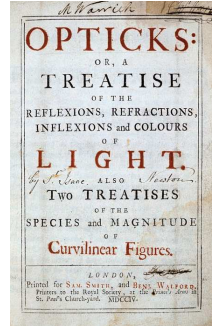
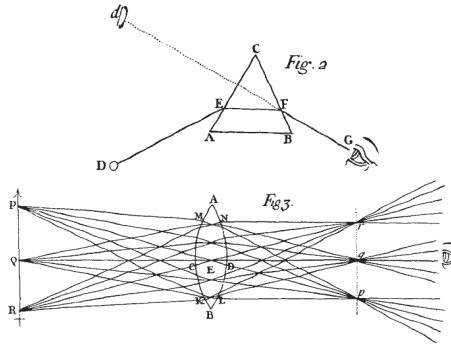




## Opticks – Isaac Newton



Author: Isaac Newton

Title: *Opticks: Or, A Treatise of the Reflexions, 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 veličinou, 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** – periodický dvojhodnotový režim

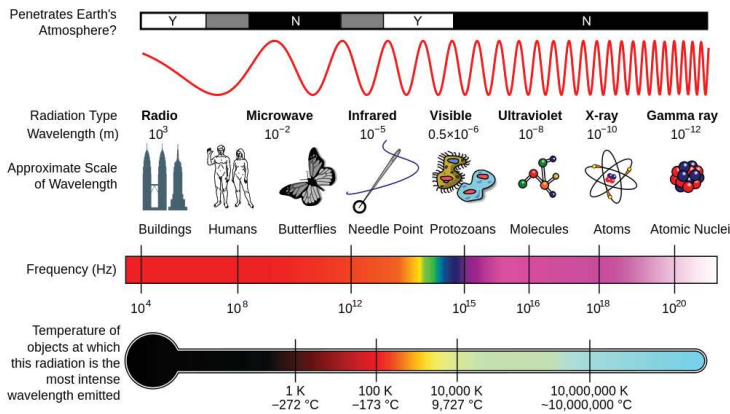
## Svetlo light

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

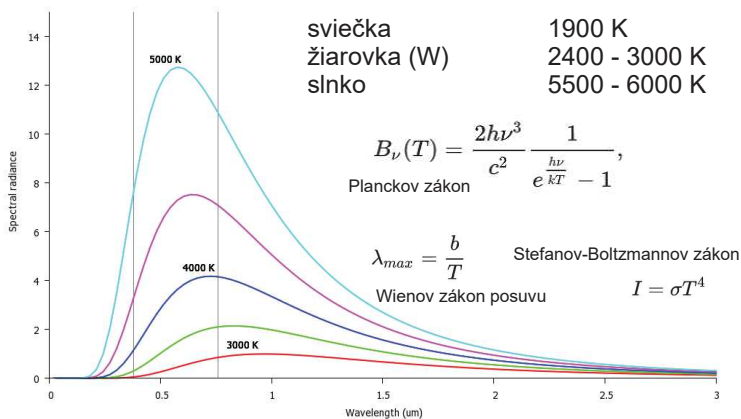


## Vyžarovanie čierneho telesa black body radiation



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



# Teplota chromatičnosti (farebná teplota)

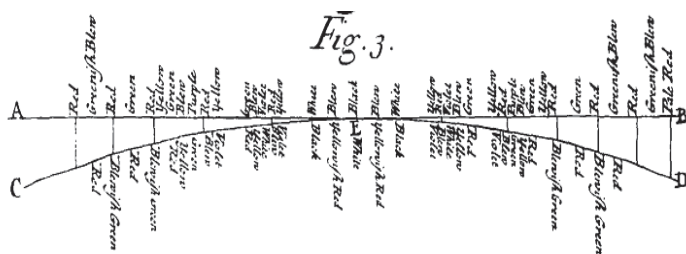
Fiktívna teplota zdroja svetla v [K] :

- 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

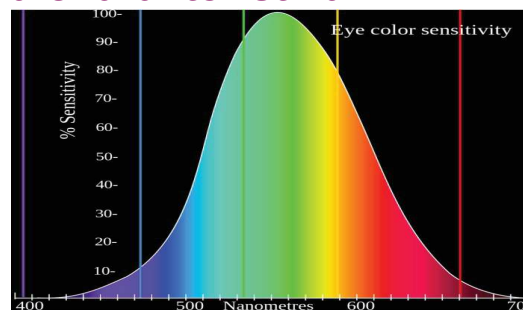


Poznámka: Paradoxne sa "teplými farbami" nazývajú tie, ktoré majú nízku farebnú teplotu.

# Spektrálna charakteristika



# Spektrálna charakteristika

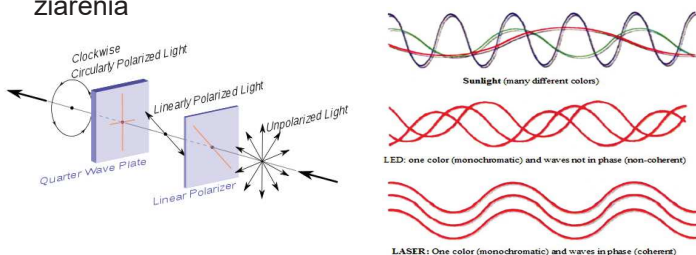


- IR - Infrared - časté využitie pre senzory (760nm)
- UV - Ultraviolet - výbojky, špeciálne oblasti (380nm)

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 monochromatickosť žiarenia



# Základné fotometrické veličiny

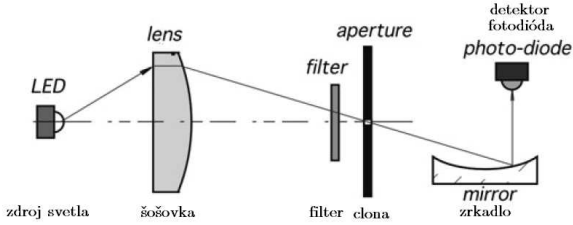
Veličina	Jednotka	Definícia	Vzťahy
žiarivý tok (výkon) $\Phi$ radiant power	Watt [W]	Množstvo energie prenesené cez plochu za jednotku času.	
svetelný tok $\Phi$ luminous flux	Lumen [lm] = cd.sr	Bodový zdroj svetlosti 1cd do uhla 1 steradián. Vzhľadom na oko.	$\Phi = I \cdot \Omega$
svietivosť I luminous intensity	Kandela [cd]	Svietivosť v smere zdroja, monožiarenie 540.10 <sup>12</sup> Hz, žiarivosť 1/683 W/sr.	Základná veličina SI
jas L luminance	[cd/m <sup>2</sup> ] stará: [nit]	Podiel svetlosti a zdanlivej plochy A (kolmý priemet) v danom smere.	$L = I / A$
Intenzita osvetlenia E illuminance	Lux [lx] = lm/m <sup>2</sup>	Podiel svetelného toku $\Phi$ a plochy A na ktorú dopadá.	$E = \Phi / A$

