



Cvičenie č. 2

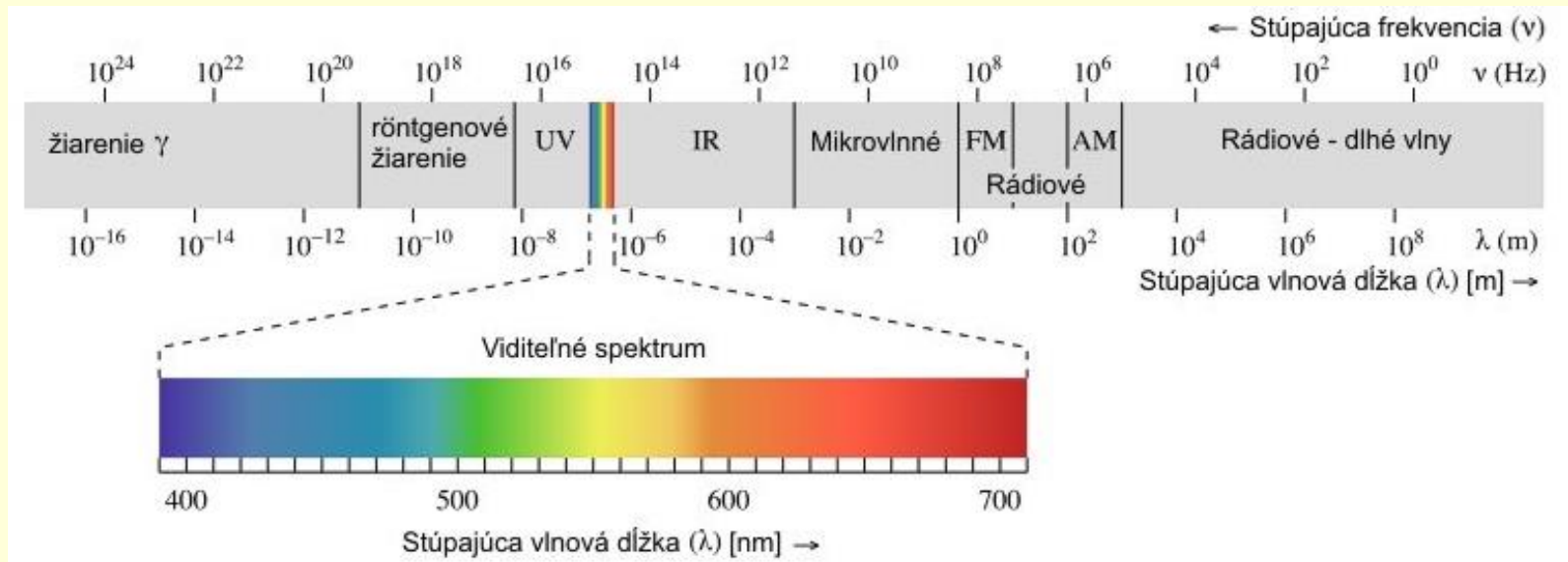
ZÁKLADY OPTIKY

Úloha č. 1: Pozorovanie farebných a zaoblených okrajov písmen

Úloha č. 2: Zistenie zväčšenia neznámej lupy

VIDITEĽNÉ SVETLO

- **svetlo = viditeľné svetlo** ➔ úzka oblasť spektra elektromagnetického vlnenia, ktorú vďaka svojej vlnovej dĺžke (λ) vnímame zrakom
 - oblasť od **ultrafialového (UV)** po **infračervené (IR)** žiarenie
 - rozmedzie $\lambda \rightarrow$ **380 nm** (fialová zložka) - **750 nm** (červená zložka)
(rôzne vlnové dĺžky mozog interpretuje ako farby = zložky viditeľného svetla)



- **optika** – veda zaoberajúca sa štúdiom svetla a jeho interakciami s materiálom (odraz, lom, disperzia, interferencia svetla)

ODRAZ A LOM SVETLA

- šírenie svetla v homogénnom prostredí ➡ **priamočiare**
- **rozhranie dvoch opticky rôznych prostredí = OPTICKÉ ROZHRANIE**
(nehomogénne prostredie) ➡ **odraz**, **lom**, prípadne **pohltenie svetla**

ODRAZ SVETLA (REFLEXIA) = návrat časti svetla dopadajúceho na rozhranie dvoch prostredí späť do prostredia, z ktorého svetlo prichádza

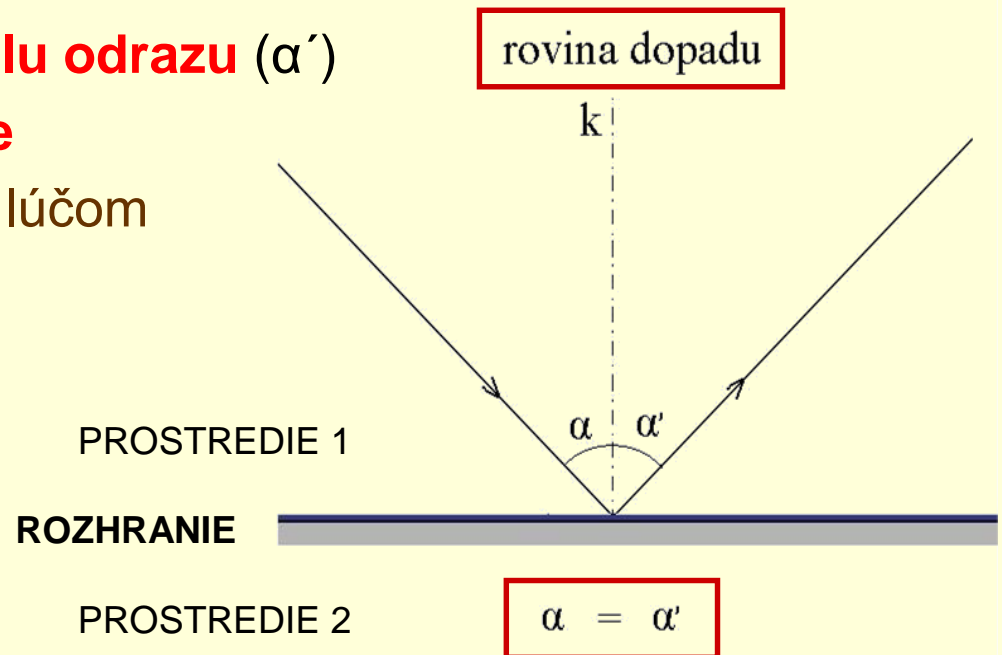


ODRAZ A LOM SVETLA

- šírenie svetla v homogénnom prostredí ➔ **priamočiare**
- **rozhranie dvoch opticky rôznych prostredí = OPTICKÉ ROZHRANIE**
(nehomogénne prostredie) ➔ **odraz**, **lom**, prípadne **pohltenie svetla**

ODRAZ SVETLA (REFLEXIA) = návrat časti svetla dopadajúceho na rozhranie dvoch prostredí späť do prostredia, z ktorého svetlo prichádza

- **ZÁKON ODRAZU:**
 - **uhol dopadu (α) sa rovná uhlu odrazu (α')**
 - **odrazený lúč ostáva v rovine dopadu** určenej dopadajúcim lúčom a kolmicou dopadu (k)

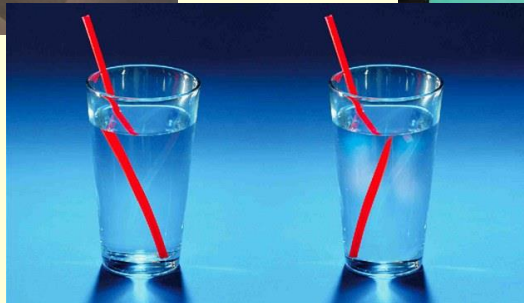
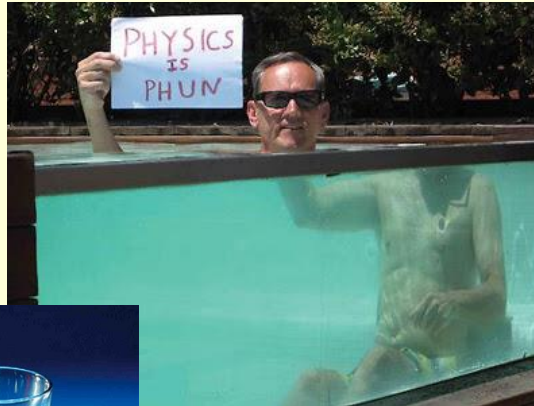
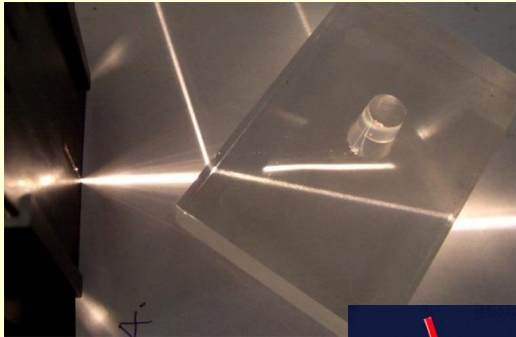


