

VLNOVÁ OPTIKA

1. Světlo jako druh elektromagnetického vlnění

- optika patří k nejstarším odvětvím fyziky (vady zraku,...)
- podstata světla
 - korpuskulární teorie (Newton) – světlo jako proud částic = korpuskulí (rozpor s ohybem, interferencí)
 - vlnová teorie (Huygens 1680) – světlo je vlnění (× nepotřebuje prostředí k šíření?)

J.C.Maxwell 1864 – světlo je druh elektromagnetického vlnění, které se může šířit i vakuem

http://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell's_equations

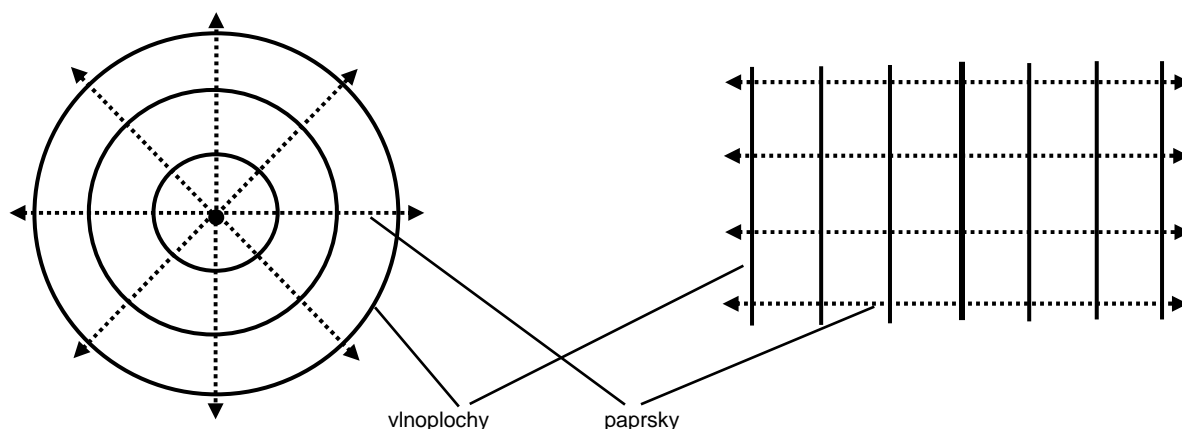
ze kterých mimo jiné vidíme vztah mezi c , μ_0 a ϵ_0 :
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

2. Rychlost světla, frekvence, vlnová délka, absolutní index lomu

- rychlost elektromagnetického záření
 - ve vakuu $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a NEZÁLEŽÍ na frekvenci
 - v jiných prostředích $v < c$ a závisí na frekvenci (rozklad)
- světlo je elektromagnetické záření o frekvencích $7,7 \times 10^{14} \text{ Hz} - 3,8 \times 10^{14} \text{ Hz}$
(λ ve vakuu 380 nm – 760 nm)
- vlnoplochy a paprsky

bodový zdroj (kulové vlnoplochy)

rovinná vlnoplocha



vlnoplocha = množina všech bodů, které kmitají se stejnou fází (kam dospěje vlnění ve stejném okamžiku), trojrozměrná plocha!

paprsek = čára představující směr šíření vlnění, kolmý na vlnoplochu

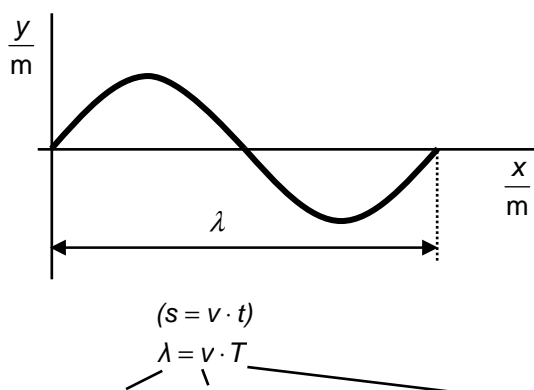
• zákon přímočarého šíření světla

V homogenním prostředí se světelné paprsky šíří přímočaře (mohou být rovnoběžné, sbíhavé nebo rozbíhavé). Pokud se protnou, neovlivní to jejich další šíření.