Pozn. "ANSI Lumen" merané na viac miestach → spríemerenie (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)
- kryptón, 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<sub>3</sub>Br, CH<sub>3</sub>J, J, Cl, F
- banka - kremičité sklo (vyšší podiel UV)
- vlákno W 3100 K (Tt 3600), η 20-35 lm/W, T 1000 hod

halogénový regeneračný proces:

W vlákno (> 900°C) → uvoľňovanie W → nie usadenie na vnútornej stene banky (250-900°C) ale → zlučiny (W + halogény) → pohyb zlučín v priestore → usadenie na W vlákne → ak teplota je > 900°C → disociácia (rozklad) → halogény do priestoru, W zostáva na vlákne.

Poznámka: Xenónové výbojky (auto) - zdroj žiarenia je výboj v plyne, vyžadujú vysoké napätie - menič

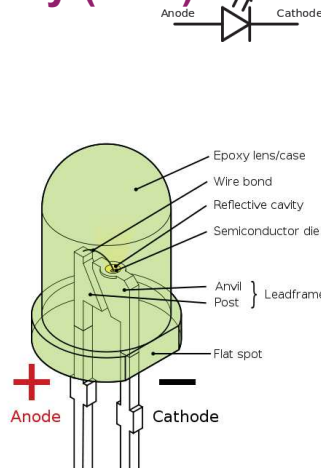


## Zdroje svetla: Svetlo emitujúce diódy (LED)

- Electroluminescencia
- viditeľný P - N prechod
- V - A charakteristika ako dióda
- U<sub>prah</sub> podľa typu 1,5 ÷ 3,5 V
- jas (svietivosť) je úmerný prúdu
- životnosť (svietivosť 50%):  
10<sup>5</sup> ÷ 10<sup>6</sup> hod (t.j. 11 ÷ 114 rokov)
- spínacie časy < 100ns (10ns)
- svetlo je monochromatické
- η<sub>i</sub> → 1, η<sub>e</sub> → 1 -4%

V senzorovej technike  
• IR diódy (800 - 1000 nm)

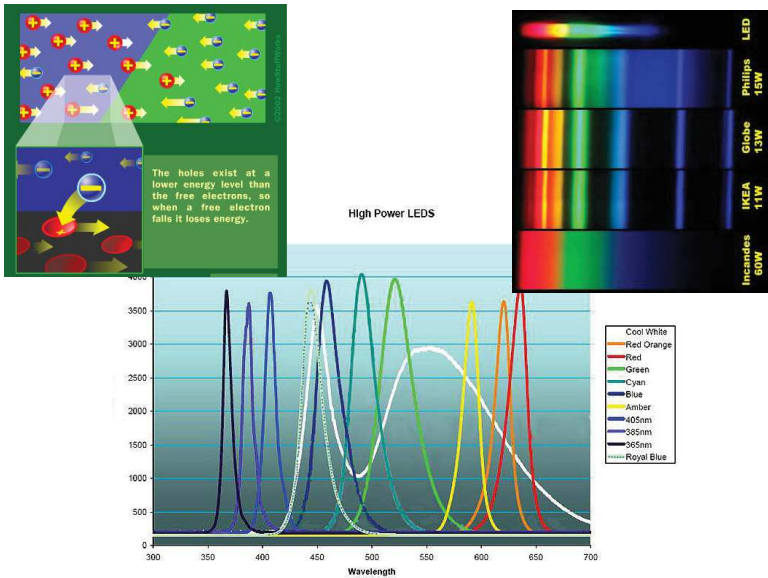
**Biele LED (referát!!!)**  
- s luminoforom (konverzia žiarenia)  
- multiprechodové (multichip)



## Zdroje svetla: Svetlo emitujúce diódy (LED)

Color	Wavelength [nm]	Voltage drop [AV]	Semiconductor material
Infrared	λ > 760	ΔV < 1.63	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
Red	610 < λ < 760	1.63 + ΔV < 2.03	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Orange	590 < λ < 610	2.03 + ΔV < 2.10	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Yellow	570 < λ < 590	2.10 + ΔV < 2.18	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Green	500 < λ < 570	1.8 <sup>[9]</sup> < ΔV < 4.0	Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP)
Blue	450 < λ < 500	2.48 + ΔV < 3.7	Zn: selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) as substrate Silicon (Si) as substrate—under development
Violet	400 < λ < 450	2.76 + ΔV < 4.0	Indium gallium nitride (InGaN)
Purple	multiple types	2.48 + ΔV < 3.7	Dual blue/red LEDs, blue with red phosphor, or white with purple plastic
Ultraviolet	λ < 400	3.1 < ΔV < 4.4	Diamond (225 nm) <sup>[11]</sup> Boron nitride (215 nm) <sup>[12][13]</sup> Aluminium nitride (AlN) (210 nm) <sup>[14]</sup> Aluminium gallium nitride (AlGaN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)—down to 210 nm <sup>[15]</sup>
Pink	multiple types	ΔV ~ 3.3 <sup>[16]</sup>	Blue with one or two phosphor layers: yellow with red, orange or pink phosphor added afterwards, or white with pink pigment or dye. <sup>[17]</sup>
White	Broad spectrum	ΔV = 3.5	Blue/UV diode with yellow phosphor

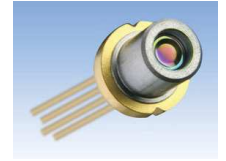




## Zdroje svetla: LASER

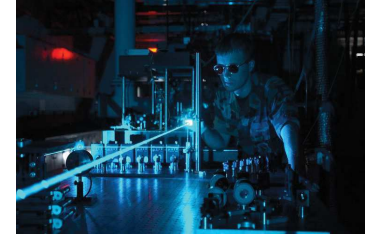
Podľa aktívnej látky

- Pevnolátkové**
  - Rubín
  - Safír
  - Nd:YAG laser
  - Polovodič (GaAs, AlGaInP, GaN)**
- Plynové**
  - N, CO<sub>2</sub>
  - He, Ne, Xenón
  - Excimerové (ArF, KrCl, KrF)



