

Fyzika Zeme

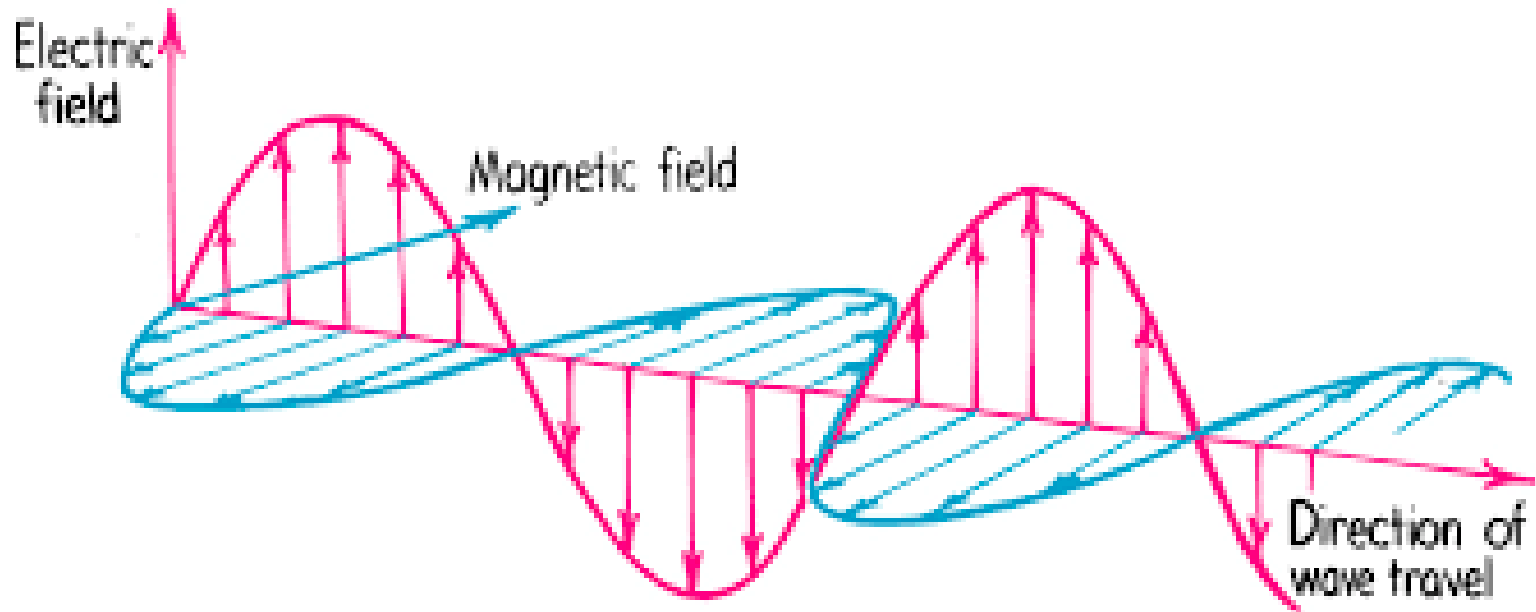
- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológie
- 8. prednáška – elmag. vlnenie a optika

Obsah prednášky:

- úvodné poznámky, základné pojmy
- zákon odrazu, zákon lomu, totálny odraz
- druhy šošoviek, vzorec pre tenkú šošovku
- polarizované svetlo, laser
- definície jednotiek candela (cd) a lumen (lm)

Základné pojmy - optika - svetlo

Na svetle sa dá asi najlepšie pochopiť duálny charakter vo fyzike – dá sa chápať ako prúd fotónov (častíc) alebo ako elektro-magnetické (EM) vlnenie.



Toto je idealizovaný obrázok – bežné svetlo môže kmitať v ľubovoľných smeroch, avšak vždy kolmo na smer vlnenia.

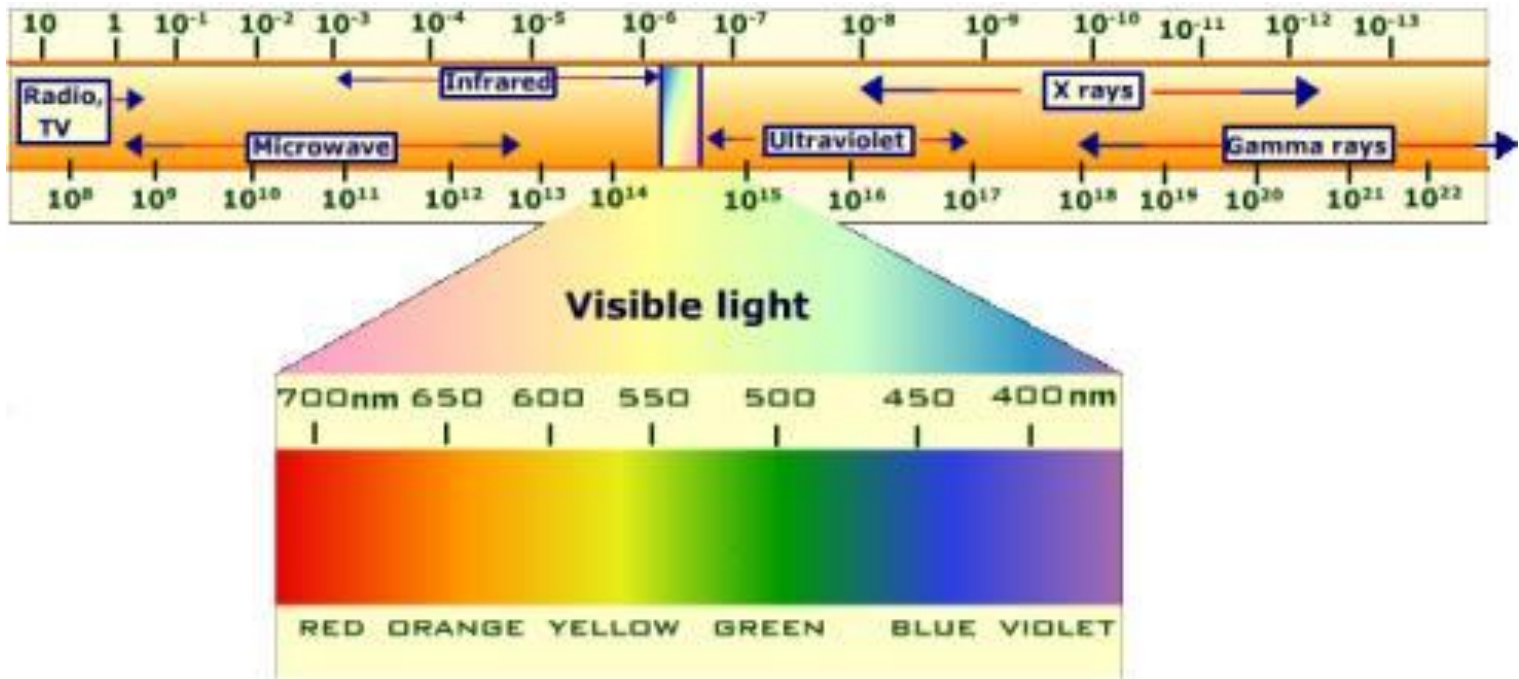
Pohyb elektro-magnetického (EM) vlnenia sa dá opísať riešením vlnovej rovnice – kombináciou funkcií $\sin()$ a $\cos()$.

Základné pojmy - optika

Svetlo: tá časť elektromagnetického vlnenia, ktorá spôsobuje v oku fyziologicky vnem – videnie (stredoškolská definícia, prepojená na biológiu, ale je dobrá – vychádzajúca zo životnej skúsenosti),

Viditeľné svetlo je elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou cca 380–750 nm (od infračerveného po ultrafialové). Tomu zodpovedajúce frekvencie sú: 400–790 THz.

V niektorých oblastiach vedy a techniky môže byť ako svetlo chápané aj elektromagnetické vlnenie ľubovoľnej vlnovej dĺžky.



Základné pojmy - optika

Vzťah medzi frekvenciou a vlnovou dĺžkou je pri svetle daný jednoduchým vzťahom:

$$c = f \lambda$$

kde c je rýchlosť svetla v dokonalom vákuu je univerzálnou fyzikálnou konštantou s hodnotou $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (presne), čo zodpovedá $(1\,079\,252\,848.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1})$. Zaokrúhlene sa uvádza ako $300\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Základné pojmy - optika

Svetlo: Tá časť elektromagnetického vlnenia, ktorá spôsobuje v oku fyziologicky vnem – videnie (stredoškolská definícia, prepojená na biológiu, ale je dobrá – vychádzajúca zo životnej skúsenosti).

3 základné vlastnosti svetla:

svietivosť (amplitúda) [cd]

farba (frekvencia) [nm]

polarizácia (uhol vlnenia).



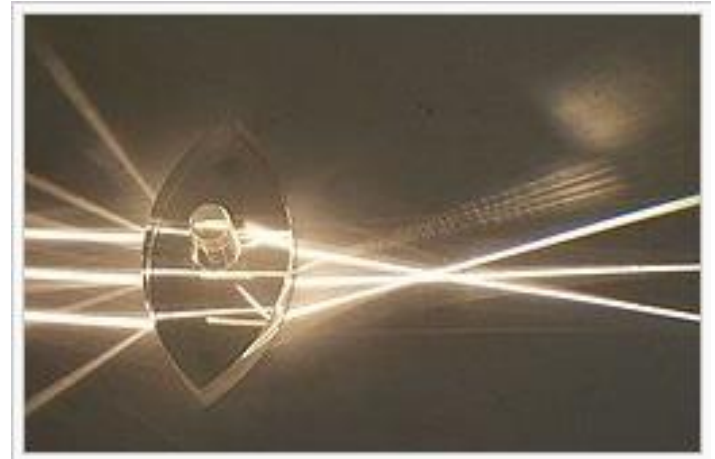
Svetlo má kvôli dualite vlastnosti ako vlnenie a častica.

Základné pojmy - optika

Optika je odbor fyziky zaoberajúci sa svetlom a jeho vlastnosťami.

Delí sa na:

- geometrickú optiku
- vlnovú optiku
- elektromagnetickú optiku
- kvantovú optiku



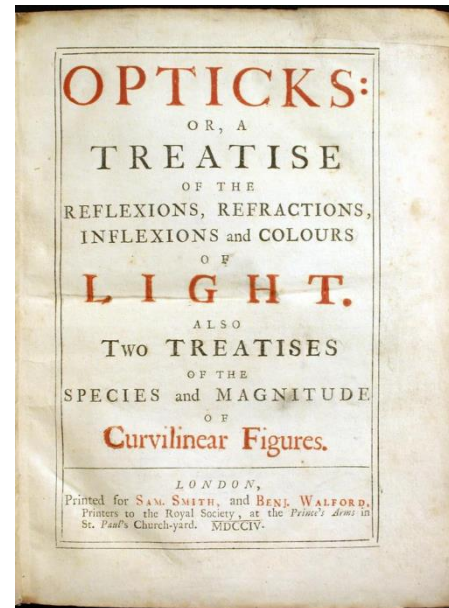
Geometrická optika (nazývaná tiež ako lúčová optika) je časť optiky, ktorá sa zaoberá štúdiom šírenia svetla v prostredí, ktorého rozmery sú porovnateľné s vlnovou dĺžkou svetla.

