrojom sú telesá zohriate na vysokú teplotu; obyčajné sklo pohlcuje UV)
- významné je aj röntgenové žiarenie (dôležité je jeho využitie v medicíne; röntgenovo-štruktúrna analýza umožňuje štúdium stavby pevných látok a zložitých molekúl)
- zdrojom elektromagnetického žiarenia je zrýchlený pohyb častíc s elektrickým nábojom (napr. pri tepelnom pohybe elektrónov v rozžeravenom kove) alebo zmena energetického stavu atómu (napr. pri výboji v plyne). Podľa toho svetelné zdroje vysielajú žiarenie so **spojitým** alebo **čiarovým spektrom**. Tieto spektrá môžeme pozorovať spektroskopom ako **emisné** alebo ako **absorpčné spektrá**. Charakteristické vlastnosti spektier sa využívajú pri spektrálnej analýze v oblasti infračerveného, viditeľného aj ultrafialového žiarenia. Pomocou analýzy sa zisťuje prítomnosť stopových látok. Spektrálna analýza je veľmi dôležitá pri poznávaní štruktúry atómov aj chemického zloženia vesmírnych objektov.

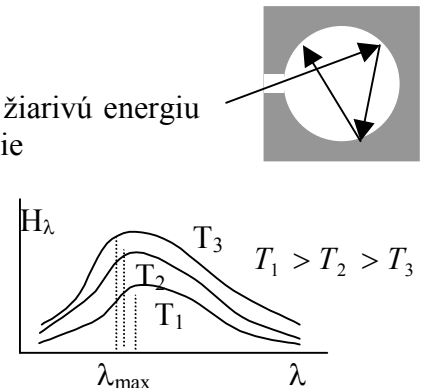
20.2.2 základné rádiometrické a fotometrické veličiny

- energiu prenášanú žiarením posudzujeme podľa hodnôt rádiometrických a fotometrických veličín. Rádiometrické veličiny charakterizujú energiu prenášanú žiarením, fotometrické veličiny charakterizujú účinky žiarivej energie na náš zrak.
- **rádiometrické veličiny:**
 - o **žiarivý tok Φ_e** : predstavuje energiu vyžiarenú zdrojom za 1 s:
 - $\Phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t}$, $[\Phi_e] = W$
 - o **žiarivosť I_e** : rovná sa žiarivému toku, ktorý zdroj vysielá do priestorového uhla $\Delta\Omega$:
 - $I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}$, $[I_e] = W \cdot sr^{-1}$ (sr – steradián)
 - o **intenzita vyžarovania M_e** : rovná sa žiarivému toku vysielanému z plochy zdroja s obsahom S :
 - $M_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$, $[M_e] = W \cdot m^{-2}$
- **fotometrické veličiny:**
 - o **svetelný tok Φ** : časť žiarivého toku, na ktorý je ľudské oko citlivé
 - jednotkou svetelného toku je **lumen** ($[\Phi] = cd \cdot sr = lm$); lumen je svetelný tok, vysielaný do priestorového uhla veľkosti 1 sr bodovým zdrojom, ktorého svietivosť sa vo všetkých smeroch rovná 1 kandele

- **svietivosť** I : svietivosť bodového zdroja v danom smere je určená ako podiel svetelného toku $\Delta\Phi$ vyžiareného zdrojom do malého priestorového uhla $\Delta\Omega$ a veľkosti tohto priestorového uhla:
 - $I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$, $[I] = cd$
 - **kandela** je svietivosť čierneho telesa v kolmom smere na povrch, ktorého veľkosť je $\frac{1}{600000} m^2$ ($1,74 mm^2$), pri teplote tuhnutia platiny $1773\text{ }^\circ C$ a tlaku 101325 Pa
- **osvetlenie** E_θ : je to svetelný tok dopadajúci na plochu:
 - $E_\theta = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{\Delta\Phi}{r^2 \Delta\Omega} = \frac{I}{r^2}$, kde r je vzdialenosť zdroja od plochy, na ktorú dopadá žiarenie, $[E_\theta] = lm \cdot m^{-2} = lx$ (lx – lux)