Režim činnosti

- Pulzné (pulsed mode)**
- Spojité (continuous)**



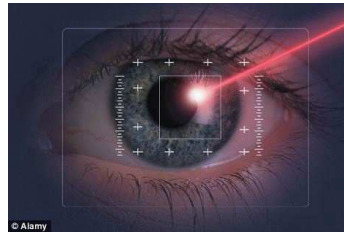
## Zdroje svetla: LASER



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** ( $P_{max} < 1 mW$ )

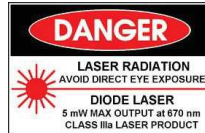
nemali by spôsobiť poškodenia oka (zatvorí sa za 0,25 s)  
laserové ukazovátka

**kategória III** ( $P_{max} (cont) < 5 mW$ ,  $P_{max} (imp) < 0,5W$ )

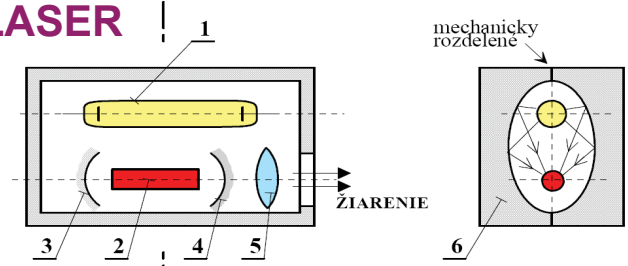
difúzny odraz žiarenia nespôsobuje poškodenie zdravia.  
DVD-R napalovačky

**kategória IV**

zneprístupnený kľúčik – aj difúzny odraz spôsobuje vážne poranenia vrátane popálenín  
chirurgický laser (30-100 W), vyrezávacie (100-3000 W)  
~50 W ťažké popáleniny, od 200 W prereží človeka napoly,  
od 10 kW vyššie ostanú z človeka len dymiace topánky



## Zdroje svetla: LASER

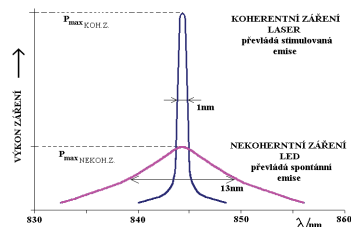


Nevýkonové využitie laserov:

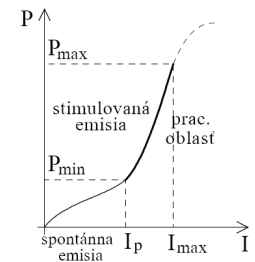
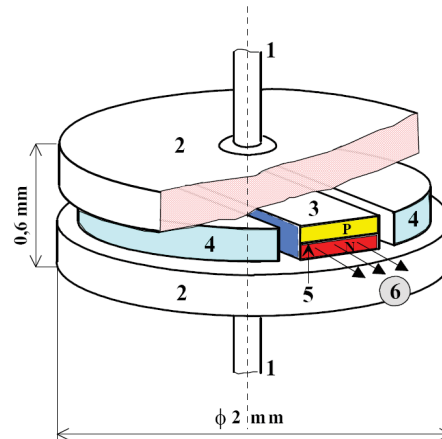
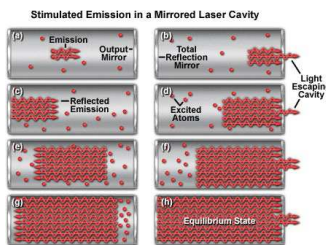
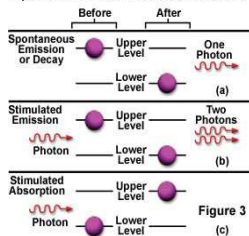
- prenos informácií (optovlákná)
- holografia
- meranie vzdialeností (geometrické, interferenčné)

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

## Zdroje svetla: polovodičový laser



Spontaneous and Stimulated Processes



- $I_p = 80 - 150 mA$
- $\eta > 40\%$
- Impulzy 1ps
- div  $5 \times 25^\circ /$  kolimačná šošovka

## Zdroje svetla: polovodičový laser

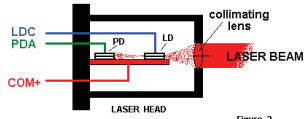
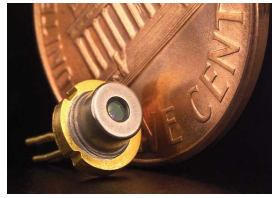
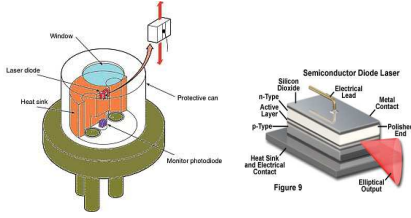
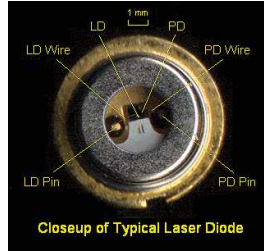
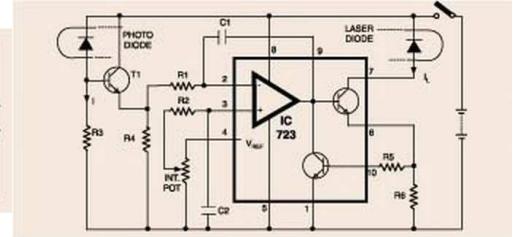
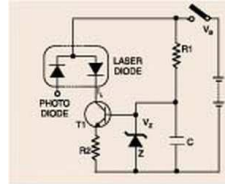
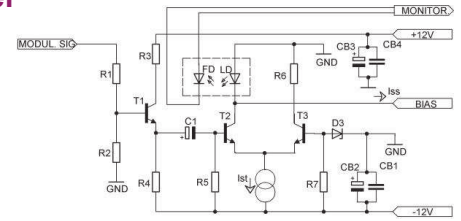
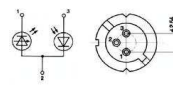


Figure 2



Closeup of Typical Laser Diode

## Zdroje svetla: polovodičový laser



## Optické prvky: zrkadlá, filtre...



## Optické systémy

## Zdroje svetla Optická cesta Snímače

### 3.4.4. Zrkadlá

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

### 3.4.5. Filtre - selekcia vlnových dĺžok

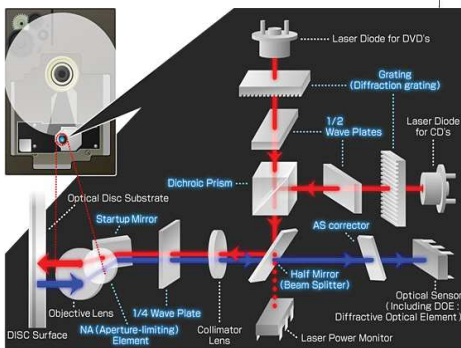
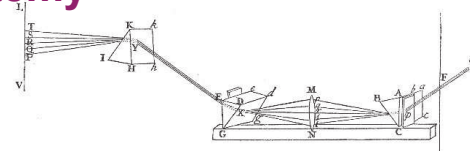
- \* polarizačné filtre - lineárna, kruhová polarizácia
- Pozn: Filtre sa musia aplikovať v rovnobežnom zväzku lúčov, inak pôsobia ako opt. klin - posúvajú priesečník lúčov.