ODRAZ A LOM SVETLA

LOM SVETLA (REFRAKCIA) = zmena smeru šírenia svetla pri prechode cez rozhranie dvoch opticky rôznych prostredí (líšiacich sa optickou hustotou)

- optická hustota – **index lomu** ($N = c/v$) → limituje rýchlosť svetla v prostredí
(c – rýchlosť svetla vo vákuu = $3 \cdot 10^8$ m/s; v – rýchlosť svetla v príslušnom prostredí)

PROSTREDIE	VÁKUUM	VZDUCH	ĽAD	VODA	SKLO	IMERZNÝ OLEJ	DIAMANT
INDEX LOMU (N)	1,00	1,00026	1,31	1,33	1,5 – 1,9	1,51	2,42



ODRAZ A LOM SVETLA

LOM SVETLA (REFRAKCIA) = zmena smeru šírenia svetla pri prechode cez rozhranie dvoch opticky rôznych prostredí (líšiacich sa optickou hustotou)

- optická hustota – **index lomu** ($N = c/v$) → limituje rýchlosť svetla v prostredí
(c – rýchlosť svetla vo vákuu = $3 \cdot 10^8$ m/s; v – rýchlosť svetla v príslušnom prostredí)
- ZÁKON LOMU** (Snellov zákon):

Ak lúč svetla postupuje →

→ (A) z prostredia opticky **redšieho** do prostredia opticky **hustejšieho** ➡

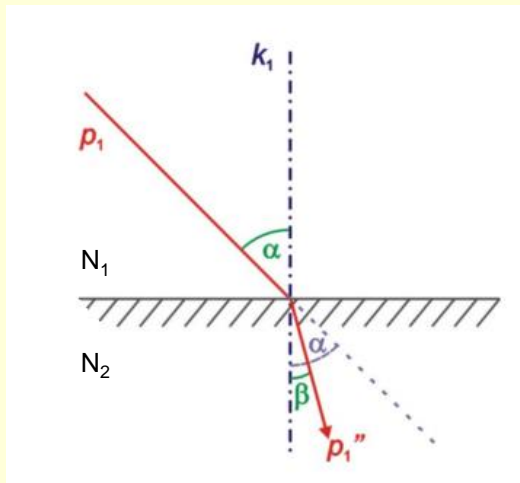
➡ **LOM KU KOLMICI** ($\alpha > \beta$)

→ (B) z prostredia opticky **hustejšieho** do prostredia opticky **redšieho** ➡

➡ **LOM OD KOLMICE** ($\alpha < \beta$)

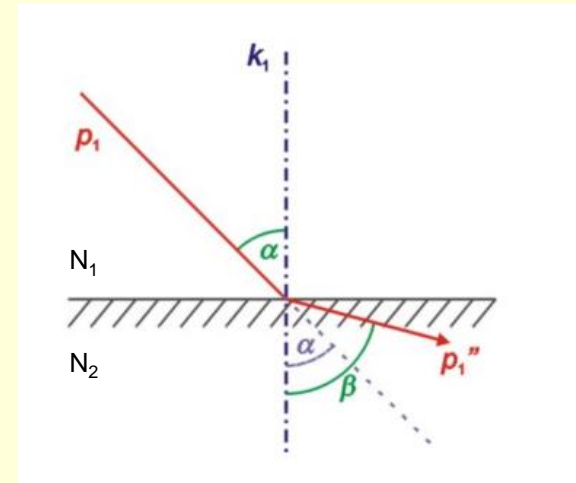
(A)

$$N_1 < N_2$$



(B)

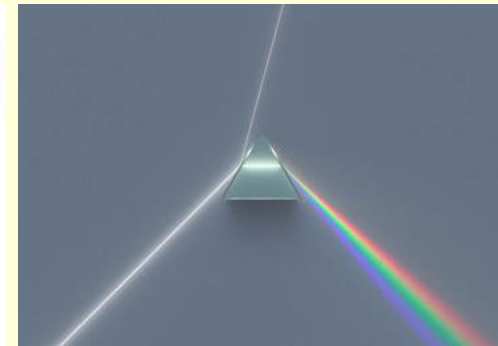
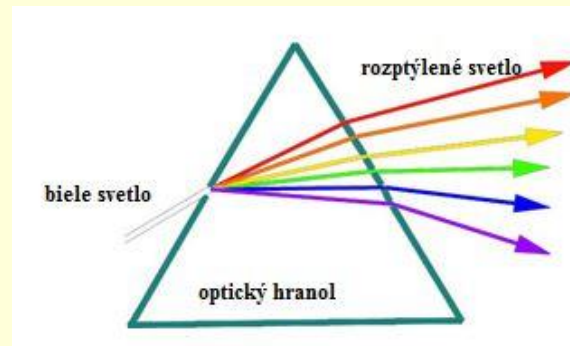
$$N_1 > N_2$$



DISPERZIA SVETLA

ROZKLAD SVETLA (DISPERZIA) = rozloženie svetla na jeho jednotlivé monochromatické zložky (farebné zložky)

- vzniká ako **dôsledok lomu svetla** na rozhraní dvoch opticky rôznych prostredí
 - biele svetlo sa pri prechode optickou sústavou, resp. prostredím (hranol, vodná kvapka, šošovka, ...) rozloží na spektrum, v ktorom možno rozlíšiť jednotlivé farby od fialovej po červenú
 - **zložky s kratšou λ (fialová) sa lámu viac ako zložky s dlhšou λ (červená)**
 - v rozdielnych optických prostrediach je disperzia rôzna (rôzne indexy lomu pre rôzne vlnové dĺžky - farby)

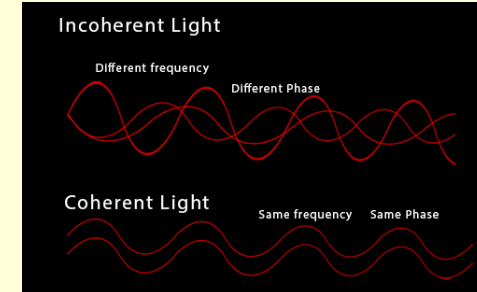
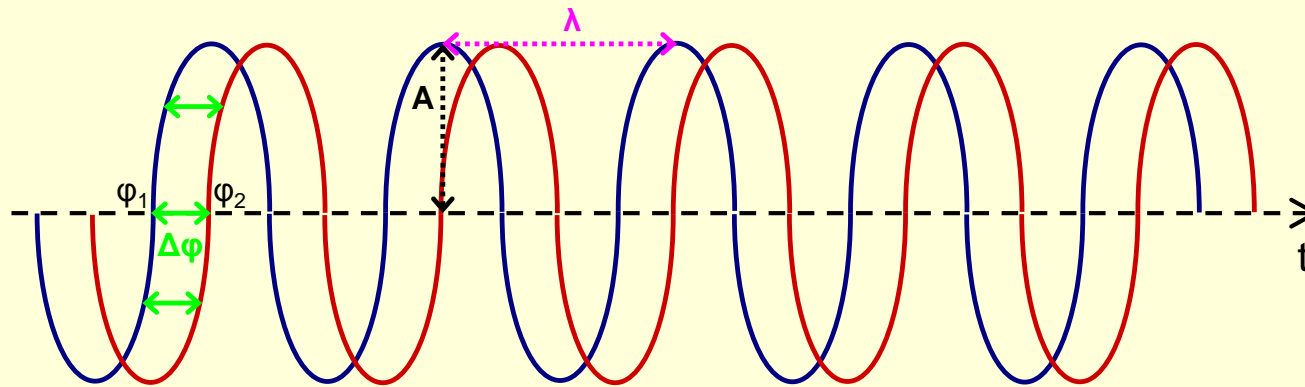


INTERFERENCIA SVETLA

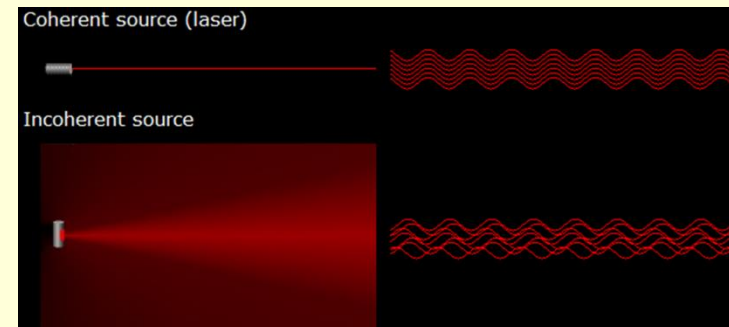
INTERFERENCIA SVETLA = SKLADANIE SVETLA = spájanie dvoch alebo viacerých svetelných tokov (vlnení) do jedného svetelného toku