Geometrická optika si nevšíma vlnové vlastnosti svetla – pracuje s geometriou lúčov a vlnových plôch.

Základné pojmy - optika

Historický vývoj optiky je možné datovať až ku starým Grékom (Aristofanes, Plínius, Seneca) a ku arabským učencom (Ibn Sahl, Ibn al-Haitham).

Dôležité príspevky sa potom udiali v rámci raného novoveku – Willebrord Snellius, Rober Hooke, Isaac Newton a mnohí ďalší...



Newtonove prvé vydanie knihy Opticks

Rýchlosť svetla a index lomu:

Rýchlosť svetla v dokonalom vákuu je univerzálnou fyzikálnou konštantou s hodnotou $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

V inom prostredí sa svetlo šíri rýchlosťou v , ktorá je vždy nižšia ako c . Napr. - rýchlosť svetla vo vode sa rovná asi trom štvrtinám rýchlosti svetla vo vzduchu.

Podiel týchto rýchlostí je rovný tzv. **indexu lomu** daného prostredia n , tj.:

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

V dôsledku toho dochádza na rozhraní látok s rôznymi hodnotami n k lomu svetla (zároveň aj ku jeho odrazu).

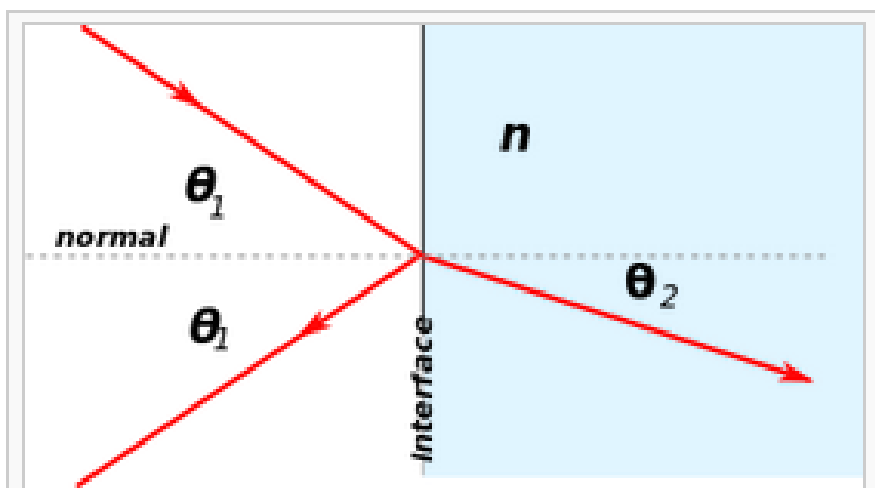
Index lomu světla: (pro 589 nm)

Látka	Index lomu (pro 589 nm)
Alkohol (ethyl)	1,36
Cukrová voda (80%)	1,49
Diamant	2,42
Glycerol	1,47
Křemík	4,01
Křišťál	2,00
Led	1,31
Med	1,49
Opál	1,44
Pivo	1,345
Plexisklo	1,48
Rubín	1,75
Sklo	1,5 - 1,9
Smaragd	1,56
Sůl (NaCl)	1,544
Vakuum	1
Voda	1,33
Vodka	1,363
Vzduch	1,00029

Zdroj:
Mikulčák a kol.: Matematické, fyzikální a chemické
tabulky pro střední školy, 1988

Lom a odraz svetla:

Na kontakte dvoch prostredí s rôznymi hodnotami inexu lomu sa časť svetla odrazí a časť sa lomí do druhého prostredia



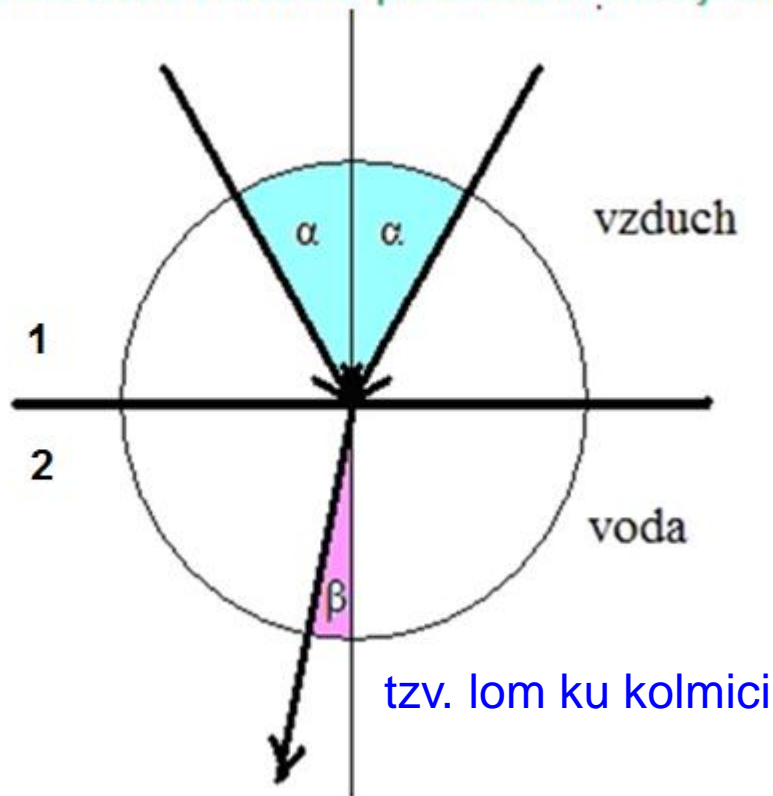
Geometry of reflection and refraction of light rays



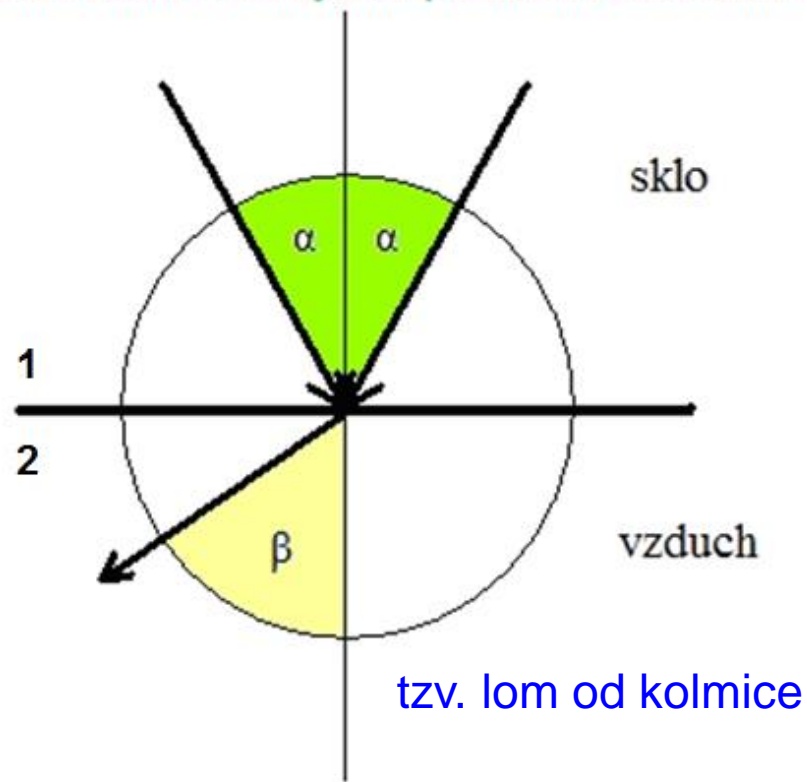
Na obrázku vľavo hore je pekne vidieť, ako sa časť svetla odráža a časť preniká cez okennú tabuľu dopravného prostriedku.

Lom a odraz svetla:

1. prechod svetla z redšieho prostredia do hustejšieho



2. prechod svetla z hustejšieho prostredia do redšieho



α – uhol dopadu a zároveň uhol odrazu (svetlo sa odráža podľa zákona odrazu)
 β – uhol, pod ktorým sa svetlo láme (prechádza do druhého prostredia)

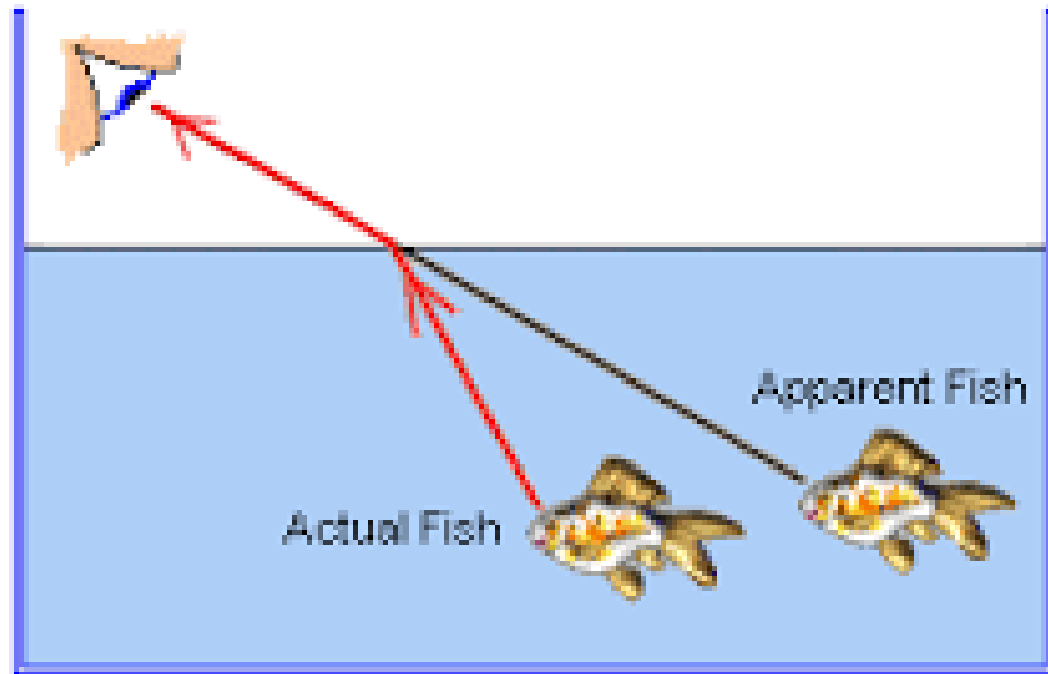
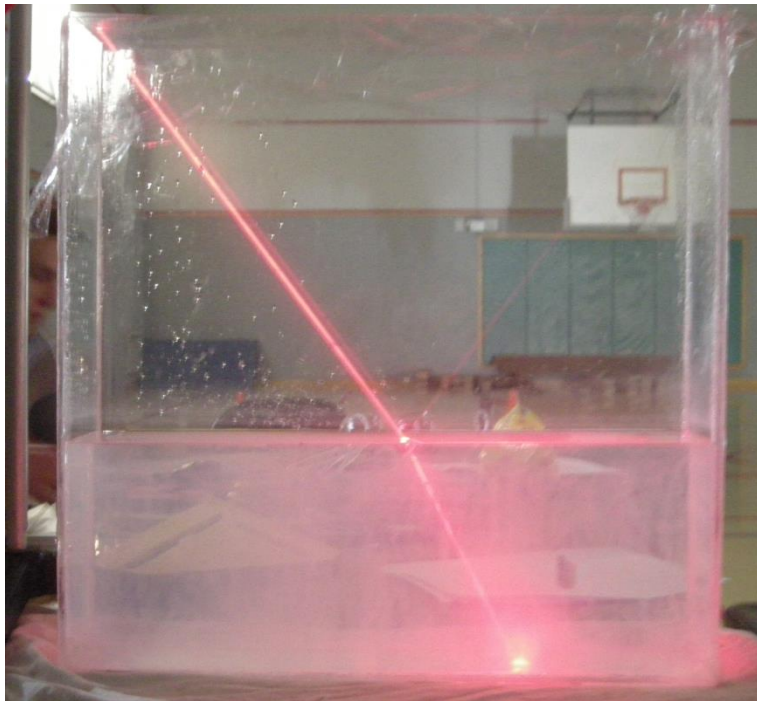
Zákon odrazu: uhol dopadu sa rovná uhlu odrazu.