• vlnová délka

= nejkratší vzdálenost mezi dvěma body, které kmitají se stejnou fází

= vzdálenost, kterou urazí vlna (v určitém prostředí) za dobu jedné periody (T)



• absolutní index lomu n

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

= kolikrát je světlo ve vakuu rychlejší než v daném prostředí

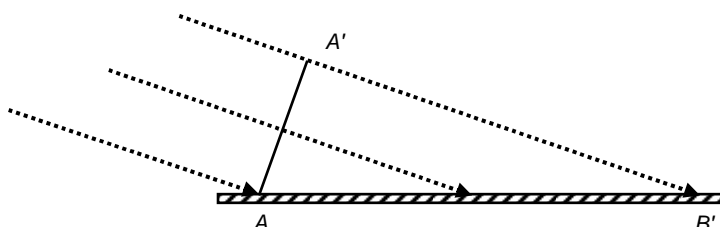
prostředí	n
vakuum	1
vzduch za s.t.t.	$1,002718 \cong 1$
led	1,31
voda	1,33
plexisklo	$\cong 1,5$
diamant	2,4

• světelné jevy

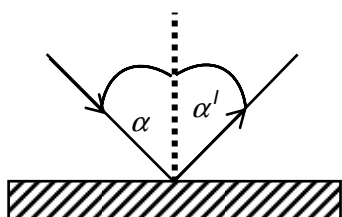
- | | | |
|-----------------|---|-------------------------------|
| a) odraz | } | geometrická, paprsková optika |
| b) lom | | |
| c) rozklad | | |
| d) interference | } | vlnová optika |
| e) ohyb | | |
| f) polarizace | | |

3. Odraz

K odrazu dochází, když se světlo odrazí od překážky. Platí stejný **zákon odrazu**, který jsme odvodili pro mechanické vlnění ve druhém ročníku použitím Huygensovy konstrukce.

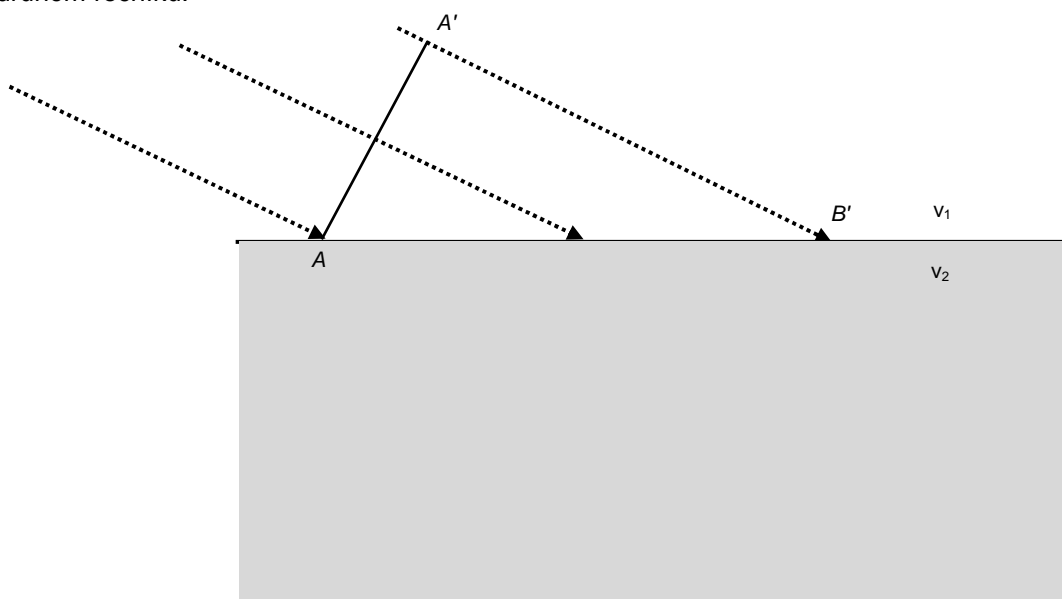


- úhel dopadu se rovná úhlu odrazu; $\alpha = \alpha'$ a dopadající paprsek, odražený paprsek a kolmice dopadu jsou v jedné rovině



4. Lom, úplný vnitřní odraz

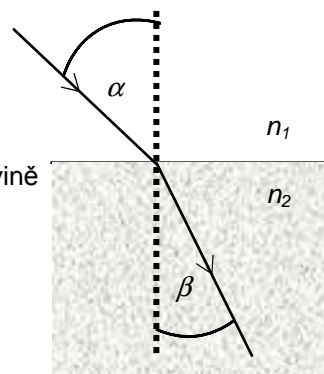
K lomu světla dochází, když se světlo dostane do jiného prostředí, ve kterém se změní rychlost jeho šíření. **Zákon lomu** platí podobně jako pro mechanické vlny a odvodili jsme si ho také ve druhém ročníku.



