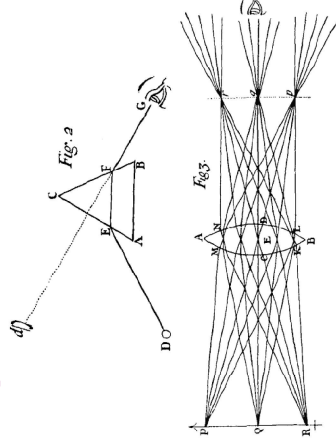
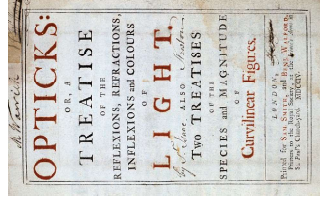




Opticks – Isaac Newton



Author: Isaac Newton

Title: *Opticks: Or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions and Colours of Light. The Second Edition, with Additions (London: 1718)*

Senzory s optickým princípom

Využívajú svetelný tok v rôznej podobe na vytvorenie výstupného signálu.

- **fotoelektrické** – geometrická optika a ovplyvňovanie svetelného toku meranou veľičinou, menšia dynamika
- **optoelektronické** – aj vlnová podstata svetla, vysoká dynamika, väčšie nároky na zdroje a snímače svetla
- **ostatné** – spolupracujú s inými princípmi (akustooptika)

Podľa činnosti:

- **spojité** – spojitá zmena výstupu
- **dvojhodnotové** – len "svetlo - tma" (max. a min.)
- **impulzné** – periodicky dvojhodnotový režim

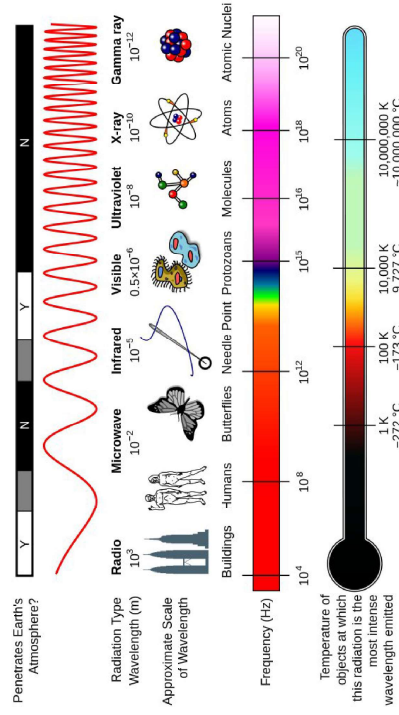
Svetlo light

Elektromagnetické vlny v rozsahu 360 až 780 nm, ktoré vyvolávajú u človeka zrakový vnem.

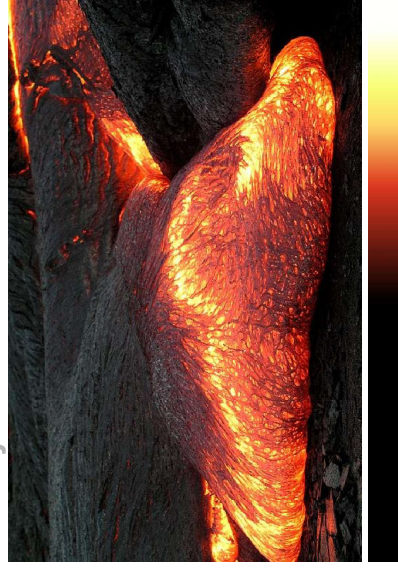
Vlastnosti svetla môžeme opísať

- **kvalitatívne** - spektrum, polarizácia, koherencia...
- **kvantitatívne** - fotometria

Spektrum



Vyžarovanie čierneho telesa black body radiation



The image is 1700 pixels wide and represents the temperature range of 0K to 1700K linearly, so the x coordinate in pixels represents the temperature in Kelvin.

Vyžarovanie čierneho telesa



sviečka 1900 K
 žiarovka (W) 2400 - 3000 K
 slnko 5500 - 6000 K

$$B_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Planckov zákon

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

Stefanov-Boltzmannov zákon $I = \sigma T^4$

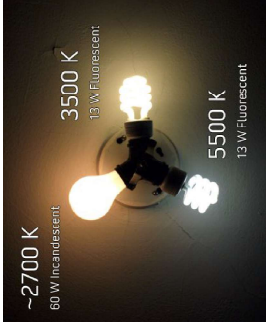
Wienov zákon posuvu



Teplota chromatičnosti (farebná teplota)

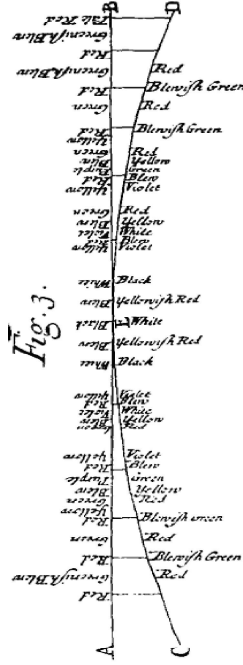
Fiktívna teplota zdroja svetla v [K]:

