

Vlnová optika

Difrakce a interference světla,
disperze, optická mřížka. Polarizace
světla, Brewsterův úhel, dvojlom.

Vlnová optika

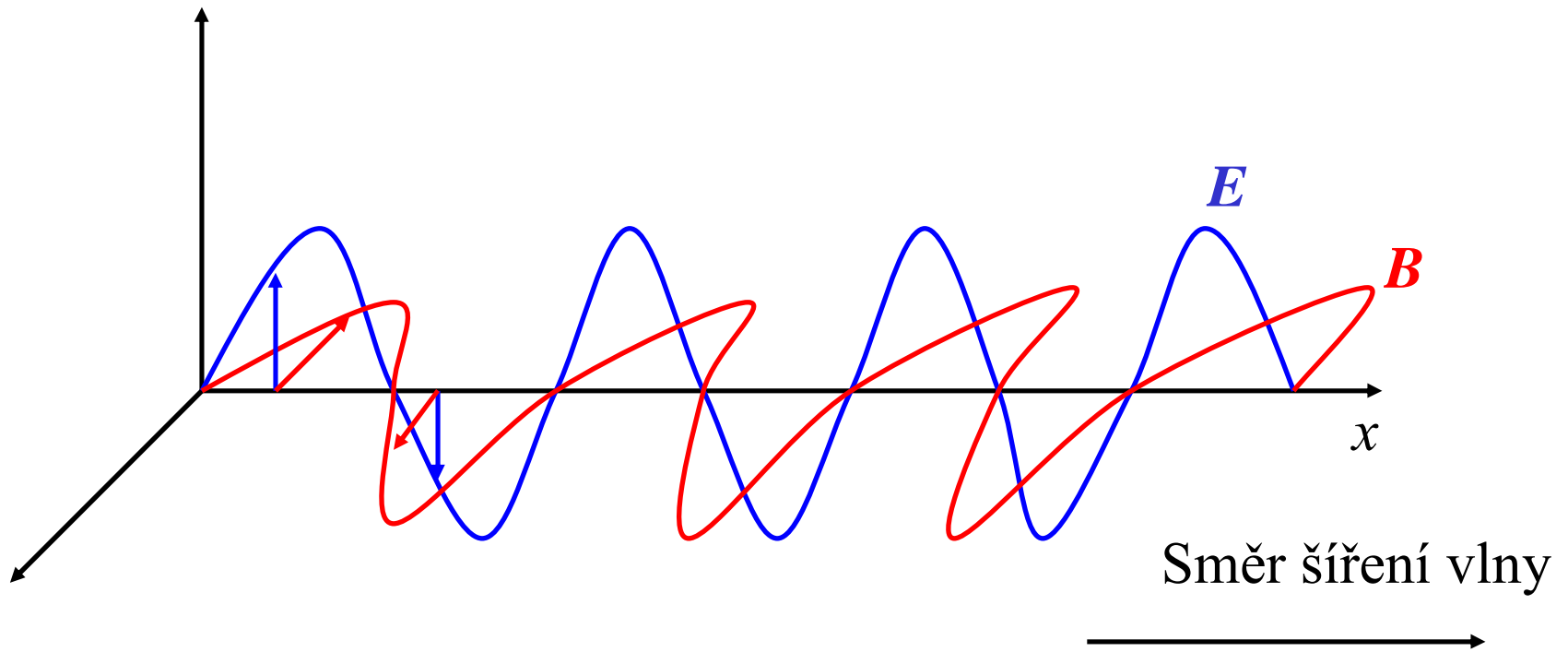
Zabývá se světlem z hlediska jeho vlnových vlastností

Popis šíření světla pomocí vlnoploch, fázových poměrů při interferenci atd.

- Interference
- Ohyb (difrakce)
- Disperze
- Polarizace

Světlo

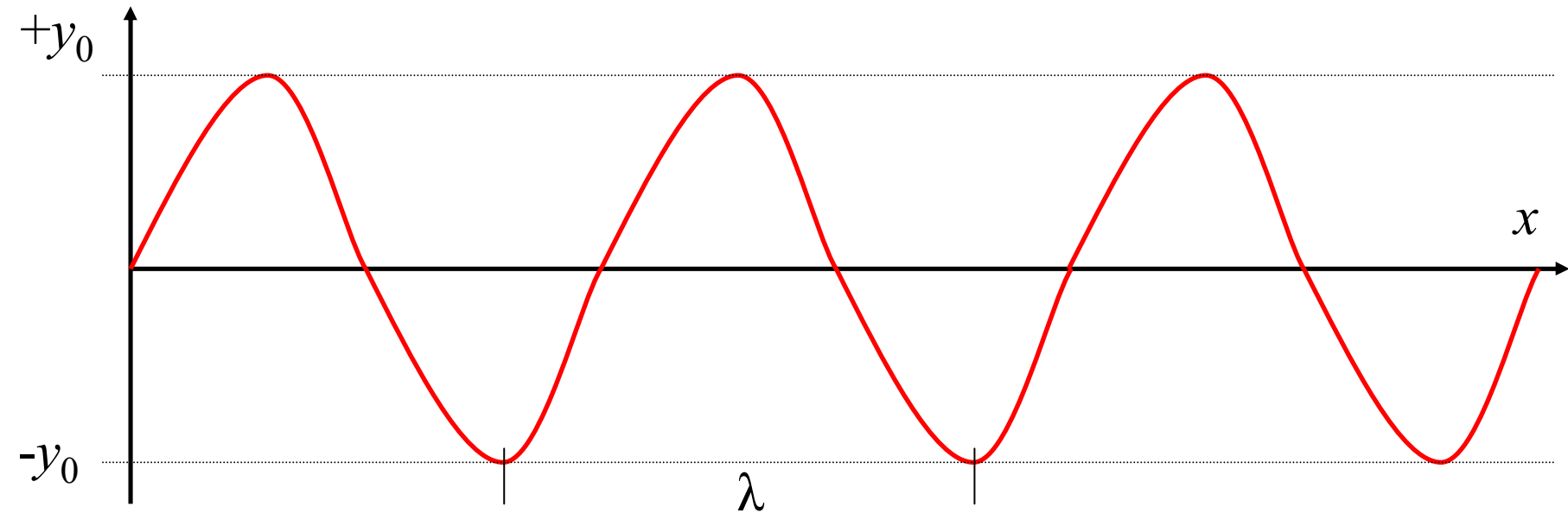
Elektromagnetické vlnění - příčné



Vlnění

- Fázová rychlost c , vlnový vektor $k=\omega/c$
- Amplituda y_0
- Polarizace

$$y = y_0 \sin(\omega t - kx)$$



Vlnová délka, fázová rychlost

Fázová rychlost







$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \epsilon_0 \mu_0}} = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \leq c_0 = 300.000 \text{ km s}^{-1}$$

Permitivita vakua $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$

Permeabilita vakua $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$

Vlnová délka $\lambda = \frac{c}{f}$ frekvence f

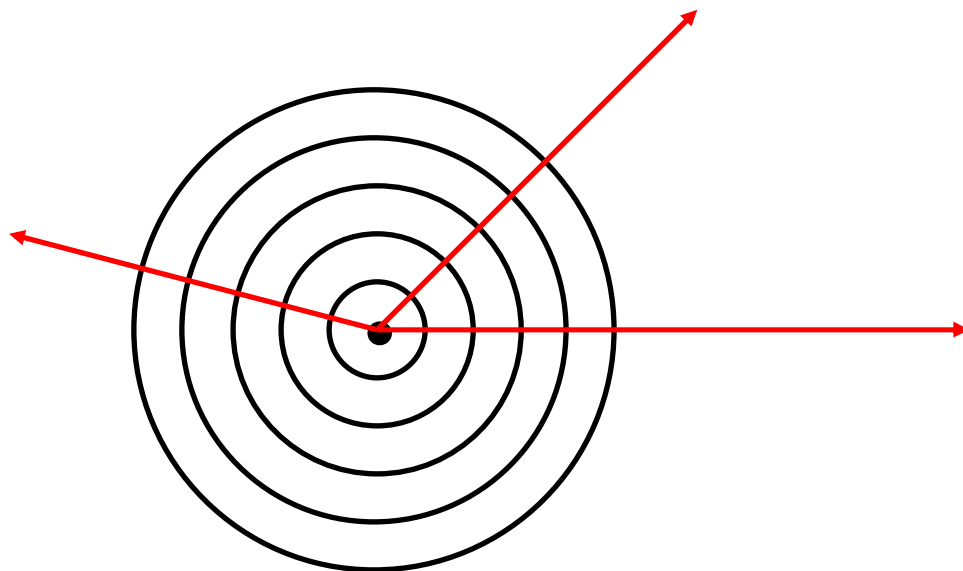
Vlnové délky světla

Červené	720-627nm	
Oranžové	627-589nm	
Žluté	589-566nm	
Zelené	566-495nm	
Modré	495-436nm	
Fialové	436-380nm	