▪ podmienka = **koherencia vlnenia**

→ **koherentné vlnenia** – vlnenia s rovnakou frekvenciou a rovnakou fázou ($\varphi_1 = \varphi_2$) alebo nemenným (konštantným) fázovým rozdielom (amplitúda nemusí byť rovnaká)



φ_1 – fáza 1 (fáza modrej vlny)
 φ_2 – fáza 2 (fáza červenej vlny) } bod vlny v čase
 $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ – fázový rozdiel (fázový posun)
 A – amplitúda
 λ – vlnová dĺžka



INTERFERENCIA SVETLA

INTERFERENCIA SVETLA = SKLADANIE SVETLA = spájanie dvoch alebo viacerých svetelných tokov (vlnení) do jedného svetelného toku

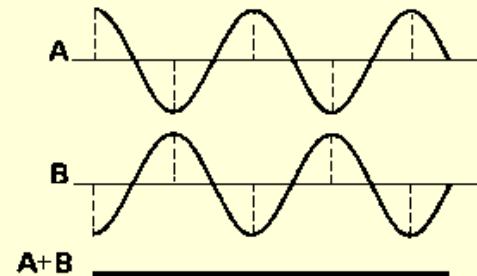
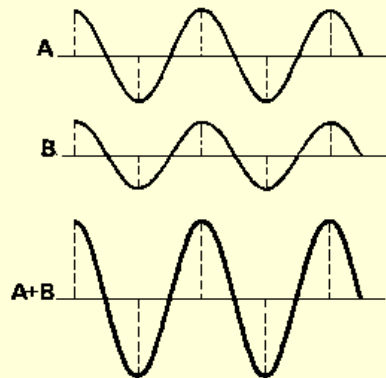
▪ podmienka = **koherencia vlnenia**

→ **koherentné vlnenia** – vlnenia s rovnakou frekvenciou a rovnakou fázou ($\varphi_1 = \varphi_2$) alebo nemenným (konštantným) fázovým rozdielom (amplitúda nemusí byť rovnaká)

▪ výsledok interferencie:

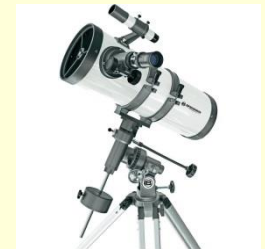
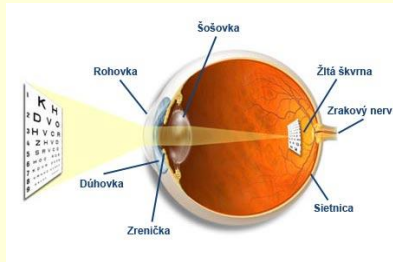
→ **zosilnenie intenzity svetla** – ak majú vlny rovnakú fázú („kopec-kopec“, „dolina-dolina“) alebo sú vo fáze posunuté o párny počet polovín

→ **zoslabenie až zrušenie intenzity svetla** – ak majú vlny opačnú fázú („dolina-kopec“, „kopec-dolina“) - sú v protifáze, vo fáze posunuté o nepárny počet polovín



OPTICKÁ SÚSTAVA A ZOBRAZOVANIE

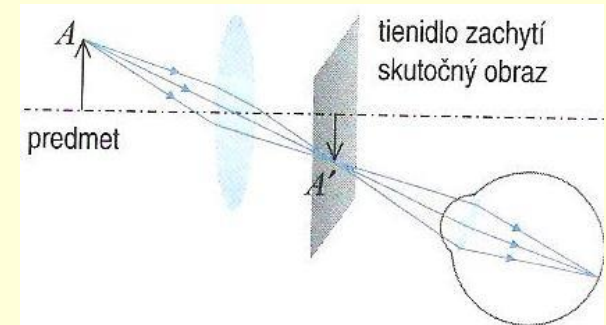
- **optická sústava (OS)** – sústava **optických prostredí** a ich rozhraní, ktoré menia smer chodu svetelných lúčov
 - súhrn lámavých a odrazových plôch, optických rozhraní a clôn ➔
 - ➔ **ovplyvňujú prechod svetelných lúčov** (riadia sa zákonmi odrazu, lomu, ...)



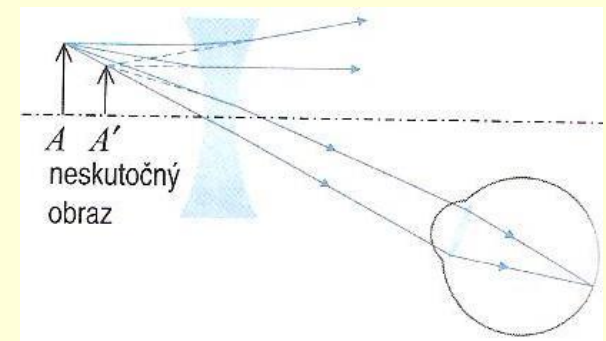
OPTICKÁ SÚSTAVA A ZOBRAZOVANIE

- **optická sústava (OS)** – sústava **optických prostredí** a **ich rozhraní**, ktoré menia smer chodu svetelných lúčov
 - súhrn lámavých a odrazových plôch, optických rozhraní a clôn ➡
 - ➡ **ovplyvňujú prechod svetelných lúčov** (riadia sa zákonmi odrazu, lomu, ...)
- **optické zobrazovanie** – postup, ktorým získavame optické obrazy bodov pozorovaných predmetov

→ keď sa lúče vplyvom OS **zbieľajú** ➡
➡ vzniká **skutočný (reálny) obraz**
(je ho možné zachytiť)



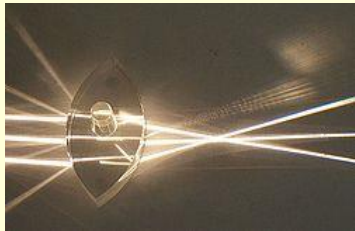
→ keď sa lúče vplyvom OS **rozbieľajú** ➡
➡ vzniká **neskutočný (zdanlivý) obraz**
(nie je ho možné zachytiť)



ŠOŠOVKA

- **šošovky** – priehľadné rovnorodé (homogénne) telesá ohraničené dvoma guľovými plochami alebo jednou guľovou a jednou rovinnou plochou
 - materiál šošovky (sklo, kremeň, plasty, ...) – charakterizovaný indexom lomu
 - slúžia v optike na ovplyvnenie šírenia svetla – **svetelný lúč prechádzajúci šošovkou sa láme smerom k jej hrubšej časti**

SPOJKA = SPOJNÁ ŠOŠOVKA = konvexná, kladná šošovka



- v strede hrubšia ako na okrajoch → **zbiehanie** prechádzajúcich svetelných lúčov **do jedného ohniska**
- obraz pozorovaného predmetu → **zväčšený, skutočný (reálny)**
- využitie – zväčšovanie predmetov (lupy, objektívy, okuliare)

ROZPTYLKA = ROZPTYLNÁ ŠOŠOVKA = konkávna, záporná šošovka

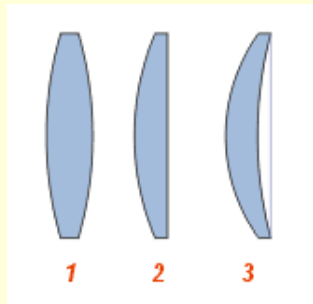


- v strede tenšia ako na okrajoch → **rozbiehanie** (rozptýlenie) prechádzajúcich svetelných lúčov
- obraz pozorovaného predmetu → **zmenšený, neskutočný (zdanlivý)**
- využitie – predĺženie ohniskovej vzdialenosti (Barlowova šošovka)

ŠOŠOVKA

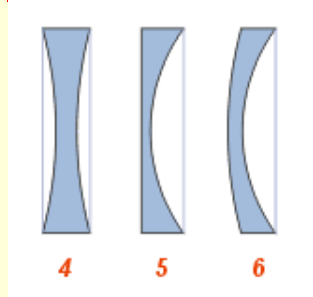
- **šošovky** – priehľadné rovnorodé (homogénne) telesá ohraničené dvoma guľovými plochami alebo jednou guľovou a jednou rovinnou plochou
 - materiál šošovky (sklo, kremeň, plasty, ...) – charakterizovaný indexom lomu
 - slúžia v optike na ovplyvnenie šírenia svetla – **svetelný lúč prechádzajúci šošovkou sa láme smerom k jej hrubšej časti**