- sviečka 1900 K
- žiarovka (tungsten) 2400 - 3000 K
- slnko 5500 - 6000 K
- zamrač. obloha 6400 - 7000 K
- biele LED 6500 - 8000 K
- modrá obloha 13 000 K

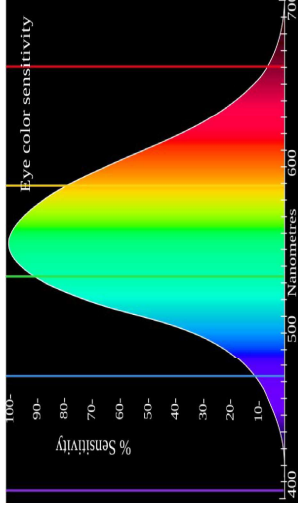


Poznámka: Paradoxne sa "teplými farbami" nazývajú tie, ktoré majú nízku farebnú teplotu.

Spektrálna charakteristika



Spektrálna charakteristika

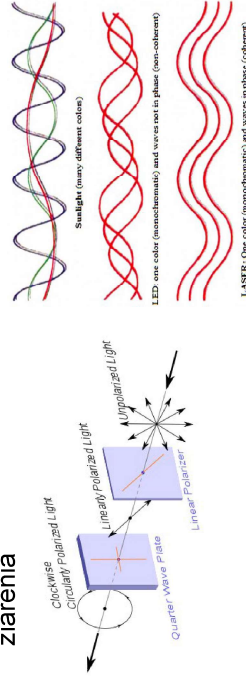


- IR - Infrared
- časté využitie pre senzory (760nm)
- UV - Ultraviolet
- výbojky, špeciálne oblasti (380nm)

monochromatické žiarenie - LED a laserové diódy

Polarizácia a koherencia

- polarizované žiarenie (svetlo) - obsahuje kmitanie len v jednej rovine
- koherentné žiarenie - všetky elementárne lúče sú navzájom vo fáze, vznikajú v rovnakom čase v rovnakom mieste (lasery), nutná podmienka je monochromaticnosť žiarenia



Základné fotometrické veličiny

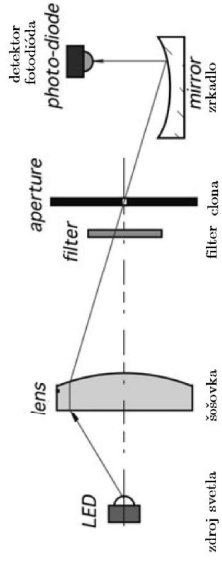
Veľičina	Jednotka	Definícia	Vzťahy
žiarivý tok (výkon) Φ radiant power	Watt [W]	Množstvo energie prenesené cez plochu za jednotku času.	
svetelný tok Φ luminous flux	Lumen [lm] = cd.sr	Bodový zdroj svietivosti 1 cd do uhla 1 steradian. Vzhľadom na oko.	$\Phi = I \cdot \Omega$
svietivosť luminous intensity	Kandela [cd]	Svietivosť v smere zdroja, monožiarenie $540 \cdot 10^{12}$ Hz. Žiarivosť 1/683 W/sr.	Základná veličina SI
jas L luminance	[cd/m ²] stará: [nit]	Podiel svietivosti a zdanej plochy A (celný priestor) v danom smere.	$L = I / A$
intenzita osvetlenia E illuminance	Lux [lx] = lm/m ²	Podiel svetelného toku Φ a plochy A na ktorú dopadá.	$E = \Phi / A$

Pozn. "ANSI Lumen" merané na viac miestach — Spletiernenie (projektory)

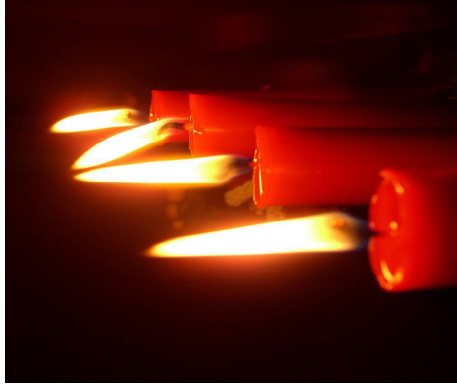
Optické systémy

Základné časti optických - fotoelektrických systémov sú:

- **zdroje svetla** - žiarovky, LED, výbojky, oblúkovky
- **snímače svetla** - fotodiódy, fototranzistory, fotoodpory
- **optická cesta** - šošovky, zrkadlá, filtre, clony, štrbiny



Príklad optického systému

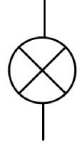


Optické systémy

Zdroje svetla Optická cesta Snímače

Zdroje svetla: žiarovky

incandescent light bulb



80 % výkonu sa mení na teplo

svetelná účinnosť

$$\eta = \frac{\text{svetelný výkon}}{\text{elektrický príkon}}$$

stúpa s teplotou vlákna



Poznámka: Praktické je vyjadrenie v lm/W

Zdroje svetla: žiarovky – náplň

Normálne žiarovky:

- vákuum (3V / 0,2-0,3A)
- dusík + argón - znížený tlak (klasické 230 V)
- krypton, xenón - atmosférický tlak (0,7-0,9A)

Wolfrámové (W, tungsten) vlákno 2900 K,
 η 5-18 lm/W, úbytok počas životnosti 15 %
 Poznámka: podžeravené žiarovky, dlhšia životnosť.