20.2.3 žiarenie čierneho telesa

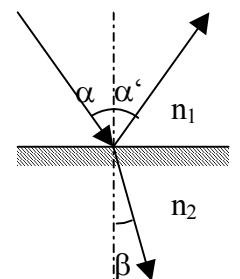
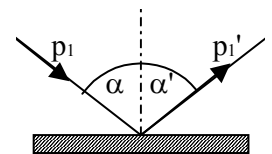
- **čierne teleso** je model telesa, ktoré pohlcuje všetku dopadajúcu žiariivú energiu bez ohľadu na vlnovú dĺžku a neskôr ju vysieľa ako tepelné žiarenie
- **Wienov posunovací zákon**:
 - vlnová dĺžka λ_{max} , na ktorú pripadá maximum vyžarovania čierneho telesa, je nepriamo úmerná termodynamickkej teplote T . So zvyšujúcou teplotou sa maximá posúvajú k menším vlnovým dĺžkam.
 - $\lambda_{max} T = b$, kde b je konštanta ($b = 2,9 \cdot 10^{-3} m \cdot K$)
- **Stefanov-Boltzmannov zákon**:
 - energia vyžarovaná čiernym telesom za 1 s sa zväčšuje so štvrtou mocninou termodynamickkej teploty:
 - $M_e = \sigma T^4$



20.3 vlnové vlastnosti svetla

20.3.1 odraz a lom svetla

- **index lomu** n : udáva, koľkokrát je rýchlosť svetla v látke menšia ako rýchlosť svetla vo vákuu
 - $n = \frac{c}{v}$
- **zákon odrazu**: uhol odrazu vlnenia sa rovná uhlu dopadu
 - $\alpha = \alpha'$
 - uhol dopadu je medzi kolmicou dopadu a dopadajúcim lúčom; uhol odrazu je medzi kolmicou dopadu a odrazeným lúčom
 - rovina určená lúčom dopadajúceho vlnenia a kolmicou na rozhranie sa nazýva **rovina dopadu**
 - odrazený lúč leží v rovine dopadu
- **zákon lomu vlnenia (Snellov zákon lomu)**: pomer sínusu uhla dopadu k sínusu uhla lomu je pre dve dané prostredia stála veličina a rovná sa pomeru fázových rýchlostí v oboch prostrediach. Nazýva sa index lomu vlnenia n pre dané prostredie
 - $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$
 - lomený lúč zostáva v rovine dopadu
- keď svetlo prechádza z opticky hustejšieho prostredia do opticky redšieho prostredia (ak $n_1 > n_2$), tak pri istom uhle dopadu je uhol lomu rovný 90° ; tento uhol nazývame **medzný uhol**. Pri uhle



dopadu väčšom ako medzný uhol svetlo neprechádza do opticky redšieho prostredia, ale sa úplne odráža – **úplný (totálny) odraz** svetla.

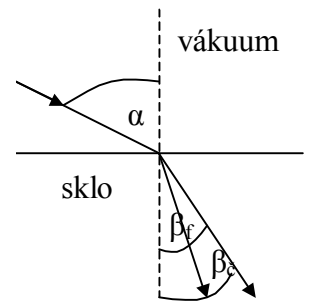
20.3.2 disperzia svetla

- pre veľkosť rýchlosti vlnenia platí:
 - o $v = \lambda f$
- pri meraní rýchlosti svetla v rôznych prostrediach sa zistilo, že veľkosť rýchlosti v danom prostredí závisí od frekvencie svetla; tento fyzikálny jav sa volá **disperzia svetla**. Vo vákuu rýchlosť svetla $c = \lambda_0 f$ nezávisí od frekvencie.

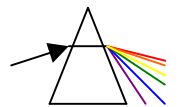
- pretože **index lomu** je definovaný vzťahom $n = \frac{c}{v}$, tak v dôsledku disperzie svetla aj index lomu daného optického prostredia závisí od frekvencie

- o keď biele svetlo dopadá na rovinné rozhranie, dochádza k lomu. Lomené svetlo nie je biele, ale jeho okraje sú sfarbené na červeno a fialovo (biele svetlo sa rozložilo na farebné zložky). Najviac sa láme fialové svetlo, najmenej červené. Platí:

$$\beta_e \rangle \beta_f \Rightarrow n_e \langle n_f \Rightarrow v_e \rangle v_f$$



- biele svetlo je zmesou jednoduchých spektrálnych svetiel, teda zmesou vlnení s rozličnými frekvenciami. Najväčšiu frekvenciu má vo viditeľnom žiarení fialové svetlo ($7,8 \cdot 10^{14}$ Hz, 380 nm), najmenšiu červené svetlo ($3,8 \cdot 10^{14}$ Hz, 780 nm). Svetlo s jednou frekvenciou sa nazýva **monofrekvenčné**. Po lome bieleho svetla optickým hranolom vzniká sústava farebných pruhov, čo nazývame spektrum. V spektre za sebou nasledujú: červená, oranžová, žltá, zelená, modrá, indigová a fialová.