Zákon lomu (Snellov zákon): - podiel sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu je pre dve optické prostredia rovnaký.

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

Lom svetla:

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



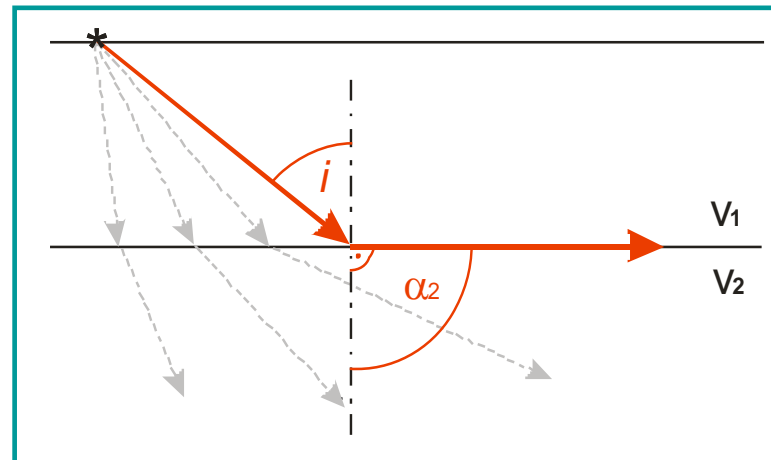
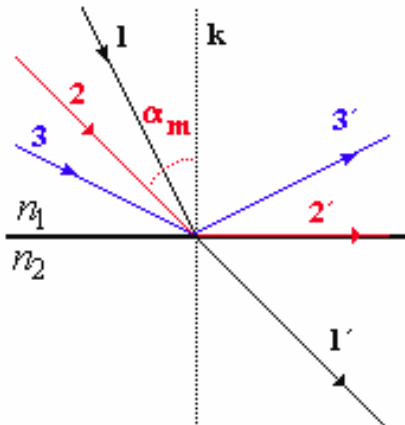
Lom a odraz svetla – tzv. totálny odraz:

Pri lome svetla z **opticky hustejšieho prostredia do prostredia redšieho** sa lúč láme od kolmice – môže pri tom nastať situácia, kedy sa bude lomiť pod uhlom 90° od kolmice (bude prebiehať rovinou kontaktu dvoch prostredí), čiže neprejde rozhraním.

Takýto uhol sa nazýva ako **kritický uhol** (i_C) alebo **Brewsterov uhol**.

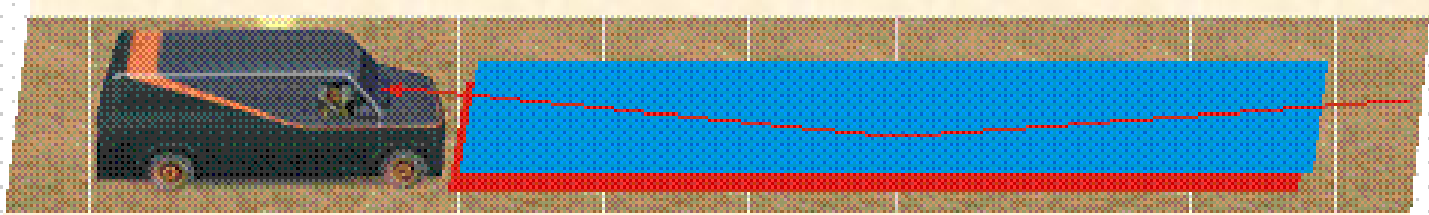
Pre väčšie uhly dopadu potom dôjde ku tzv. totálnemu (úplnému) odrazu

$$\frac{\sin i_C}{\sin 90} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow i_C = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

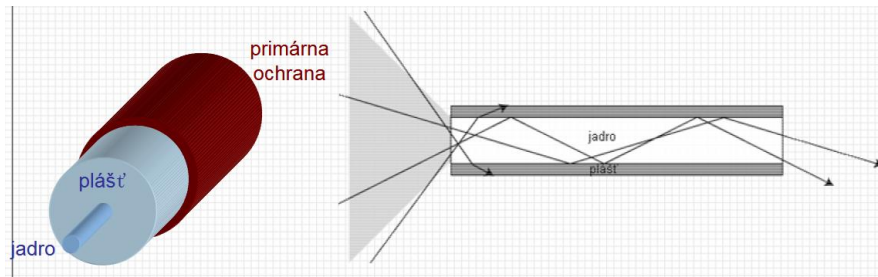


Lom a odraz svetla – tzv. totálny odraz:

V studenom dni, keď svieti na asfaltovú (teda čiernu) cestu slnko, cesta sa ohrieva rýchlejšie ako okolitý vzduch. Nad povrchom cesty sa vytvorí tenká vrstva vzduchu, ktorý sa prehrieva od povrchu. Ak je bezvetrie, vytvorí sa ostrá hranica medzi studeným a teplým vzduchom. Teplý vzduch je redší ako studený z toho dôvodu je index lomu vzduchu tesne nad cestou nižší ako je index lomu okolitého prostredia. Ak sa pozeráme pod veľkým uhlom – merané od kolmice – sú splnené podmienky dokonalého odrazu. Vodičovi idúcemu autom (pozri obrázok), ktorý je umiestnený nízko nad vozovkou, sa zdá že na ceste sú mláky vody (alebo že vozovka je mokrá).

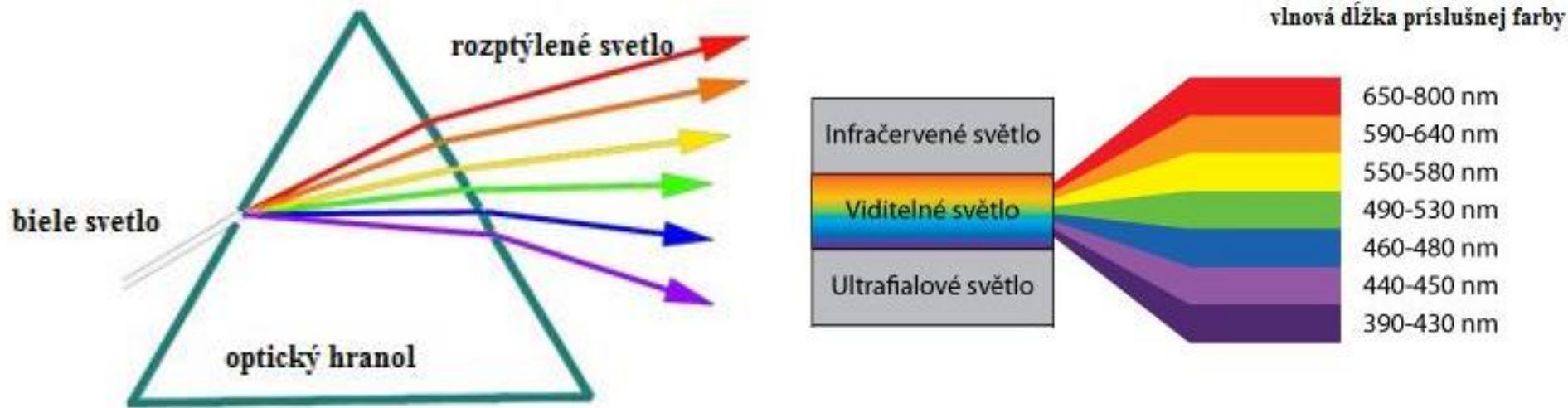


Totálny odraz je tiež základom pre vedenie svetla v optických vláknach.



Poznámka: Totálny odraz je tiež základom aj pre tzv. refrakčnú seizmiku (tam ide ale o mechanické vlnenie). Viac na predmete Základy aplikovanej geofyziky.

Rozklad svetla: súvisí s lomom svetla (trojboký hranol)