Halogénové žiarovky

- plyny HBr (bromovodík), CH_3Br , CH_3I , J, Cl, F
 banka - kremičité sklo (vyšší podiel UV)
 vlákno W 3100 K (Tl 3600), η 20-35 lm/W, T 1000 hod

halogénový regeneračný proces:

W vlákno ($> 900^\circ C$) \rightarrow uvoľňovanie W \rightarrow nie usadenie na vnútornej stene banky
 (250-900°C) ale \rightarrow zliuteniny (W + halogény) \rightarrow pohyb zliutenín v priestore \rightarrow
 usadenie na W vlákne \rightarrow ak teplota je $> 900^\circ C$ \rightarrow disociácia (rozklad) \rightarrow halogény do
 priestoru, W zostáva na vlákne.

Poznámka: Xenónové výbojky (auto) - zdroji zariadenia je výboj v plyne, vyzadujú vysoké napätie - meniť



Zdroje svetla:

Svetlo emitujúce diódy (LED)

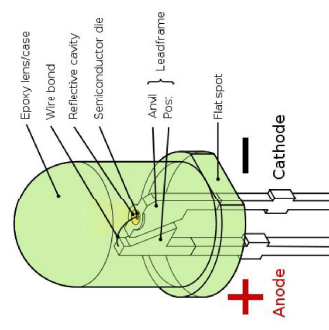
- Electroluminescencia
- viditeľný P - N prechod
- V - A charakteristika ako dióda
- U_{prah} podľa typu 1,5 - 3,5 V
- jas (svietivosť) je úmerný prúdu
- životnosť (svietivosť 50%):
 $10^5 \pm 10^6$ hod (t.j. 11 - 114 rokov)
- spínacie časy $< 100ns$ (10ns)
- svetlo je monochromatické
- $\eta_i \rightarrow 1, \eta_e \rightarrow 1 - 4\%$

V senzorovej technike

- IR diódy (800 - 1000 nm)

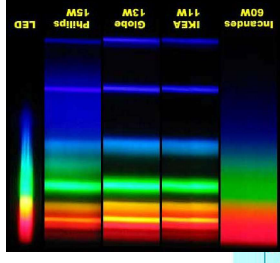
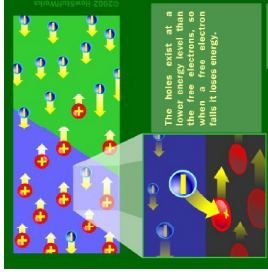
Biele LED (referát!!!)

- s luminoforom (konverzia zariadenia)
- multiprechodové (multichip)

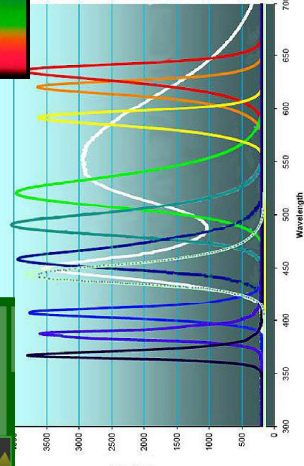


Zdroje svetla: Svetlo emitujúce diódy (LED)

Color	Wavelength (nm)	Voltage drop (mV)	Semiconductor material
Infrared	$\lambda > 750$	$\Delta V \approx 1-1.63$	Gallium arsenide (GaAs) Aluminum gallium arsenide (AlGaAs) Aluminum gallium indium phosphide (AlGaInP)
Red	610 - 640 nm	$1.83 \pm \Delta V \approx 2.03$	Aluminum gallium arsenide (AlGaAs) Aluminum gallium indium phosphide (AlGaInP)
Orange	590 - 610 nm	$2.03 \pm \Delta V \approx 2.10$	Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminum gallium indium phosphide (AlGaInP)
Yellow	570 - 610 nm	$2.10 \pm \Delta V \approx 2.18$	Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminum gallium indium phosphide (AlGaInP)
Green	500 - 540 nm	$1.8^{(b)} \pm \Delta V \approx 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminum gallium phosphide (AlGaP)
Blue	450 - 500 nm	$2.48 \pm \Delta V \approx 3.37$	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon (Si) as substrate
Violet	400 - 440 nm	$2.75 \pm \Delta V \approx 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN) Diamond based LEDs or with purple plastic
Purple	multiple types	$2.48 \pm \Delta V \approx 3.37$	Diameter: (235 nm) ^(a) Boron nitride (215 nm) ^(a) Aluminum nitride (460 nm) ^(a) Aluminum gallium indium nitride (AlGaInN)—down to 210 nm ^(a)
Ultraviolet A < 400		$3.1 \pm \Delta V \approx 4.4$	
Pink	multiple types	$\Delta V \approx 3.3^{(a)}$	Blue with one or two phosphor layers: yellow with red, orange or pink phosphor added afterwards, or white with pink pigment on top ^(a)
White	Broad spectrum	$\Delta V \approx 3.5$	Blue/UV diode with yellow phosphor



