

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Predmet:

Fyzika

Školský rok/blok:

/

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Teória

1 KMITANIE A VLNIENIE

4 Optika

1.4 Úvod – optika a jej delenie

Optika sa zaoberá skúmaním podstaty svetla a zákonitosťami svetelných javov, ktoré vznikajú pri šírení svetla a pri vzájomnom pôsobení svetla a látky.

Do optiky je možné zahrnúť aj účinky svetelného žiarenia, ktoré skúmame v chémii, biológii, lekárstve, psychológii, Optika umožnila preniknúť aj do oblastí, ktoré sú nedostupné ľudskému oku - a to aj do oblasti mikrosвета pomocou mikroskopu, tiež do astronómie a kozmológie pomocou ďalekohľadov.

Prudký rozvoj optiky priniesol vynález a využitie **laseru**, optika sa uplatňuje aj v elektronických zariadeniach – v optoelektronike.

Základné vlastnosti svetla a zákony opisujúce jeho šírenie určujú aj rôzny prístup k výkladu svetelných javov a použitie rôznych metód k ich skúmaniu. Podľa toho sa optika delí:

1. **Optika geometrická (lúčová)** – pri opise optického zobrazenia zanedbáva vlnovú povahu svetelného žiarenia. Je založená na princípoch nezávislosti chodu svetelných lúčov, na priamočiarom šírení svetla v homogénnom prostredí a na zákonoch odrazu a lomu. Vyšetruje intrerakciu svetla s objektami, ktoré majú výrazne väčšie rozmery v porovnaní s vlnovou dĺžkou svetla. **Svetlo teda považujeme za lúč.**
2. **Optika vlnová** – sa zaoberá javmi, ktoré nemožno vysvetliť pomocou geometrickej optiky, ale je nutné vziať do úvahy vlnovú povahu svetla (**interferencia, ohyb, polarizácia, ...**). Do tejto časti optiky patria javy, pri ktorých svetlo interaguje s objektami, ktoré majú porovnateľné rozmery s vlnovou dĺžkou svetla, tj. rádovo stovky nanometrov (štrbina optickej mriežky, štrbina polarizačného filtra, ...).

Na rozdiel od geometrickej optiky vo vlnovej optike potrebujeme „detailnejší“ pohľad na svetlo – skúmame teda svetlo „z väčšej blízkosti“, čo sa prejaví tým, že už sme schopní vo svetelnom lúči rozoznať vlnky.

3. **Optika kvantová** – sa zaoberá dejmi, pri ktorých sa prejavuje kvantový charakter svetla: svetlo sa nešíri spojite, ale ako prúd častíc – **fotónov**.

Svetlo skúmame ešte z väčšej blízkosti ako vo vlnovej optike. V pôvodne spojitých svetelných vlnách „rozoznáваме“ jednotlivé častice (**fotóny**).

Toto je schématicky znázornené na nasledujúcom obrázku (Obr. č.1). Je na ňom niekoľko obrázkov, ktoré vystupujú zo žiarovky. S použitím prvej (veľkej) lupy odhalíme, že lúče sú vlastne vlny – len z veľkej vzdialenosti nie sú vidieť. Ďalšou (podrobnejšou) lupou odhalíme, že to, čo sa nám javilo po prvom priblížení ako vlny, je prúd fotónov.

V optike sa študuje tzv. **optické žiarenie**, čo je elektromagnetické vlnenie (žiarenie), ktorého vlnové dĺžky ležia v intervale $(10^{-8}; 10^{-4})m$. Dôvody pre obmedzenie intervalu sú tieto:

1. $10^{-4}m$ - po zväčšení vlnovej dĺžky začína byť táto vlnová dĺžka porovnateľná s rozmermi optických prvkov optických sústav. Tieto prvky, ktoré sa uplatňujú pri prenose žiarenia,