Vlnoplocha, paprsek

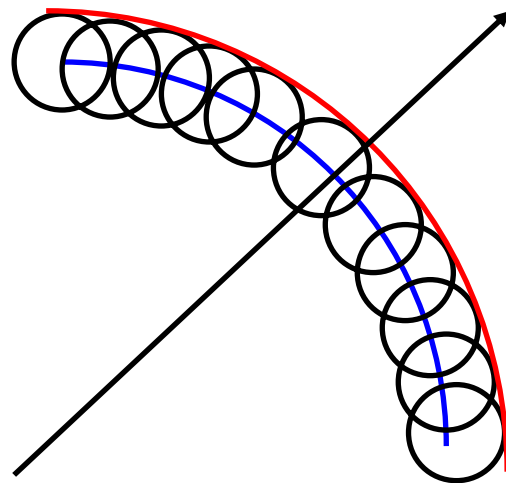
Vlnoplocha se šíří fázovou rychlostí c

Paprsek – kolmice k vlnoploše, směr k



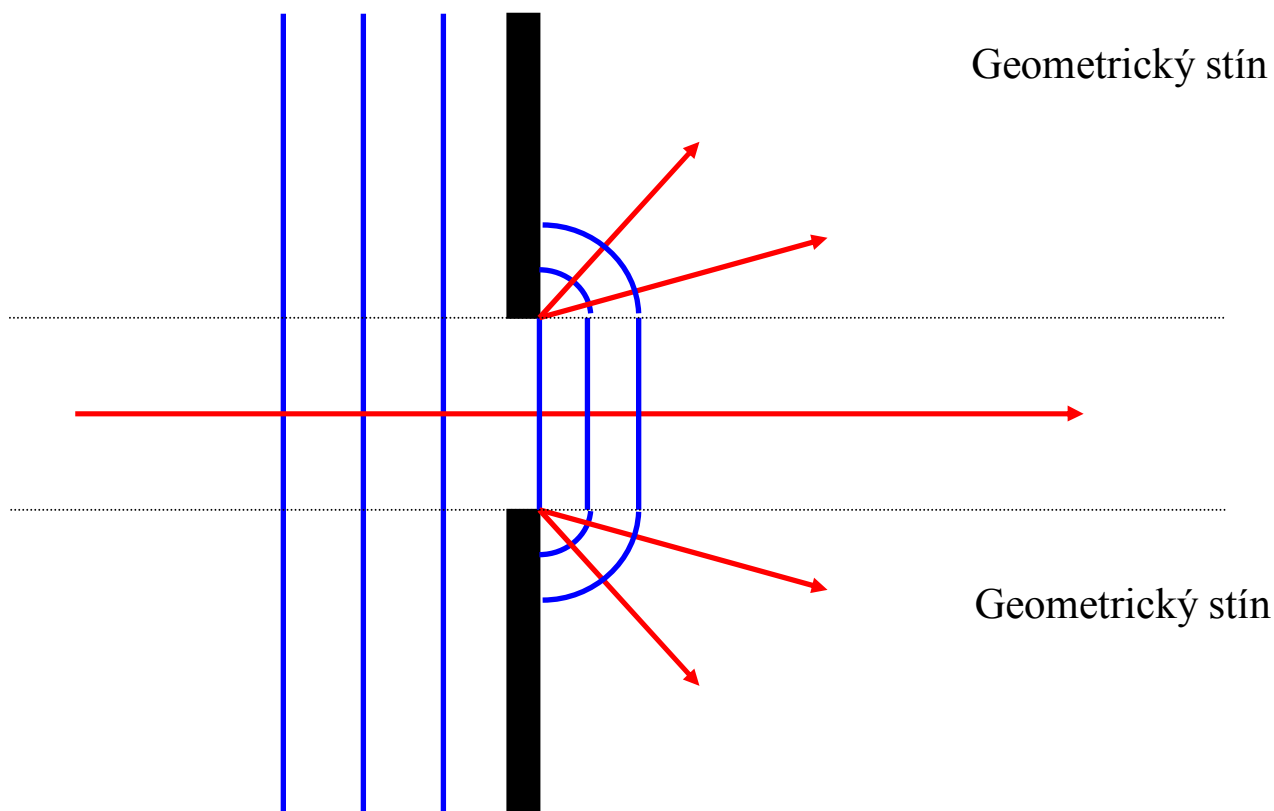
Huyghensův princip

Každé místo vlnoplochy se stává zdrojem dalšího vlnění. Výsledná vlnoplocha je obálkou těchto elementárních vlnoploch.



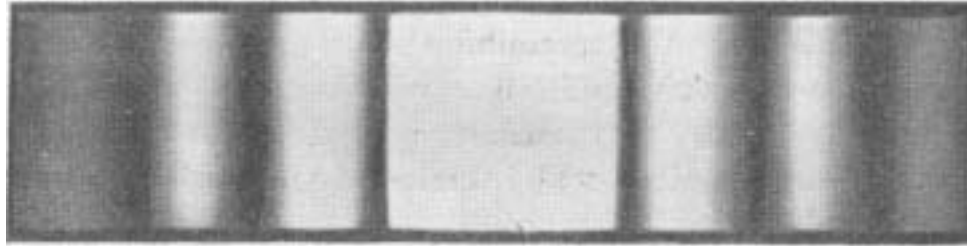
Ohyb vlnění na otvoru

Vlnění se šíří i do míst geometrického stínu

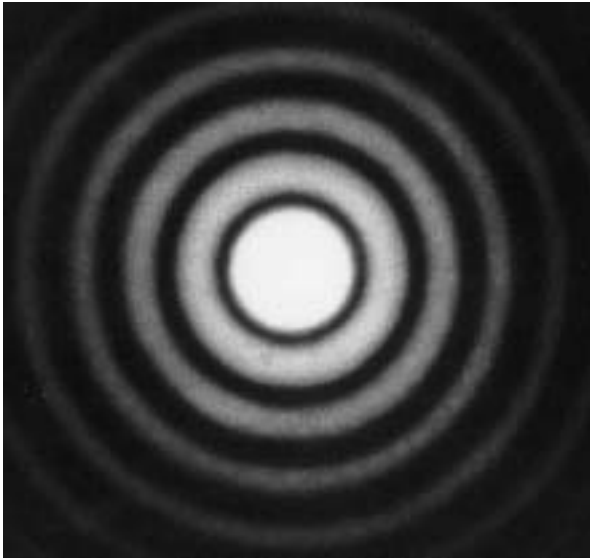


Ohybový obrazec na štěrbíně

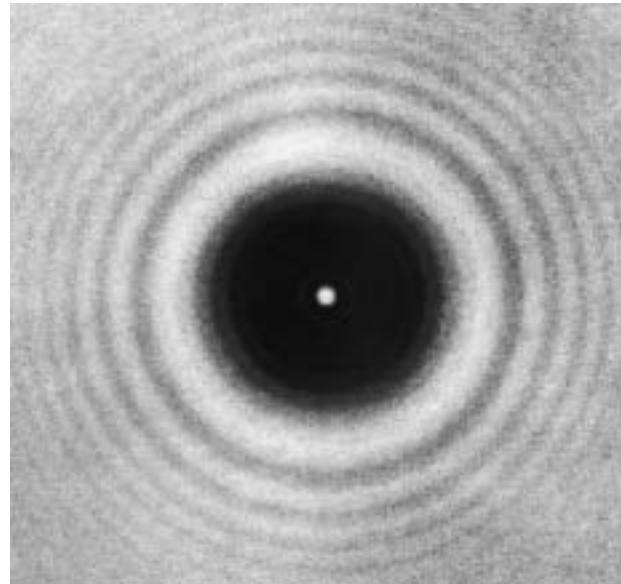
Štěrbina



Kruhový otvor



kruhová překážka

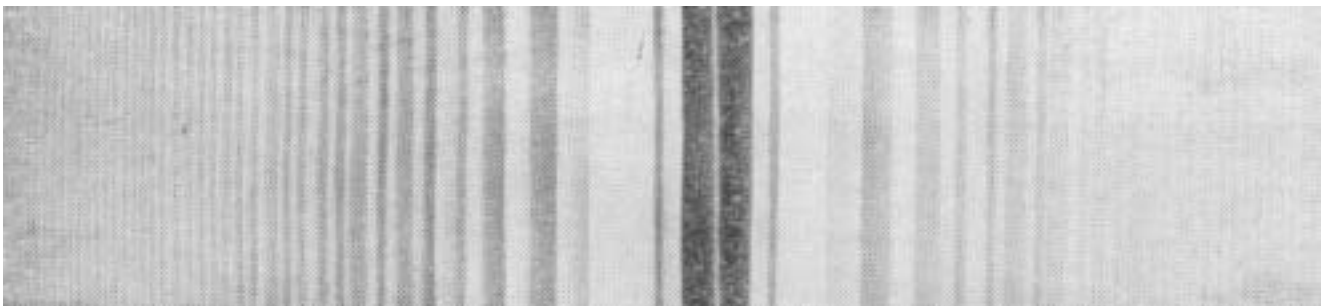


Ohybový obrazec na překážce

Hrana

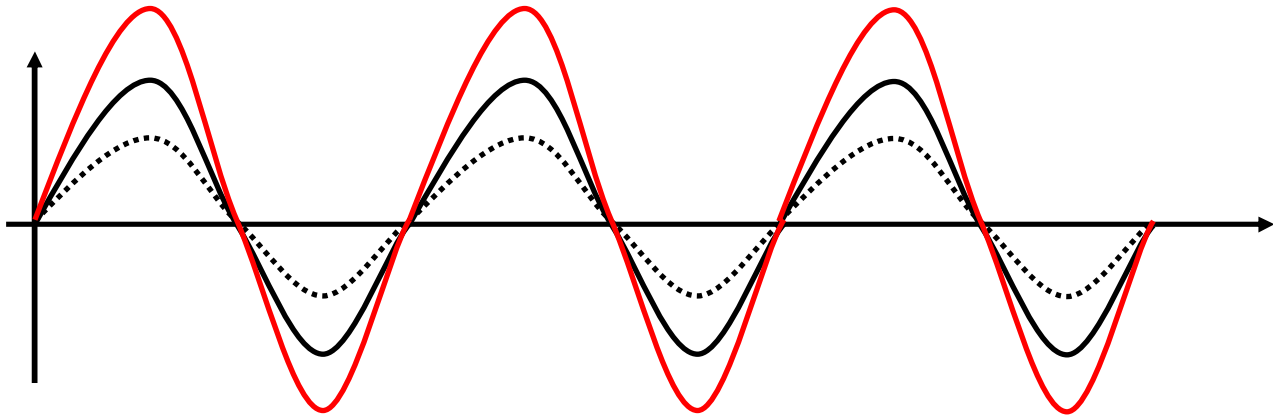


Vlákno

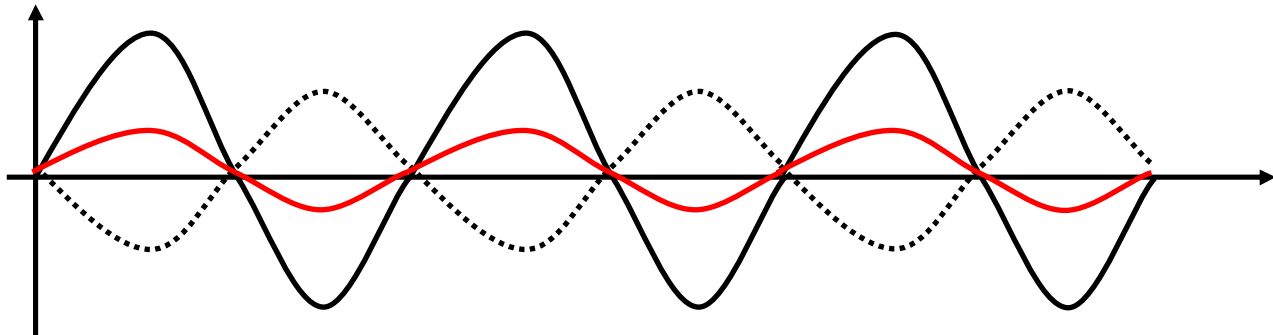


Interference

Maxima



Minima



Koherence světla

Podmínkou interference je stálý (časově neproměnný) fázový rozdíl mezi interferujícími vlnami