High Power LEDs



Zdroje svetla: LASER

Podľa aktívnej látky

- **Pevnolátkové**
 - Rubín
 - Safír
 - Nd:YAG laser
 - **Polovodičie (GaAs, AlGaInP, GaN)**

- **Plynové**
 - N, CO₂
 - He, Ne, Xenón
 - Excimerové (ArF, KrCl, KrF)
- **Kvapalinové (farbivové)**
 - organickými farbivá
 - anorganickými farbivá

Režim činnosti

- **Pulzný (pulsed mode)**
- **Spojitý (continuous)**

Zdroje svetla: LASER

Záleží nielen na výkone, ale aj dobe expozície a vlnovej dĺžke

kategória I ($P_{max} < 0.4 \mu W$)

relatívne neškodné aj pri priamom pohľade CD prehrávače a čítačky čiarového kódu

kategória II ($P_{max} < 1 mW$)

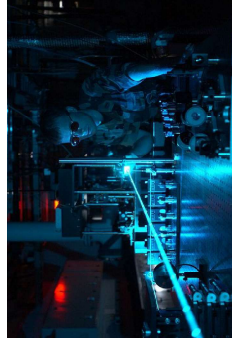
nemali by spôsobiť poškodenia oka (zatvorí sa za 0,25 s) laserové ukazovátká

kategória III ($P_{max} (cont) < 5 mW, P_{max} (imp) < 0.5W$)

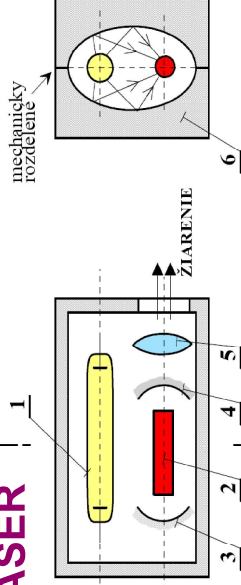
diťuzny odraz žiarenia nespôsobuje poškodenie zdravia, DVD-R napalovačky

kategória IV

zneprístupnený kľúčok – aj diťuzny odraz spôsobuje vážne poranenia vrátane popálenín chirurgický laser (30-100 W), vyrezávačie (100-3000 W) ~50 W tržke popalenný, od 200 V prereží človeka napoly, od 10 kW vyššie ostanú z človeka len dymiace topánky



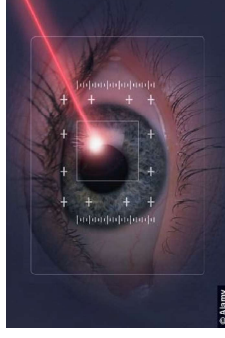
Zdroje svetla: LASER



- 1 - výbojka (zdroj svetelnej energie)
- 2 - aktívna (svetlo emitujúca) látka
- 3 - odrazné, nepropustné zrkadlo
- Optický rezonátor (2-3-4)
- 4 - polopropustné zrkadlo
- 5 - šošovka (kolimáčna)
- 6 - delené eliptické zrkadlo

Nevýkonové využitie laserov:
prenos informácií (optovládna)
holografia
meranie vzdialenosti (geometrické, interferenčné)

Poznámka: Koherentnosť charakterizuje tzv. "koherenčná dĺžka". Na tejto vzdialenosti (rádovo 1 m), je s určitou presnosťou fáza zaručená.



Zdroje svetla: polovodičový laser

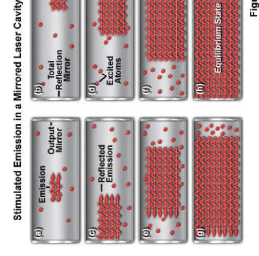
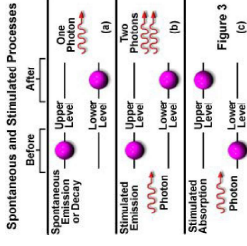
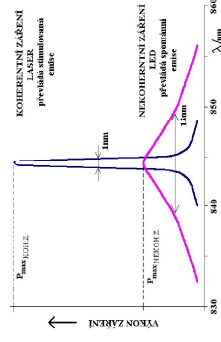
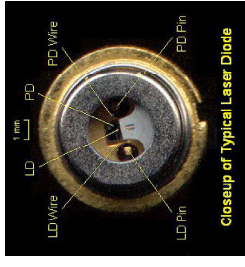
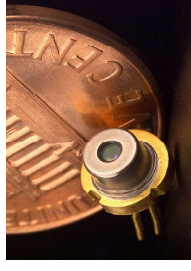