Pro světlo zákon lomu poprvé formuloval holandský přírodovědec Snell (1591 - 1626) a proto se mu v některých zemích říká **Snellův zákon**:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}, \text{ přičemž}$$

dopadající paprsek, lomený paprsek a kolmice dopadu jsou v jedné rovině



<http://www.walter-fendt.de/ph14e/huygenspr.htm>
<http://www.worsleyschool.net/science/files/refraction/refraction2.html>

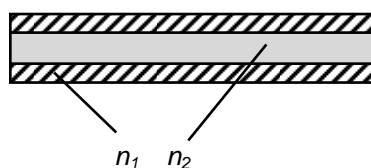
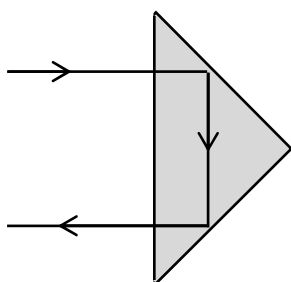
Můžeme říci, že prostředí je opticky hustší (řidší), když je v něm světlo pomalejší než v jiném prostředí. Paprsek se pak láme ke kolmici (od kolmice).

• úplný odraz

když jde světlo z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí (láme se od kolmice) a úhel dopadu je roven **meznímu úhlu** α_m , je úhel lomu 90° . Pro větší úhly dochází pouze k odrazu, světlo do druhého prostředí vůbec nevstupuje.

$$\frac{\sin \alpha_m}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

použití: měření indexu lomu, odrazky, optická vlákna



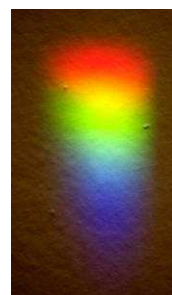
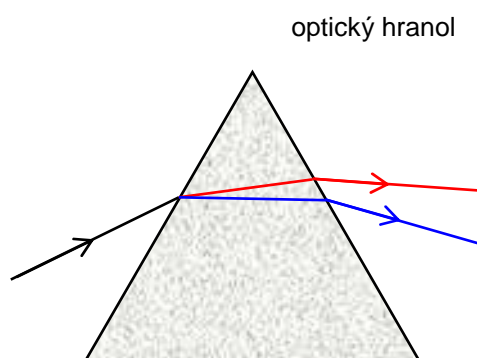
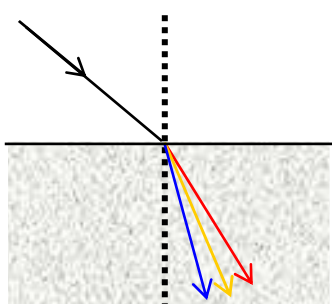
Otázky:

1. Vysvětlí rozdíl mezi korpuskulární a vlnovou teorií světla.
2. Mohou být částice rychlejší než světlo?
3. Záleží rychlost světla na jeho frekvenci?
4. Jaký je vztah mezi paprsky a vlnoplochy?
5. Naznač pomocí tří tužek situaci, kdy se úhel dopadu a odrazu rovnají, ale neleží v jedné rovině s kolmicí v bodě dopadu.
6. V obrázku pro odraz urči a popiš dopadající paprsek, odražený paprsek a kolmici k povrchu.
7. V obrázku pro lom urči a popiš dopadající paprsek, lomený paprsek a kolmici k povrchu.
8. Čím by se lišil Snellův zákon (zákon lomu pro světlo), pokud by popisoval mechanické vlnění? Odvoďte rovnici.
9. Načrtněte obrázek pro lom světla, kde se paprsek č. 1 láme, paprsek č. 2 dopadá pod mezním úhlem a u paprsku č. 3 dochází k úplnému odrazu.

10. Najdi a vysvětli využití úplného odrazu, u obrázků doplň světelné paprsky.
11. Urči mezní úhly pro následující rozhraní: sklo → vzduch, vzduch → sklo, sklo → voda.
12. Světlo jde z vody do skla. Láme se pod úhlem 30° , pod jakým úhlem dopadá?
13. Navrhněte metodu, kterou bychom mohli změřit absolutní úhel lomu určitého prostředí. Proveďte pokus, diskutujte výsledky.