Koherentní vlny = mají stálý fázový rozdíl

Světlo většiny zdrojů světla není koherentní, koherentní jsou pouze vlnoplochy vyzařované z blízkých bodů zdroje = koherentní délka

Laserové záření je koherentní a navíc téměř monochromatické, tj. laser má velkou koherentní délku!

Geometrická a optická dráha

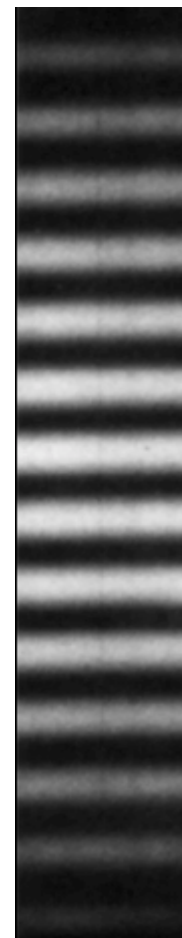
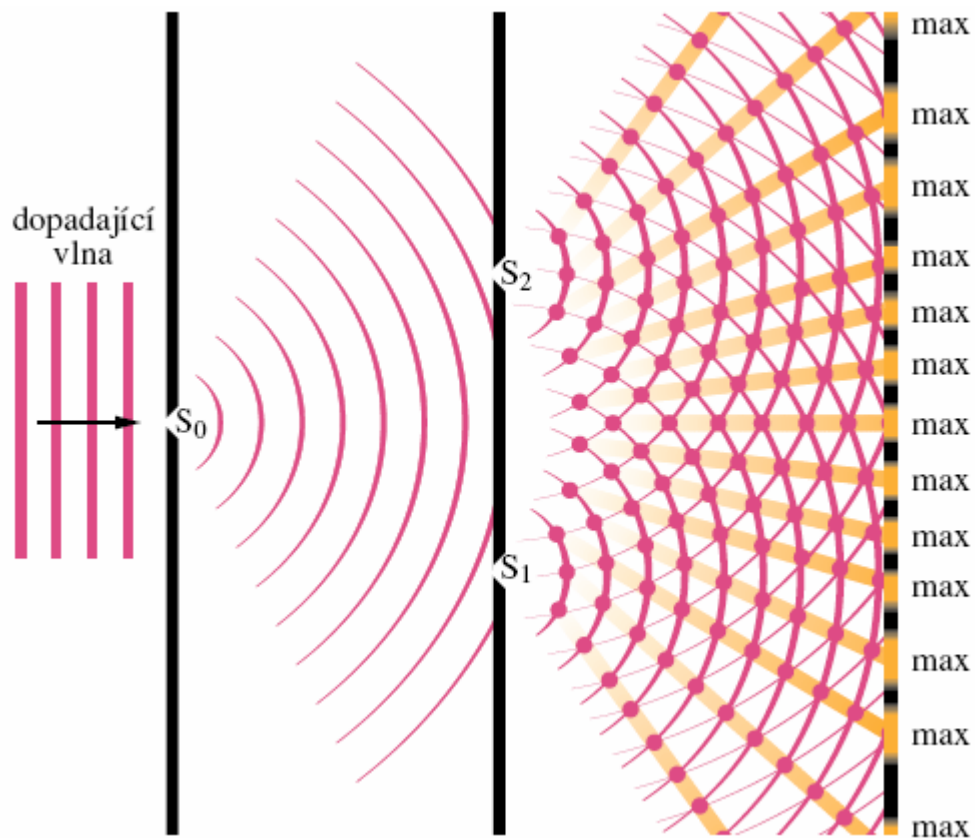
Fáze vlny se mění:

- Různou délkou proběhnuté dráhy (paprsky probíhají po různě dlouhé dráze),
geometrická dráha = L
- Různou rychlostí probíhání po dráze
(paprsky běží v různých prostředích),
optická dráha = $N \cdot L$

N je index lomu prostředí

Youngův pokus

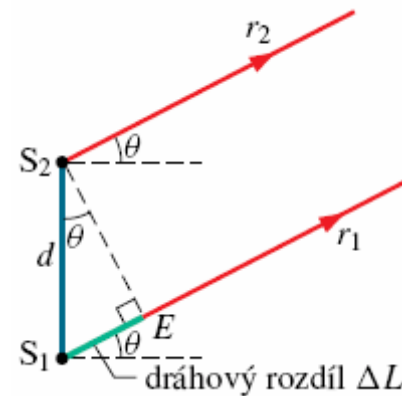
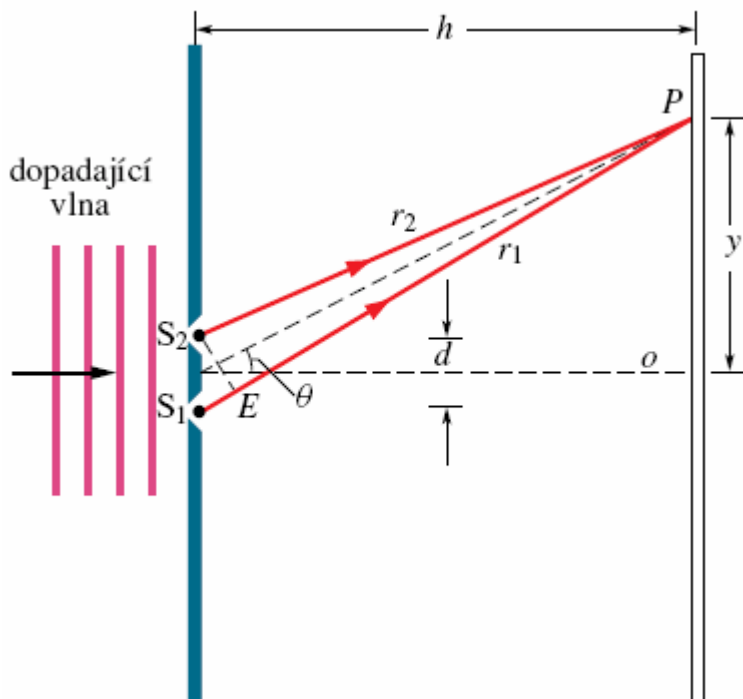
Young (1801)
důkaz vlnové
povahy světla



Youngův pokus

Dráhový rozdíl mezi interferujícími paprsky

přibližení $r_1 \approx r_2$, $h \gg d$



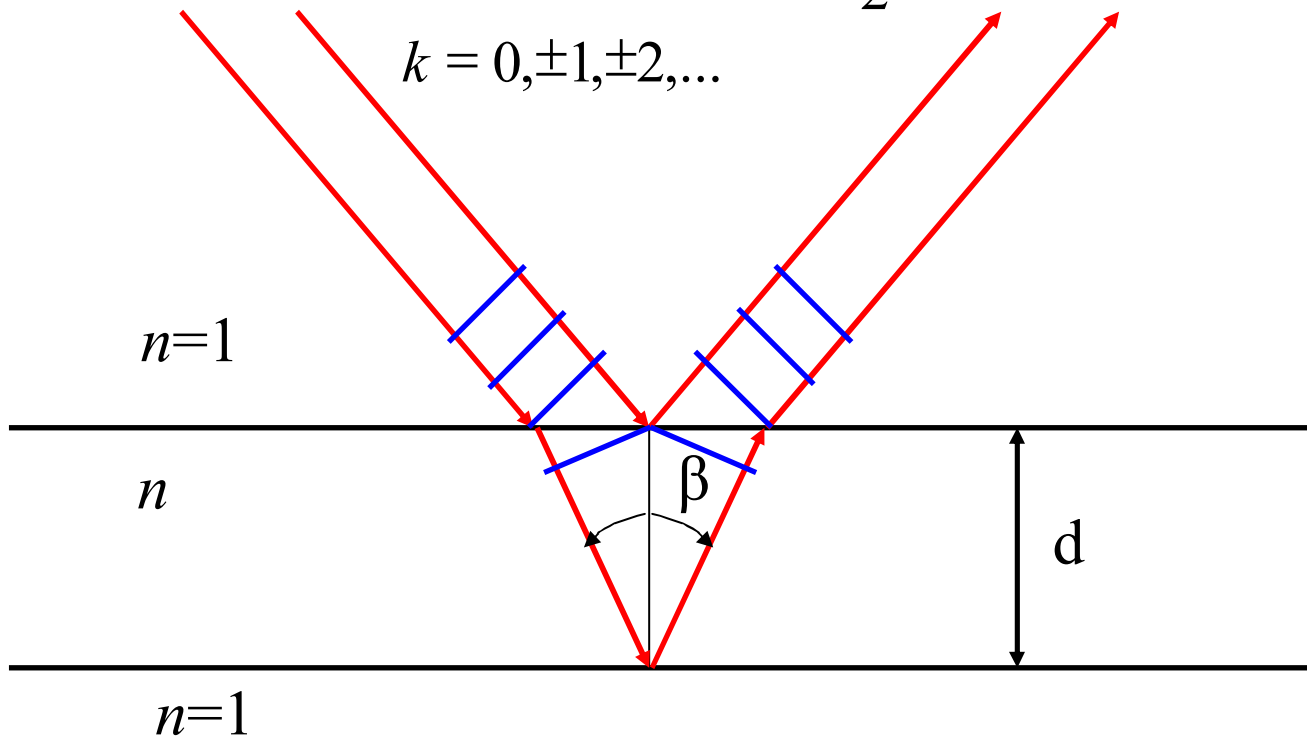
$$\Delta L = d \sin \theta$$

interferenční maxima

$$\Delta L = m\lambda$$

Interference na tenké vrstvě

Maxima $2nd \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$
 $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$