Figure 6

Figure 3

Zdroje svetla: polovodičový laser



Closeup of Typical Laser Diode

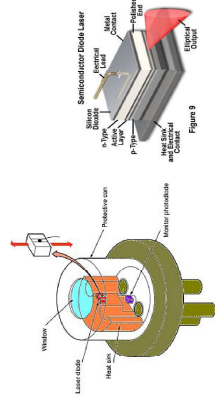


Figure 9

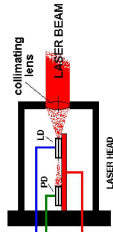
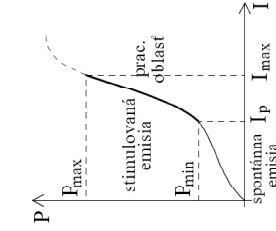
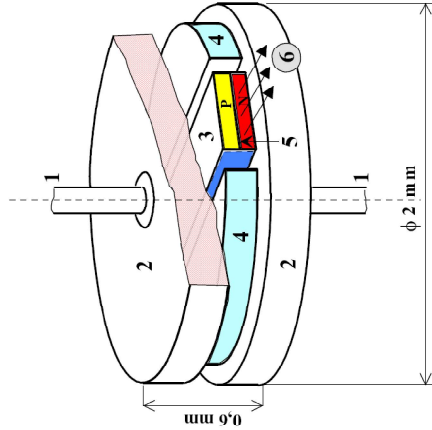


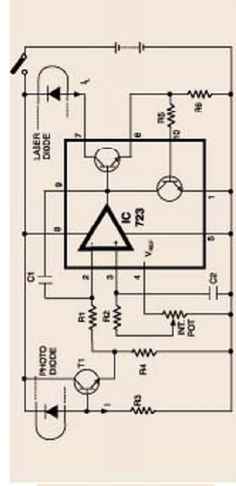
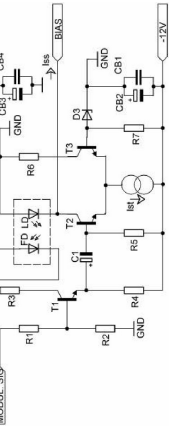
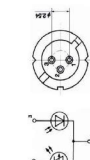
Figure 2



- $I_p = 80 - 150 \text{ mA}$
- $\eta > 40\%$
- Impulzy 1ps
- div 5 x 25° / kolimačná šošovka



Zdroje svetla: polovodičový laser



Optické systémy

Zdroje svetla Optická cesta Snímače

Optické prvky: zrkadlá, filtre...

3.4.4. Zrkadlá

- * rovinné
- * duté - majú ohnisko
- * vypuklé - zdánlivý obraz
- * polopriepustné - problémy s polarizovaným svetlom

3.4.5. Filtre - selekcia vlnových dĺžok

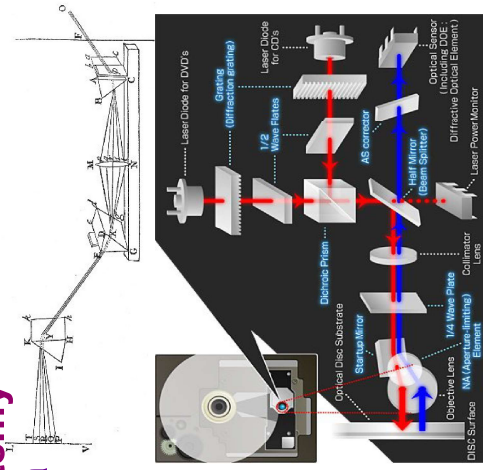
- * polarizačné filtre - lineárna, kruhová polarizácia
- Pozn: Filtre sa musia aplikovať v rovnobežnom zväzku lúčov, inak pôsobia ako opt. kľm - posúvajú priesečník lúčov.

3.4.6. Ostatné prvky

- * hranoly (trojboký, pentagonálny),
- * clony, štrbiny, tieniace krídlelka,
- * optické mriežky, sedý kľm

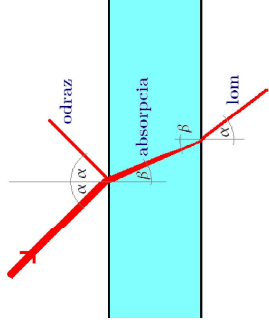
Optické systémy Optická cesta

- Zrkadlá
- Clony
- Filtre
- Hranoly
- Šošovky
- Mriežky
-



Interakcia žiarenia s hmotou

- Odraz
- Lom
- Absorpcia
- Rozptyl
- Emisia žiarenia



antireflexné pokrytie – v určitom rozsahu vinovycn aizok svetlo prechádza šošovkou prakticky bez strát

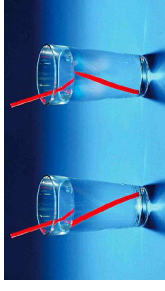
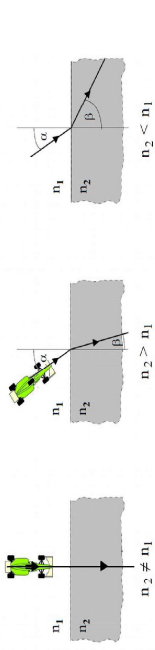
Snellov zákon lomu

Snell's law / law of refraction

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

- α – je uhol dopadu
- β – je uhol lomu
- $v_{1,2}$ rýchlosť vlnenia v prostredí 1,2
- $n_{1,2}$ index lomu v prostredí 1,2

