

MUNI
PHARM

Optický systém oka. Optika. Optické přístroje.

Biofyzika

Obsah

1. ÚVOD
2. OKO
3. OČNÍ VADY
4. PŘÍSTROJE

MUNI
PHARM

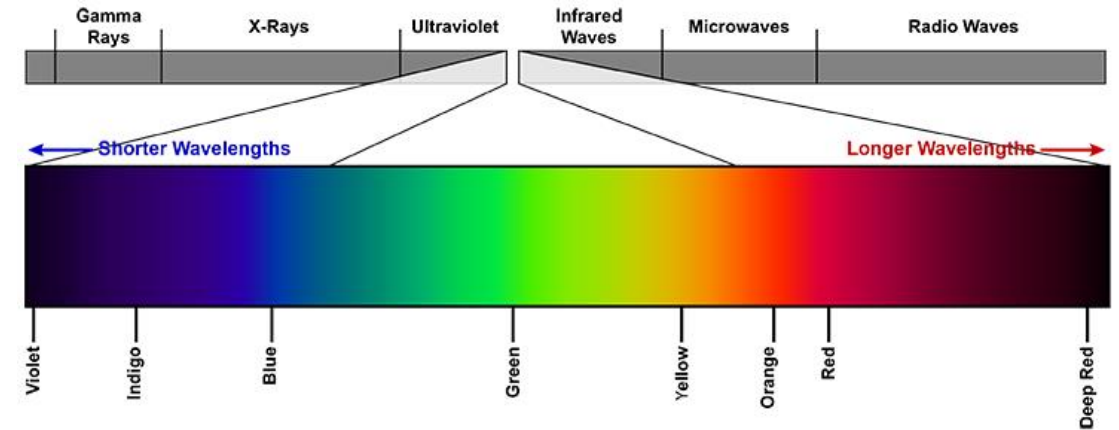
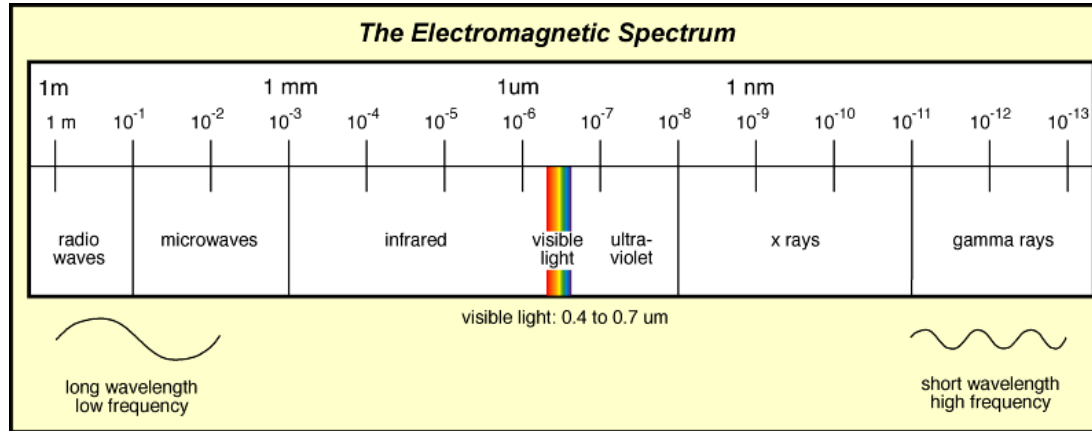
1. Úvod

Optika

Optika

- vědní obor fyziky zabývající se světlem a jeho šířením v různých prostředích
- studuje původ a zákonitosti světelných jevů, vzájemné působení světla a látky a zabývá se také detekcí světla.
- Paprsková optika (Odraz, lom světla, rozptyl....)
- Vlnová optika (Interference, difrakce, polarizace....)
- Kvantová optika (Fotoelektrický jev, Comptonův jev....)
- Fotometrie