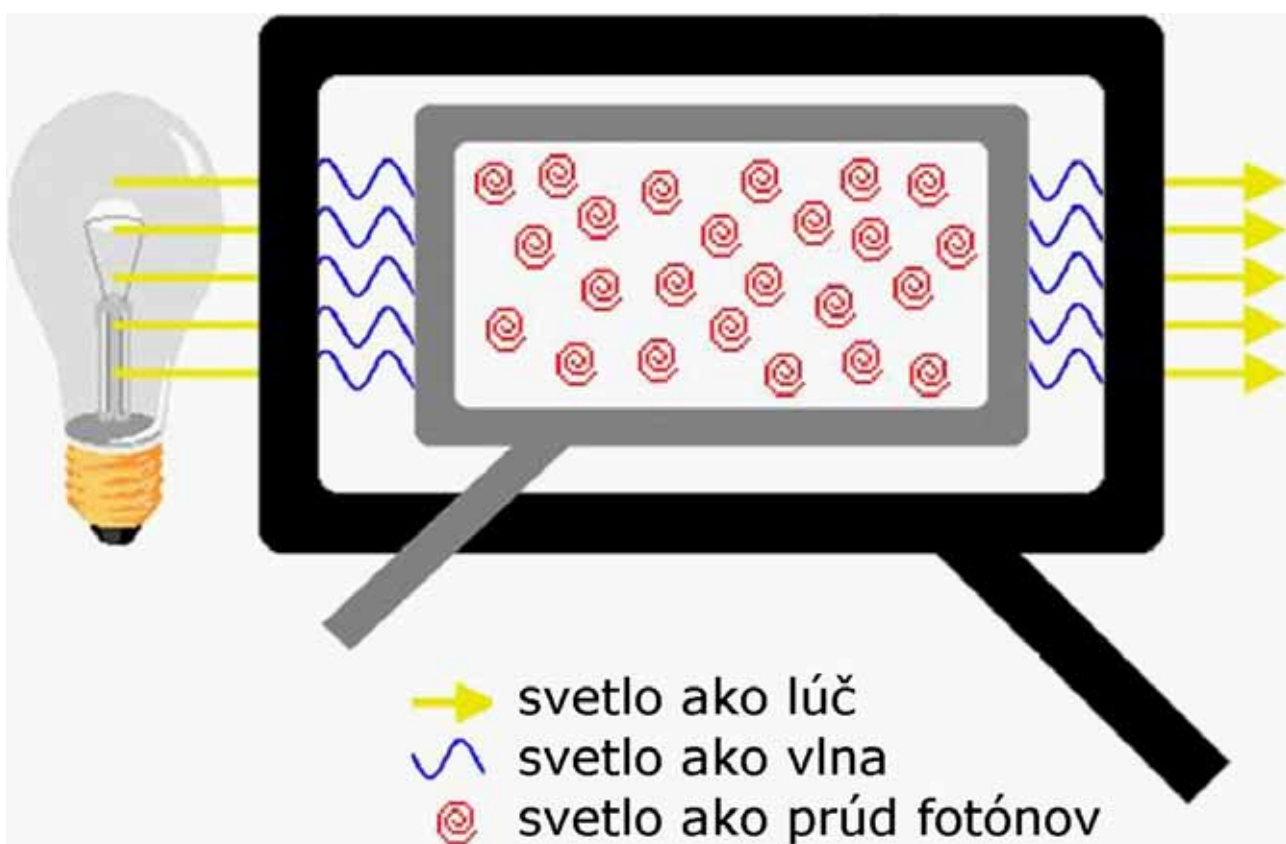
potom žiarenie významným spôsobom ovplyvňujú. Jedná sa teda o technickú hranicu. Vlny dlhšie než táto hraničná hodnota intervalu sú vlny submilimetrové, milimetrové, rádiové, televízne,

Optickými prvkami, ktoré by takto mohli ovplyvniť šírenie žiarenia, sú myslené objektívy optických prístrojov, reflexné zrkadlá,

2. $10^{-8}m$ - hranica mikroskopická. Vzdialenosti atómov ($10^{-10}m$) a molekúl ($10^{-9}m$) sú menšie ako vlnová dĺžka optického žiarenia. Pri jej zmenšení bude jej veľkosť porovnateľná s uvedenými vzdialenosťami a vlnenie bude ovplyvnené nehomogenitou prostredia. Vlnenie s menšou vlnovou dĺžkou je **rentgenové žiarenie**.

Vlnové dĺžky svetla viditeľného ľudským okom ležia v intervale zhruba (390;790)nm .

V rôznych publikáciách sa uvádzaný interval vlnových dĺžok, na ktoré je citlivé ľudské oko, môže nepatrne líšiť. Dôvodom sú rôzne podmienky, za ktorých bolo príslušné meranie uskutočnené (zloženie testovacej skupiny ľudí, ich vek, únava, ...).



Obrázok č. 1

1.4.0 Svetlo ako elektromagnetické vlnenie

Svetlo je priečne elektromagnetické vlnenie, ktoré k svojmu šíreniu nepotrebuje žiadne látkové prostredie (šíri sa tiež napríklad vo vákuu). Veľkosť rýchlosti svetla vo vákuu je $c = 299792458m.s^{-1} \doteq 3.10^8 m.s^{-1}$.

Jedná sa o maximálne možnú rýchlosť, ktorou sa môže fyzikálny objekt pohybovať. V látkovom prostredí je veľkosť rýchlosti svetla vždy menšia a je ovplyvnená nielen prostredím, ale tiež frekvenciou svetla.

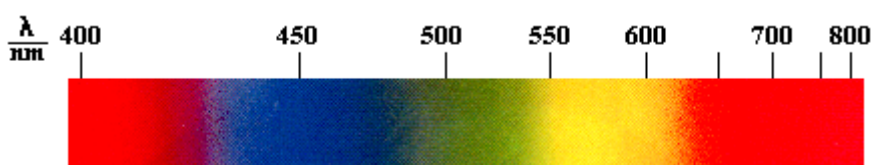
Rovnako ako iné druhy vlnenia, charakterizuje aj svetlo vlnová dĺžka $\lambda = \frac{c}{f}$, kde f je frekvencia svetla. Ako svetlo sa označuje elektromagnetické vlnenie, na ktoré je citlivý ľudský

zrakový orgán – oko: Fyziologický vnem nazvaný „videnie“ vyvoláva elektromagnetické vlnenie s vlnovými dĺžkami od 390nm až 790nm .

Svetlo s rôznymi frekvenciami vyvolá u človeka rôzny vnem, ktorý charakterizujeme pojmom **farba svetla**. Svetelný interval je vymedzený fialovou farbou ($\lambda_f = 390\text{nm}$) a červenou farbou ($\lambda_c = 790\text{nm}$) - pozri obrázok č. 2.

Toto vymedzenie je len orientačné, pretože je ovplyvnené individuálnymi vlastnosťami ľudského zraku. Navyiac, najcitlivejšie je oko na farbu žltozelenú ($\lambda = 550\text{nm}$). V praxi väčšinou nevnímame jednoduché svetlo charakterizované určitou frekvenciou, ale svetlo zložené z vlnenia rôznych frekvencií. Účinky jednotlivých zložiek svetla na zrak potom určujú výsledný farebný vnem, ktorému zodpovedá charakteristický odtieň farby. **Pri určitom pomere farebných zložiek dostávame svetlo biele.**

Skladáním svetiel rôznych farieb sa zaoberá kolorimetria, jej poznatky sú dôležité napríklad pre prenos, záznam, reprodukciu signálov farebnej televízie.