Změna fáze při odrazu na rozhraní dvou prostředí

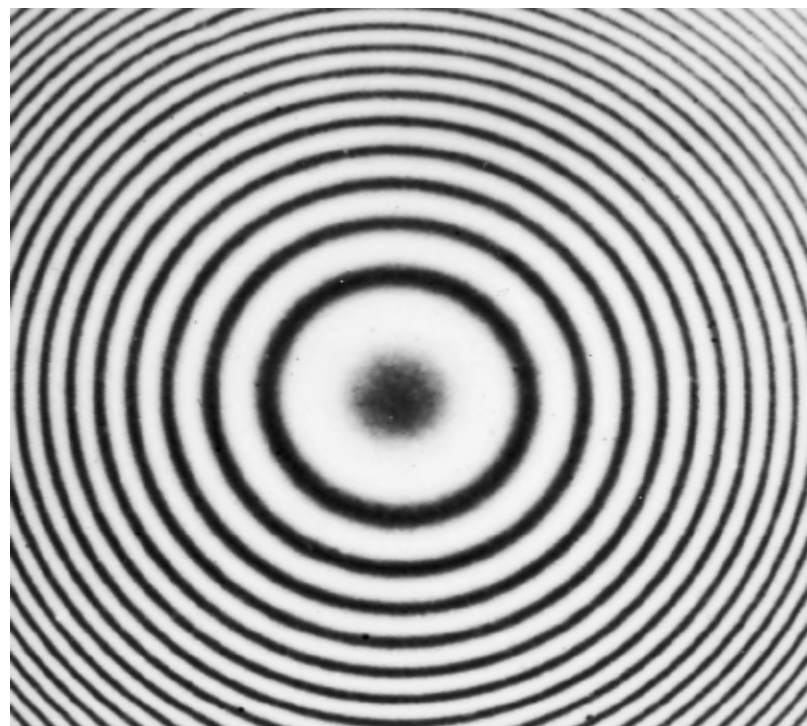
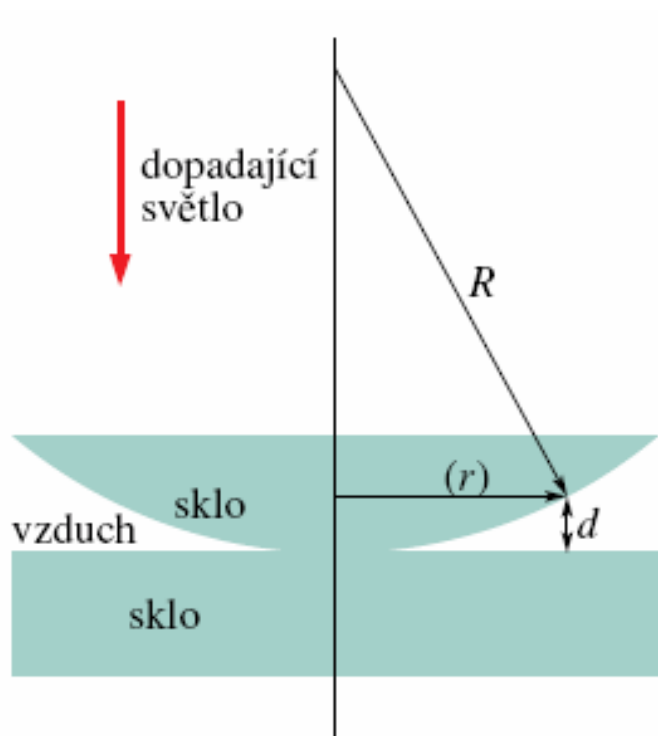
Analogie odrazu mechanických vln na vlnové
řadě s pevným nebo volným koncem

Odraz paprsku od opticky hustšího prostředí
(větší index lomu) znamená změnu fáze o π
rad, dráhově pak o $\lambda/2$

Při odrazu od opticky řidšího prostředí ke
změně fáze nedochází!

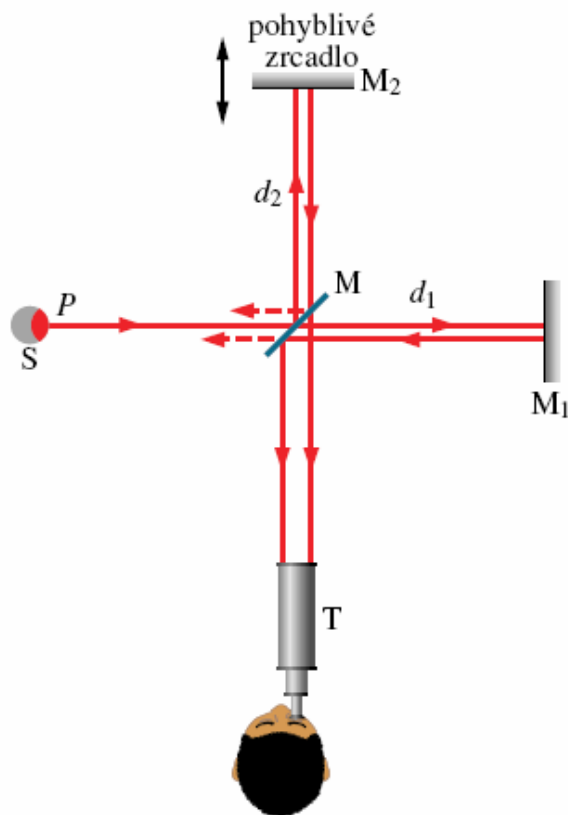
Newtonovy kroužky

Interference prošlé či odražené vlny

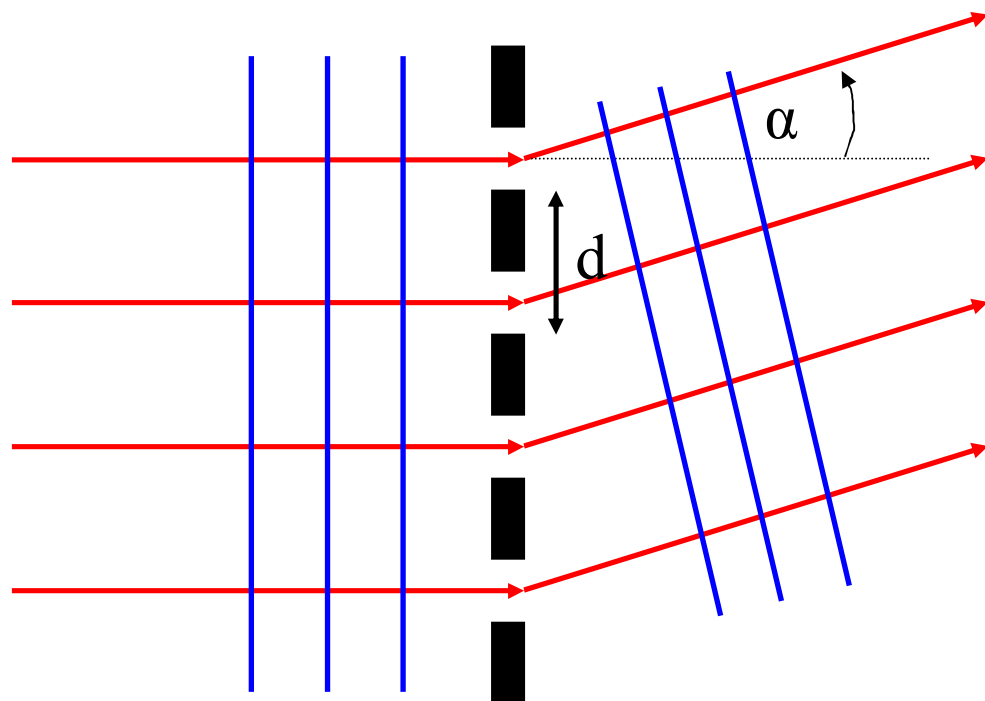


Michelsonův interferometr

Použití k měření délek srovnatelných s vlnovou délkou světla



Ohyb na štěrbině, mřížce



Maxima

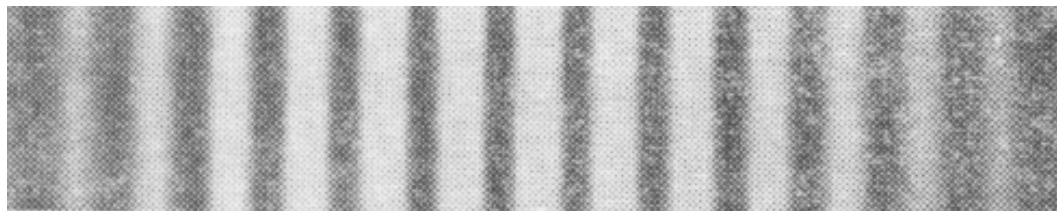
$$d \sin \alpha = k\lambda$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