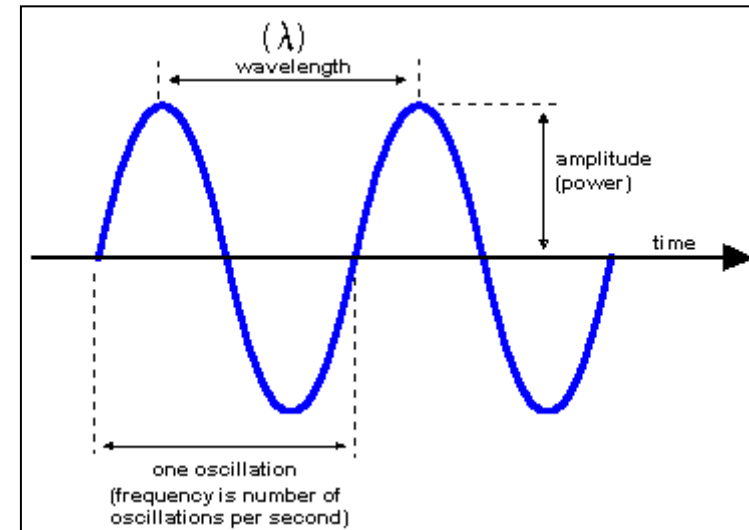
Elektromagnetické spektrum

Viditelné světlo

Vlastnosti záření

Vlnová délka

- poměr rychlosti světla ve vakuu ku frekvenci, tj. počtu kmitů za sec.
- vzdálenost dvou korespondujících bodů postupného periodického vlnění, např. dvou minim nebo dvou maxim
- vzdálenost, kterou urazí vlna za dobu jednoho kmitu (jedné periody)



$$\lambda = \frac{c}{f} \quad f - \text{frekvence kmitání.}$$

Optické prostředí

Index lomu

- bezrozměrná veličina specifická pro dané optické prostředí (resp. pro danou dvojici prostředí)
- charakterizuje rychlost šíření světla v daném prostředí.
- **absolutní** - poměr rychlosti šíření světla ve vakuu c a rychlosti v v daném prostředí
- **relativní** - poměr rychlosti šíření světla ve dvou optických prostředích v_1 a v_2

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

Látka	Index lomu [-]
diamant	2,42
etanol	1,36
glycerol	1,473
helium	1,000036
led	1,309
líh	1,36
oxid uhličitý	1,00045
safír	1,77
sklo	1,5 až 1,9
sůl	1,52
vakuum	1
voda	1,33
vzduch (normální tlak)	1,00026

Optické prostředí

Rozdělení :

Průhledné – nedochází k rozptylu světla (čiré sklo, struktury oka)

Průsvitné – světlo prostředím prochází, ale zčásti se v něm rozptyluje (matné sklo)

Neprůhledné – světlo se silně pohlcuje nebo se na povrchu odráží (zrcadlo)

Prostředí opticky stejnorodé (homogenní) – takové optické prostředí, které má ve svém objemu vždy stejné optické vlastnosti

Prostředí opticky izotropní – rychlost šíření světla v daném prostředí nezávisí na směru (sklo)

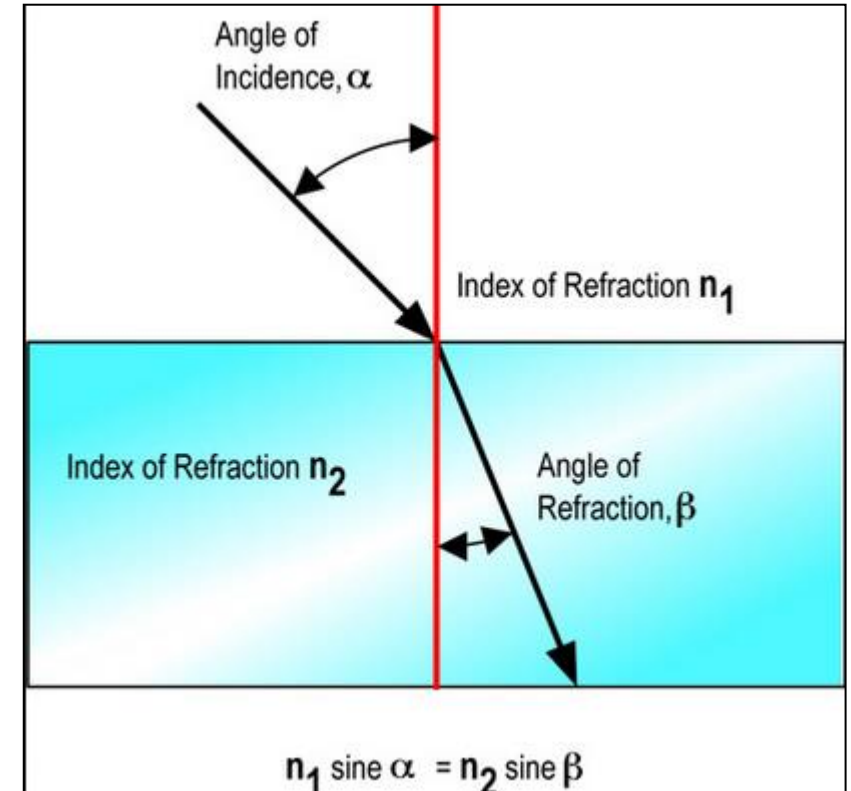
Prostředí opticky anizotropní – rychlost šíření světla závisí na směru šíření (např. křemen)