L6/1-3, 9-11, 14-20, 23, 26, 39-40

5. Rozklad světla, spektroskopie



n se liší pro každou frekvenci!!!

Hranolové spektrum – „NORMÁLNÍ“ –
minimální odchylna pro ČERVENOU

<http://en.wikipedia.org/wiki/Spectroscopy>

Spektroskopie se používá v při určování látek díky typickému spektru barev, které tyto látky vyzařují nebo pohlcují. Také se používá v, abychom určili chemické složení vesmírných objektů a jejich rychlost z Dopplerova posunu jejich

Vyberte: (1) spektrálních čar (2) chemii (3) astronomii

6. Interference, koherentní záření

když se světlo ze 2 KOHERENTNÍCH (frekvence, amplituda, fáze) zdrojů setká

bílé

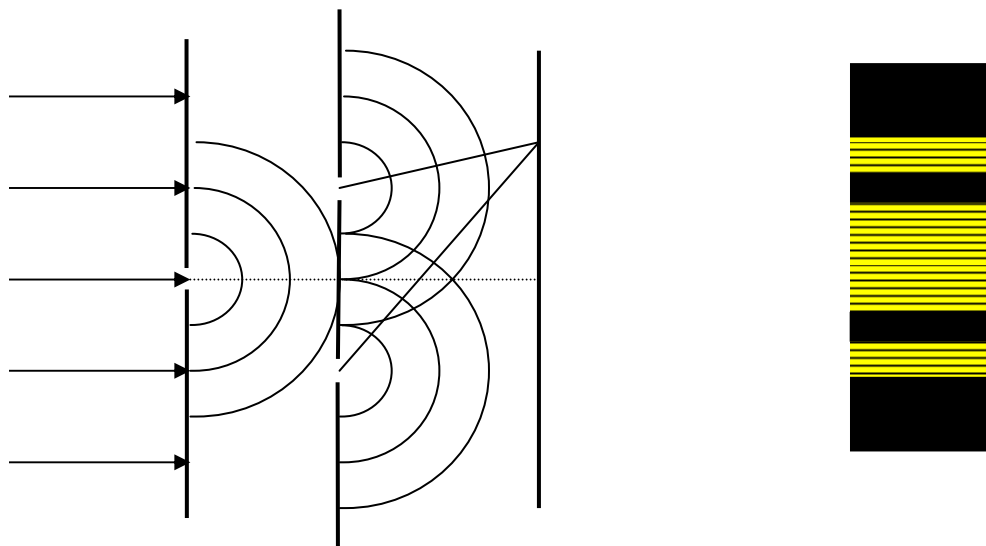
monochromatické

koherentní

- Youngův pokus (1801/7?)

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/doubleslit.htm>

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Wave_Interference



vyznač Δl ve výše uvedeném obrázku

maximum pro $\Delta l = k\lambda$ $k = 0, 1, 2, \dots$

minimum pro $\Delta l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$

$$\lambda = \frac{ay}{d} = \frac{\text{vzdál.mezi št.} \times \text{vzdál.proužků}}{\text{vzdál.št. - stínítko}}$$

- interference na tenké vrstvě

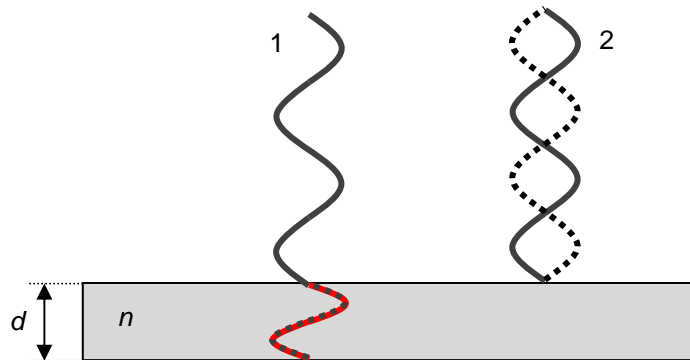
optická dráha $l =$ vzdálenost ve vakuu odpovídající vzdálenosti uražené v daném prostředí

$$l = ns$$

odraz:

hustší \rightarrow řidší 1) žádná změna fáze jako u odrazu na volném konci, pouze Δl