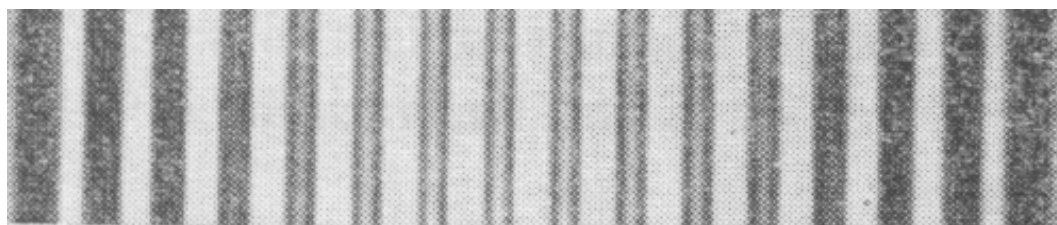
Interference světla na mřížce

Optická mřížka=sada pravidelných štěrbin

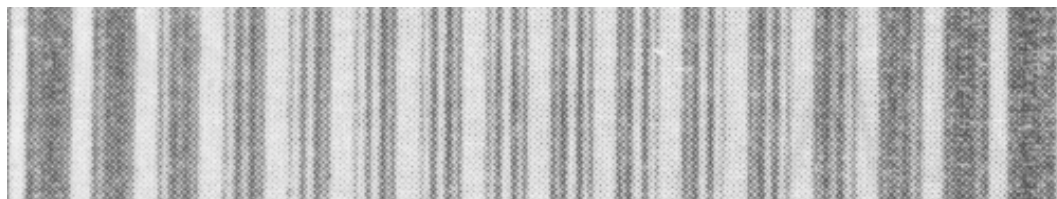
$N=2$



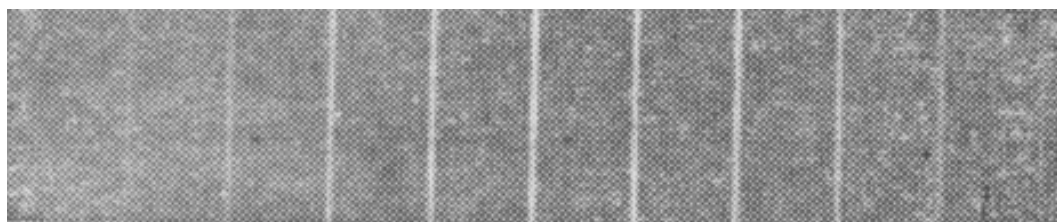
$N=3$



$N=5$



$N=40$



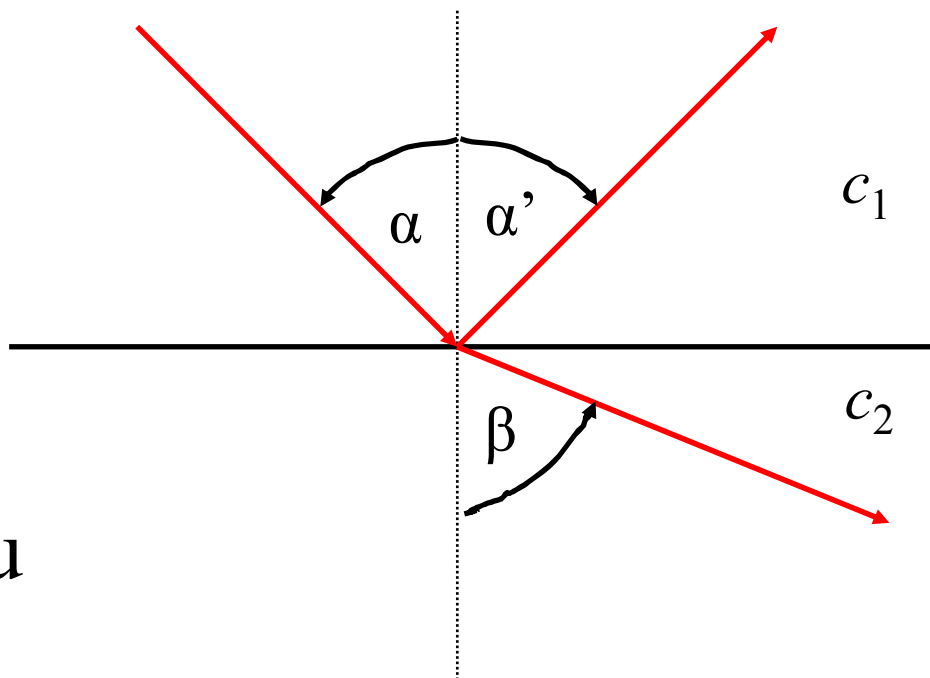
Odraz a lom vlnění

Zákon odrazu

$$\alpha' = \alpha$$

Snellův zákon lomu

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$



Index lomu

- Absolutní

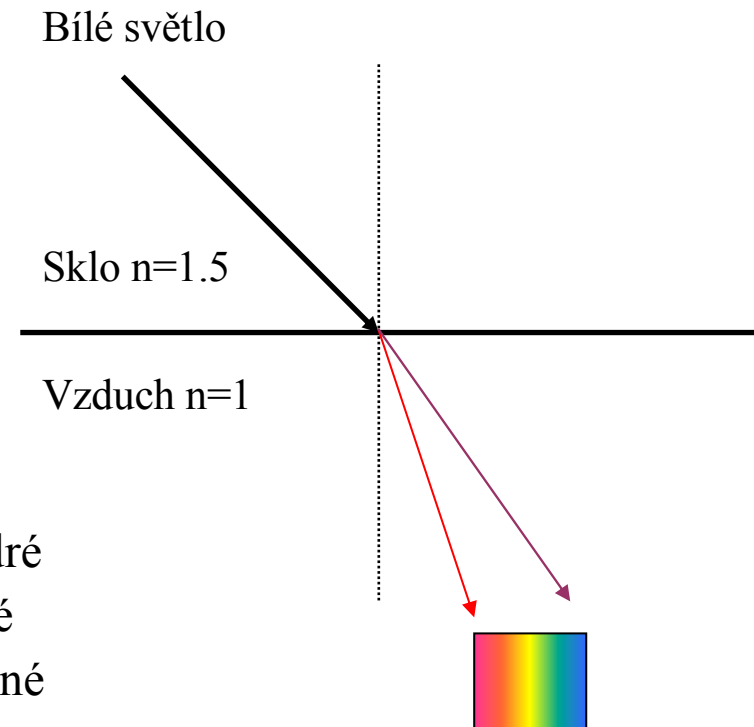
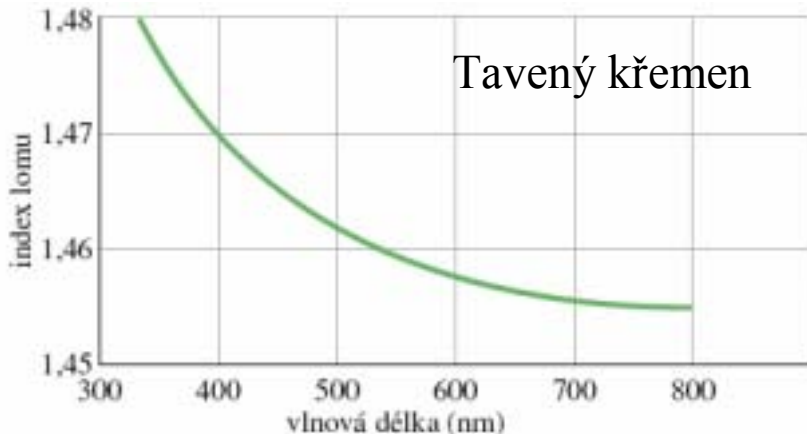
$$N = \frac{c_0}{c}$$

- Relativní

$$n = \frac{c_1}{c_2}$$

Disperze

Světlo různých vlnových délek se láme pod různým úhlem, index lomu závisí na vlnové délce



Příklad – voda

$\lambda=405\text{nm}$

$n=1.342742$ modré

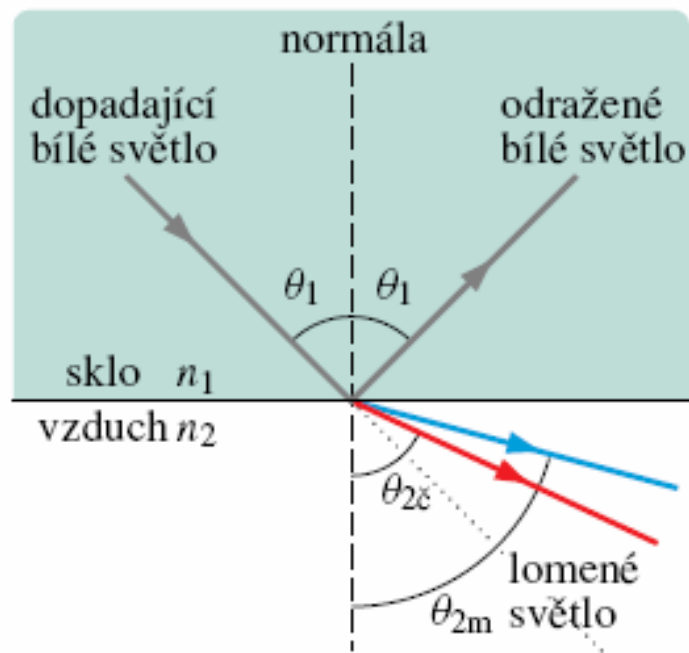
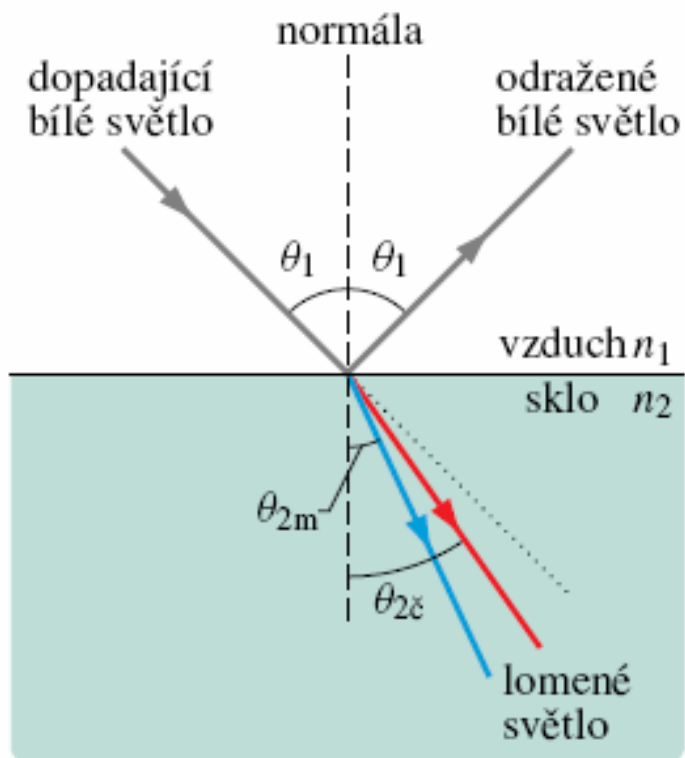
$\lambda=546\text{nm}$