Optické prostředí

Šíření světla přes rozhraní dvou prostředí:

- **Odraz** (reflexe) - úhel odrazu = úhel dopadu
- **Lom** (refrakce) - **Snellův zákon** lomu světla
- Z opticky řidšího do opticky hustšího prostředí nastává lom ke kolmici
- Z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí nastává lom od kolmice
- poměr úhlů lomu odpovídá poměru rychlosti paprsků v prostředí a je rovný převrácenému poměru indexů lomu prostředí.

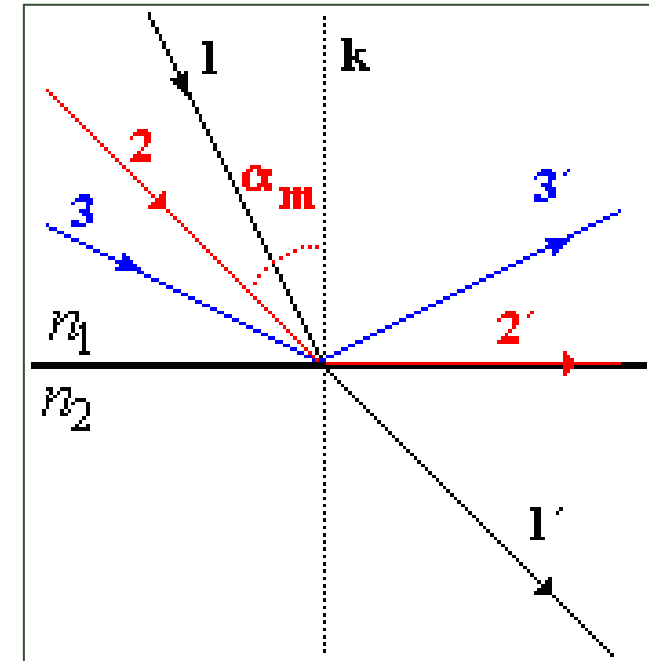
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



Optické prostředí

Úplný odraz

- Při přechodu z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího
- Se zvětšujícím se úhlem dopadu se zvětšuje i úhel lomu
- Při dosažení hodnoty mezního úhlu dochází k lomu v úhlu 90°
- Při překročení hodnoty **mezního úhlu** dochází k úplnému odrazu
- Využití – **optická vlákna**