1.4.1 Základné vlastnosti svetla

Optika je náuka o svetle. Svetlo je elektromagnetické vlnenie, ktoré vyvoláva vnem v našom oku.

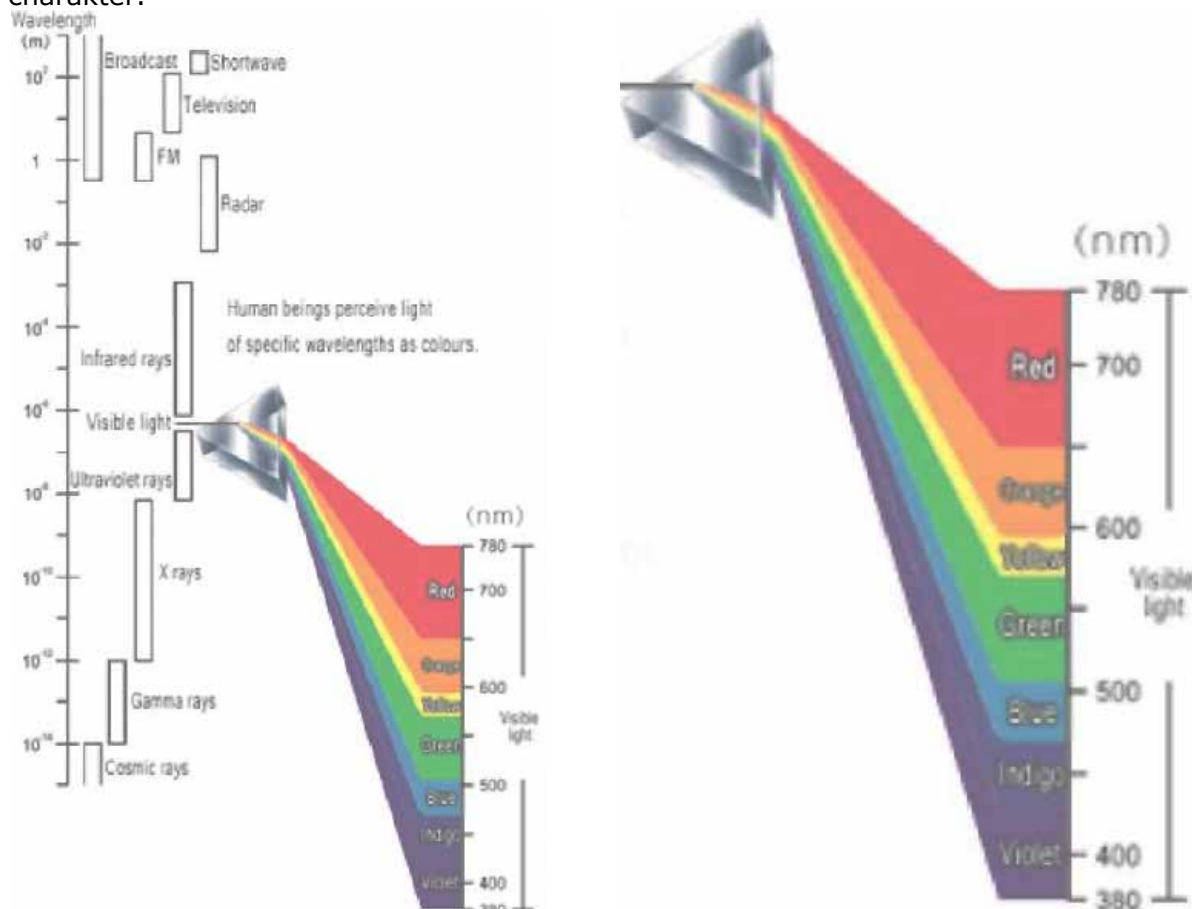
Optika je časť fyziky, ktorá sa zaoberá podstatou a vznikom svetla, otázkami šírenia svetla, interakcie svetla a prostredia, skúma príčiny a podstatu videnia. Optika patrí medzi najstaršie časti fyziky, zaoberali sa ňou už starovekí grécki učitelia.

Oblasť	Kmitočet [Hz]	Vlnová dĺžka [m]
dlhé vlny	10^4	10^4
stredné vlny	10^5	10^3
krátke vlny	10^6	10^2
		10
veľmi krátke vlny	10^7	1
ultrakrátke vlny	10^8	10^{-1}
radarové vlny	10^9	10^{-2}
milimetrové vlny	10^{10}	10^{-3}
	10^{11}	10^{-4}
ďaleká infračervená	10^{12}	10^{-5}
blízka infračervená	10^{13}	10^{-6}
viditeľné svetlo (380nm-790nm)	10^{14}	10^{-7}
ultrafialová	10^{15}	10^{-8}
mäkké žiarenie X	10^{16}	10^{-9}
tvrdé žiarenie X	10^{17}	10^{-10}
žiarenie γ	10^{18}	10^{-10}

Vývoj názorov na podstatu svetla:

História rozvoja optiky je charakterizovaná bojom protikladných názorov na podstatu svetla. V 17. storočí vznikli dve teórie o podstate svetla:

- **Huygensova vlnová teória.** Huygens (1678) považoval svetlo za pozdĺžne vlnenie svetelného éteru – veľmi riedkej látky - vlnová teória svetla.
- **Newtonova korpuskulárna teória.** (Korpuskula = častica). Podstatou svetla sú častice (korpuskule), ktoré sa obrovskou rýchlosťou šíria od zdroja – časticová teória svetla.
- **Súčasná teória.** Svetlo je elektromagnetické vlnenie, majúce vlnový aj časticový charakter.