řidší \rightarrow hustší 2) $\Delta\varphi$ o π jako u odrazu mech. vlnění na pevném konci $\Rightarrow \Delta l$ se mění o $\frac{\lambda}{2}$, tj. $(\Delta l + \frac{\lambda}{2})$



světlý proužek: $\Delta l + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$... ve fázi
tam a zpět díky 2)

$$\Delta l = 2nd$$

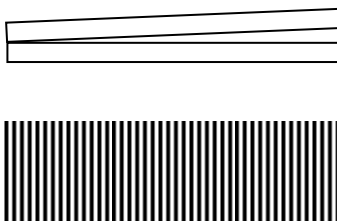
$$2nd = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad k=0,1,2, \dots$$

tmavý proužek: $\Delta l + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$... opačná fáze
 $2nd = k\lambda \quad k=0,1,2, \dots$

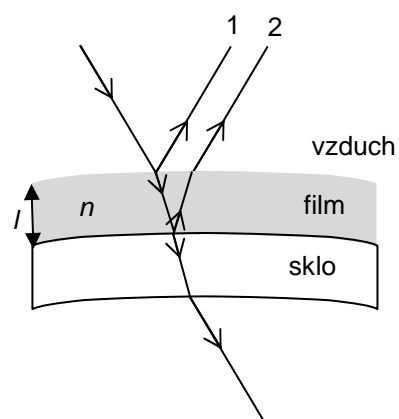
$$\Delta l = 2nd$$

• **použití interference:**

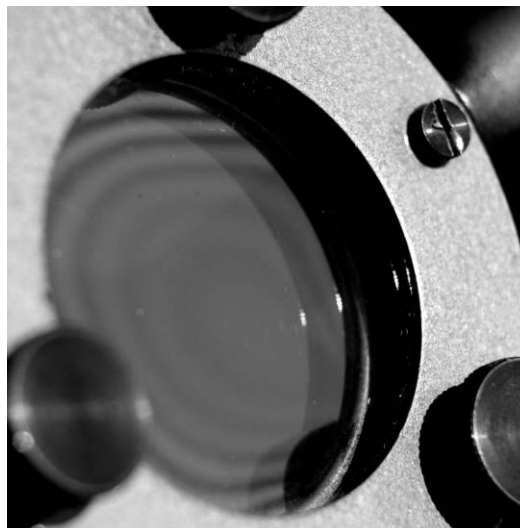
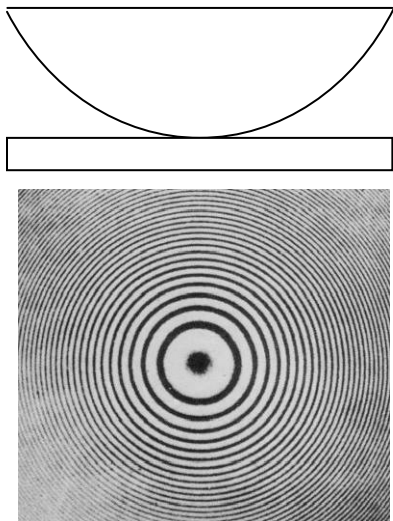
a) kontrola optických povrchů



b) antireflexní sklo
film – destruktivní interference 1 a 2



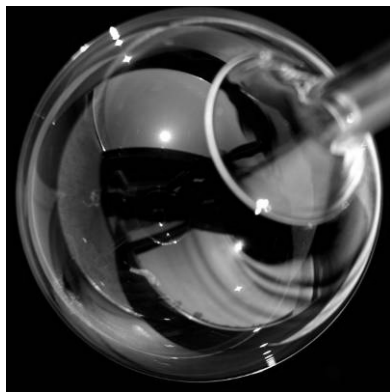
c) měření λ (Newtonovy skla)



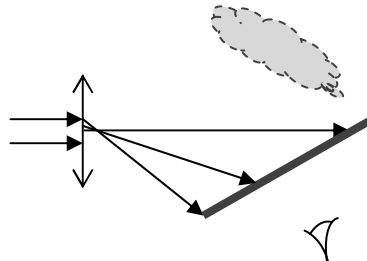
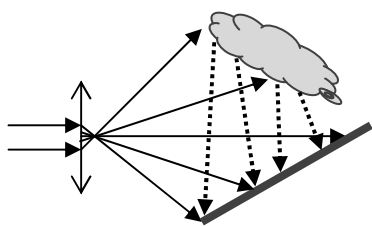
d) měření $1m$ – určitý vysoký násobek vlnových délek, které vyzařuje excitovaný krypton

e) každodenní příklady

- barvy na olejové skvrně na vodě
- barvy bublin



f) hologram = záznam interferenčního obrazce, který je pak znovu osvětlen - rekonstrukce