### 3.4.6. Ostatné prvky

- \* hranoly (trojboký, pentagonálny),
- \* clony, štrbiny, tieniace krídlečka,
- \* optické mriežky, sedý klin

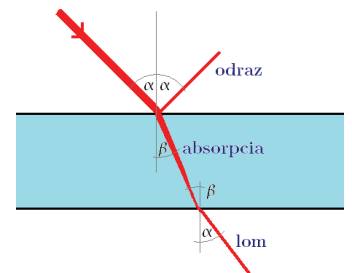
## Optické systémy Optická cesta

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



## Interakcia žiarenia s hmotou

- Odraz
- Lom
- Absorpcia
- Rozptyl
- Emisia žiarenia



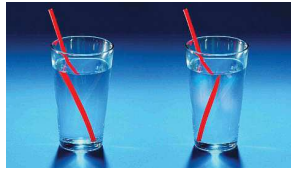
antireflexné pokrytie – v určitom rozsahu vlnových dĺžok svetlo prechádza šošovkou prakticky bez strát

# Snellov zákon lomu

Snell's law / law of refraction

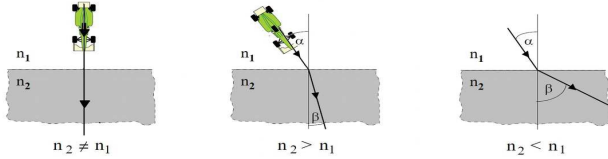
$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$\alpha$  – je uhol dopadu  
 $\beta$  – je uhol lomu  
 $v_{1,2}$  rýchlosť vlnenia v prostredí 1,2  
 $n_{1,2}$  index lomu v prostredí 1,2



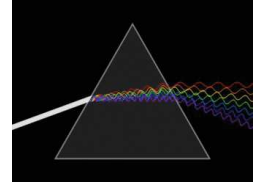
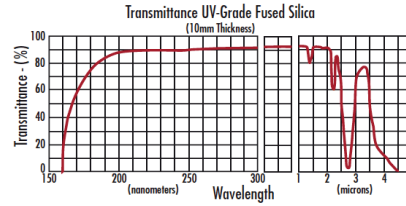
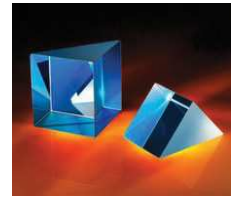
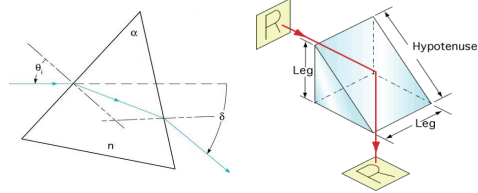
Metamateriály

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



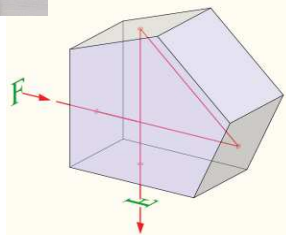
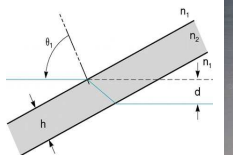
# Optické prvky: hranol

Prism, Prisma, Призма, hranol



# Optické prvky: hranol

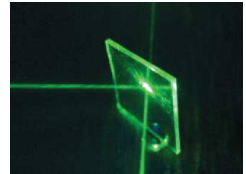
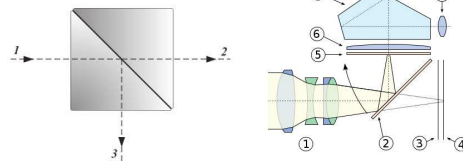
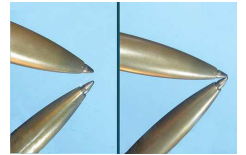
Prism, Prisma, Призма, hranol



# Optické prvky: zrkadlá

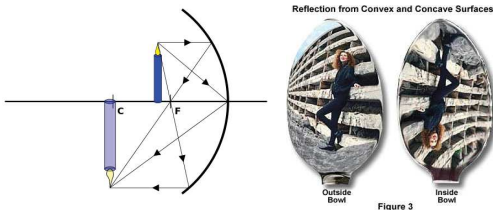
Mirror, Spiegel, зеркало, zrcadlo

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



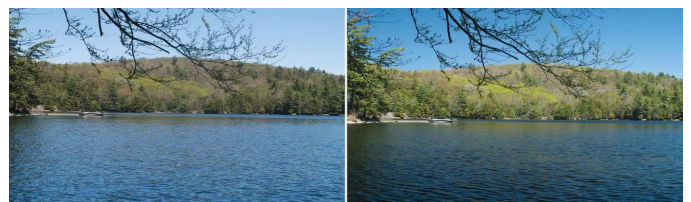
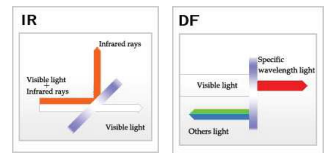
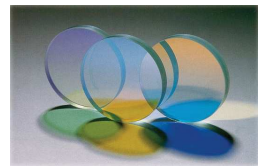
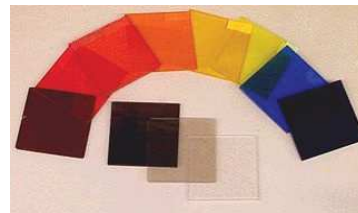
# Optické prvky: zrkadlá

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



# Optické prvky: filter

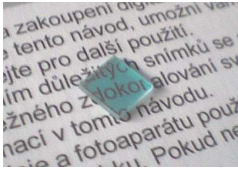
Filter, Светофильтр



# Optické prvky: filter



Skličko z ovladača sa jeví ľudskému oku ako černé. Stejně ho vyfotili i neupravený foťák (vľavo). Webkamera s odstraněným IR filtrem ho však vidí jako čiré (vpravo). Ač to tak vůbec nevypadá, na obou foťkách je stejné skličko!