V druhej polovici 19. storočia **Maxwell** zistil, že elektromagnetické vlnenie sa šíri rovnakou rýchlosťou ako svetlo. Vznikla elektromagnetická teória svetla, podľa ktorej **svetlo (viditeľné žiarenie)** je elektromagnetické vlnenie s vlnovými dĺžkami od 380nm do 780nm .

Podľa **Einsteina** energia nie je v elektromagnetickom vlnení rozložená spojito, ale elektromagnetické vlnenie je tok fotónov. Teda svetlo má vlnovú aj časticovú povahu. **Pri šírení svetla sa prejavujú vlnové vlastnosti, pri emisii a absorpcii kvantové vlastnosti.**

1.4.2 Základné pojmy optiky

Svetelný zdroj – mení rôzne druhy energie (vnútorná, elektrická, chemickej, jadrová) na svetelnú.

Optické prostredie – prostredie, v ktorom sa šíri svetlo.

Druhy optických prostredí:

- priehľadné – prepúšťa svetlo bez podstatného zoslabenia, v tomto prostredí vidíme predmety,
- nepriehľadné – neprepúšťa svetlo – rozptyľuje ho alebo ho odráža,
- priehľadné – prepúšťa svetlo a súčasne ho rozptyľuje,
- izotropné – má vo všetkých miestach rovnaké optické vlastnosti – svetlo sa v ňom šíri priamočiara,
- anizotropné – optické vlastnosti prostredia nie sú v rôznych miestach rovnaké.

Telesá, ktoré vysielajú svetlo, sa nazývajú **zdroje svetla**. Zdroj svetla, ktorého rozmery môžeme v danej situácii zanedbať, je **bodový zdroj svetla**. Prostredie, v ktorom sa šíri svetlo, sa nazýva **optické prostredie**. Optické prostredie, ktoré má v každom bode rovnaké vlastnosti, sa nazýva **homogénne**. Ak vlastnosti prostredia nezávisia od smeru, nazýva sa **izotropné**, ináč je **anizotropné**.

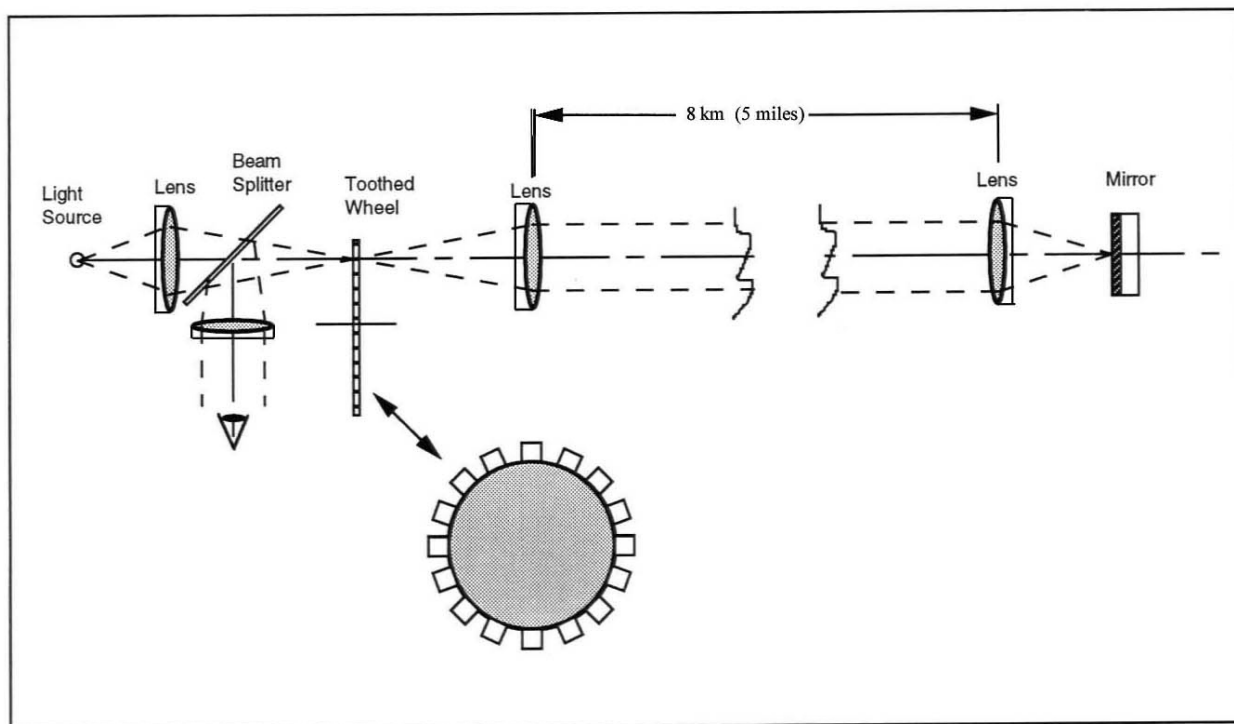
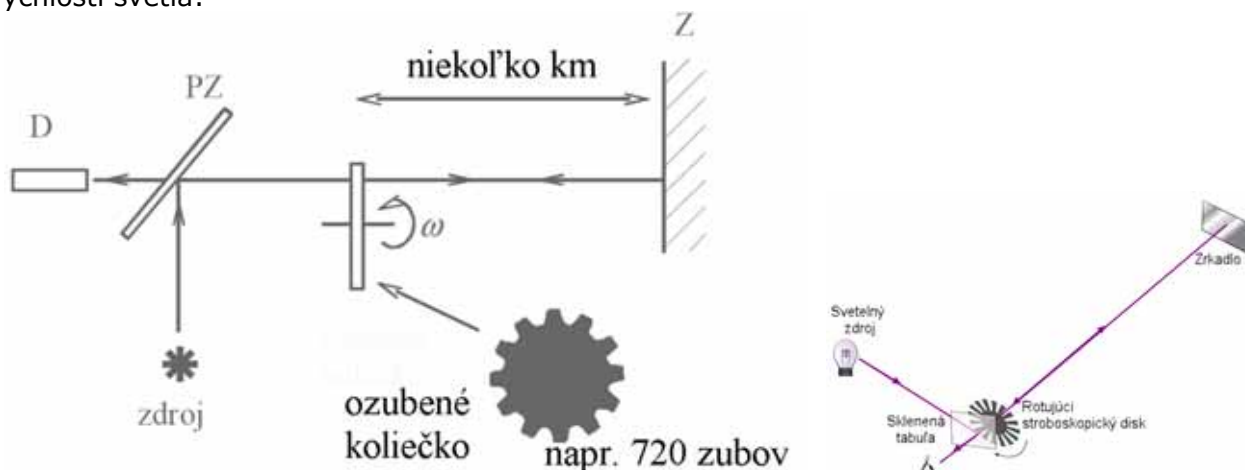
Vlnoplocha, svetelný lúč – svetlo sa šíri v guľových vlnoplochách podľa Huygensovho princípu. Priamka kolmá na vlnoplochu udáva smer, ktorým sa svetlo šíri – nazýva sa svetelný lúč.