Otázky:

14. Které spektrum nazýváme „normální“? Kde ho můžeme pozorovat?
15. Jaká je základní podmínka pro rozklad světla?
16. Proč můžeme vidět barvy na olejové vrstvičce na vodě? Vysvětli např. pro místo, kde je žlutá.
17. Index lomu červeného světla pro určité prostředí je 1,328. Uvažujte vlnovou délku světla ve vakuu 700 nm a frekvenci $4,286 \cdot 10^{14}$ Hz, jaká je jeho rychlost a frekvence v daném prostředí?
18. Světlo vlnové délky 550 nm použijeme pro Youngův pokus. Když jeden paprsek urazil do bodu P o a) 6,05 μm b) 6,875 μm více než druhý, je v bodě P tmavý nebo světlý proužek?
19. Světlo dopadá na rozhraní vzduch - voda pod úhlem 60° . Spočítejte úhel lomu.
20. Šířka olejové vrstvy ($n=1,5$) na vodě je 2,5 μm . Pokud dopadá paprsek červené barvy (600 nm), vytvoří se tmavý nebo červený proužek?
21. Zelené světlo (500 nm) použijeme v Youngově pokusu. Z první štěrbiny urazilo světlo do bodu P 562 μm a z druhé štěrbiny 572,25 μm . Vytvořil se v bodě P tmavý nebo světlý (zelený) proužek?
22. Šířka vzduchového klínu je 12,6 μm . Dopadá na něj fialové světlo (420 nm). Vytvoří se tmavý nebo světlý proužek?

L6/46-52, X54-5, 55, X57, 58

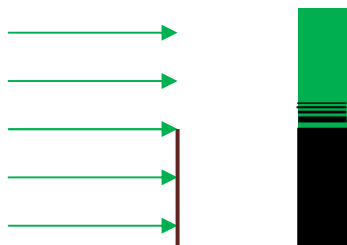
7. Ohyb

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/singleslit.htm>

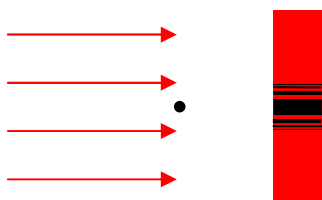
<http://www.worsleyschool.net/science/files/singleslit/diffraction.html>

K ohybu dochází, když vlnoplochu omezíme (překážka, štěrbina). Tím získáme skládání vlnoploch od velmi mnoha bodových zdrojů, ale nikoli rovnoměrně z celého prostoru a vytvoří se ohybový obrazec

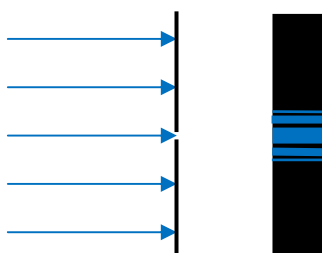
a) hrana



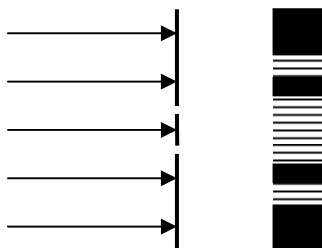
b) vlákno



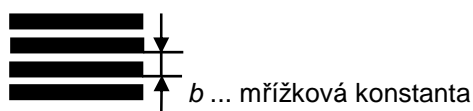
c) štěrbina



d) dvojštěrbina

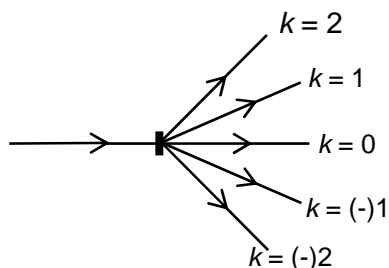


e) mřížka



$$b \sin \alpha_k = k \cdot \lambda$$

řád maxima



použijeme - li bílé světlo: $k = 0$... bílá; $k = 1, 2, \dots$ barevné spektrum
minimální odchylka pro MODROU – inverzní spektrum

použití: měření vlnové délky

Otázky:

23. Světlo vlnové délky 600 nm dopadá na mřížku obsahující 500 čar na mm. Určete vzdálenost mezi maximem prvního a nultého řádu, které se vytvoří na stínítku ve vzdálenosti 1m od mřížky.