- frekvencia vlnenia sa prechodom rôznymi prostrediami nemení, platí:

$$f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

- o vlnová dĺžka λ v istom optickom prostredí s indexom lomu n je n -krát menšia ako vlnová dĺžka λ_0 vo vákuu

20.3.3 interferencia svetla

- interferovať môžu len **koherentné vlnenia** (skladajúce svetelné vlnenia musia mať rovnakú frekvenciu a stály s časom sa nemeniaci dráhový rozdiel; túto podmienku môžeme dosiahnuť tak, že z jedného zdroja odvodíme viacero vlín)
- svetelné vlnenie pri odraze na opticky hustejšom prostredí zmení fázu na opačnú (vznikne fázový rozdiel $\frac{\lambda}{2}$)

- **odrazené svetlo:**

- o **dráhový rozdiel:**

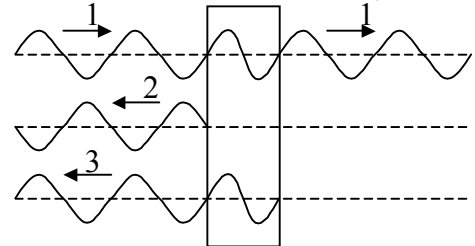
$$\Delta = \frac{\lambda}{2} + 2nd$$

- o **najväčšie zosilnenie:**

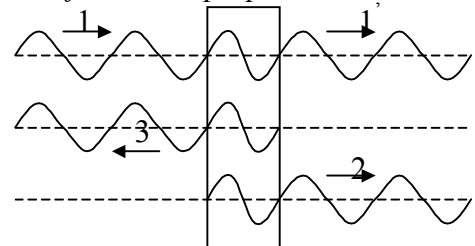
$$\frac{\lambda}{2} + 2nd = 2k \frac{\lambda}{2}$$

- o **najväčšie zoslabenie:**

interferencia v odrazenom svetle



interferencia v prepustenom svetle



- v odrazenom svetle interferujú vlnenia 2, 3
- v prepustenom svetle interferujú vlnenia 1, 2

$$\blacksquare \frac{\lambda}{2} + 2nd = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

- **prepustené svetlo:**

o dráhový rozdiel:

$$\blacksquare \Delta = 2nd$$

o najväčšie zosilnenie:

$$\blacksquare 2nd = 2k\frac{\lambda}{2}$$

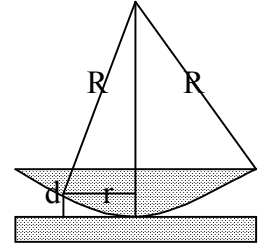
o najväčšie zoslabenie:

$$\blacksquare 2nd = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

- **Newtonove sklá:**

- o pomocou Newtonových skiel môžeme merať vlnovú dĺžku svetla
- o tvorí ich planoparalelná vrstva a ploskovypuklá šošovka s veľkých polomerom krivosti
- o platia také isté vzťahy ako pri interferencii v odrazenom svetle
- o pre vzdialenosť d podľa Pytagorovej vety platí:

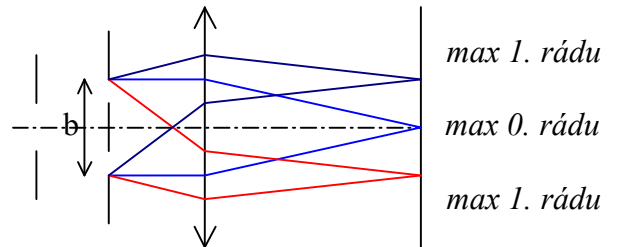
$$\blacksquare R^2 = (R - d)^2 + r^2 = R^2 - 2Rd + \overset{\text{veľmi malé}}{d^2} + r^2 \Rightarrow d = \frac{r^2}{2R}$$



20.3.4 ohyb svetla (difrakcia) na dvojštrbine a optickej mriežke

- ohyb nastane, ak sú splnené dve podmienky:
 - o vlnenia sú koherentné (svetelné vlnenia, ktoré majú rovnakú frekvenciu a stály s časom sa nemeniaci fázový rozdiel)
 - o rozmery prekážok musia byť porovnateľné s vlnovou dĺžkou svetla (úzke štrbiny, malé otvory, tenké neprehľadné vlákna a pod.)
- svetelné vlnenia po ohybe na prekážkach interferujú. O tom, či v danom mieste na tienidle nastane zosilnenie alebo zoslabenie, rozhoduje dráhový rozdiel interferujúcich vlnení