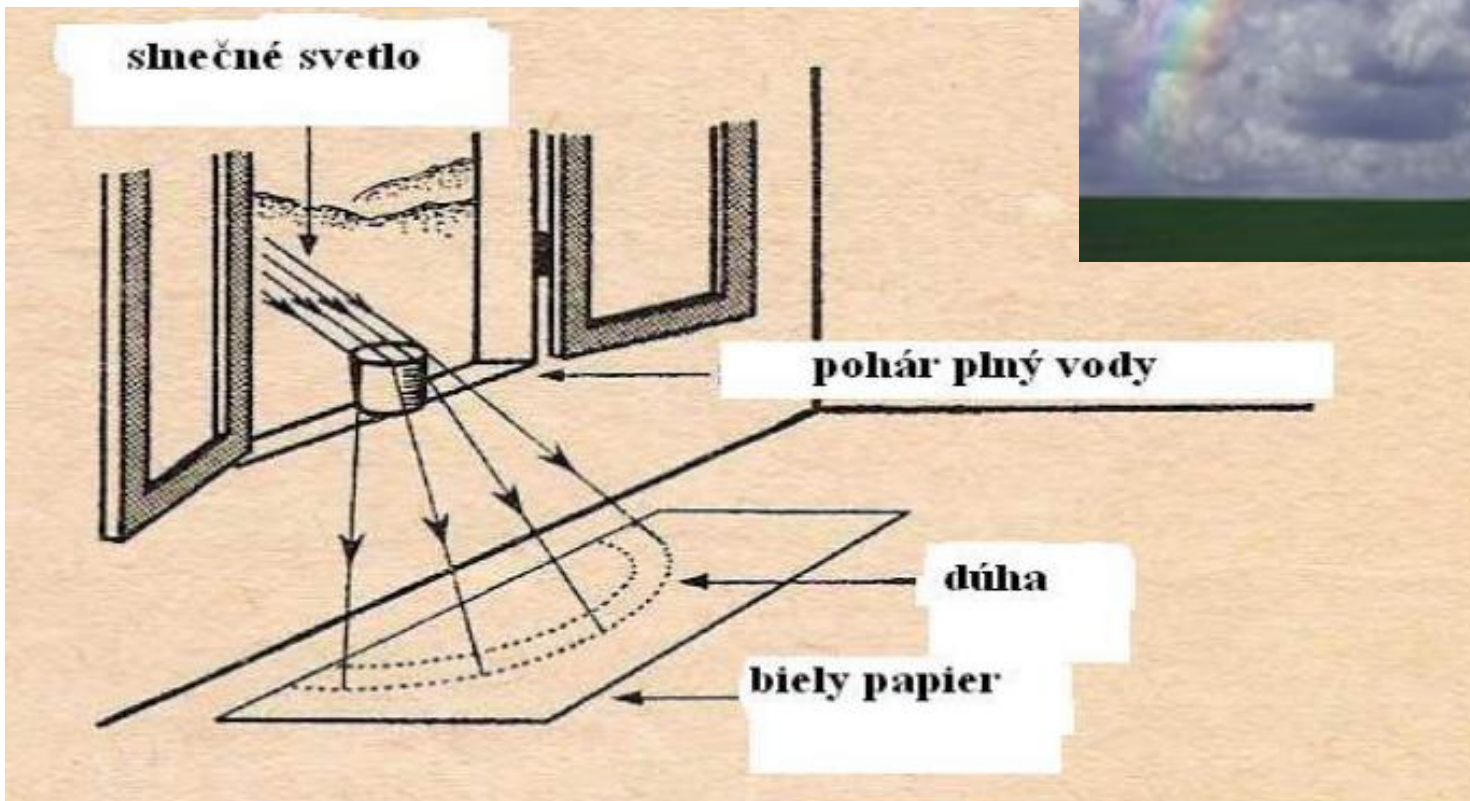


Biele svetlo tvorí zväzok lúčov rôznych farieb – tieto majú rozdielne frekvencie a lámu sa pod rôznymi uhlami.

Prišiel na to vo svojich úvahách a pokusoch už Isaac Newton.

Rozklad svetla: dúha (svetlo sa láme na kvapkách vody)

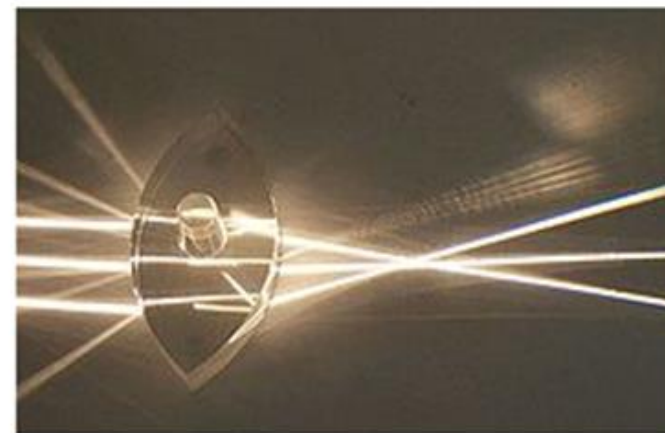
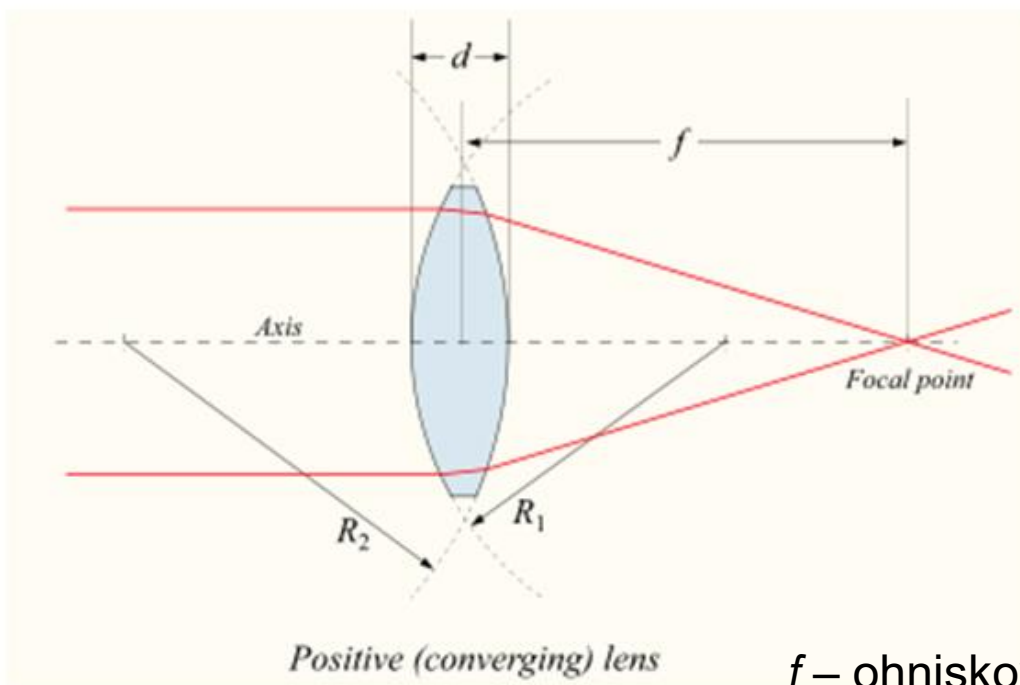
ako si urobiť dúhu doma?



Šošovky: účelovo menia smery lúčov, sú základom ďalekohľadov, mikroskopov, lúp,...

Existujú dva hlavné druhy šošoviek: **spojné a rozptylné**.

Spojná šošovka (spojka) je vypuklá. Rovnobežné lúče svetla, ktoré ňou prejdú, sa za ňou pretnú v jednom mieste – v ohnisku. Spojka vytvorí za ohniskom prevrátený obraz predmetu pred ňou (pred ním zmenšený, neprevrátený).

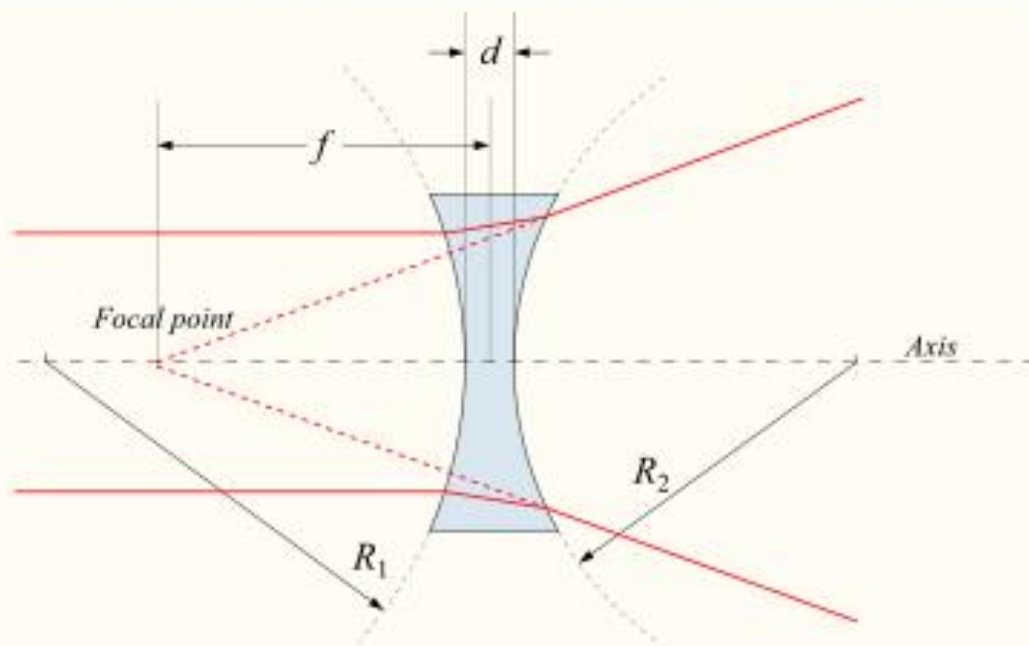


f – ohnisková vzdialenosť, d – hrúbka šošovky,
 R_1 , R_2 – polomery krivosti šošovky

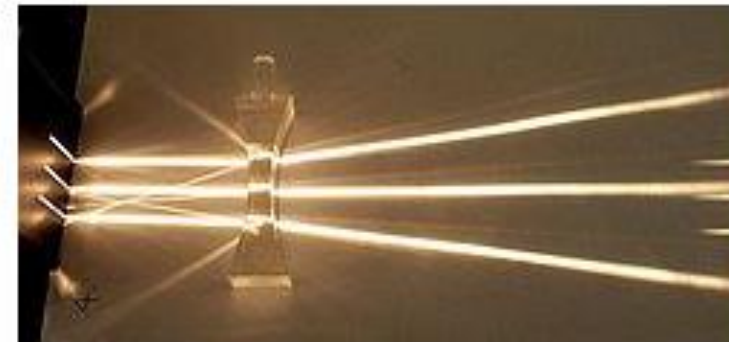
Šošovky: účelovo menia smery lúčov, sú základom ďalekohľadov, mikroskopov, lúp,...

Existujú dva hlavné druhy šošoviek: **spojné a rozptylné**.

Rozptylná šošovka (rozptylka) je vdutá. Rovnobežné lúče, ktoré ňou prejdú, sa za ňou rozbiehajú, ako by vychádzali z fiktívneho ohniska pred ňou.

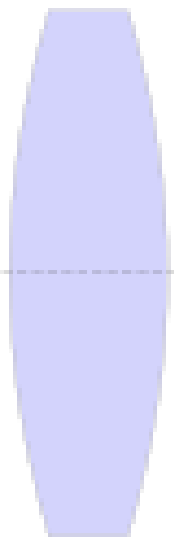


Negative (diverging) lens



f – ohnisková vzdialenosť, d – hrúbka šošovky,
 R_1 , R_2 – polomery krivosti šošovky

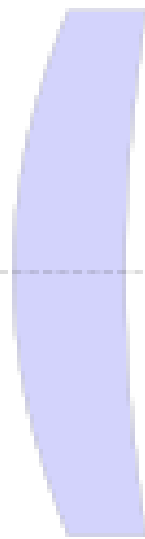
Klasifikácia šošoviek podľa krivosti ich optických plôch.