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

# Optické prvky: šošovky

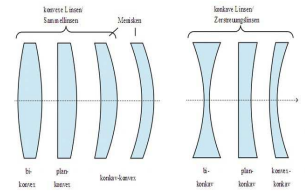
Lens, Linse, Линза, čočka

Základné typy šošoviek

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

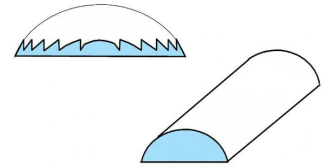
Reálny obraz - dá sa zachytiť na priemetni, napr. papier, prevrátený

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



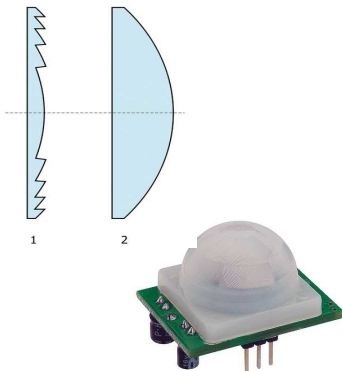
Tvary šošoviek

- spojné (dvojvypuklá, ploskovypuklá, dutovypuklá)
- rozptylné (dvojdutá, ploskodutá, vypuklodutá)
- Fresnelova šošovka
- valcová šošovka



# Fresnelova šošovka

Fresnel lens



# Optické prvky: šošovky

lens

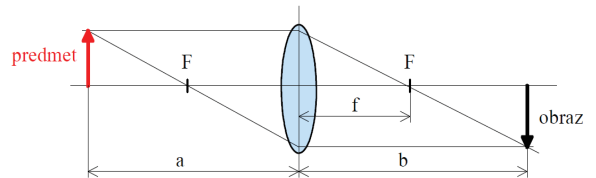
Ostrý obraz - platí zobrazovacia rovnica :

$$(6 - 1) \text{ zväčšenie } (6 - 2))$$

Zaostrovanie

$a$  i  $f$  sú dané, zaostrenie zmenou  $b$

Pre predmet v  $\infty$  je  $b = f$ , pre všetky ostatné  $a$  je  $b$  väčšie



# Zobrazovacia rovnica

lens equation

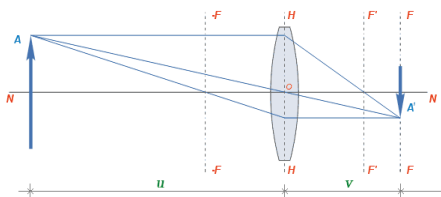
$$Z = \frac{A'}{A} = \frac{-v}{u} = \frac{v-f}{f} = \frac{-f}{u-f}$$

Zobrazovacia rovnica:

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

Ohnisková vzdialenosť:

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



- Z – pričné 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 ( $\phi$ )

# Zobrazovacia rovnica

Znamienková konvencia

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

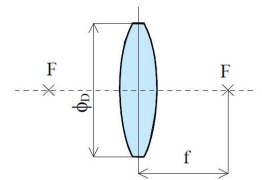
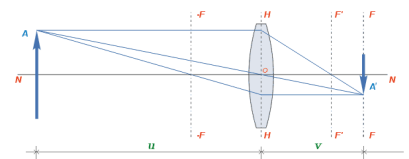
obrazová vzdialenosť  $v$   
kladná ( $v > 0$ ) za šošovkou → obraz je skutočný  
záporná ( $v < 0$ ) pred šošovkou → obraz je neskočný

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

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

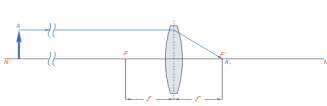
jednotka je dioptria D  
+ D spojná  
- D rozptylná

priemer šošovky  $\Phi_D$  (svetelnosť)

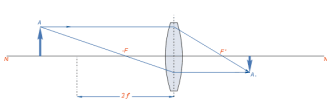


# Optické prvky: šošovky

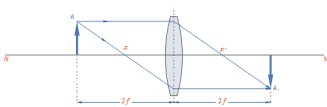
zobrazovanie



Predmet je nekonečne vzdialený a jeho obraz je nekonečne malý



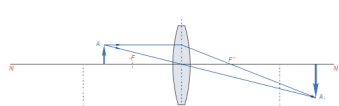
Predmet je vzdialený viac ako 2x ohnisková vzdialenosť šošovky ( $u > 2f$ ). Obraz je:  
 - skutočný  $v > 0$   
 - zmenšený  $|z| < 1$   
 - prevrátený  $z < 0$



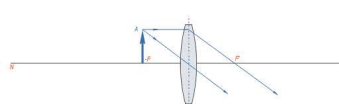
Predmet je vzdialený presne 2x ohnisková vzdialenosť šošovky ( $u = 2f$ ). Obraz je:  
 - skutočný  $v > 0$   
 - rovnaký  $|z| = 1$   
 - prevrátený  $z < 0$

# Optické prvky: šošovky

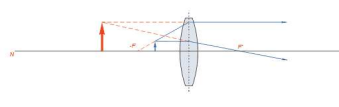
zobrazovanie



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  $z < 0$



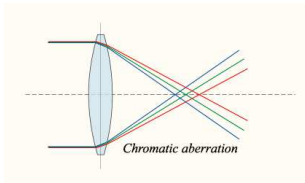
Predmet je rovnako vzdialený ako ohnisková vzdialenosť šošovky:  $u = f$   
 Obraz sa vytvorí v nekonečne



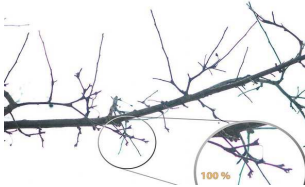
Predmet je vzdialený menej ako ohnisková vzdialenosť šošovky:  $u < f$ . Obraz je:  
 - neskutočný  $v < 0$   
 - zväčšený  $|z| > 1$   
 - priamy  $z > 0$

# Optické prvky: šošovky

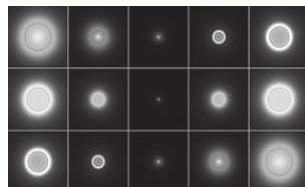
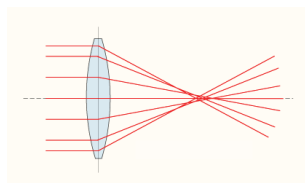
optické vady