$n=1.334466$ žluté

$\lambda=768\text{nm}$

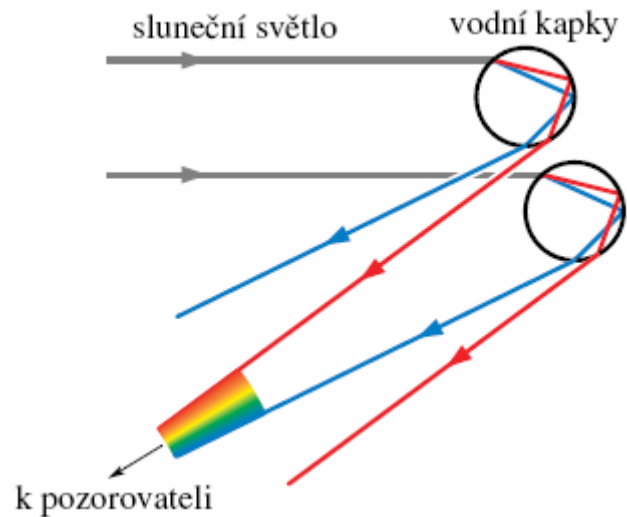
$n=1.32889$ červené

Disperze

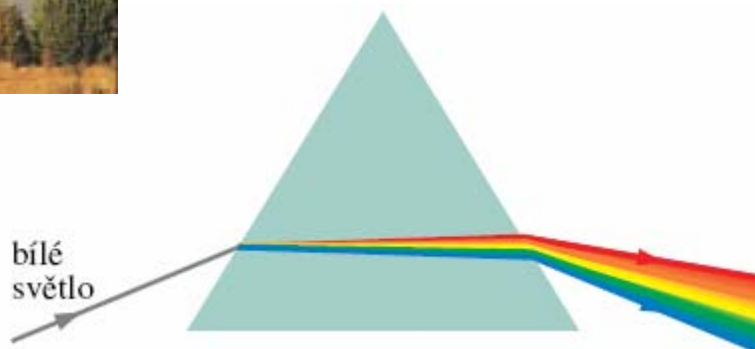


Projevy disperze

- Duha

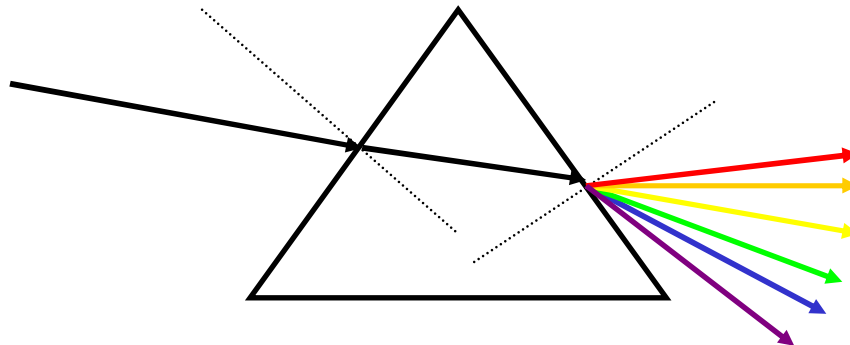


- Spektroskopie



Spektroskopie

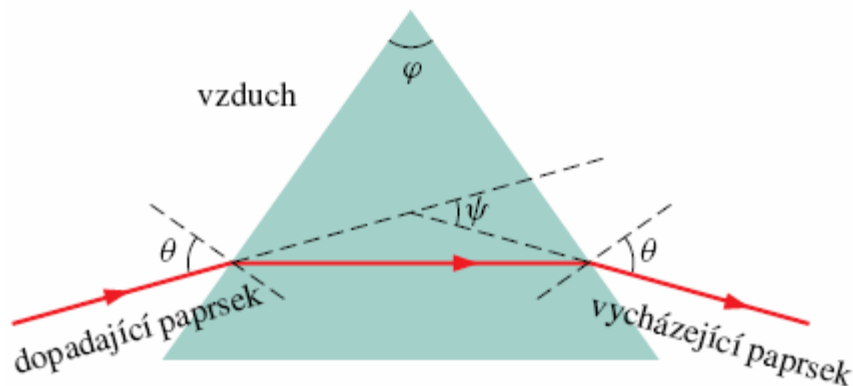
Rozklad světla při lomu na optickém hranolu



Využívá disperze k prostorovému oddělení jednotlivých vlnových délek

Optický hranol, spektroskopie

Měření minimální deviace vstupujícího a
vystupujícího paprsku

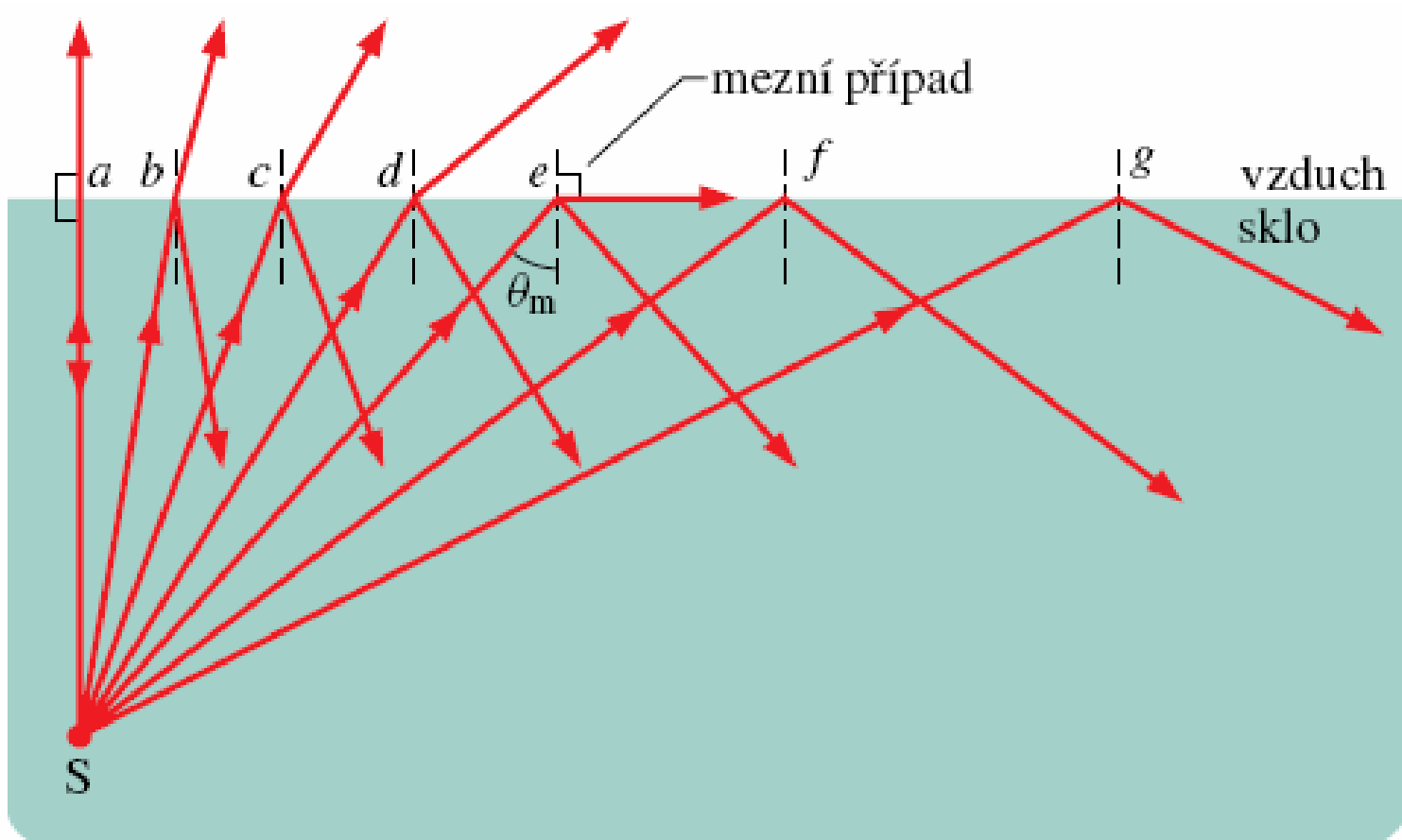


lámavý úhel φ
deviace ψ

Index lomu hranolu

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\psi + \varphi)}{\sin \frac{1}{2}\varphi}$$