SPOJKA = SPOJNÁ ŠOŠOVKA = konvexná, kladná šošovka



- 1 dvojvypuklá (bikonvexná)
- 2 ploskovypuklá (planokonvexná)
- 3 dutovypuklá (konkávnokonvexná)

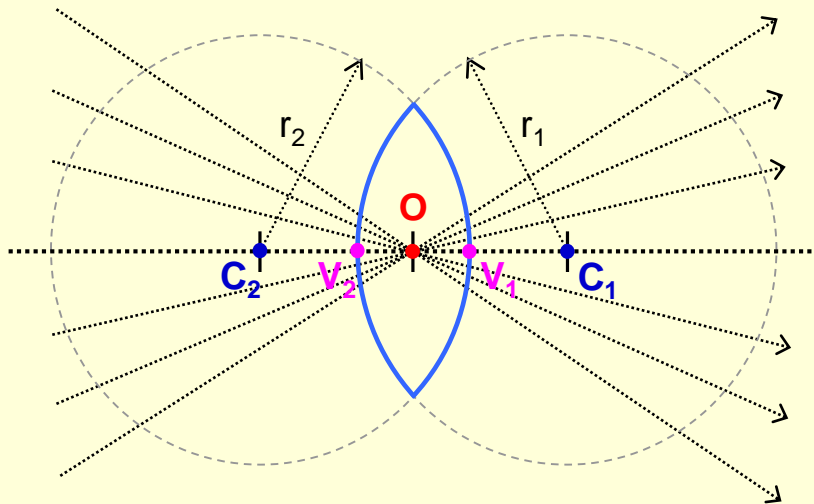
ROZPTYLKA = ROZPTYLNÁ ŠOŠOVKA = konkávna, záporná šošovka



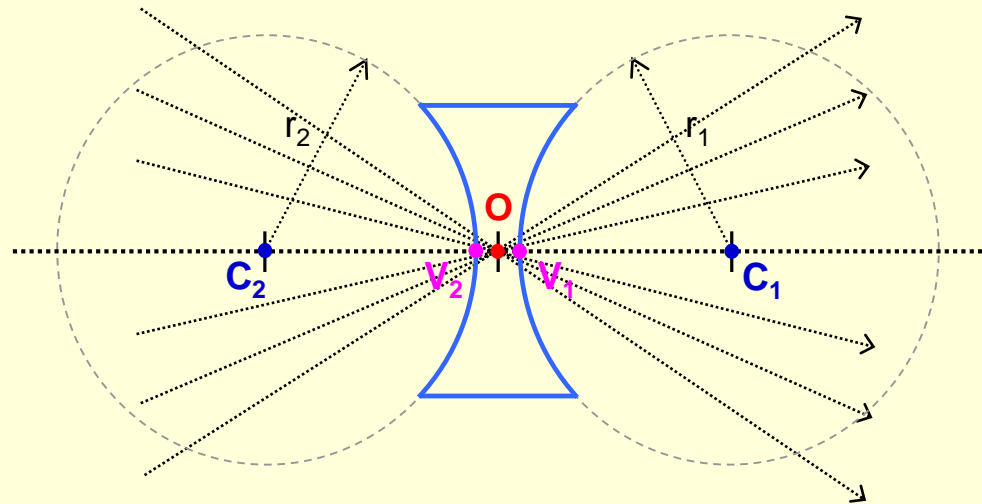
- 4 dvojdutá (bikonkávna)
- 5 ploskodutá (planokonkávna)
- 6 vypuklodutá (konvexnokonkávna)

ZÁKLADNÉ PRVKY GEOMETRIE OPTICKÉHO ZOBRAZOVANIA

SPOJKA



ROZPTYLKA



V_1 a V_2 – body vymedzujúce hrúbku šošovky (spojka – najhrubšia časť, rozptylka – najužšia časť)

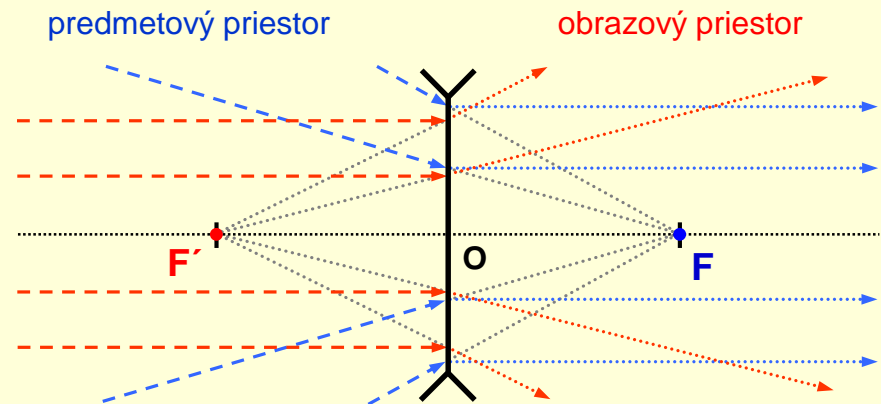
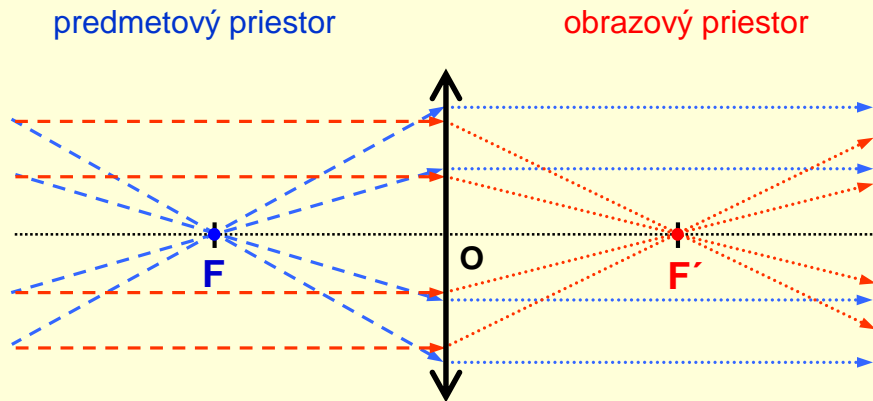
O – optický stred šošovky

C_1 a C_2 – stredy krivosti lámavých plôch, resp. stredy zakrivení guľových plôch tvoriacich povrch šošovky

hlavná optická os – priamka spájajúca stredy krivosti C_1 a C_2 a zároveň prechádzajúca optickým stredom šošovky O

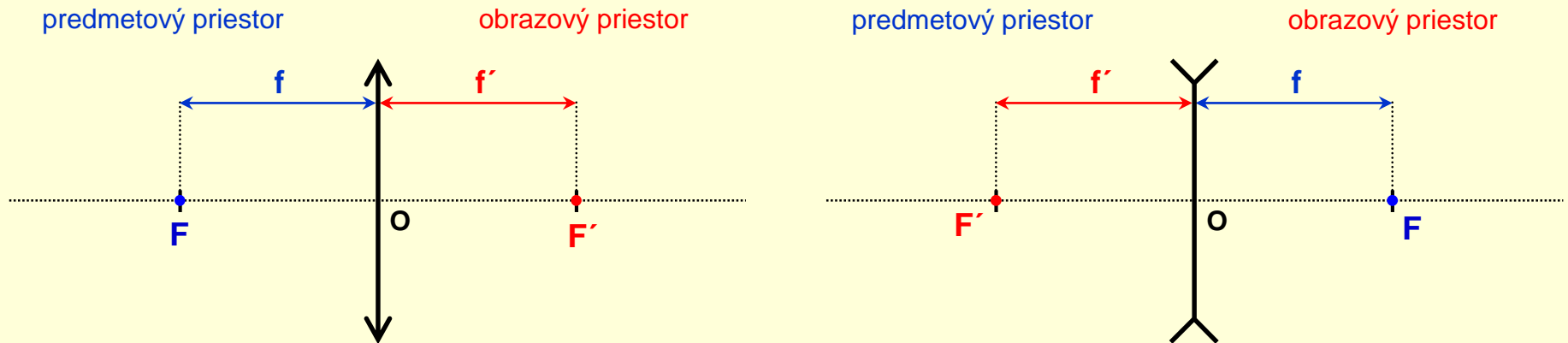
vedľajšia optická os – každá os, ktorá nie je rovnobežná s hlavnou optickou osou a prechádza optickým stredom šošovky O