Chromatic aberration



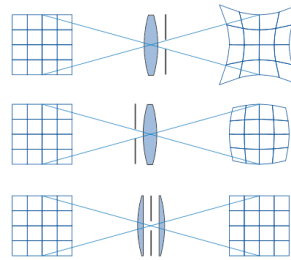
chromatická aberácia  
farebná chyba



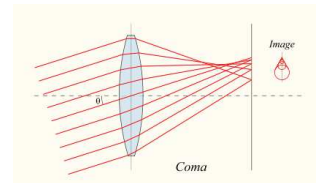
sférická aberácia  
guľová chyba

# Optické prvky: šošovky

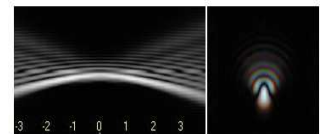
optické vady



skreslenie



Coma



koma

# Optické prvky: šošovky

parametre

Relatívny otvor, pri objektivoch svetelnosť  $s$

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

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

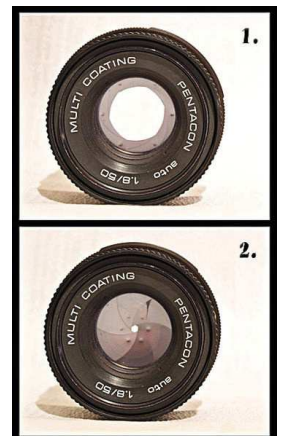
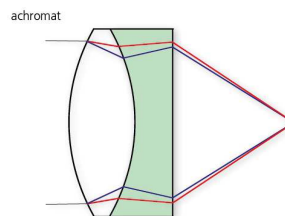
Najznámejšie sústavy sú:

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

# Optické prvky: objektiv

objektív – 3 ÷ 20 šošoviek

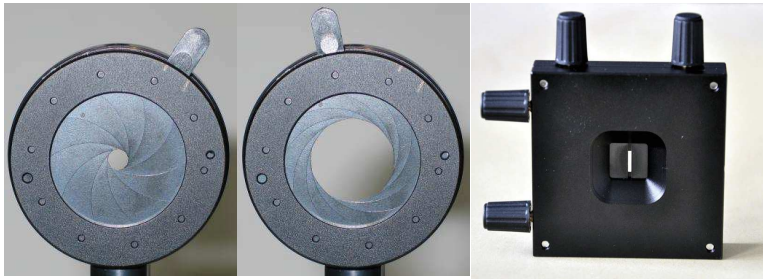
tmelené členy - achromat





## Optické prvky: clony

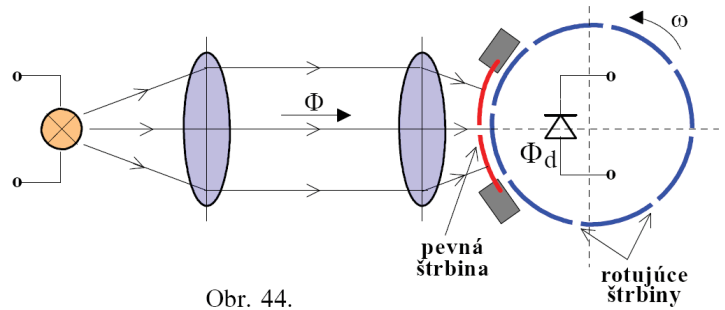
Aperture, Blende, Апертура



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

## optická štrbina – príklad

snímač otáčok



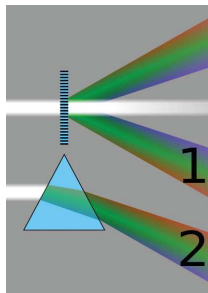
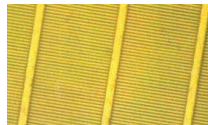
Obr. 44.

## Optické prvky: optická mriežka

diffraction grating, gitter Дифракционная решётка

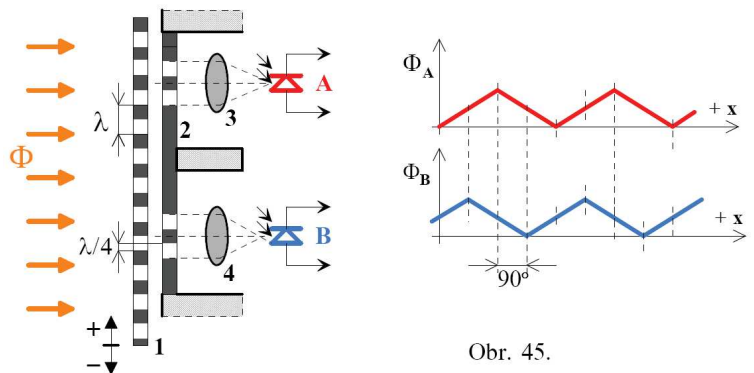
- rozlišovacia schopnosť mriežky  
počet vrypov, (600 – 2400 na 1 mm)

- mriežková konštanta  
vzdialenosť medzi dvoma vrypami



## optická mriežka – príklad

snímač polohy

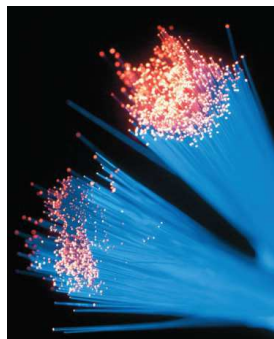


Obr. 45.