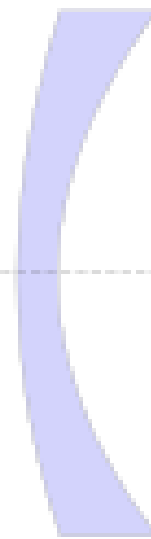
Biconvex



Plano-convex



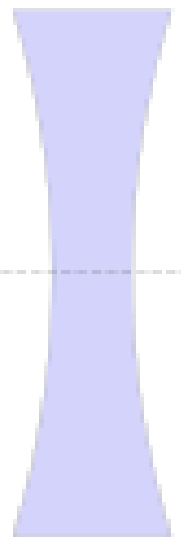
Positive meniscus



Negative meniscus



Plano-concave



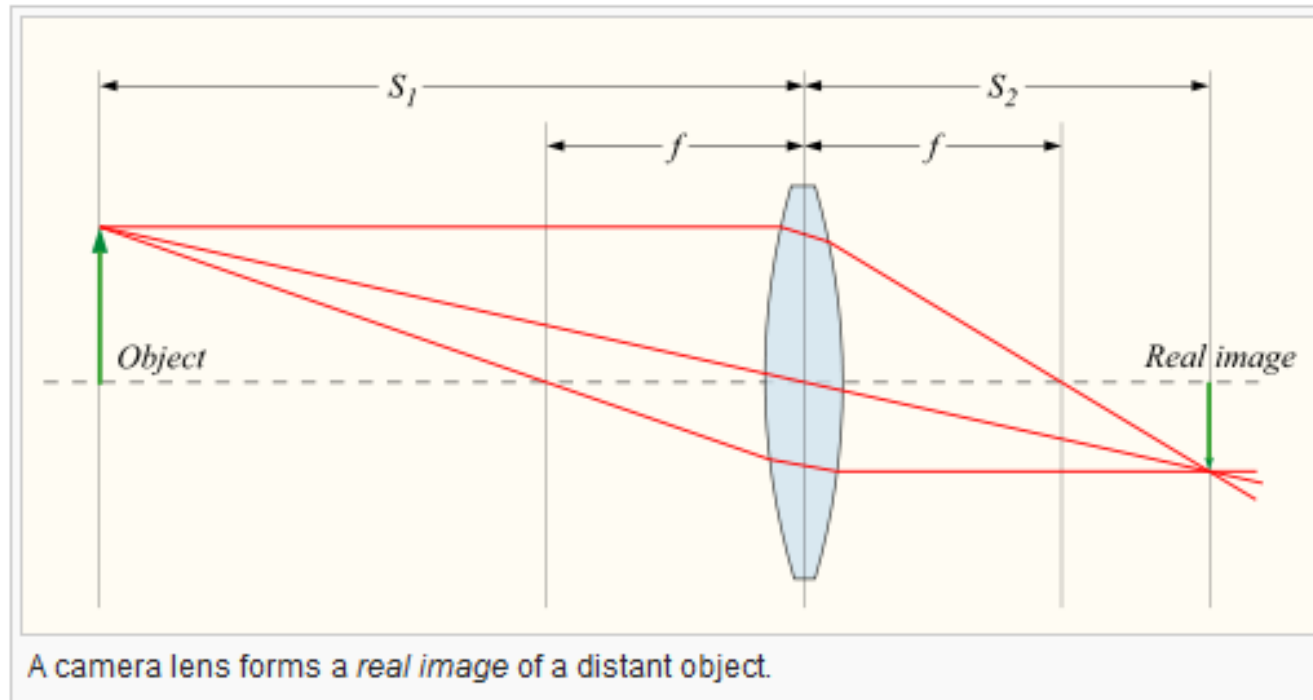
Biconcave

šošovky – vzorec pre tenkú šošovku

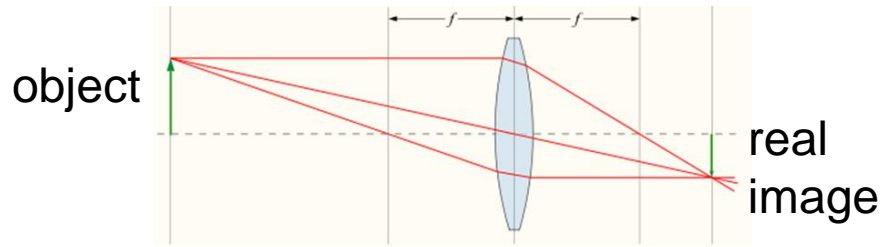
(tenká šošovka - d je malé v porovnaní s R_1 a R_2)

Ak je vzdialenosť objektu od šošovky S_1 a vzdialenosť obrazu od šošovky S_2 , tak vo vzduchu platí jednoduchý vzťah (f – ohnisková vzdialenosť):

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} = \frac{1}{f}$$

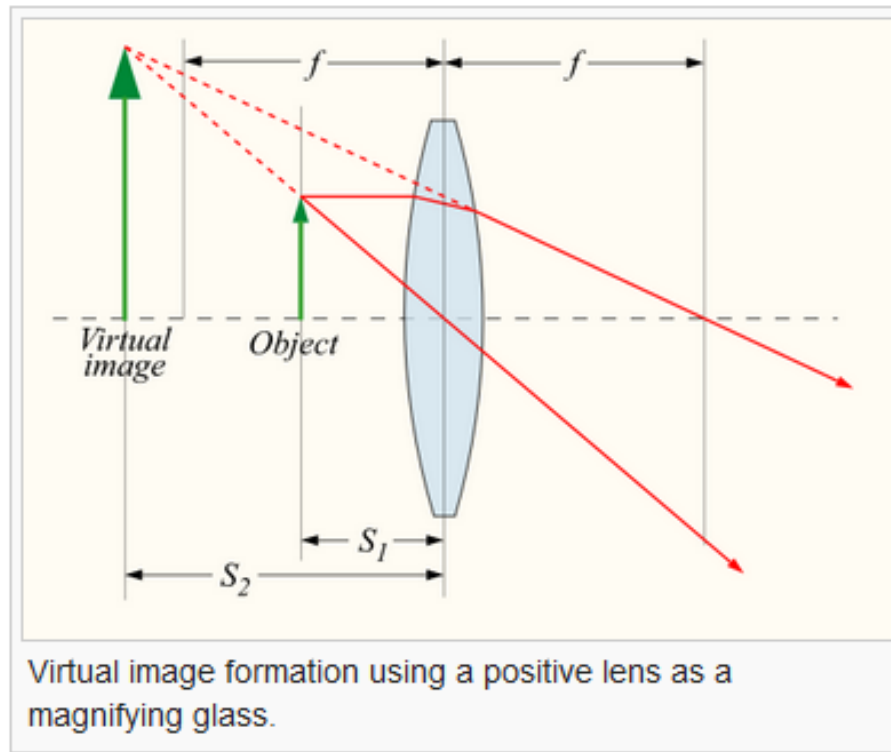


Ak je objekt umiestnený vo vzdialenosti $S_1 > f$ od spojnej šošovky s ohnisk. vzdialenosťou f , tak vo vzdialenosti S_2 sa nachádza jeho obraz. Takýto obraz sa nazýva **reálnym**.
Toto je princíp fotoaparátu a ľudského oka.



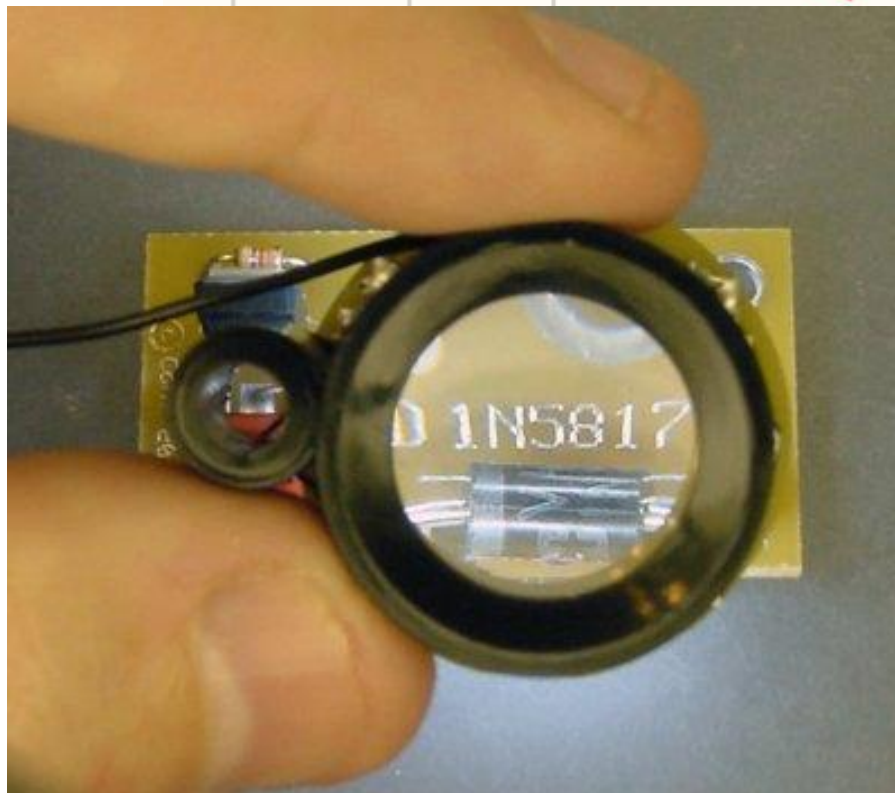
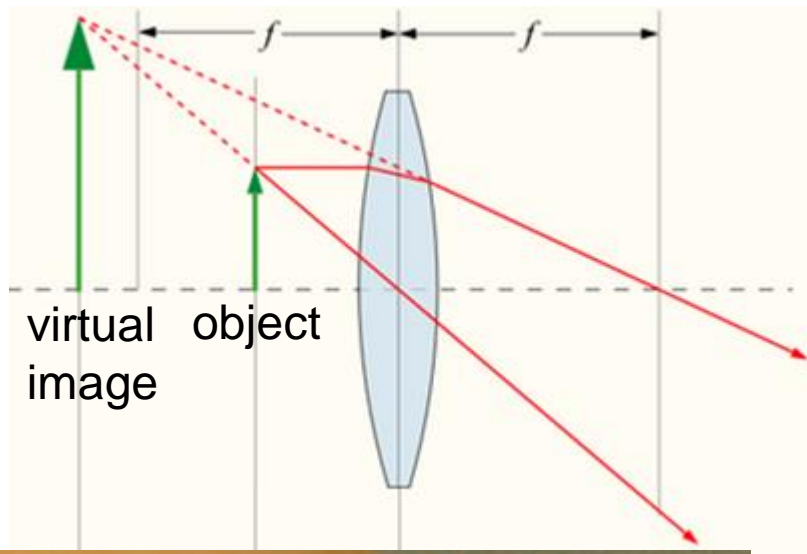
šošovky – vzorec pre tenkú šošovku

(tenká šošovka - d je malé v porovnaní s R_1 a R_2)



V niektorých situáciách (vzdialenosť $S_1 < f$) získame zápornú hodnotu S_2 , čo znamená, že obraz sa vytvorí na opačnej strane šošovky. Nakoľko lúče na opačnej strane šošovky divergujú, volá sa tento obraz ako **virtuálny**.