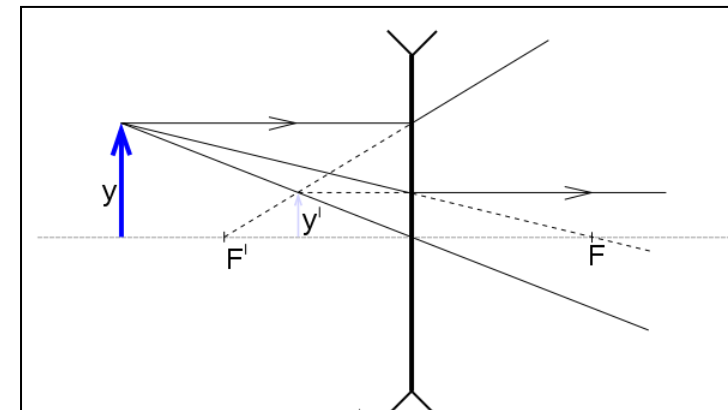
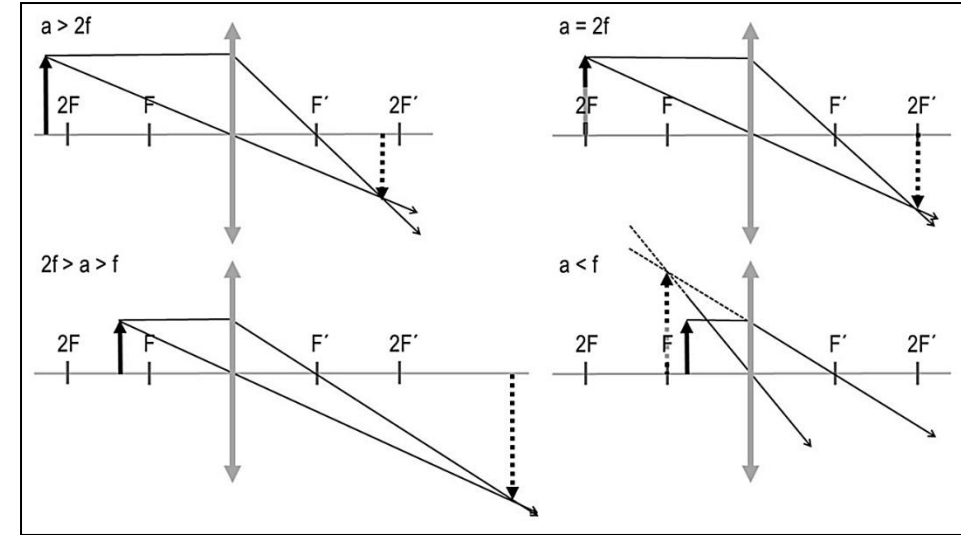
Čočky

Optická soustava

- alespoň jedna rovina zakřivená
- průhledný materiál (sklo, plast, gel...)

Spojka x Rozptylka

- spojka má obě ohniska **skutečná**,
- rozptylka má obě ohniska **neskutečná**!
- způsob zakřivení vliv na ohniskovou vzdálenost



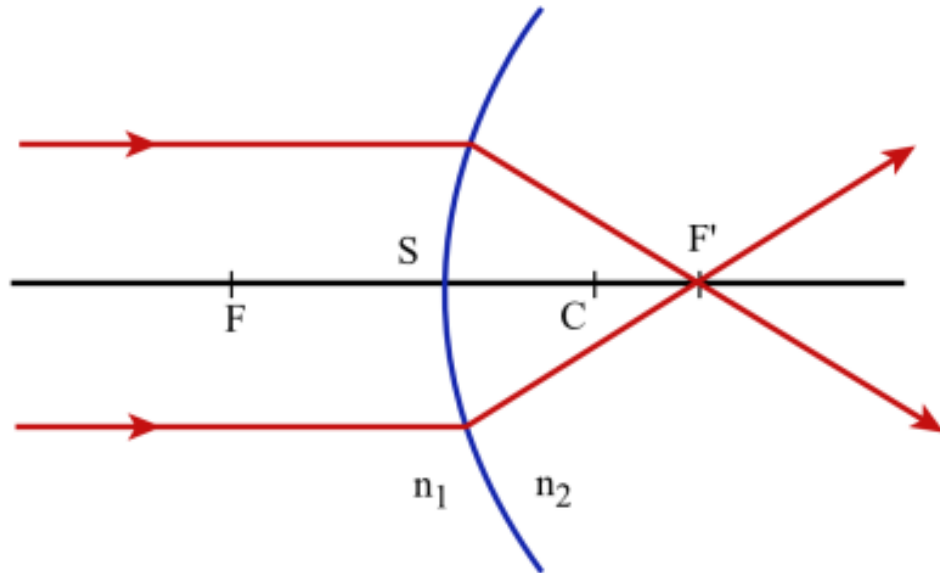
Zobrazení čočkami

čočka	a	a'	Z	$ Z $	Vlastnosti obrazu
spojka	$a < f$	$a' < 0$	$Z > 0$	$ Z > 1$	zvětšený, přímý, zdánlivý
	$a = f$	$a' \rightarrow \infty$			obraz je v nekonečnu
	$f < a < 2f$	$a' > 0$	$Z < 0$	$ Z > 1$	zvětšený, převrácený, skutečný
	$a = 2f$	$a' > 0$	$Z < 0$	$ Z = 1$	stejně velký, převrácený, skutečný
	$a > 2f$	$a' > 0$	$Z < 0$	$ Z < 1$	zmenšený, převrácený, skutečný
rozptylka	$\infty > a > 0$	$a' < 0$	$Z > 0$	$ Z < 1$	zmenšený, přímý, zdánlivý