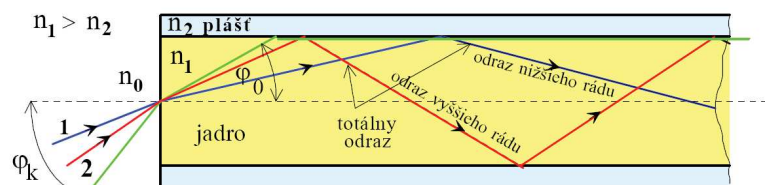
## Vláknová optika

fiber optics

- prenos obrazu zväzkom elementárnych svetlovodov
- prenos analógových signálov (náročný)
- prenos digitálnych signálov**
- optovláknové senzory**



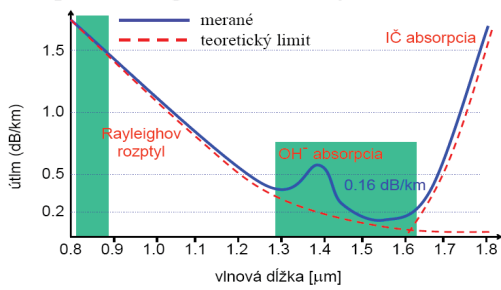
## Elementárny svetlovod



absolútny odraz od rozhrania dvoch prostredí

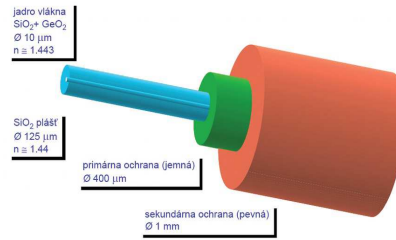
- MM – multimódové / mnohovidové
- SM – jednovidové / monomódové
- .
- Materiál: SiO<sub>2</sub> (sklo), plastové

# Vláknová optika – útlm



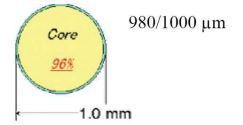
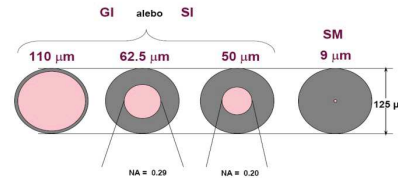
- $\lambda = 1 \mu\text{m}$  (min. straty pre  $1,2 \mu\text{m}$  – perspektívne  $1,5 \mu\text{m}$ )
- $\alpha = 0,3 \text{ dB / km}$
- IČ absorpcia, Rayleighov rozptyl, OH absorpcia  
(optické vlákna sú citlivé na vlhkosť, potreba zabaliť do ochranného obalu)

# Konštrukcia optovlákien



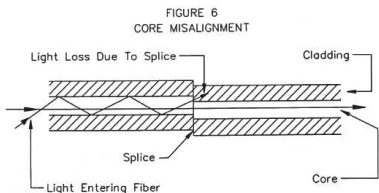
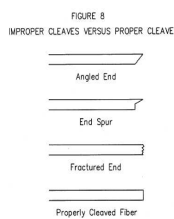
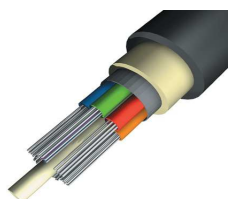
konštrukcia Single-Mode (SM) vlákna

konštrukcia plastového MM vlákna



Štandardné prierezy komunikačných optických vlákien

# Konštrukcia optovlákien



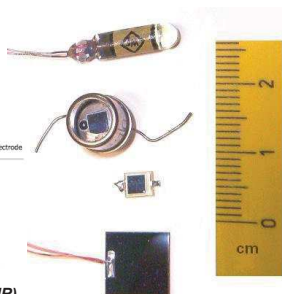
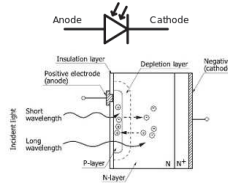
# Optické systémy

Zdroje svetla  
Optická cesta  
Snímače

# Detektory: fotodióda

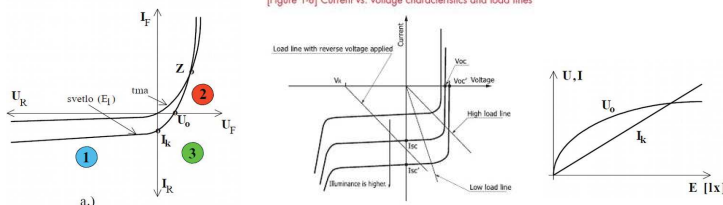
photodiode

rýchle, málo citlivé



- 2 - odporový režim v priepustnom smere (rastie E → klesá IR)
- 3 - hradlový režim (U0 je výst. napätie naprázdno, Ik je výst. prúd nakrátko)
- Z - pracovný bod necitlivý na svetlo

[Figure 1-8] Current vs. voltage characteristics and load lines



# Detektory: fototranzistor

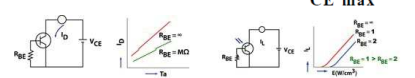
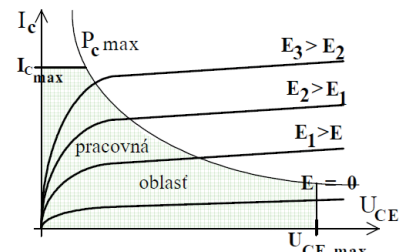
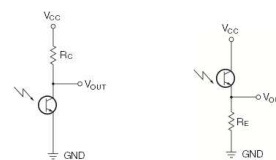
phototransistor

- citlivejšie, ale i zotrvačnejšie ako fotodiódy.
- v obvodoch samostatne, alebo s diódami, prípadne Darlington.



Hodnotu  $P_{Cmax}$  treba dodržať, kritická pri "polootvorenom" tranzistore.

Spektrálne skôr v IR oblasti (800 ÷ 1000 nm).



# Detektory: fotoodpor, fotorezistor

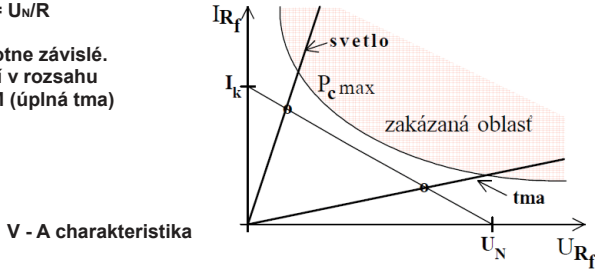
photoresistor



najcitlivejšie, ale aj najzotrvačnejšie spektrálne skôr do viditeľnej oblasti (500 ÷ 600 nm).