Množina všetkých bodov optického prostredia, do ktorých sa svetlo dostalo v rovnakom čase, je **vlnoplocha**. Myslená čiara, po ktorej sa zo zdroja svetla šíri energia, je **svetelný lúč**. V izotropnom prostredí sú svetelné lúče kolmé na vlnoplochy. V homogénnom prostredí sú svetelné lúče časti priamok (**zákon priamočiareho šírenia svetla**).

Monochromatické svetlo – je svetlo určitej vlnovej dĺžky λ .

Biele svetlo = červené + oranžové + žlté + zelené + modré + fialové (od 380nm do 780nm)
= celé frekvenčné spektrum

Rýchlosť svetla – v roku 1849 navrhol Armand Fizeau experimentálny pokus na meranie rýchlosti svetla:

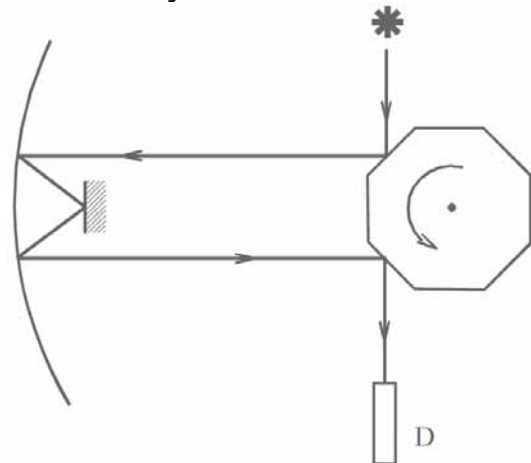


Za polopriepustným zrkadlom *PZ* je „ozubené koliečko“, resp. rotujúci stroboskopický disk, ktorý sa otáča. Akonáhle svetlo prejde otvorom medzi zubami koliečka, postupuje k zrkadlu

Z, odkiaľ sa po odraze vracia späť. Keď na spätočnej ceste svetlo prejde rovnakým alebo ďalším otvorom, vidí pozorovateľ v ďalekohľade D svetelný zdroj. Ak svetlo dopadne na zub, nevidí nič. Pri určitej uhlovej frekvencii otáčania koliečka je možné určiť veľkosť rýchlosti svetla.

Rok	Autor	Metóda	Výsledok (km/s)	Chyba
1676	Olaus Roemer	Jupiterove mesiace	214,000	
1726	James Bradley	Hviezdna aberácia	301,000	
1849	Armand Fizeau	Polopriepustné zrkadlo	315,000	
1862	Leon Foucault	Zdokonalená metóda od Fizeau - rotujúce zrkadlá	298,000	+-500
1879	Albert Michelson	Zdokonalená metóda od Fizeau - rotujúce zrkadlá	299,910	+-50
1907	Rosa, Dorsay	Elektromagnetické konštanty	299,788	+-30
1926	Albert Michelson	Zdokonalená metóda - rotujúce zrkadlá	299,796	+-4
1947	Essen, Gorden-Smith	Dutinový rezonátor	299,792	+-3
1958	K. D. Froome	Rádio-interferometer	299,792.5	+-0.1
1973	Evanson et al	Laser	299,792.4574	+-0.001
1983		Definícia metra	299,792.458	

Metóda rotujúcich zrkadiel - Albert Abraham Michelson (americký fyzik)



Metóda rotujúcich zrkadiel pracuje na podobnom princípe ako Fizeaova metóda.

Informácie z Wikipédie: Meranie rýchlosti svetla

Isaac Beeckman, Descartesov priateľ, navrhol experiment (1629) pri ktorom by sa pozoroval záblesk z kanóna odrazený zo zrkadla vzdialeného asi míľu. Galileo odporučil experiment (1638), kde by sa rýchlosť svetla merala pozorovaním oneskorenia medzi odkrytím lampáša a jeho vnímaním z určitej vzdialenosti. Descartes tento experiment kritizoval ako zbytočný, keďže experiment počas zatmenia Mesiaca, ktorý mal lepšie predpoklady na zistenie konečnej rýchlosti, bol negatívny. Tento experiment uskutočnila *Accademia del Cimento* z Florencie až v roku 1667 s lampášmi vzdialenými asi 1 míľu. Žiadne oneskorenie však nebolo pozorované. **Robert Hooke** nevysvetľoval negatívny výsledok Galileovho experimentu ako potvrdenie nekonečnej rýchlosti svetla, ale iba ako to, že svetlo sa musí pohybovať veľmi rýchlo.