Táto situácia nastáva keď pozeráme cez zväčšovaciu lupu (a v konečnom dôsledku sa tento jav využíva v optickom mikroskope).



princíp
lupy
(aj mikroskopu)

optický mikroskop

Získanie zväčšeného obrazu je možné vysvetliť pomocou dvoch situácií pre tenkú šošovku.

Ide vlastne o system dvoch spojných šošoviek.

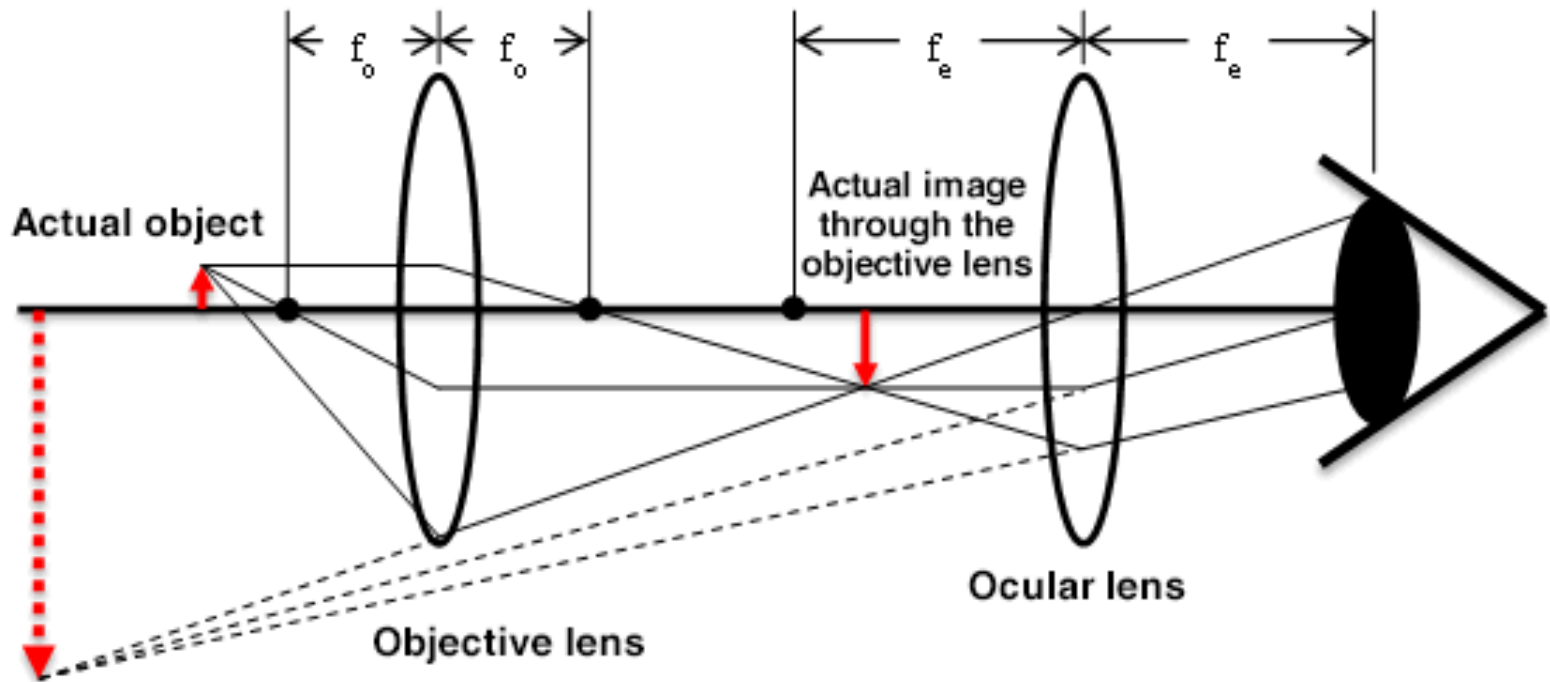
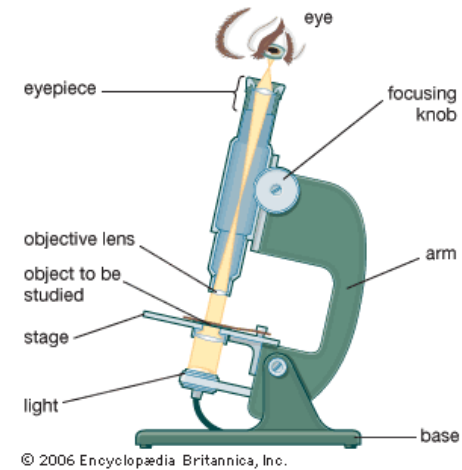
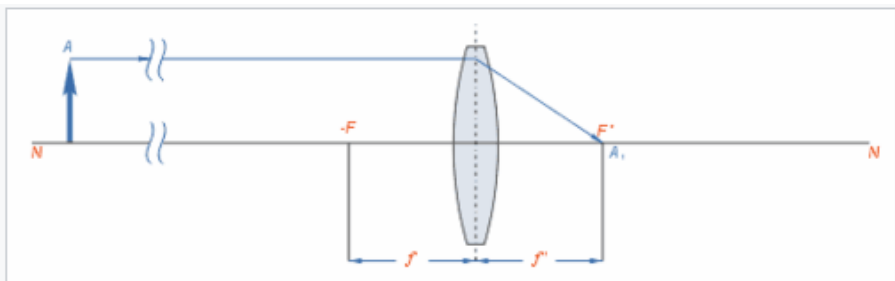
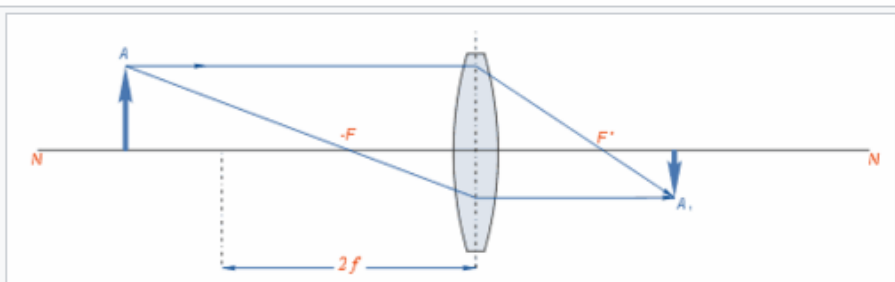


Image observed through the ocular lens
(virtual image magnified by the ocular lens)



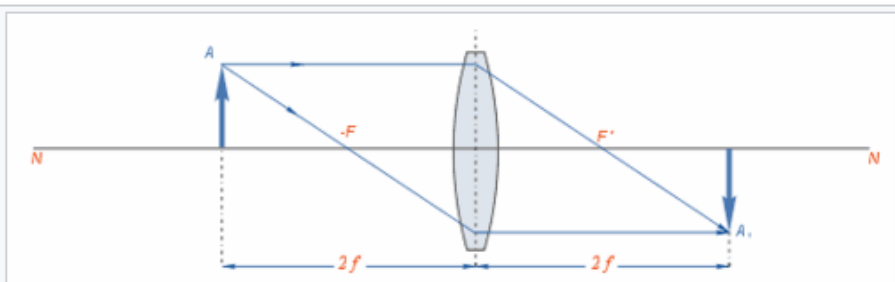
Predmet je nekonečne vzdialený a jeho obraz je nekonečne malý



Predmet je vzdialený viac ako 2x ohnisková vzdialenosť šošovky: $u > 2f$

Obraz je:

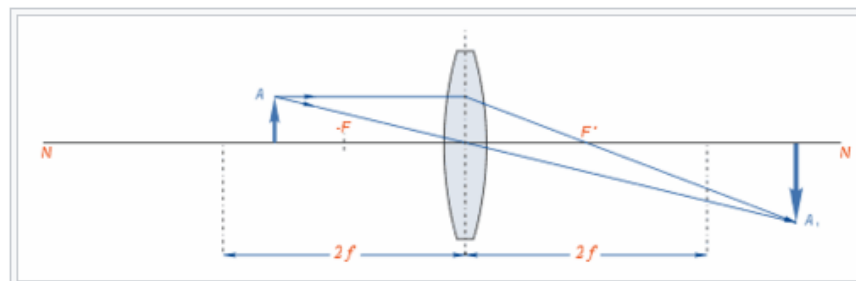
- skutočný $v > 0$
- zmenšený $|z| < 1$
- prevrátený $z < 0$



Predmet je vzdialený presne 2x ohnisková vzdialenosť šošovky: $u = 2f$

Obraz je:

- skutočný $v > 0$
- rovnaký $|z| = 1$
- prevrátený $z < 0$

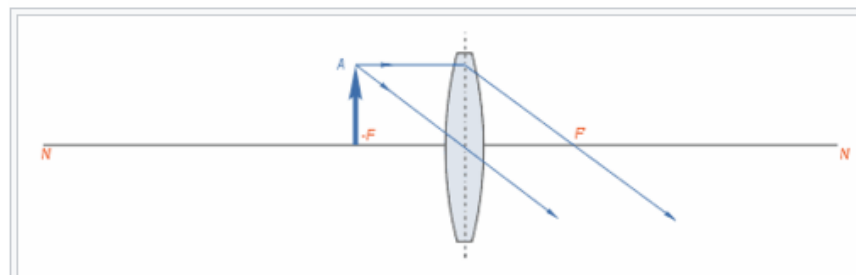


Predmet je vzdialený menej ako 2x a viac ako 1x ohnisková vzdialenosť šošovky:

$2f > u > f$

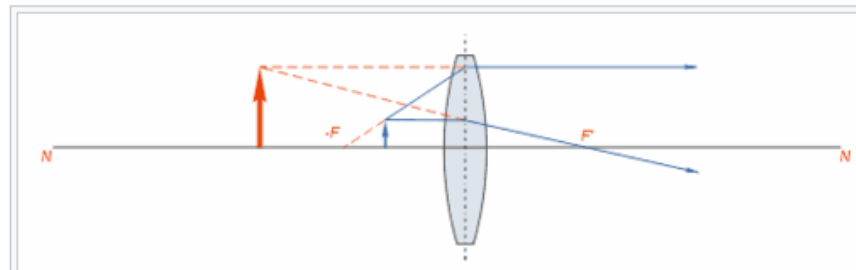
Obraz je:

- skutočný $v > 0$
- zväčšený $|z| > 1$
- prevrátený $z < 0$



Predmet je rovnako vzdialený ako ohnisková vzdialenosť šošovky: $u = f$

Obraz sa vytvorí v nekonečne



Predmet je vzdialený menej ako ohnisková vzdialenosť šošovky: $u < f$

Obraz je:

- neskutočný $v < 0$
- zväčšený $|z| > 1$
- priamy $z > 0$

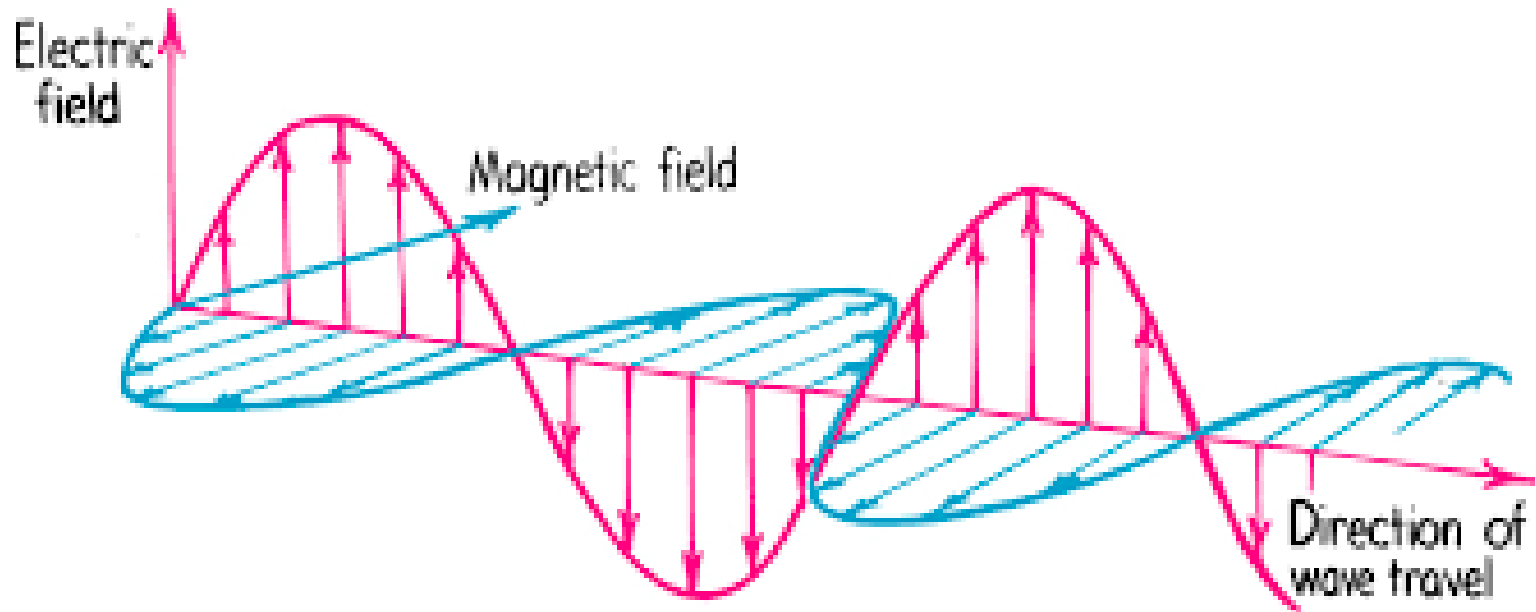


Pokus s pohárom vody: <http://www.youtube.com/watch?v=G303o8pJzls>



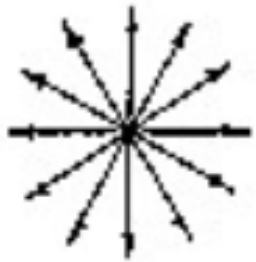
Základné pojmy - optika - svetlo

Na svetle sa dá asi najlepšie pochopiť duálny charakter vo fyzike – dá sa chápať ako prúd fotónov (častíc) alebo ako elektro-magnetické (EM) vlnenie.



Toto je idealizovaný obrázok – bežné svetlo môže kmitať v ľubovoľných smeroch, avšak vždy kolmo na smer vlnenia.

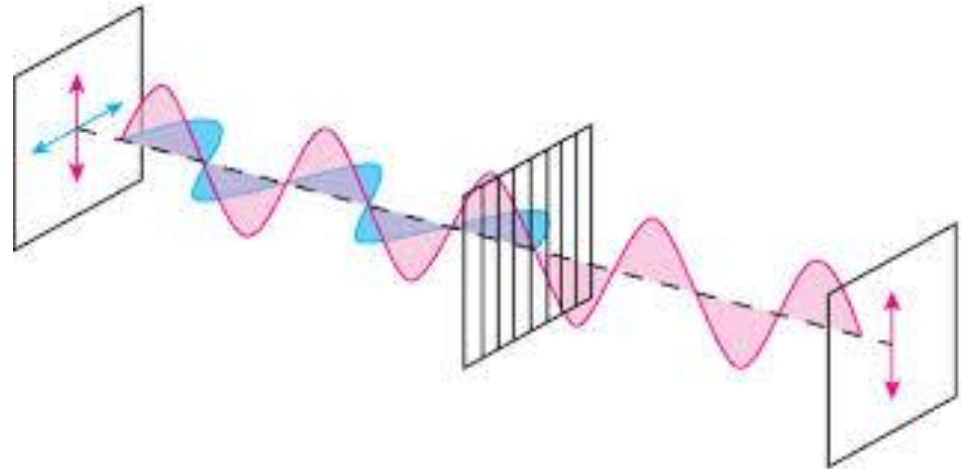
Polarizované svetlo: vlna „kmitá“ v jednej rovine, získava sa viacerými spôsobmi – napr. polarizačnými filtermi.



nepolarizované svetlo

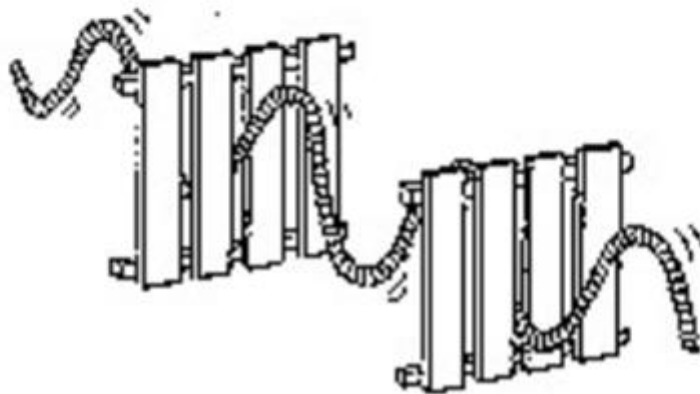


polarizované svetlo



V mineralógii a petrológii sa používa na štúdium výbrusov hornín a minerálov tzv. **polarizačný mikroskop** - jeho optika obsahuje dva polarizačné prvky (polarizátor a analyzátor, tzv. nikoly), ktoré vytvárajú lineárne polarizované svetlo.

Polarizované svetlo: vlna „kmitá“ v jednej rovine, získava sa viacerými spôsobmi – napr. polarizačnými filtrami.

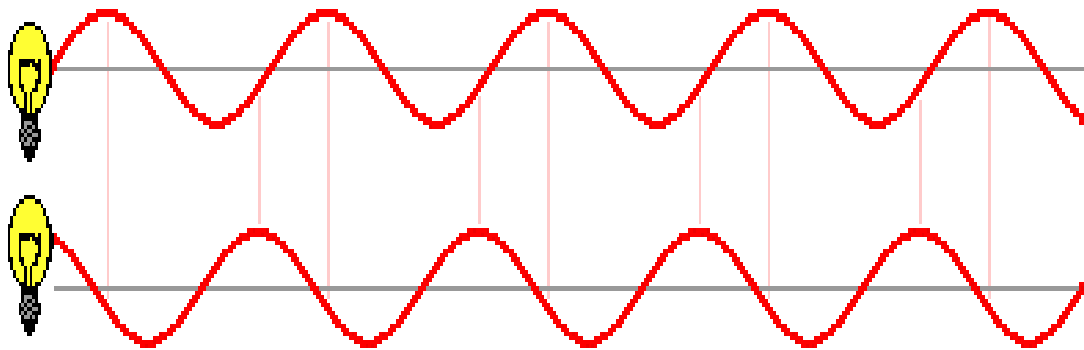


Laser

Laser (skratka z angl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je zdroj monochromatického koherentného svetla, ktorý vznikne umiestnením zosilňovača svetla do optického rezonátora naladeného na príslušnú vlnovú dĺžku.

Prvý laser bol skonštruovaný v roku 1960 fyzikom [T.H. Maimanom](#) v Hughes Research Laboratories, a jeho vytvorenie bolo založené na teoretických prácach C.H. Townesa a A.L. Schawlowa. Laserový zväzok vytvoril tak, že do špeciálnej tyče z umelého rubínu vysielal záblesky obyčajného svetla.

Hlavný rozdiel oproti iným zdrojom svetla je v tom, že svetlo je koherentné. (koherentné vlny majú celý čas konštantný fázový posun).



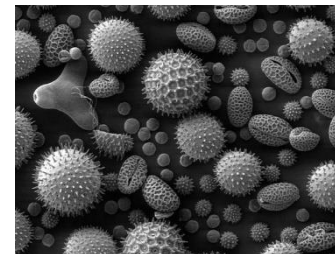
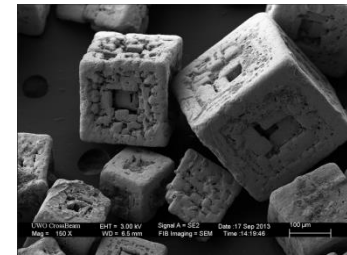
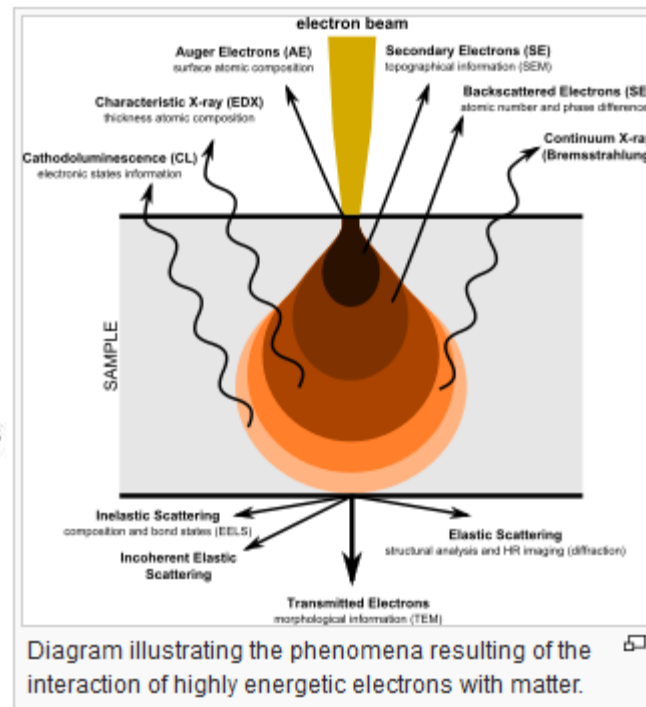
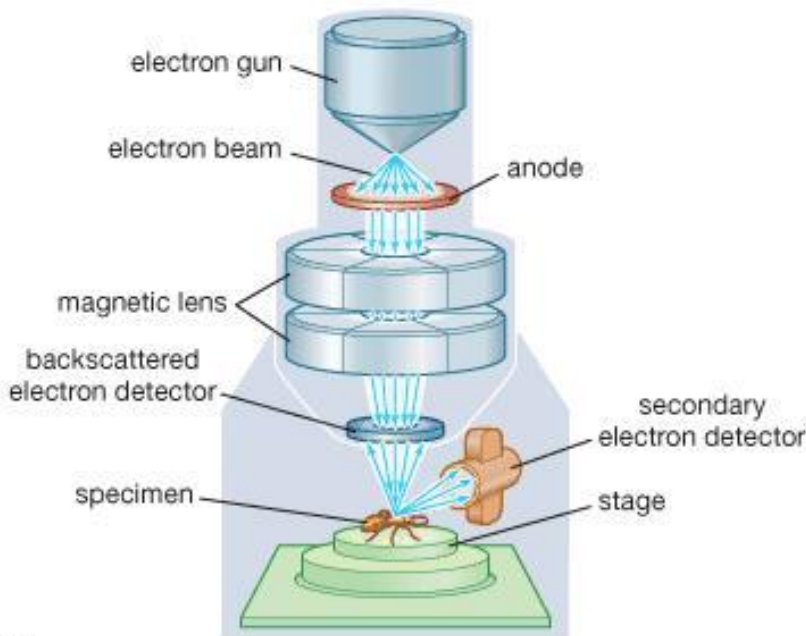
These two waves are coherent - they have a phase difference which is constant over time.