ZÁKLADNÉ PRVKY GEOMETRIE OPTICKÉHO ZOBRAZOVANIA



- ohnisko** – bod na hlavnej optickej osi, v ktorom sa pretínajú lúče, ktoré sú pred vstupom do optickej sústavy rovnobežné s touto osou ➔ **obrazové ohnisko (F')**
- nachádza sa **v obrazovom priestore**? **spojka** – ÁNO ➔ **skutočné F'**
rozptylka – NIE ➔ **neskutočné F'**
- bod na hlavnej optickej osi, cez ktorý prechádzajú lúče, ktoré sa optickou sústavou lámu rovnobežne s hlavnou optickou osou ➔ **predmetové ohnisko (F)**
- nachádza sa **v predmetovom priestore**? **spojka** – ÁNO ➔ **skutočné F**
rozptylka – NIE ➔ **neskutočné F**

ZÁKLADNÉ PRVKY GEOMETRIE OPTICKÉHO ZOBRAZOVANIA

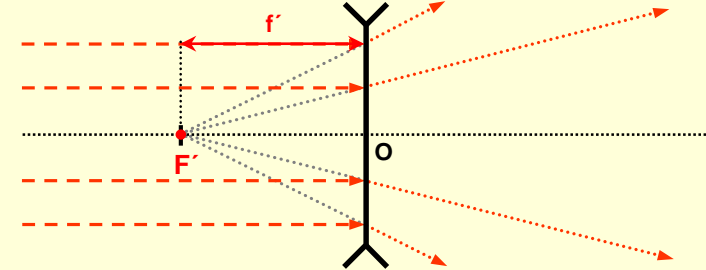
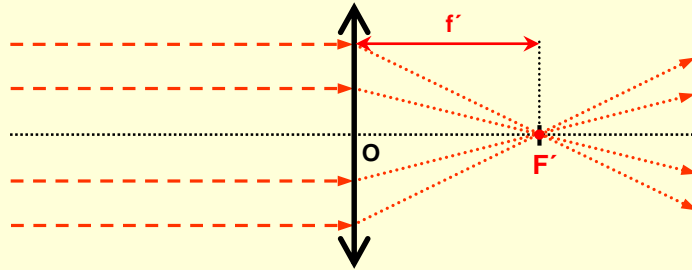


ohnisková vzdialenosť – vzdialenosť ohniska od optického stredu šošovky **O**:

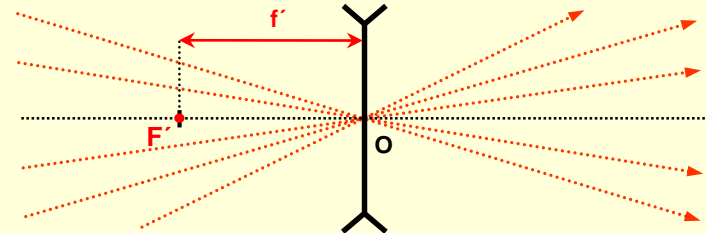
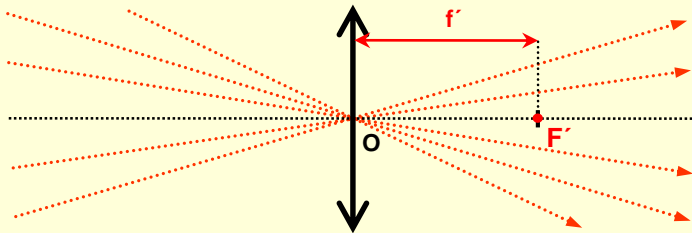
- spojky – **kladná**
rozptylky – **záporná**
- **obrazová ohnisková vzdialenosť (f')** → vzdialenosť **F'** od **O**
 - spojka – v **obrazovom priestore** („za“ optickou sústavou)
 - rozptylka – v **predmetovom priestore** („pred“ optickou sústavou)
- **predmetová ohnisková vzdialenosť (f)** → vzdialenosť **F** od **O**
 - spojka – v **predmetovom priestore** („pred“ optickou sústavou)
 - rozptylka – v **obrazovom priestore** („za“ optickou sústavou)

3 ZÁKLADNÉ PRAVIDLÁ OPTICKÉHO ZOBRAZOVANIA

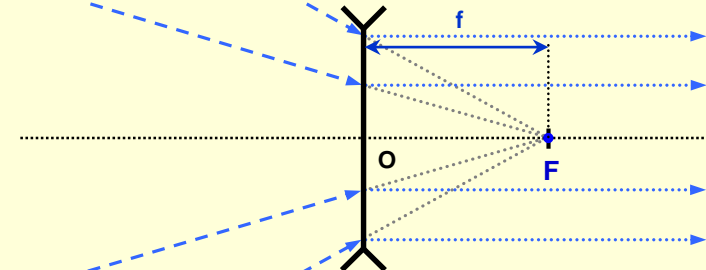
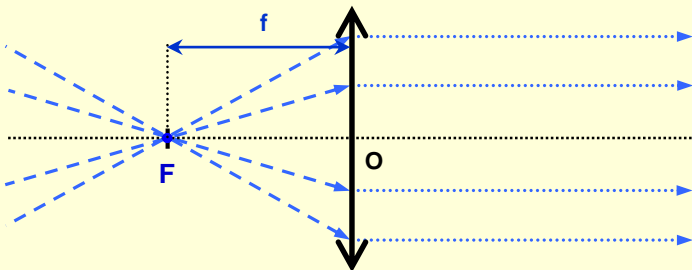
1. lúč, ktorý je **rovnobežný s hlavnou optickou osou**, sa na povrchu šošovky **láme do obrazového ohniska**



2. lúč, ktorý **prechádza optickým stredom šošovky**, sa **neláme**



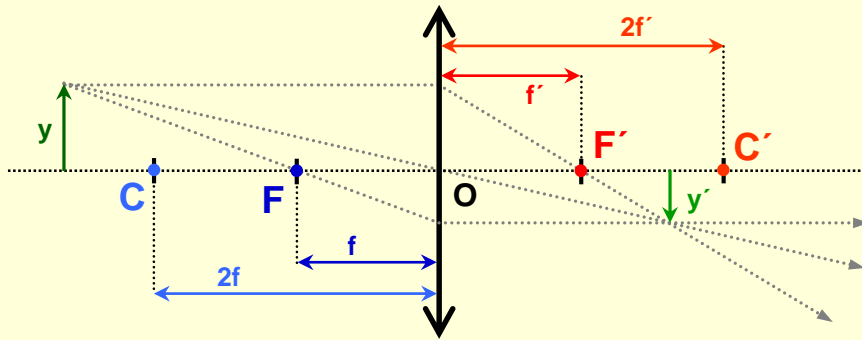
3. lúč, ktorý **prechádza predmetovým ohniskom**, sa **láme rovnobežne s hlavnou optickou osou**



KONŠTRUKCIA OBRAZU SPOJKOU

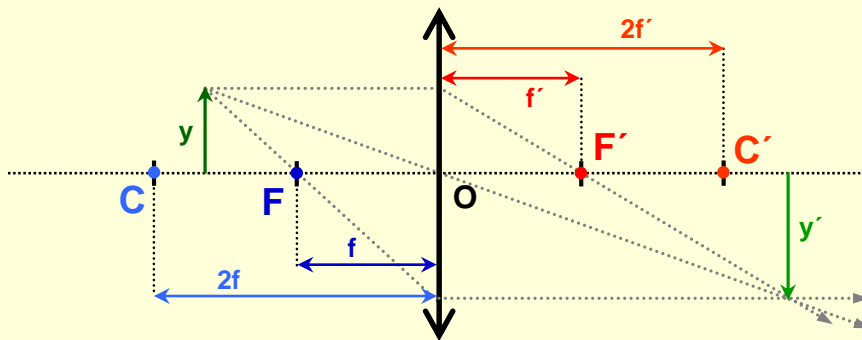
- obraz, ktorý vzniká, závisí od polohy (umiestnenia) pozorovaného predmetu !!!