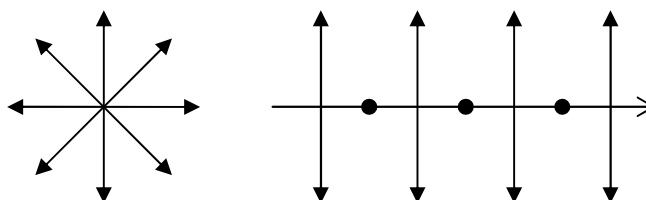
L6/59-62, 64, X65-6

8. Polarizace

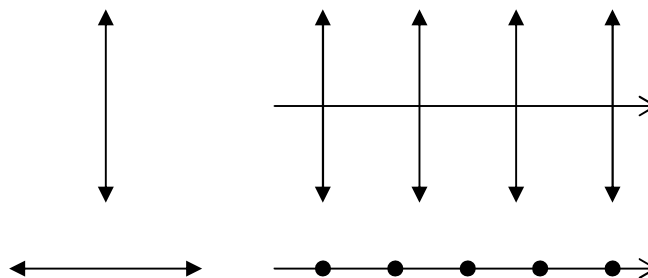
„Obyčejné“ nepolarizované světlo - \vec{E} ve všech směrech x polarizované - \vec{E} jen v jedné rovině

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/emwave.htm>
<http://kabinet.fyzika.net/aplety/CircPol/CircPol.html>

nepolarizované světlo



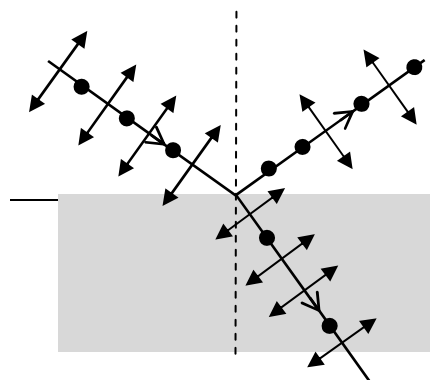
polarizované světlo



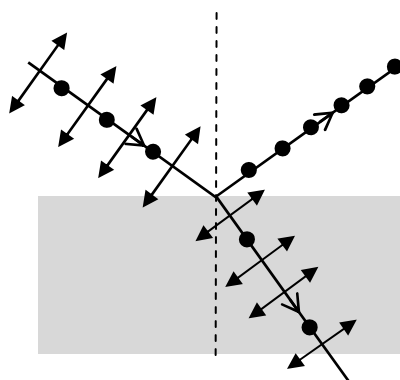
• získání polarizovaného světla

a) polaroid – selektivní absorpce

b) odraz – jakékoli světlo je po odrazu a lomu částečně polarizované (obr.1), dopadá-li pod Brewsterovým úhlem, je odražený paprsek ÚPLNĚ polarizovaný ($n = \tan \alpha_B$) viz obr.2