Prvý kvantitatívny odhad rýchlosti svetla bol v roku 1676 spravený **Rømerom**, ktorý študoval teleskopom pohyb Jupiterovho mesiaca Io. Pretože Io vchádza/vychádza z tieňa Jupitera v pravidelných intervaloch, je možné zmerať trvanie orbitálneho prevratu. Rømer si všimol, že ak je Jupiter najbližšie k Zemi, tak mal Io orbitálny prevrat okolo Jupitera každých 42,5 hodín. Takisto pozoroval, že ako sa Jupiter a Zem od seba vzdalovali, Io vychádzal z tieňa Jupiteru postupne neskôr. Bolo jasné, že výstupným „signálom“ trvalo dlhšie pokiaľ dosiahli Zem, ako sa Zem a Jupiter vzdalovali. To bolo spôsobené dodatočným časom, ktorý bol potrebný pre svetlo na prekonanie dodatočnej vzdialenosti medzi planétami, ktorá sa naakumulovala medzi dvoma po sebe nasledujúcimi signálmi. Podobne, asi o pol roka neskôr, boli vstupy mesiaca Io do tieňa Jupitera o niečo častejšie, keďže sa Zem a Jupiter približovali. Na základe týchto pozorovaní Rømer odhadoval, že na prejdienie priemeru obežnej dráhy Zeme by svetlo potrebovalo 22 minút (čo je dvojnásobok astronomickej jednotky).

Približne v tom istom čase bola veľkosť astronomickej jednotky odhadovaná na 140 miliónov kilometrov. **Christiaan Huygens** vyrátal z tejto astronomickej jednotky a Rømerovho odhadu času rýchlosť svetla na 1 000 priemerov obežnej dráhy za minútu, čo je asi 220 000 kilometrov za sekundu. Táto hodnota je oveľa menšia ako je súčasne uznávaná hodnota, ale je stále oveľa vyššia ako akýkoľvek fyzikálny jav známy v tej dobe.

Taktiež **Isaac Newton** akceptoval konečnú rýchlosť svetla. V jeho knihe „*Opticks*“ dokonca publikoval presnejšiu hodnotu rýchlosti svetla – 16 minút za priemer, ktorú sám vyvodil (nie je známe či to bolo z Rømerových dát alebo inak). Rovnaký úkaz bol následne pozorovaný Rømerom na rotujúcej „skvrne“ na povrchu Jupitera. Aj neskoršie pozorovania javu s tromi inými Galileovými mesiacmi, kde to bolo ťažšie pozorovať, potvrdili predchádzajúce zistenia.

Dokonca ani tieto pozorovania a dôkazy konečnej rýchlosti svetla neuspokojili každého (predovšetkým **Jean-Dominique Cassina**). Avšak po pozorovaní **Jamesa Bradleyho** (1728) bola hypotéza nekonečnej rýchlosti svetla definitívne odmietnutá. Bradley vyvodil, že svetlo hviezd dopadajúce na Zem musí dopadať z mierneho uhla, ktorý sa dá vypočítať porovnaním rýchlosti Zeme na jej obežnej dráhe k rýchlosti svetla. Táto pozorovaná „*aberácia*“ bola asi 1/200 stupňa. Bradleym vypočítaná rýchlosť svetla bola 298 000 kilometrov za sekundu. To je iba o málo nižšia hodnota ako je v súčasnosti uznávaná hodnota. Aberácia bola rozsiahlo skúmaná počas nasledujúcich storočí, predovšetkým **Friedrichom von Struve** a **Magnusom Nvrenom**.

Prvé úspešné meranie rýchlosti svetla pozemným prístrojom vykonal **Hippolyte Fizeau** v roku 1849. Fizeauov experiment bol koncepčne podobný návrhom Beeckmana a Galilea. Lúč svetla bol namierený na zrkadlo umiestnené vo vzdialenosti niekoľkých kilometrov. Na ceste od zdroja svetla ku zrkadlu prešiel lúč

rotujúcim diskom so zárezmi. Pri určitej rýchlosti rotácie disku prejde lúč smerom od zdroja jedným zárezom a pri návrate nasledujúcim zárezom. V prípade čo i len malého zrýchlenia resp. spomalenia rotácie disku, zasiahne lúč samotný disk (jeho zub) a nedostane sa naspäť. Rýchlosť svetla sa dá vypočítať zo známej vzdialenosti zdroja a zrkadla, počtu zárezov (resp. zubov) na disku a rýchlosti rotácie. Rýchlosť svetla publikovaná Fizeauom bola 313 000 kilometrov za sekundu. Túto metódu zdokonalil v roku 1872 [Marie Alfred Cornu](#) a v neskôr v roku 1900 [Joseph Perrotin](#).

sekundu. Foucaultova metóda bola taktiež použitá [Simonom Newcombom](#) a [Albertom A. Michelsonom](#).

Michelson použil v roku 1926 rotujúce zrkadlá na zmeranie času potrebného pre svetlo na prejde vzdialenosti od [Mount Wilson](#) k [Mount San Antonio](#) a späť. Výsledkom týchto meraní bola relatívne presne určená rýchlosť svetla na 299 796 kilometrov za sekundu.

[Leon Foucault](#) vylepšil Fizeauovu metódu nahradením disku so zárezmi rotujúcim zrkadlom. Foucaultov odhad publikovaný v 1862 bol 298 000 kilometrov za

Rýchlosť svetla

$$c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$$

$$c \doteq 300 \text{ km.s}^{-1}$$

Je to medzná rýchlosť pohybujúcich sa hmotných objektov vo vákuu.