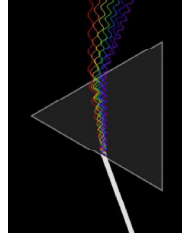
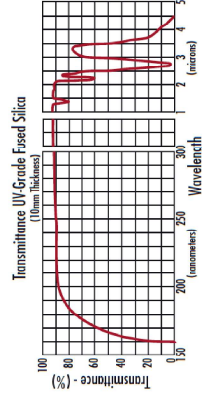
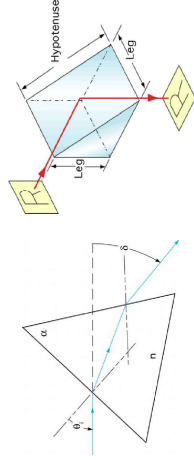
Ľuč sa vo vnútri šošovky láme podľa Snellovho zákona. Okrem toho sa mála časť svetla odráža (antireflexné pokrytie – v určitom rozsahu vlnových dĺžok svetlo prechádza šošovkou prakticky bez strát).



Metamateriály

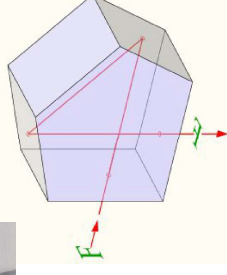
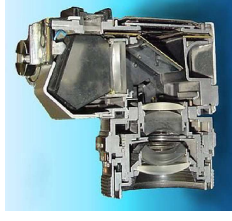
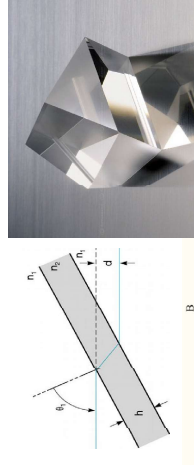
Optické prvky: hranol

Prism, Prisma, Призма, hranol



Optické prvky: hranol

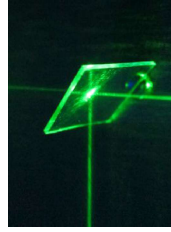
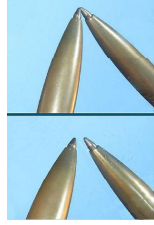
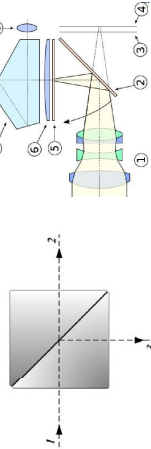
Prism, Prisma, Призма, hranol



Optické prvky: zrkadlá

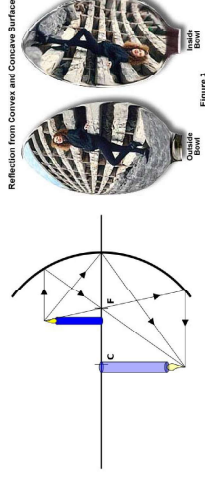
Mirror, Spiegel, зepкaнo, zrcadlo

- rovinné povrchovo pokovené
 - polopriepustné half mirror, beam splitter, Strahlteiler
- problémy s polarizovaným svetlom



Optické prvky: zrkadlá

- duté (concave) majú ohnisko
- vypuklé (convex) zdánlivý obraz



Reflection from Convex and Concave Surfaces

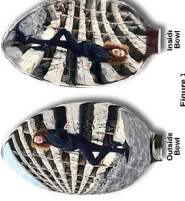
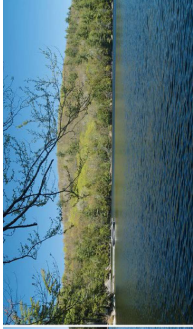
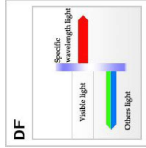
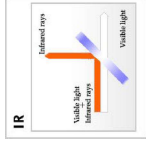
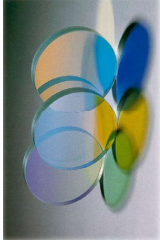


Figure 1

Optické prvky: filter

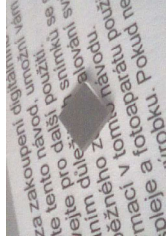
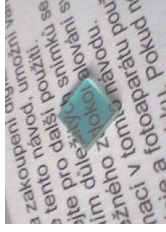
Filter, Светофильтр



Optické prvky: filter



Skličko z ovladača sa jeví líčskému oku jako černé. Stejně ho vyfotí i neupravený foťák (levo). Webkamera s odstraněným IR filtrem ho však vidí jako čiré (vpravo). Ač to tak vůbec neupadá, na obou foťáčkách je stejné skličko!



V prípade IR filtru je situace opačná: Vlevo tak, jak ho vidí líčské oko. Vpravo vyfoceny přes skličko z ovladače - focena byla tedy jen infračervená složka. Filtr se zde jeví jako zcela neprůhledný.