1. Umiestnenie predmetu (y) za dvojnásobnou ohniskovou vzdialenosťou (C , $2f$)



obraz (y') → **skutočný**
prevrátený
zmenšený
leží medzi C' a F'

2. Umiestnenie predmetu (y) medzi dvojnásobnou ohniskovou vzdialenosťou (C , $2f$) a predmetovým ohniskom (F)

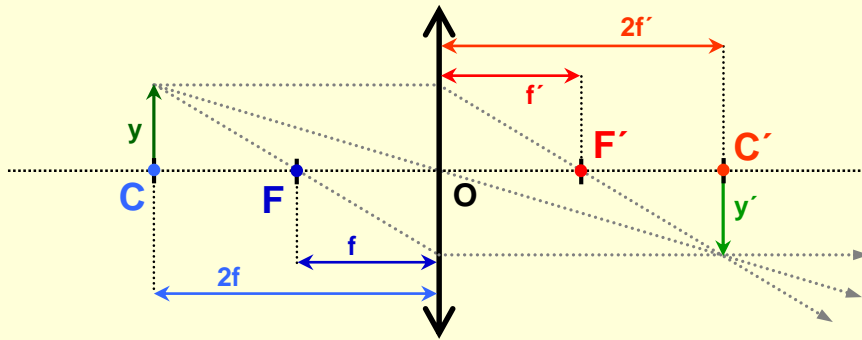


obraz (y') → **skutočný**
prevrátený
zväčšený
leží za C'

KONŠTRUKCIA OBRAZU SPOJKOU

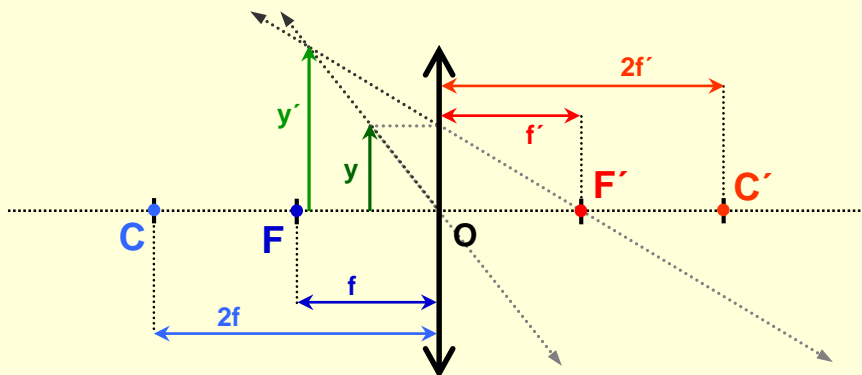
- obraz, ktorý vzniká, závisí od polohy (umiestnenia) pozorovaného predmetu !!!

3. Umiestnenie predmetu (y) do dvojnásobnej ohniskovej vzdialenosti (C , $2f$)



obraz (y') → **skutočný**
prevrátený
rovnako veľký
leží v C'

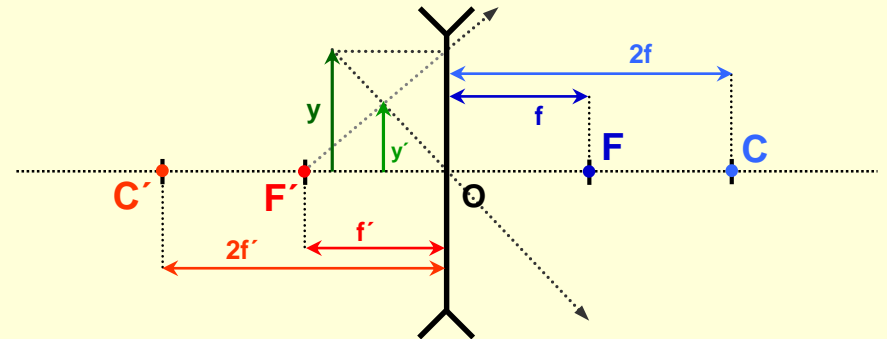
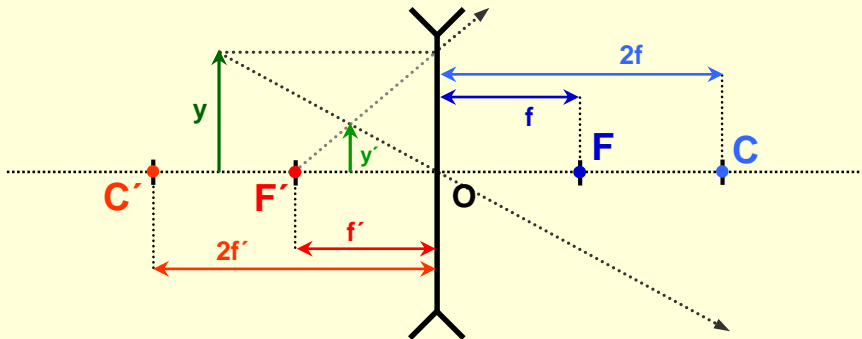
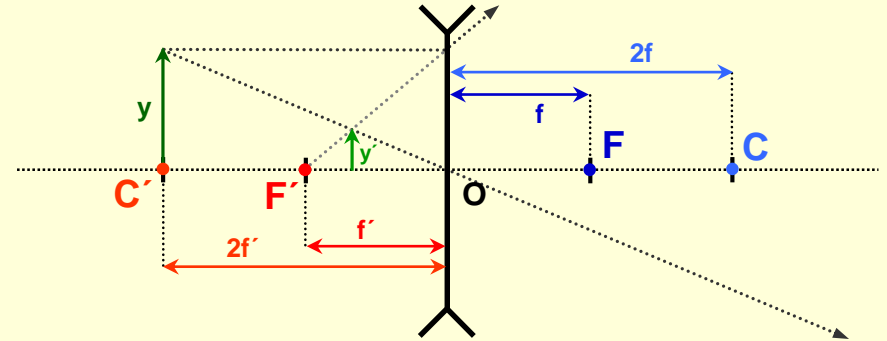
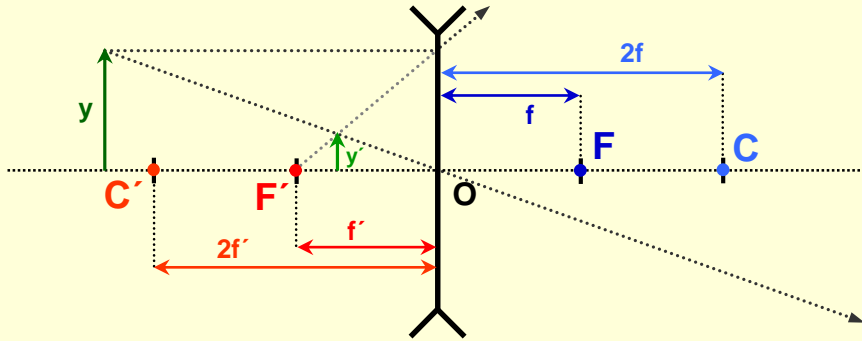
4. Umiestnenie predmetu (y) do vzdialenosti menšej ako predmetová ohnisková vzdialenosť (f)



obraz (y') → **neskutočný**
priamy
zväčšený

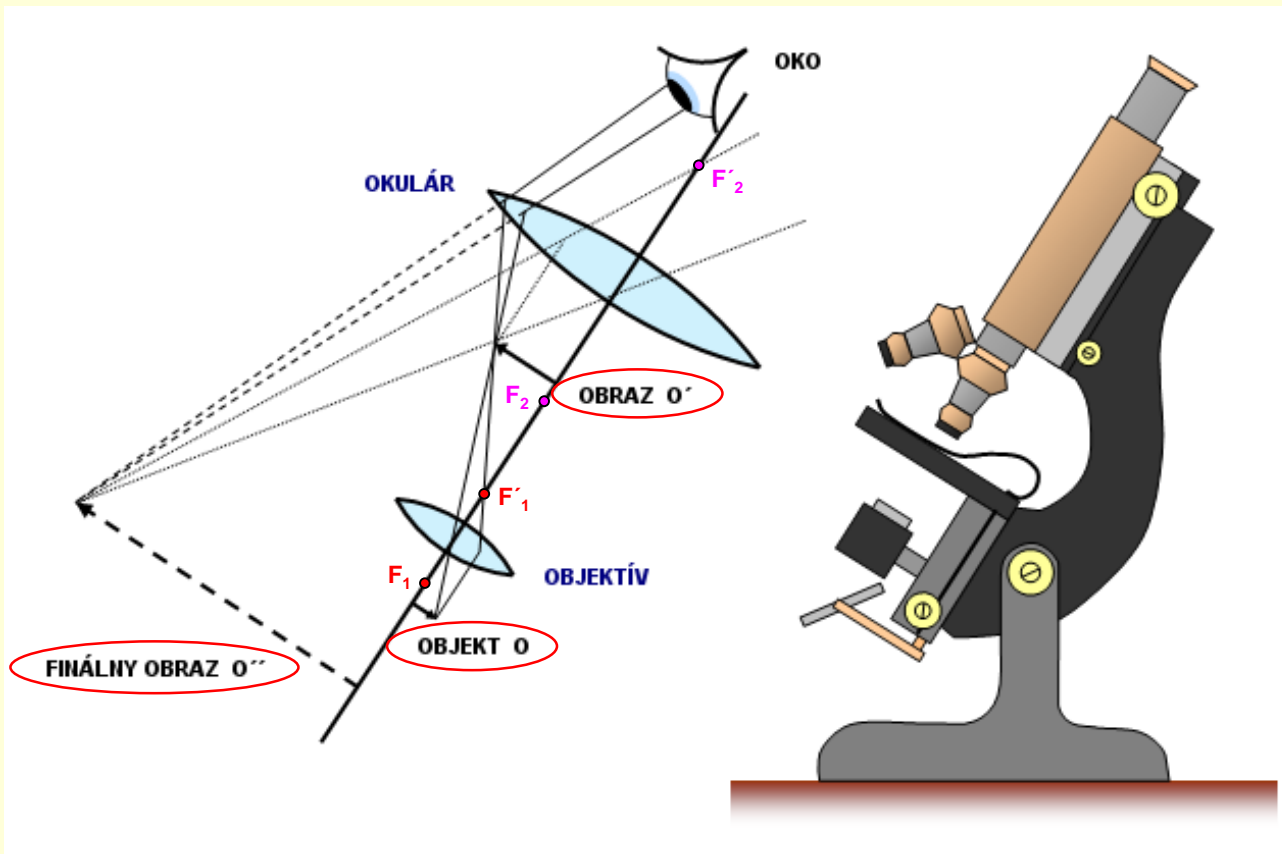
KONŠTRUKCIA OBRAZU ROZPTYLKOU

- obraz, ktorý vzniká, nezávisí od polohy (umiestnenia) pozorovaného predmetu, je vždy neskutočný (zdanlivý), priamy, zmenšený