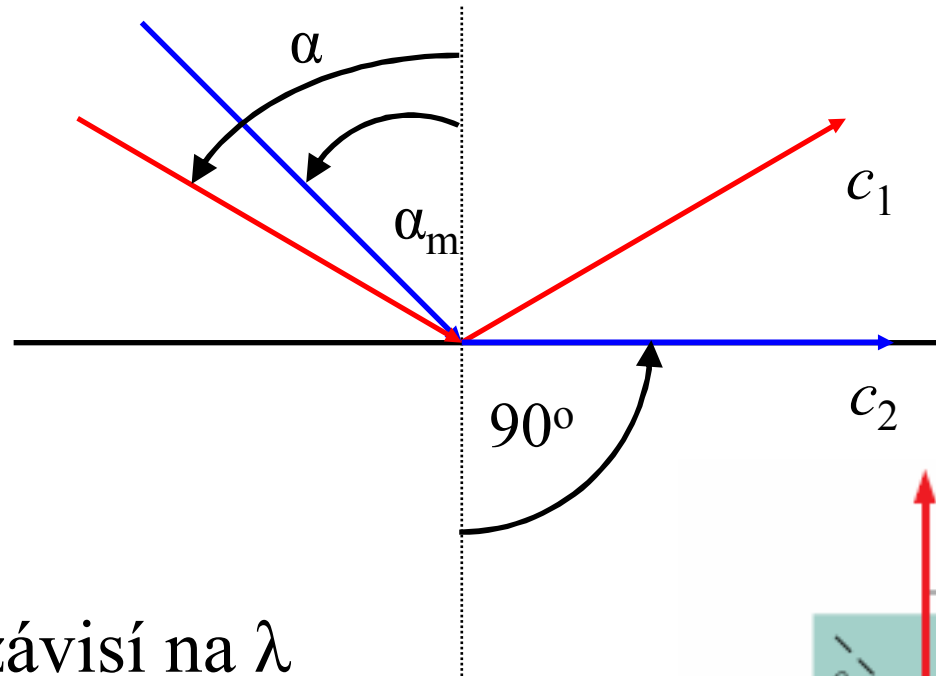
Úplný odraz



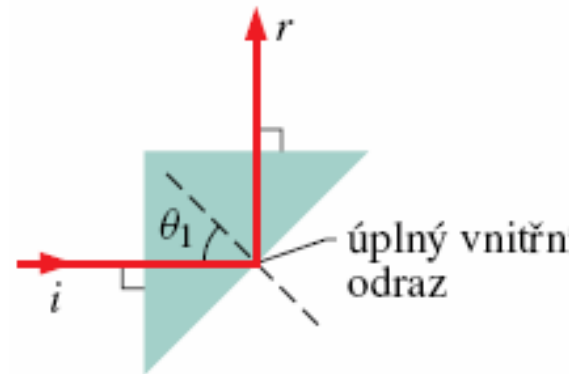
Úplný (totální) odraz

Pro index lomu $n_1 > n_2$ nastává pro úhly $\alpha > \alpha_m$ pouze odraz

$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$$



Mezní úhel α_m závisí na λ
Použití pro optická vlákna



Polarizace vlnění

- Podélná

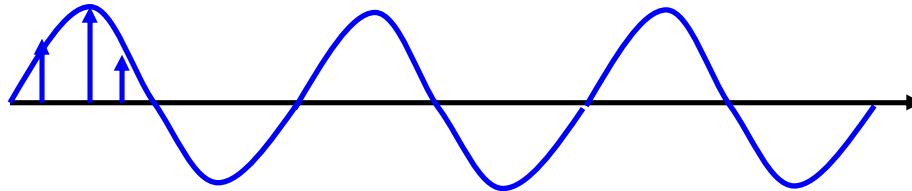


- Příčná

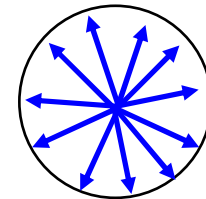
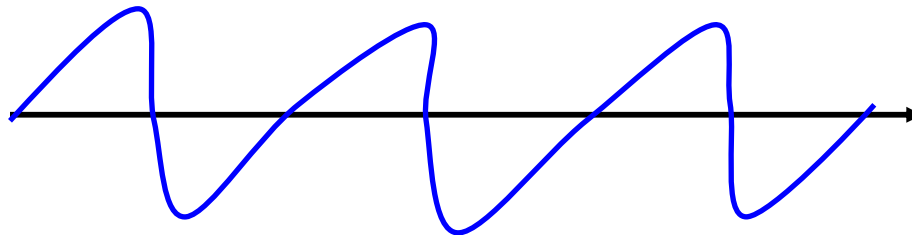


Polarizace světla

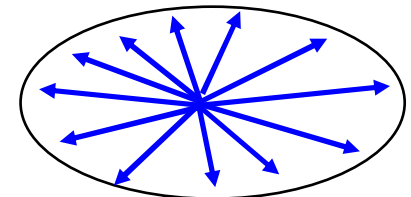
- Lineárně polarizované



- Kruhově polarizované

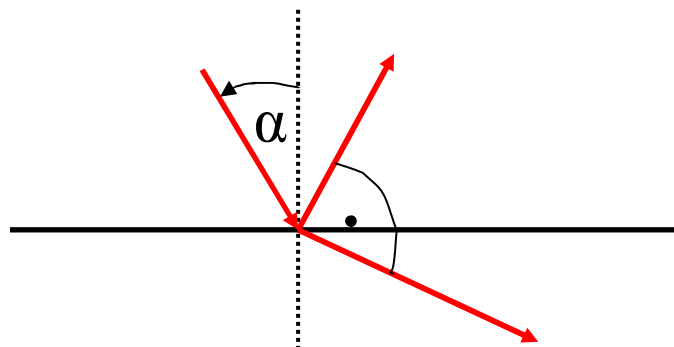


- Elipticky polarizované



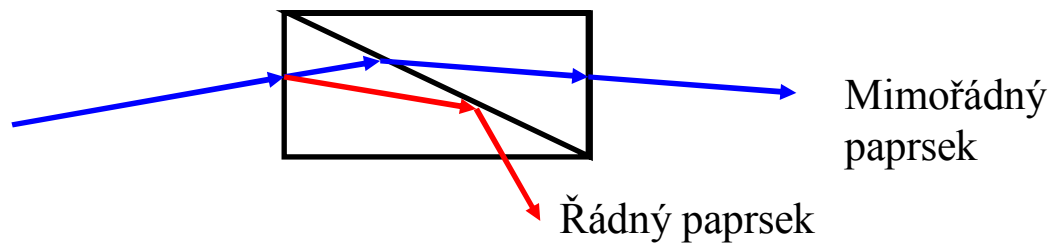
Polarizace

- Polarizační filtry
- Polarizace odrazem – lineární polarizace kolmo k rovině dopadu, zcela polarizované – Brewsterův úhel α



$$\tan(\alpha) = n$$

- Polarizace lomem
 - dvojlom

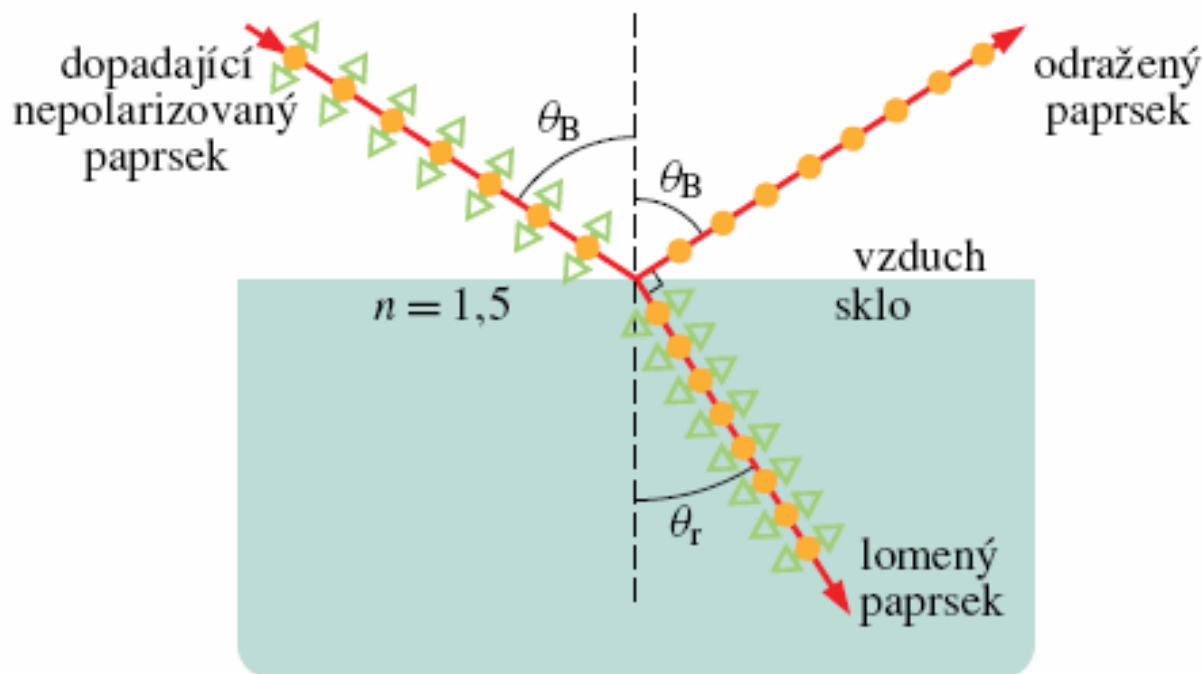


Polarizace odrazem

Brewsterův
úhel

$$\tan(\theta_B) = n$$

David Brewster
(1812)