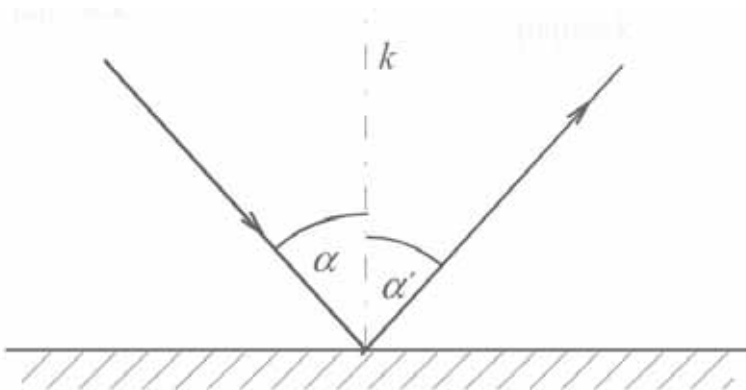
Definícia metra

Meter je dráha, ktorú svetlo prejde vo vákuu za $\frac{1}{299792458}$ s. Vo vákuu nezávisí rýchlosť svetla c na jeho frekvencii f . V každom inom prostredí je rýchlosť svetla $v < c$ a zároveň závisí aj na f svetla (teda na vlnovej dĺžke).

1.4.3 Vlnové vlastnosti svetla - odraz a lom svetla

Pri dopade svetla na rovhranie dvoch optických prostredí môže nastať odraz a lom a časť svetla sa pohlcuje prostredím.

Odraz: Svetlo sa po odraze od rozhrania vracia do pôvodného prostredia.



k - kolmica dopadu

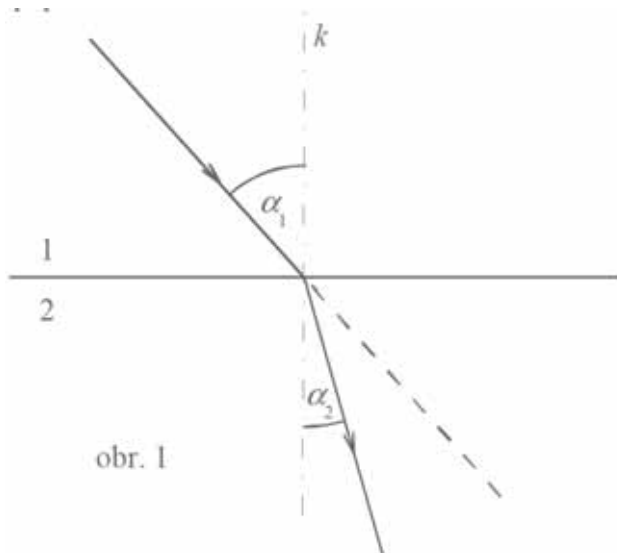
α - uhol dopadu

α' - uhol odrazu

Platí:

1. Uhol odrazu sa rovná uhlu dopadu $\alpha' = \alpha$ (Zákon odrazu)
2. Odrazený lúč zostáva v rovine dopadu (je daná dopadajúcim lúčom a kolmicou dopadu).
3. Uhol odrazu nezávisí na λ dopadajúceho svetla.

Lom: Svetlo po dopade na rozhranie dvoch prostredí preniká do druhého prostredia.



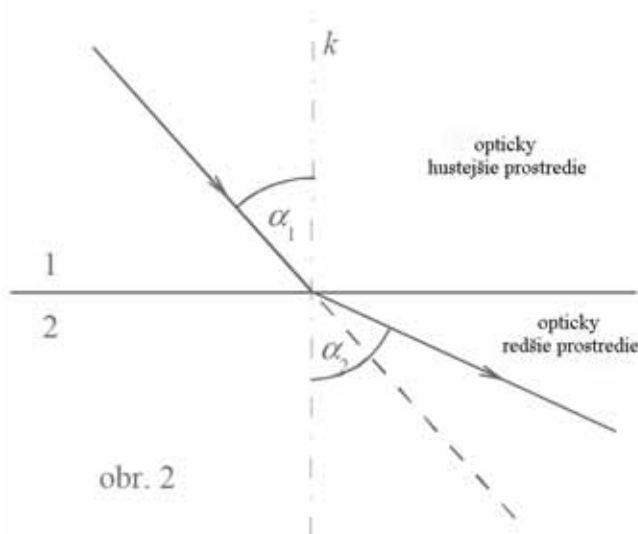
Platí:

1. Zákon lomu – Snellov zákon - $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \text{konšt.}$

Pomer sínusov uhlu dopadu a uhlu lomu je rovný pomeru rýchlostí svetla v prvom a druhom prostredí.

2. Lomený lúč zostáva v rovine dopadu.
3. Uhol lomu závisí na vlnovej dĺžke svetla.

Lom ku kolmici (obr. 1) nastáva vtedy, ak sa svetlo šíri z prostredia opticky redšieho do prostredia opticky hustejšieho. $\alpha_2 < \alpha_1 \Rightarrow \sin \alpha_2 < \sin \alpha_1 \Rightarrow v_2 < v_1$.



Lom svetla ku kolmici (obr. 2) nastáva vtedy, ak sa svetlo šíri z prostredia opticky hustejšieho do prostredia opticky redšieho (napríklad zo skla do vzduchu).

$$\alpha_1 < \alpha_2 \Rightarrow \sin \alpha_1 < \sin \alpha_2 \Rightarrow v_1 < v_2.$$

1.4.4 Index lomu (Vlnové vlastnosti svetla)

Absolútny index lomu je podiel rýchlosti svetla vo vákuu k rýchlosti svetla v danom prostredí.