KONŠTRUKCIA OBRAZU MIKROSKOPOM

- **mikroskop** → **centrovaná** optická sústava (stredy krivosti plôch všetkých členov optickej sústavy ležia na jednej priamke) = **jedna hlavná optická os**
 - **skladá sa z objektívu** (šošovka bližšie pri pozorovanom objekte)
 - a z okulára** (šošovka bližšie pri oku)



$$f_1 < f_2$$

objekt (O) → tesne pod F_1

obraz (O') → je vytvorený objektívom

→ skutočný
prevrátený
zväčšený

→ je objektom pre okulár

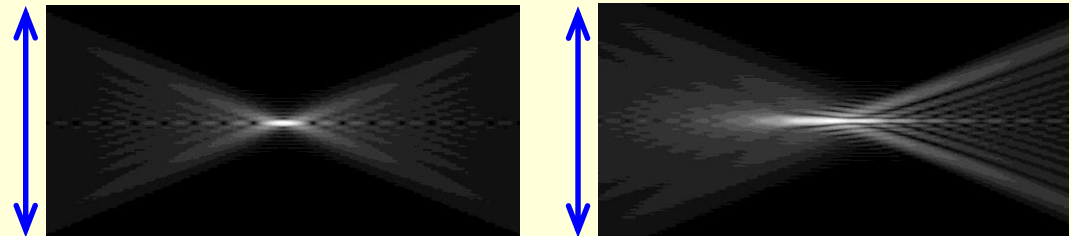
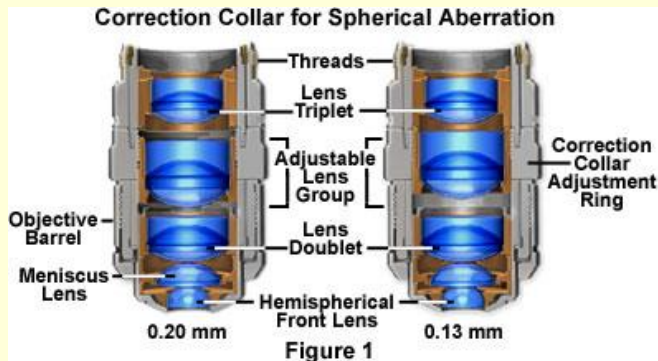
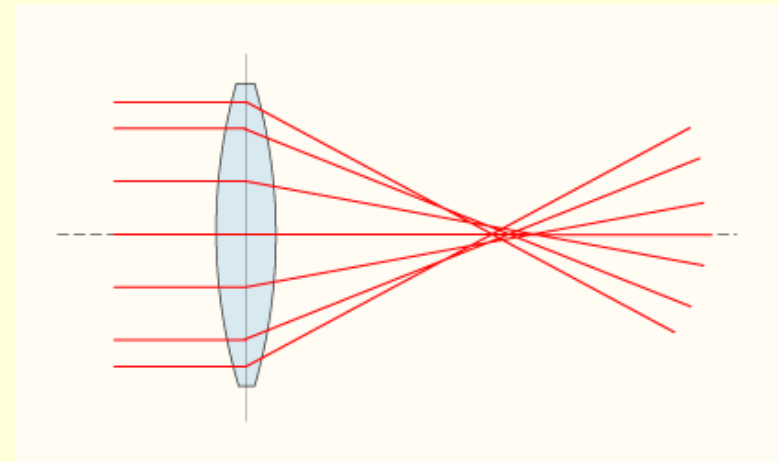
obraz (O'') → je vytvorený okulárom

→ neskutočný
priamy
zväčšený

CHYBY ŠOŠOVIEK alebo ŽIADNA ŠOŠOVKA SA NESPRÁVA IDEÁLNE

OTVOROVÁ (SFÉRICKÁ, GUL'OVÁ) CHYBA

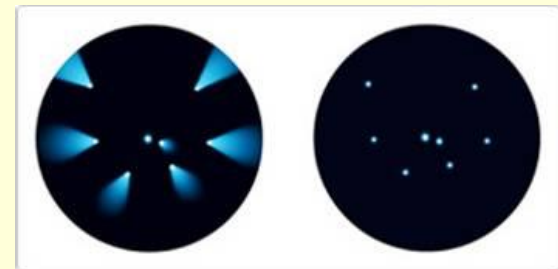
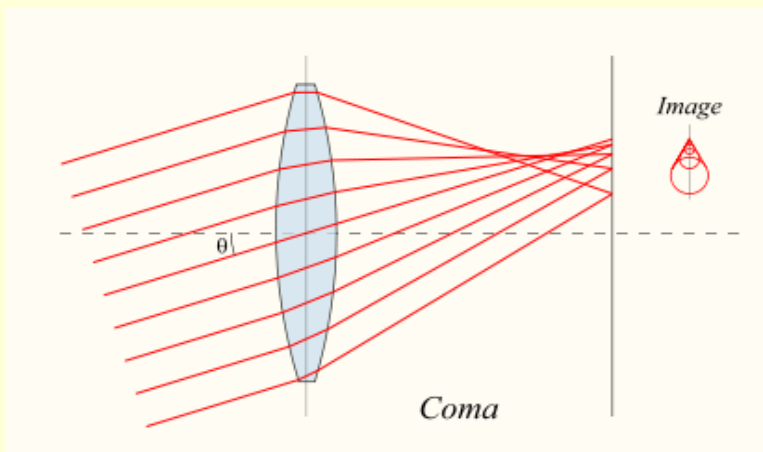
- spôsobená guľovým (sférickým) tvarom šošoviek (zakrivením)
- svetelné lúče dopadajúce na šošovku rovnobežne s hlavnou optickou osou sa lámu rôzne podľa ich vzdialenosti od stredu šošovky ➔ **lúče vzdialenejšie od stredu šošovky sa lámu viac ako lúče bližšie k stredu šošovky** ➔ **vznik viacerých ohnísk**
- zapríčiňuje **neostroť, nezreteľnosť obrazu**
- nedá sa úplne odstrániť, no je možné ju upraviť:
 - korekciou jednej alebo oboch guľových plôch
 - vhodnými kombináciami spojok s rozptylkami (použitím korekčných šošoviek)



CHYBY ŠOŠOVIEK alebo ŽIADNA ŠOŠOVKA SA NESPRÁVA IDEÁLNE

KOMA

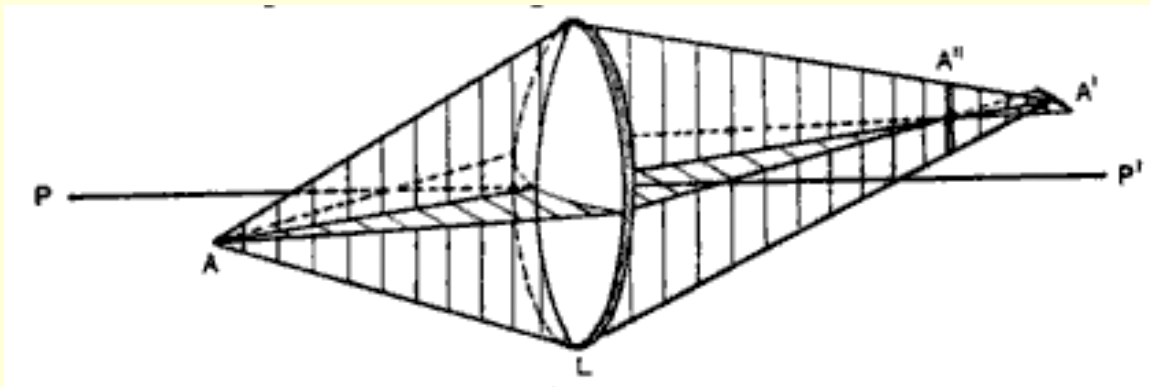
- vzniká pri rovinnom zobrazovaní mimoosových bodov (mimo hlavnej optickej osi)
- spôsobená tým, že lúče prechádzajúce rôznymi časťami šošovky sa stretávajú v rozličných vzdialenostiach od ohniska (nemajú osovú symetriu)
- zväzok lúčov vychádzajúci z bodového predmetu ležiaceho mimo hlavnej optickej osi sa nezobrazí ako bod ➔ **zobrazí sa ako podlhovastý útvar s jasným jadrom a chvostom (kométa)**
- vzrastá úmerne so vzdialenosťou od hlavnej optickej osi a **znižuje rozlišovaciu schopnosť a ostrosť zobrazenia na okrajoch zorného poľa**
- odstraňuje sa podobne ako otvorová chyba