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a}$$

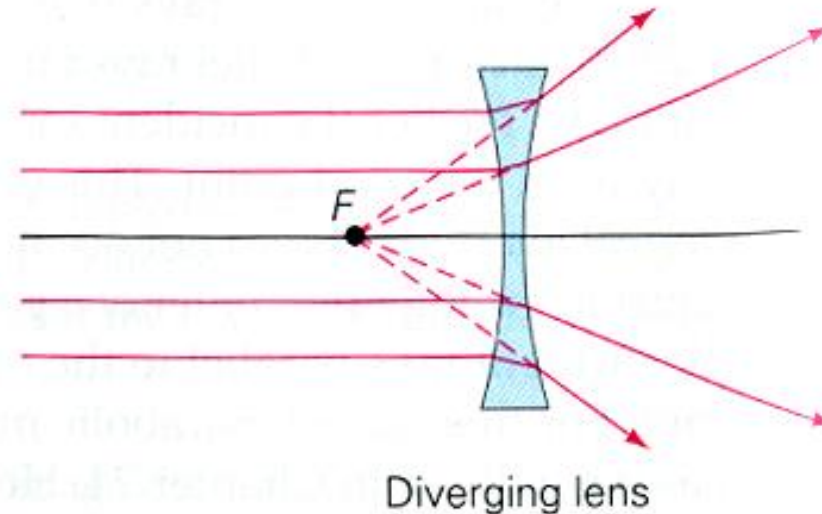
y = příčná velikost
 a = vzdálenost od čočky
 Z = zvětšení

Dioptrie



Dioptrie je jednotka **optické mohutnosti** sférické čočky definovaná jako převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti; vyjadřuje zakřivení čočky (lámatvou schopnost), má tedy rozměr m^{-1}

Pro **spojku** s ohniskovou vzdáleností $F' = 0,5 \text{ m} \approx 1/0,5 = +2$ Dioptrie [m^{-1}]



Pro **rozptylky** je optická mohutnost hodnota se záporným znaménkem.

$F' = 0,5 \text{ m} \approx 1/0,5 = -2$ Dioptrie [m^{-1}]