● složka kolmá k rovině stránky

◄► složka rovnoběžná s rovinou stránky

Dvojlom

Krystaly nižší symetrie

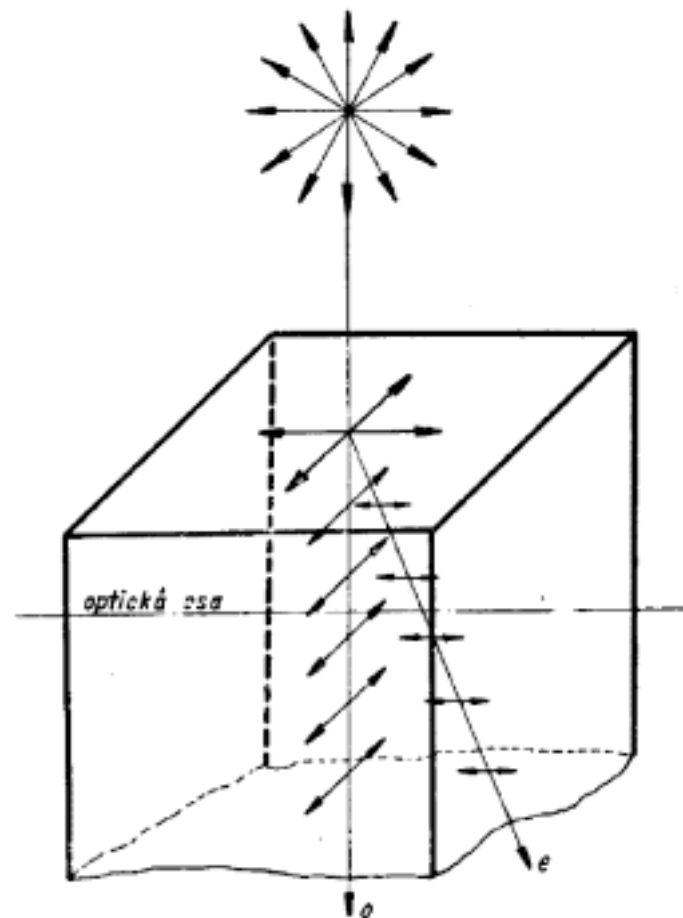
Průchod světla jiným

směrem než podél

optické osy

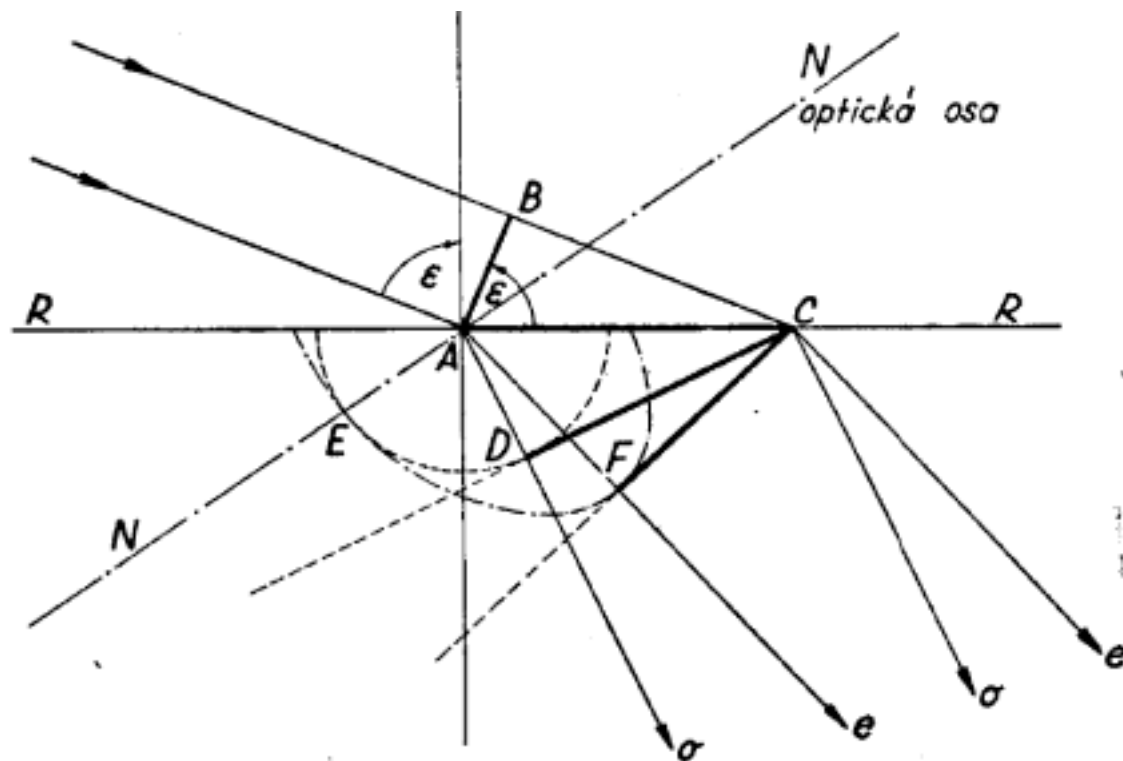
Islandský vápenec CaCO_3

Chilský ledek NaNO_3



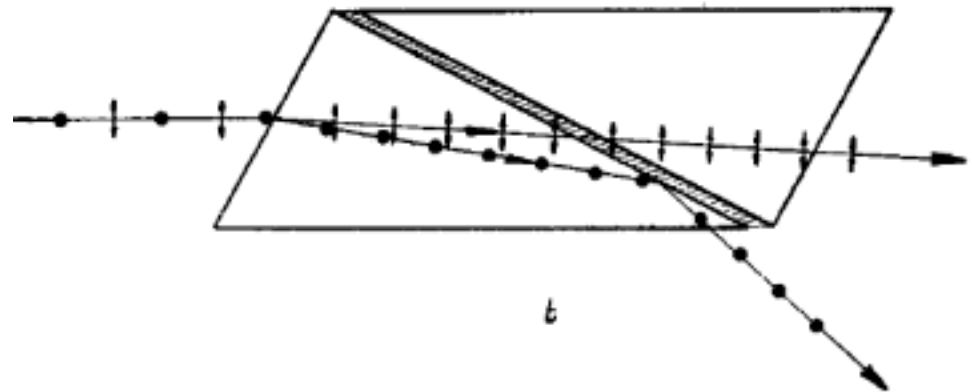
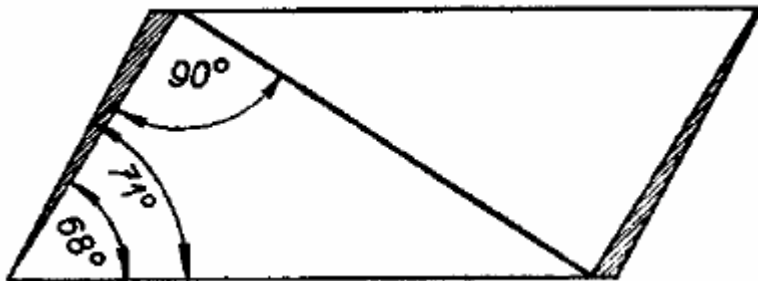
Dvojlom

Anizotropie rychlosti šíření světla



Polarizace lomem - Nikol

Optický hranol z islandského vápence

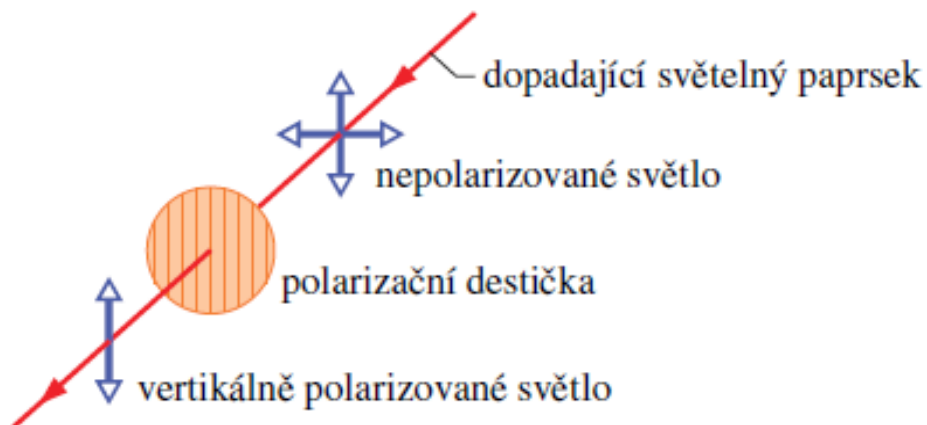


Polarizační filtr

Směr polarizace

Složka intenzity elektrického pole rovnoběžná se směrem polarizace prochází polarizační destičkou, složka k ní kolmá je pohlcena.

Průchod nepolarizovaného světla filtrem

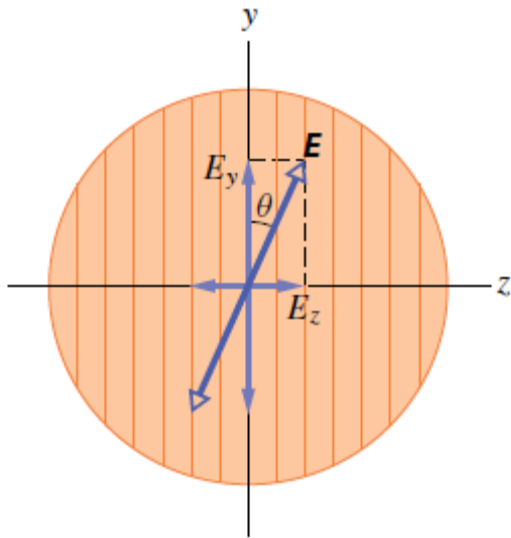


Intenzita prošlá
filtrem

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

Průchod polarizovaného světla polarizačním filtrem

Záleží na vzájemné orientaci směrů polarizace
filtru a vstupujícího světla



Intenzita el. Pole

$$E_y = E \cos \theta$$

Intenzita prošlého světla

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Literatura

V prezentaci byly použity obrázky z knihy:

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.: Fyzika (část 4 – Elektromagnetické vlny – Optika – Relativita), Vutium, Brno 2000

J.Fuka, J.Havelka: Optika a atomová fyzika: I. optika, SNTL Praha 1961