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

Je to bezrozmerná veličina, čím je n väčšie, tým je v menšie (opticky hustejšie prostredie).

Charakterizuje optické prostredie, udáva, koľkokrát je väčšia rýchlosť svetla vo vákuu ako v danom prostredí, závisí na λ , to zanemá na f (farbe, energii).

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{c}{c} = \frac{c}{v_2} \cdot \frac{v_1}{c} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ resp. } n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

Vákuum a vzduch ...	$n = 1$
Sklo	$n = 1,5$
Voda	$n = \frac{3}{4}$

Príklady:

1. Vypočítajte rýchlosť svetla vo vode $\left(n = \frac{3}{4}\right)$.

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{\frac{4}{3}} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{v = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}}}$$

2. Rýchlosť červeného svetla v skle je 199200 km.s^{-1} , fialového svetla 196700 km.s^{-1} . Určte index lomu skla pre červené a fialové svetlo.

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow n_c = \frac{300000}{199200} = 1,506; n_f = \frac{300000}{196700} = 1,525$$

3. Index lomu ľadu je 1,31; vody 1,33; oleja 1,47; skla 1,51. Aká je rýchlosť svetla v uvedených prostrediach ?

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

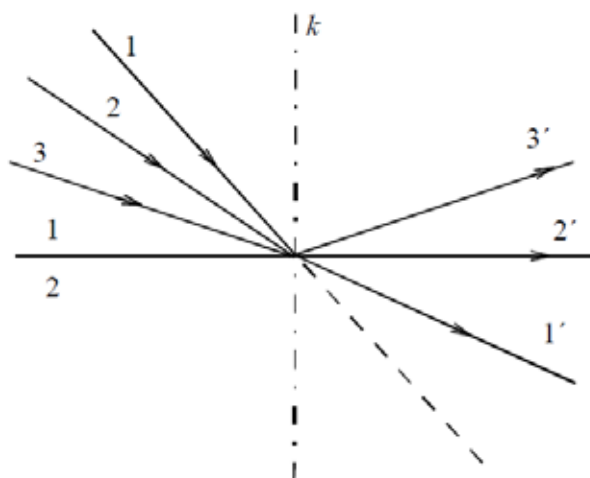
$$v_{\text{ľad}} = 229000 \text{ km.s}^{-1}; v_{\text{voda}} = 226000 \text{ km.s}^{-1}$$

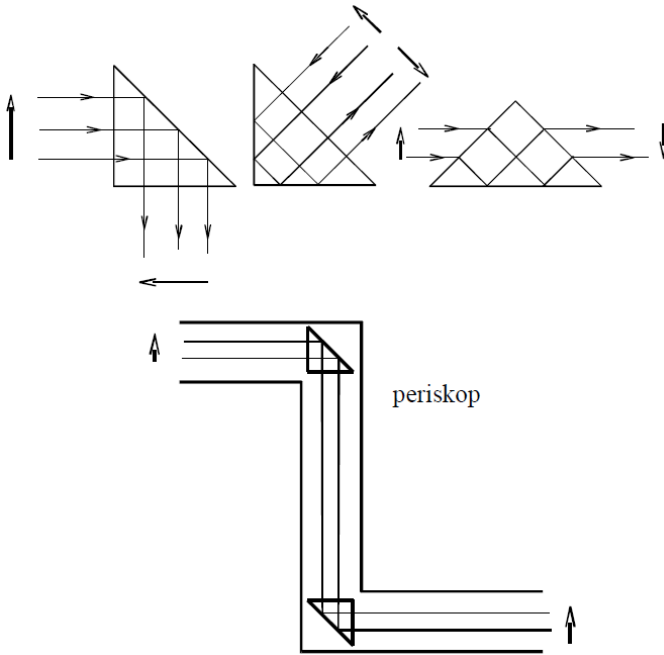
$$v_{\text{olej}} = 204000 \text{ km.s}^{-1}; v_{\text{sklo}} = 199000 \text{ km.s}^{-1}$$

1.4.5 Úplný odraz svetla (Vlnové vlastnosti svetla)

Môže nastať pri lome lúča dopadajúceho z prostredia opticky hustejšieho do prostredia opticky redšieho (napríklad zo skla do vzduchu - $n_1 > n_2$). Pri istom uhle dopadu je uhol lomu rovný $\alpha_2 = 90^\circ$; tento uhol nazývame **medzný uhol** α_m . Pri uhle dopadu väčšom ako medzný

uhol $\alpha > \alpha_m$ svetlo neprechádza do opticky redšieho prostredia, ale sa úplne odráža do pôvodného prostredia - nastane **úplný (totálny) odraz** svetla. Príklady: lesk bublín v kvapaline, v skle, „mokrý“ asfalt v dialke v letných dňoch.





$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Z toho vyplýva vzťah pre medzný uhol na rozhraní daného prostredia a vzduchu (vákuu):

$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n_1}$$

Využitie totálneho odrazu: V odrazných hranoloch namiesto zrkadiel, tiež v rôznych optických prístrojoch – napríklad sklenený trojboký hranol v periskopoch, optických vláknach.

Príklad: Pri akom uhle dopadu nastane úplny odraz, ak svetlo prechádza:

- A. zo skla ($n = 1,5$) do vzduchu;
- B. z vody ($n = 1,3$) do vzduchu;
- C. zo skla do vody ?

$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n_1}$$

sklo: $\alpha_m = 41^\circ 49'$; voda: $\alpha_m = 50^\circ 17'$; zo skla do vody: $\sin \alpha_m = \frac{n_{voda}}{n_{sklo}}$; $\alpha_m = 60^\circ 04'$