- *Youngov pokus:* Máme zdroj svetla, svetelné vlnenie prechádza cez osvetľovaciu štrbinu, pomocou ktorej získame zväzok rovnobežných lúčov. Osvetľovacia štrbina je zdrojom vlnenia, ktoré sa šíri k dvojštrbine (dve úzke rovnobežné štrbiny, ktorých stredy sú vo vzdialenosti b , pričom štrbiny sú rovnobežné s osvetľovacou štrbinou a vzhľadom na ňu sú symetrické). V štrbinách nastane rozdelenie svetelného vlnenia. Keďže vlnenia v štrbinách sú dôsledkom jedného dopadajúceho vlnenia, tak vychádzajúce vlnenia sú koherentné – nastáva ohyb a súčasne interferencia svetla. Na tienidle pozorujeme sústavu rovnobežných svetlých a tmavých prúžkov (pozorujeme maximum 0. rádu, maximum 1. rádu atď.) Svetlo pozorujeme aj mimo rovnobežného smeru, to dokazuje, že dochádza k lomu svetla a súčasne to potvrdzuje vlnové vlastnosti svetla.



- **dráhový rozdiel** medzi dvoma rovnobežnými lúčmi, ktoré vychádzajú zo štrbín, môžeme podľa obr. vyjadriť v tvare:

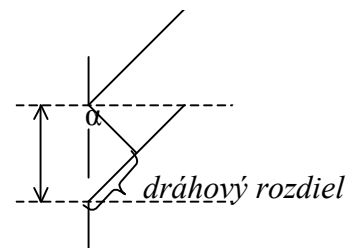
o $\Delta = b \sin \alpha$

- podľa dráhového rozdielu dostávame interferenčné maximá alebo minimá:

o **ohybové maximum:**

$$\blacksquare b \sin \alpha = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

o **ohybové minimum:**

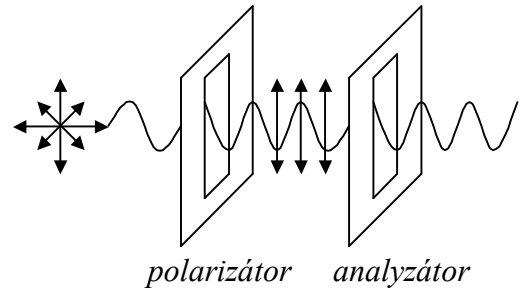


$$\blacksquare \quad b \sin \alpha = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

- z praktického hľadiska má najväčší význam ohybový jav pozorovaný na **optickej mriežke**, ktorú si môžeme predstaviť ako sústavu zloženú z veľkého počtu dvojštrbín, ktoré sú navzájom v rovnakej vzdialenosti. Vzdialenosť stredov dvoch susedných štrbín je **mriežková konštanta b** . Optické mriežky sa používajú na meranie vlnovej dĺžky svetla.

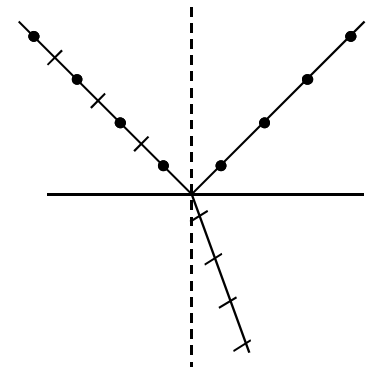
20.3.5 polarizácia svetla

- polarizácia nastáva len pri priečnom vlnení
- polarizácia je dej, ktorý dokazuje, že svetlo je priečne elektromagnetické vlnenie, v ktorom kmitá vektor intenzity elektrického poľa kolmo na smer postupu vlnenia (vektor intenzity kmitá všetkými smermi)
- po prechode lúča cez polarizátor nastane usmernenie vektora intenzity; vektor intenzity kmitá len v jednom smere; vzniká **polarizovaná vlna**
- ľudské oko nerozlišuje prirodzené nepolarizované svetlo od polarizovaného
- polarizácia nastáva **odrazom, lomom, dvojlomom, polaroidom**



- polarizácia svetla odrazom a lomom:

- pri odraze a lome svetla dochádza k čiastočnej polarizácii svetla; stupeň polarizácie závisí od uhla dopadu (úplná polarizácia svetla pri odraze môže nastať pri uhle dopadu, ktorý sa nazýva – Brewsterov (polarizačný) uhol)
- vektory intenzity v lomenom a odrazenom polarizovanom svetle sú navzájom kolmé



- polarizácia svetla dvojlomom:

- polarizácia dvojlomom nastáva pri prechode svetla cez opticky anizotropné látky (napr. islandský vápenec)
- svetelný lúč sa rozdelí na **riadny lúč**, ktorý pokračuje v pôvodnom smere, **mimoriadny lúč**, ktorý sa odchýli od pôvodného smeru
- oba lúče sú polarizované, pričom vektory intenzity v riadnom a mimoriadnom lúči sú v navzájom kolmých rovinách