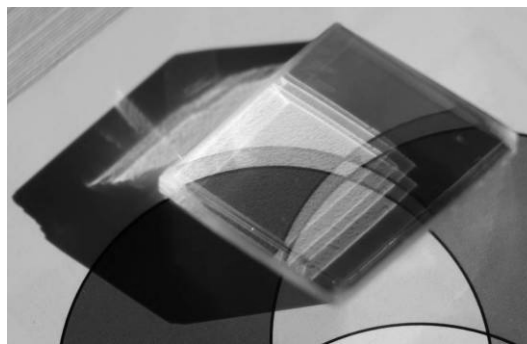


obr. 1



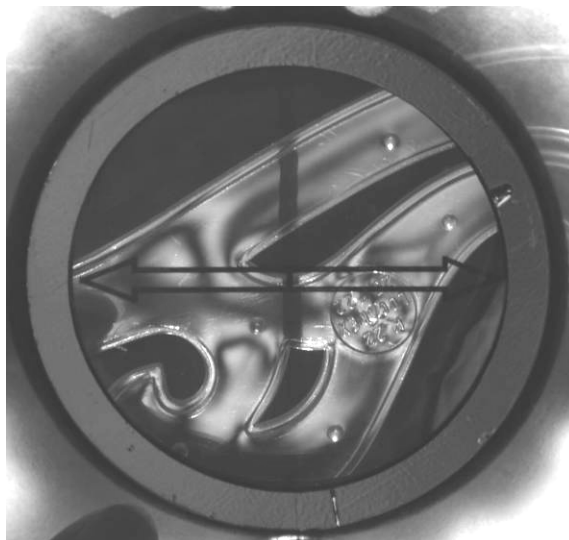
obr. 2

c) dvojlom – některé materiály např. islandský vápenec vykazují dvojlom – dopadající nepolarizované světlo se při průchodu rozdělí na dva paprsky polarizované v rovinách na sebe kolmých

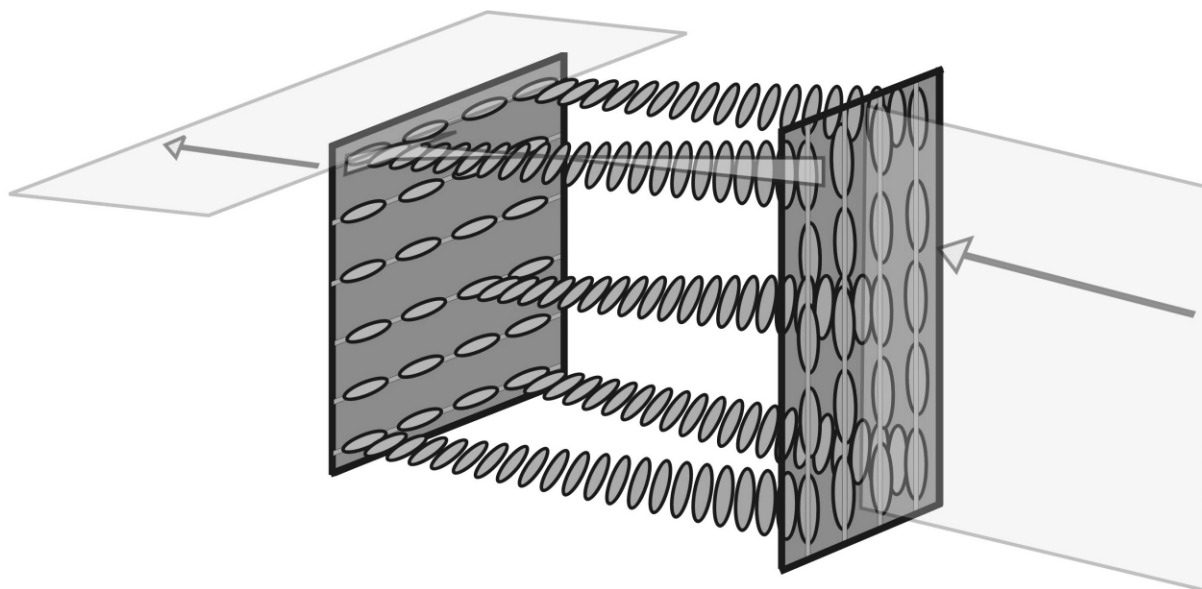


- **použití**

- antireflexní vrstvy – polarizační materiály jako vrstvy na slunečních brýlích
- optická aktivita – některé krystaly nebo roztoky (cukry) stáčí rovinu polarizovaného světla. Tedy větší koncentrace cukru \Rightarrow větší úhel: polarimetr (přístroj)
- stanovení napětí materiálu – sklo, plexisklo fotoelasticita, modely mostů apod.



- displeje z tekutých krystalů (LCD)



<http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=89>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Otázky:

24. Vysvětli rozdíl mezi nepolarizovaným a polarizovaným světlem.
25. Jak získáme polarizované světlo?
26. K čemu se polarizované světlo používá?

Odpovědi:

11. $41,8^\circ$, nelze, $62,5^\circ$
12. $34,3^\circ$
17. $225\,900\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, $4,286 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$
18. a) světlý, $k = 11$ b) tmavý, $k=12,5$
19. úplný vnitřní odraz
20. světlý, $k = 12,5$
21. tmavý, $k = 20,5$
22. tmavý, $k = 60$
23. 31 cm