Optické prvky: šošovky

Lens, Linse, Линза, čočka

Základné typy šošoviek

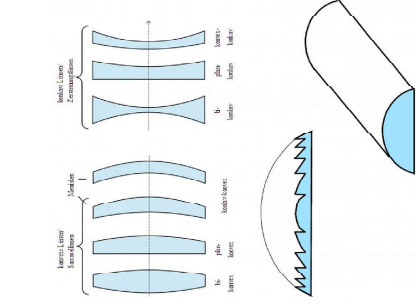
- spojky (spojné šošovky, konvexné šošovky)
- rozptylky (rozptylné šošovky, konkávne šošovky)

Reálny obraz - dá sa zachytiť na priemeťu, napr. papier, prevrátený

Zdanlivý obraz - nedá sa zachytiť na priemeťu, neprevrátený a zväčšený

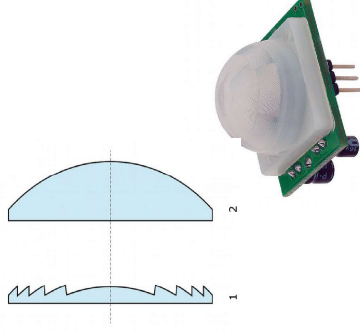
Tvary šošoviek

- a.) spojné (dvojvypuklá, ploškovypuklá, dutovypuklá)
- b.) rozptylné (dvojdutá, ploškodutá, vypuklodutá)
- c.) Fresnelova šošovka
- d.) valcová šošovka



Fresnelova šošovka

Fresnel lens



Optické prvky: šošovky

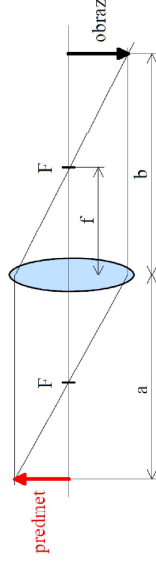
lens

Ostry obraz - platí zobrazovacia rovnica : (G - 1) zväčšenie (G - 2)

Zaostrovanie

a i f sú dané, zaostrenie zmenou b

Pre predmet v ∞ je b = f, pre všetky ostatné a je b väčšie



Zobrazovacia rovnica

lens equation

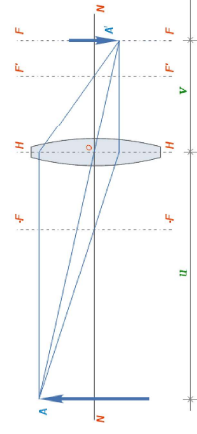
$$Z = \frac{A'}{A} = \frac{-v}{u} = \frac{v-f}{f} = \frac{-f}{u-f}$$

Zobrazovacia rovnica:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

Ohmisková vzdialenosť:

$$f = \frac{v \cdot u}{v + u}$$



Z – priecne zväčšenie šošovky

A – výška predmetu v (m)

A' – výška obrazu v (m)

u – vzdialenosť predmetu od stredu šošovky v (m)

v – vzdialenosť obrazu od stredu šošovky v (m)

f – ohnisková vzdialenosť šošovky v (m)

Prevrátená hodnota ohniskovej vzdialenosti je optická mohutnosť (φ)

Zobrazovacia rovnica

Znamienková konvencia

predmetová vzdialenosť u
 kladná ($u > 0$) pred šošovkou
 záporná ($u < 0$) za šošovkou

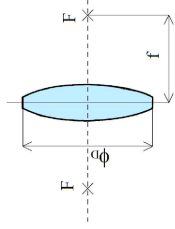
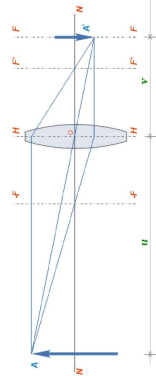
obrazová vzdialenosť v
 kladná ($v > 0$) za šošovkou → obraz je skutočný
 záporná ($v < 0$) pred šošovkou → obraz je neskutočný

ohnisková vzdialenosť
 spojky $+f$
 rozptylky $-f$

$$M = \frac{1}{f} \quad [D; m]$$

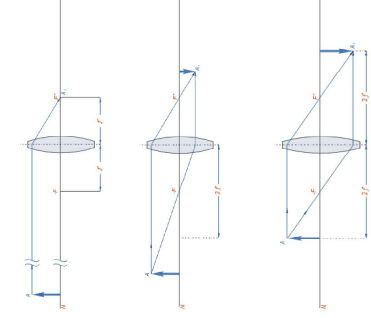
jednotka je **dioptria D**
 + D spojná
 - D rozptylná

priemer šošovky Φ_o (svetelnosť)



Optické prvky: šošovky

zobrazovanie



Predmet je nekonečne vzdialený a jeho obraz je nekonečne malý

Predmet je vzdialený viac ako 2x ohnisková vzdialenosť šošovky ($u > 2f$). Obraz je:

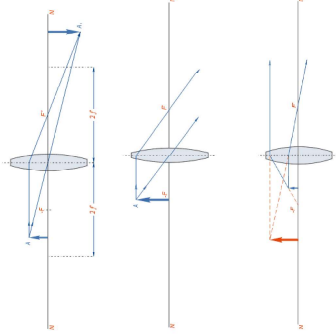
- skutočný $v > 0$
- zmenšený $|z| < 1$
- prevrátený $z < 0$

Predmet je vzdialený presne 2x ohnisková vzdialenosť šošovky ($u = 2f$). Obraz je:

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

Optické prvky: šošovky

zobrazovanie



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 $z < 0$

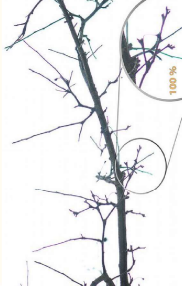
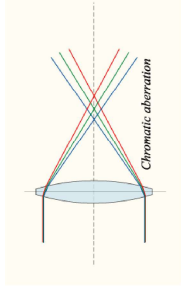
Predmet je rovnako vzdialený ako ohnisková vzdialenosť šošovky za vrchol. Obraz sa vytvorí v nekonečne

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

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

Optické prvky: šošovky

optické vady

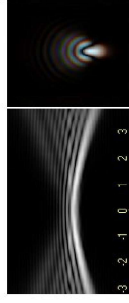
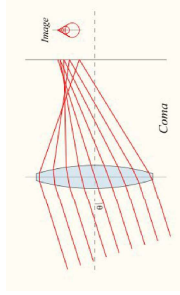
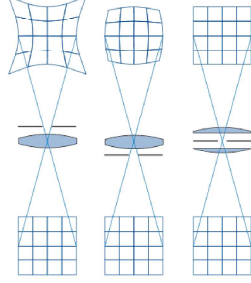


chromatická aberácia
 farebná chyba

sférická aberácia
 guľová chyba

Optické prvky: šošovky

optické vady



skreslenie

koma

Každý ďalší člen prepušťa 1/2, alebo 2x svetla oproti susednému normalizovaný rad 1 - 1,4 - 2 - 2,8 - 4 - 5,6 - 8 - 11 - 16 - 22 -

Najznamejšie sústavy sú:

kondenzor - 2 až 3 šošovky (jednoduchšie len 1)
objektív - 3 + 20 šošoviek, zobrazovanie

Optické prvky: šošovky

parametre

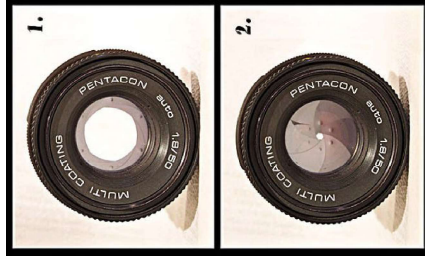
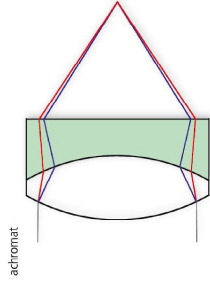
Relatívny otvor, pri objektívoch **svetelnosť s**

$$s = \frac{f \text{ [mm]}}{\Phi_D \text{ [mm]}} \quad s \geq 1$$

Optické prvky: objektív

objektív – 3 + 20 šošoviek

tmelené členy - achromat



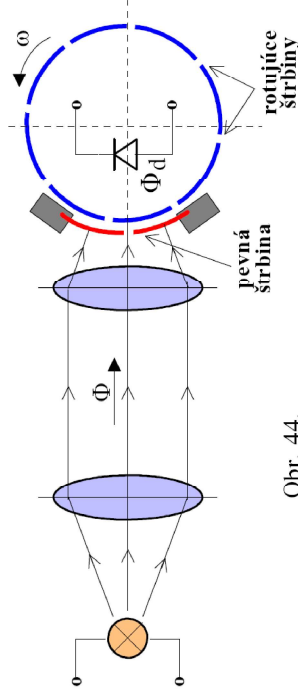
Optické prvky: clony

Aperture, Blende, Апертура



Zmena hĺbky ostrosti, ale aj spektrofotometer – zúženie spektra za hranolom

optická štrbina – príklad snímač otáčok



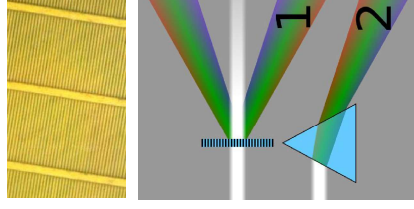
Obr. 44.

Optické prvky: optická mriežka

diffraction grating, gitter Дифракционная решётка

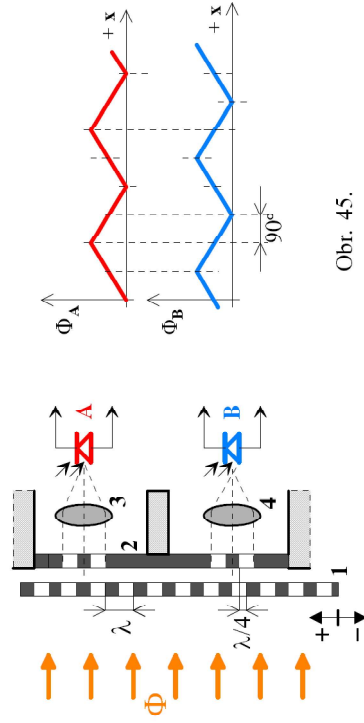
- rozlišovacia schopnosť mriežky počet vrypov, (600 – 2400 na 1 mm)

- mriežková konštanta vzdialenosť medzi dvoma vrypmi



optická mriežka – príklad snímač polohy

snímač polohy



Obr. 45.