Elektronický mikroskop:

Využíva ako zdroj iluminácie **prúd urýchlených elektrónov**. Keďže je vlnová dĺžka vlnového pohybu elektrónu až 100,000 krát kratšia, ako je dĺžka bežného viditeľného svetla, má elektrónový mikroskop omnoho vyššiu rozlišovaciu schopnosť, ako bežný optický (svetelný) mikroskop a dokáže tako rozpoznať veľmi malé detaily objektov.

Rozlíšenie dosahuje až 50 pm, čo zodpovedá zväčšeniu cca 10,000,000x (optické mikroskopy dosahujú rozlíšenie max. 200 nm so zväčšením pod cca 2000x).



Jednotka svietivosti - kandela

Kandela (cd) je jedna zo siedmich základných jednotiek SI.

Je jednotkou svietivosti.

Hovorí o sile žiarenia bodového zdroja svetla v určitom smere v rámci jednotkového priestorového uhla.

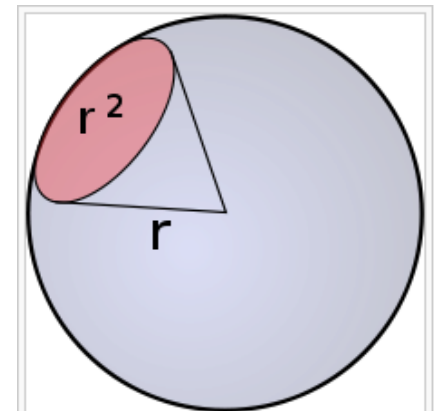
Definícia:

Kandela je intenzita svetla (svietivosť) v danom smere zo zdroja, ktorý vyžaruje monochromatické žiarenie s frekvenciou $540 \cdot 10^{12}$ Hz a má žiarivú intenzitu (žiarivosť) v tomto smere $1/683$ W na jeden steradián. Vybraná frekvencia je z viditeľného spektra, blízka svetlu zelenej farby. Ľudské oko je na túto frekvenciu najcitlivejšie.

Pozn.:

Priestorový uhol steradián (sr) je 2D uhol (dá sa predstaviť ako kužel) v priestore, ktorý na povrchu gule s polomerom r vytvorí prienik v tvare kruhovej plochy s veľkosťou r^2 .

Priestorový uhol pre celú guľu predstavuje 4π sr.



Any area on a sphere which is equal in area to the square of its radius, when observed from its center, subtends precisely one **steradian**.

Jednotka svetelného toku - lumen

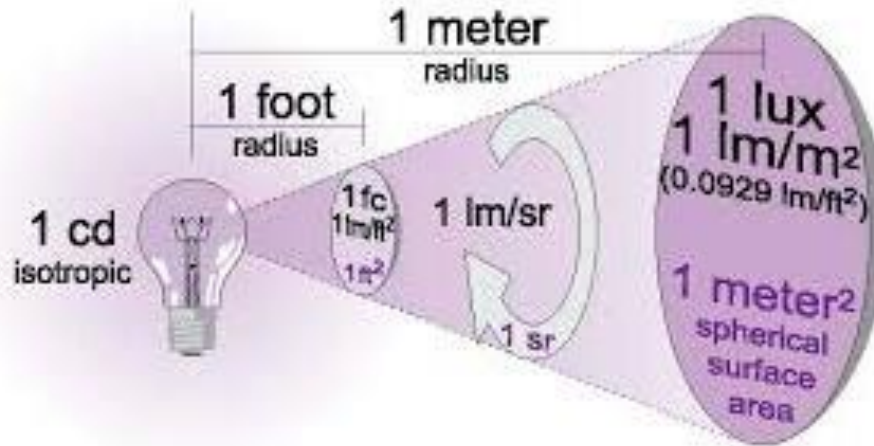
Je odvodená SI jednotka.

Lumen (lm) je definovaný ako svetelný tok vyžarovaný do priestorového uhla 1 sr bodovým zdrojom, ktorého svietivosť je vo všetkých smeroch 1 cd.

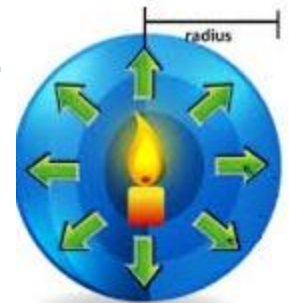
Typický svetelný tok pri klasickej 100W žiarovky je približne 1500 lm, pri sviečke približne 13 lm.

Platí: $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$.

Jednotka osvetlenosti je Lux (lx), je to vlastne Lumen na m^2 (lm/m^2).

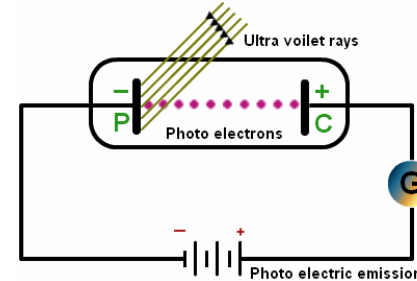
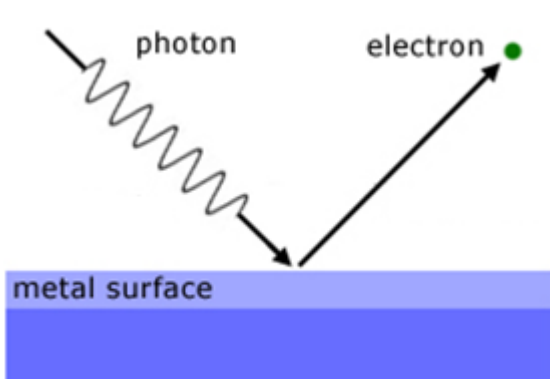


Svetelný tok cez guľovú plochu okolo bodového svetelného zdroja tým pádom určíme ako: $1 \text{ cd} \cdot 4\pi \text{ sr} = 4\pi \text{ cd} \cdot \text{sr} \approx 12.57 \text{ lm}$.



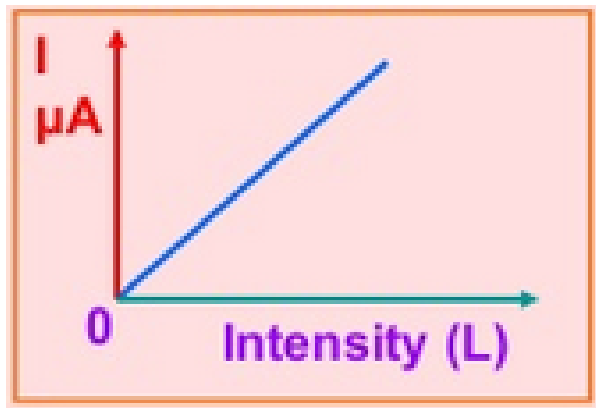
fotoelektrický efekt – prechod ku kvantovej fyzike

Dopadajúce svetlo na povrch kovu spôsobuje emitovanie elektrónov (ak je tento jav zapojený do elektrického obvodu, tak ním prechádza prúd).

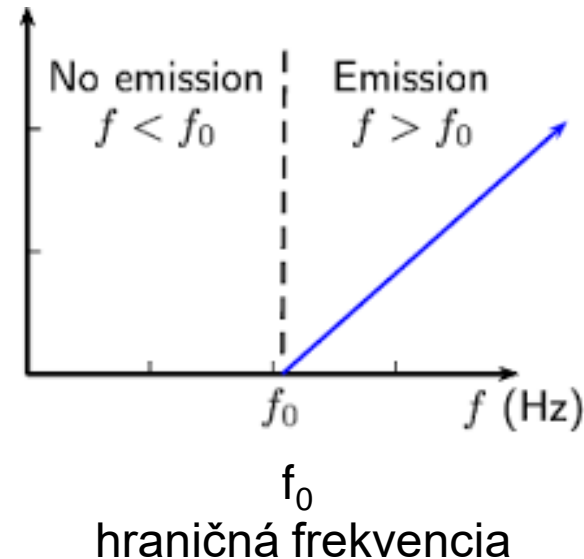


jednoduché videá: <https://www.youtube.com/watch?v=WO38qVDGgqw>
<https://www.youtube.com/watch?v=v-1zjdUTu0o>

Avšak pri tomto jave existuje určitá hraničná frekvencia (svetla), pod ktorou sa to nedeje.



ideálna (očakávaná) situácia



fotoelektrický efekt – prechod ku kvantovej fyzike

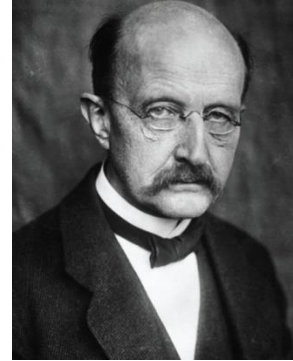
Nezávisle od toho **Max Planck** zistil, že fotóny sa vždy uvoľňujú v určitých balíkoch (kvantách) a definoval správanie sa tohto javu v oblasti energie:

$$E_n = n h f$$

n kladné celé číslo (tzv. kvantové číslo),

f frekvencia svetla,

h Planckova konštanta, $h = 6.62607004 \cdot 10^{-34}$ [m²kg/s].



S touto koncepciou “kvantovania” energie pracovali ďalší fyzici.

Veľký posun v chápaní fotoelektrického javu uskutočnil **Albert Einstein**.

Niels Bohr použil túto koncepciu v jeho kvantovom modeli atómu.