$U_{Rf}$  a  $I_{Rf}$  sú napätie a prúd fotoodporu priamka – obvod, v sérii je R s fotoodporom, napájanie sústavy  $U_N$ ,  $I_k = U_N/R$

časovo a teplotne závislé. odpor sa mení v rozsahu cca 100 ÷ 10 M (úplná tma)



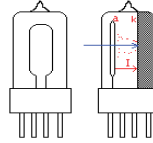
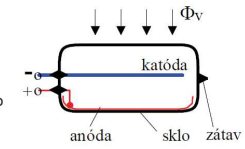
V - A charakteristika

# Detektory: fotónka, fotonásobič

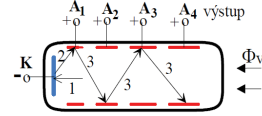
photocell, photomultiplier tube (PMT)

## vákuová súčiastka

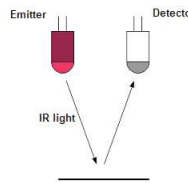
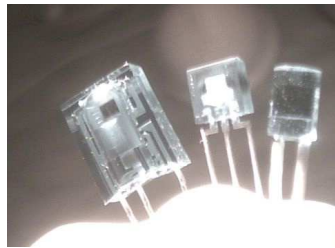
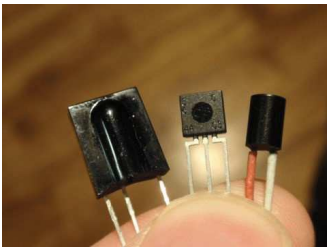
svetlo po dopade na katódu vyrazí niekoľko elektrónov (červené body), tie sú priťahované anódou, elektrónko tečie prúd



- 1 foton
- 2 elektrón
- 3 sekundárny elektrón



# Detektory: integrované

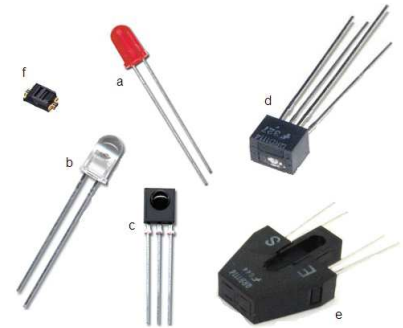
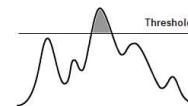


Black = no reflection (0)  
= reflection (1)

Output  
DIGITAL 0 and 1  
ANALOGUE 0-100%

## Sources of failures

- Ambient light
- Shadows
- Sun, lamps
- Sources of IR
- Dust, dirt
- Distance!
- Speed



Sensors and detectors:  
a) red LED b) Infra red LED c) Infra detector  
d) combination emitter + sensor e) larger version  
f) miniature SMD version of E+S

## Optical line sensor principle

64

64

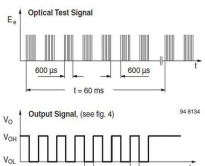


Fig. 3 - Output Function

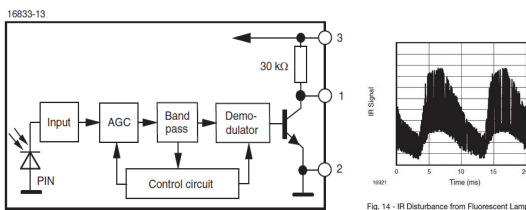
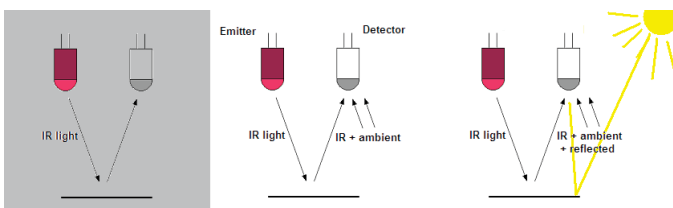


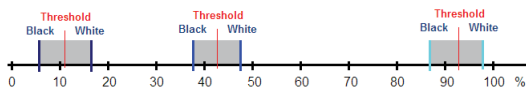
Fig. 14 - IR Disturbance from Fluorescent Lamp



## Sensor output

Sensor detector measures not only the reflected IR light, but also the amount of the ambient light

- Shields!
- Calibrate!



## Sensor calibration

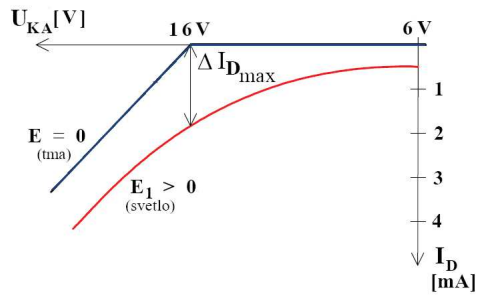
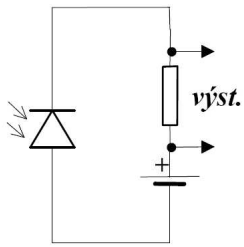
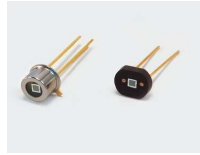
65

65

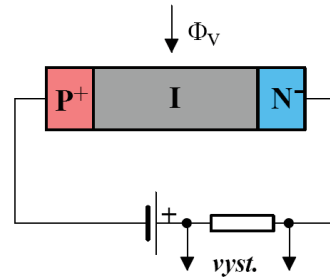
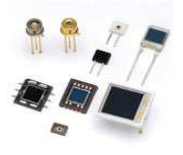
# Špeciálne optické snímače

- Lavínová fotodióda
- PIN fotodióda
- PSD prvky
- CCD prvky
- CMOS prvky

## lavínová fotodióda avalanche photodiode

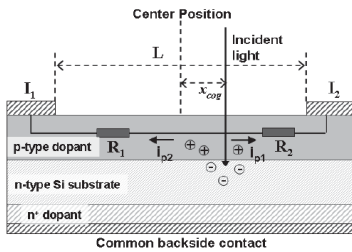
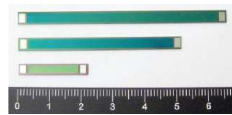


## PIN fotodióda avalanche photodiode



- I – intrinzičná časť
  - prijíma fotóny, izolácia
  - vysoké U → rýchlosť  $10^{-12} - 10^{-15}$  s

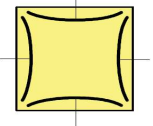
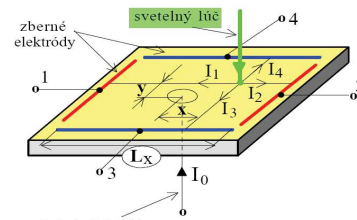
## PSD prvky position sensitive device



$$x = \frac{L}{2} \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}$$

- informácia o POLOHE, nie o intenzite
- celkový prúd (cez spoločnú el.)  $I_0 = 1 \mu\text{A}$
- rozlíšenie  $12 \mu\text{m}$ , chyba  $\pm 0,9\%$
- obvykle laser, modulovaný – lepšie SNR

## PSD prvky position sensitive device



$$x = \frac{L_x}{2} \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \quad y = \frac{L_x}{2} \frac{I_4 - I_3}{I_4 + I_3}$$

vyhodnotenie 4 prúdov voči zbernej elektróde

x a y sú vzdialenosti od stredu