CHYBY ŠOŠOVIEK alebo ŽIADNA ŠOŠOVKA SA NESPRÁVA IDEÁLNE

ASTIGMATIZMUS (SKLENUTIE - KRIVOSŤ)

- vzniká pri zobrazovaní mimoosových bodov (vo veľkej vzdialenosti od hlavnej optickej osi), no obraz nevzniká v 1 rovine, ale v priestore
- body ležiace mimo hlavnú optickú os sa zobrazujú **v rozličných miestach ako dve navzájom kolmé úsečky (fokály) ➡ nevytvárajú bodové ohnisko (fokus)**
- spôsobuje **neostroť a rozmazanosť** obrazov hlavne pri optických sústavách s veľkým zorným uhlom (fotografické objektívy)
- optické sústavy s opraveným astigmatizmom ➡ anastigmaty (3 a viac šošoviek)



CHYBY ŠOŠOVIEK alebo ŽIADNA ŠOŠOVKA SA NESPRÁVA IDEÁLNE

SKRESLENIE (DISTORZIA)

→ spôsobené tým, že priečne zväčšenie nie je po celom poli obrazu rovnaké ➔ vzniká **porušenie geometrickej podobnosti medzi predmetom a jeho obrazom**

→ ak body pozorovaného predmetu sú usporiadané v priamkach, ktoré sa nachádzajú v rovine kolmej na hlavnú optickú os ➔

➔ **priamky predmetu sa zobrazia ako krivky vypuklé (súdkovité skreslenie)**

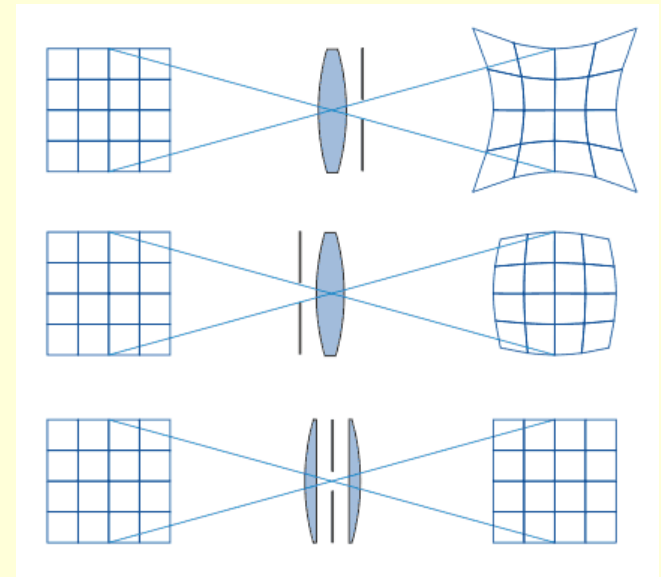
➔ **priamky predmetu sa zobrazia ako krivky duté (poduškovité skreslenie)**



neskresľuje sa zobrazenie jednotlivých bodov, ale ich **usporiadanie**

→ tým **väčšie**, čím sú priamky **vzdialenejšie od hlavnej optickej osi**

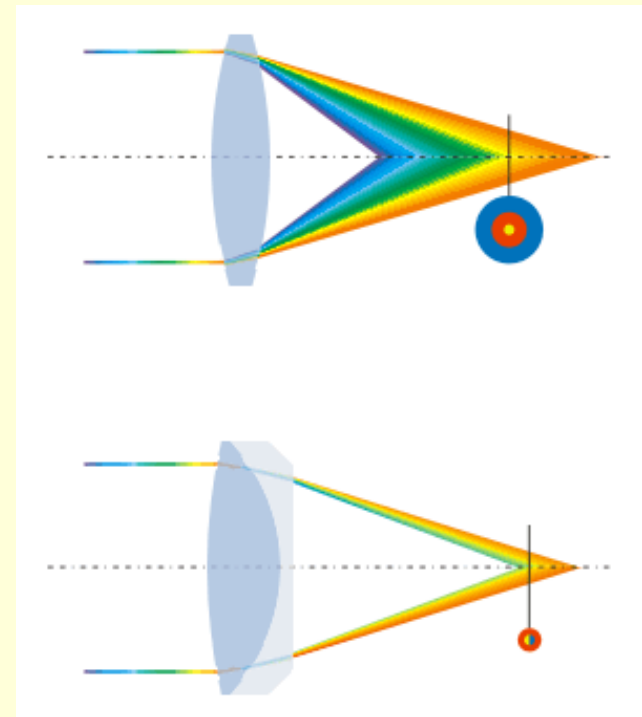
→ kompenzuje sa vhodnou kombináciou šošoviek s clonou v strede



CHYBY ŠOŠOVIEK alebo ŽIADNA ŠOŠOVKA SA NESPRÁVA IDEÁLNE

CHROMATICKÁ (FAREBNÁ) CHYBA

- spôsobená tým, že lúče bieleho svetla sa v šošovke lámu a rozkladajú na jednotlivé farebné zložky
- lúče jednotlivých farieb spektra sa nesústredujú v jednom ohnisku ➡ **každý farebný lúč vytvára vlastné ohnisko s rôzne veľkou ohniskovou vzdialenosťou:**
 - ➡ najviac sa lámu **fialové** lúče → ohnisko leží najbližšie pri šošovke ➡ najmenší obraz
 - ➡ najmenej sa lámu **červené** lúče → ohnisko leží najďalej od šošovky ➡ najväčší obraz
- vzniká:
 - ➡ **farebná chyba polohy** → každá farba spektra má obraz v inom mieste
 - ➡ **chyba veľkosti** → obrazy predmetov pre rôzne farby majú rôznu veľkosť
- spôsobuje **zhoršenie kvality obrazu**
- optické sústavy s korigovanou chybou ➡ **achromatizované**
(spojka a rozptylka z rôzneho skla)
(dve spojky vzdialené od seba o aritmetický priemer svojich ohniskových vzdialeností)



ÚLOHY:

Úloha č. 1: Pozorovanie farebných a zaoblených okrajov písmen

Princíp: Farebná (chromatická) chyba – spôsobená **disperziou svetla na jednotlivé monochromatické zložky** (dôsledok ich rôznych vlnových dĺžok a indexov lomu)

- lúče jednotlivých farieb spektra sa nesústreďujú v jednom ohnisku, naopak, **každá monochromatická zložka má svoje ohnisko**

Skreslenie – porušenie geometrickej podobnosti medzi pozorovaným predmetom a jeho obrazom

- priamky pozorovaného predmetu sa zobrazia ako **krivky vypuklé, alebo duté**

Materiál: lupa, zdroj svetla, papier, pero, farbičky

- Postup:**
1. na papier nakreslíme obraz – objekt pozorovania (písmeno, domček, ...)
 2. pohybujeme lupou a sledujeme disperziu svetelných lúčov na okrajoch pozorovaného objektu (dúhový efekt) a zakrivenie rovných línií
 3. pozorovanie zakreslíme

ÚLOHY:

Úloha č. 2: Zistenie zväčšenia neznámej lupy

Princíp: Lupa – spojná šošovka s ohniskovou vzdialenosťou $f < d$

- zobrazovanie lupou = zobrazovanie spojkou ➡ závisí od polohy pozorovaného predmetu
- jednoduché spojky → najväčšie zväčšenie cca $\gamma = 6$
- sústavy šošoviek → zväčšenie nanajvýš $\gamma = 30$

Materiál: lupa, zdroj svetla, tvrdá podložka (stena), pravítko, pero

Postup: 1. rozsvietime zdroj svetla

2. lupou pohybujeme smerom od zdroja svetla ku stene, pričom sledujeme a zaostrujeme výsledný obraz na stene

3. pomocou pravítka odmeráme ohniskovú vzdialenosť lupy (f)

4. vypočítame zväčšenie lupy podľa vzťahu: $\gamma = d / f$

→ γ – zväčšenie lupy

→ d – konvenčná zrková vzdialenosť = 250 mm

→ f – nameraná ohnisková vzdialenosť