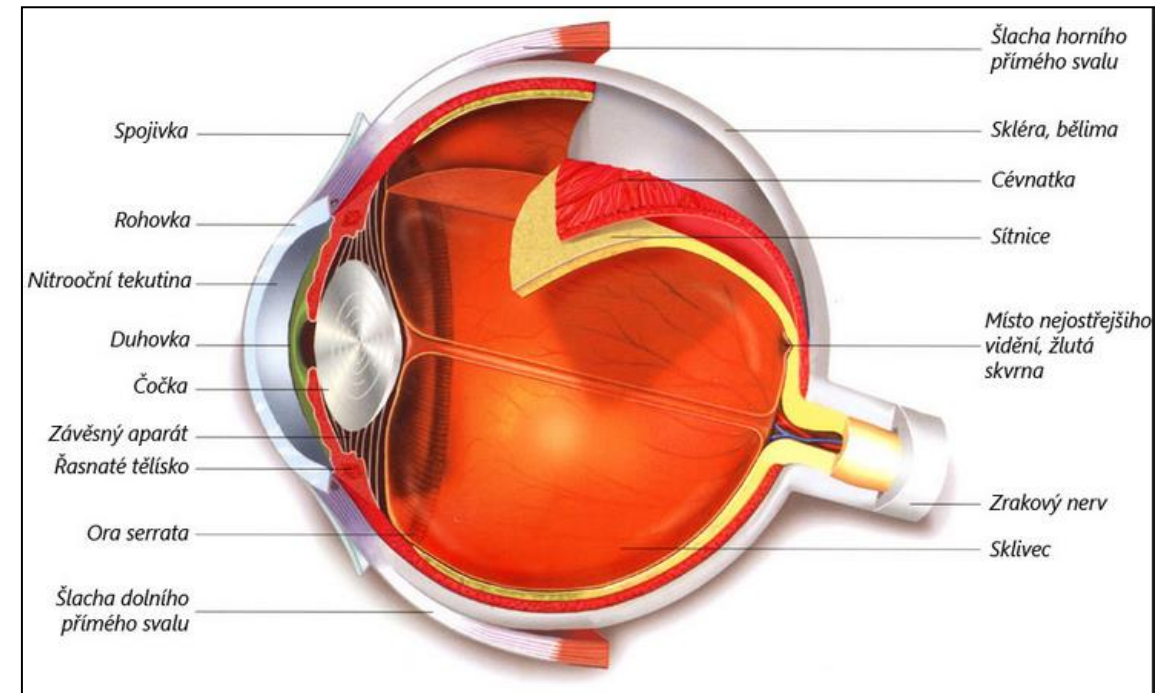
2. Biofyzika vnímání světelných podnětů

Optika

Biofyzika vnímání světelných podnětů

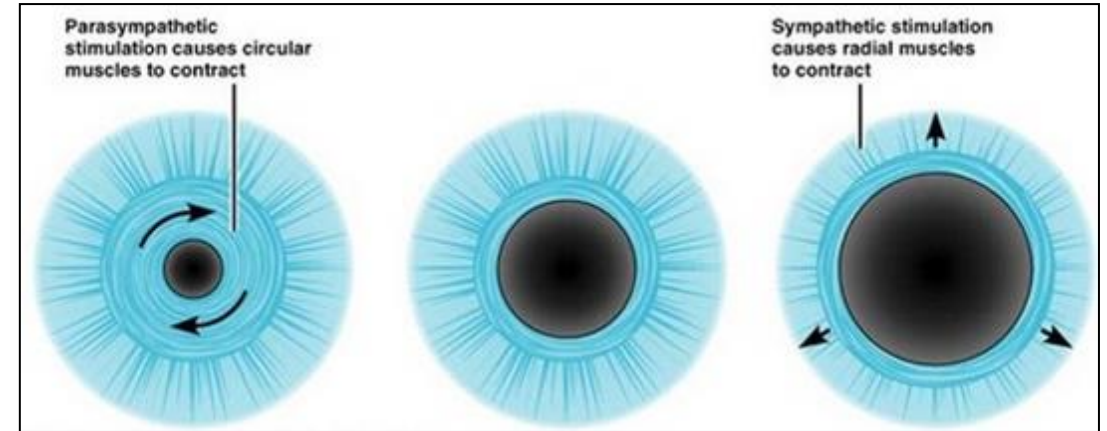
Vidění

- Příjem a zpracování informace o vnějším světě
- zprostředkované **fotony o $\lambda = 380-780 \text{ nm}$**
- **Zrakový analyzátor** = Oko + Optické Dráhy + Zrakové centrum
- Cílem struktury lidského oka: zaostřit paprsek světla na sítnici
- Části oka, přes které procházejí paprsky světla, jsou **průhledné optické prostředí**
- Rohovka a čočka paprsek světla spojují a zaostřují na sítnici
- Dopadající světlo způsobuje chemické přeměny ve světločivných buňkách (**tyčinky + čípky**)
- Tyto přeměny pak propagují jako **nervové impulsy** zrakovým nervem do mozku



Optický systém oka

- Kulovitý orgán o průměru přibližně 2,4 cm
- **Přední komora** oční je prostor mezi rohovkou - duhovkou
- **Zadní komora** oční je prostor mezi duhovkou – čočkou
- Sklivec (*corpus vitreum*) vyplňuje nitro oka
- Hybnost oka zajištěna **6 okohybnými svaly**
- Stěna oční koule je tvořena vnější bělimou (sclera), střední cévnatkou (choroidea), vnitřní sítnicí (retina)
- Bělma přechází v přední části oka v **průhlednou rohovku** (cornea)
- Cévnatka přechází v přední části oka v **řasnaté tělísko** (*corpus ciliare*) - obsahuje **akomodační svaly** a z nich vycházející vlákna uchycená na **čočku**
- Dále cévnatka přechází v **duhovku** (*iris*) s kruhovým otvorem – zornicí (*pupila*) – **funkce clony**
- Za duhovkou je uložena čočka (*lens cristalina*), ve své poloze udržována vlákny z řasnatého tělíska
- Sítnice obsahuje tyčinky (75 - 150 miliónů buněk) a čípky (3,5 - 7 miliónů buněk)
- **Žlutá skvrna** je místo s největší koncentrací čípků

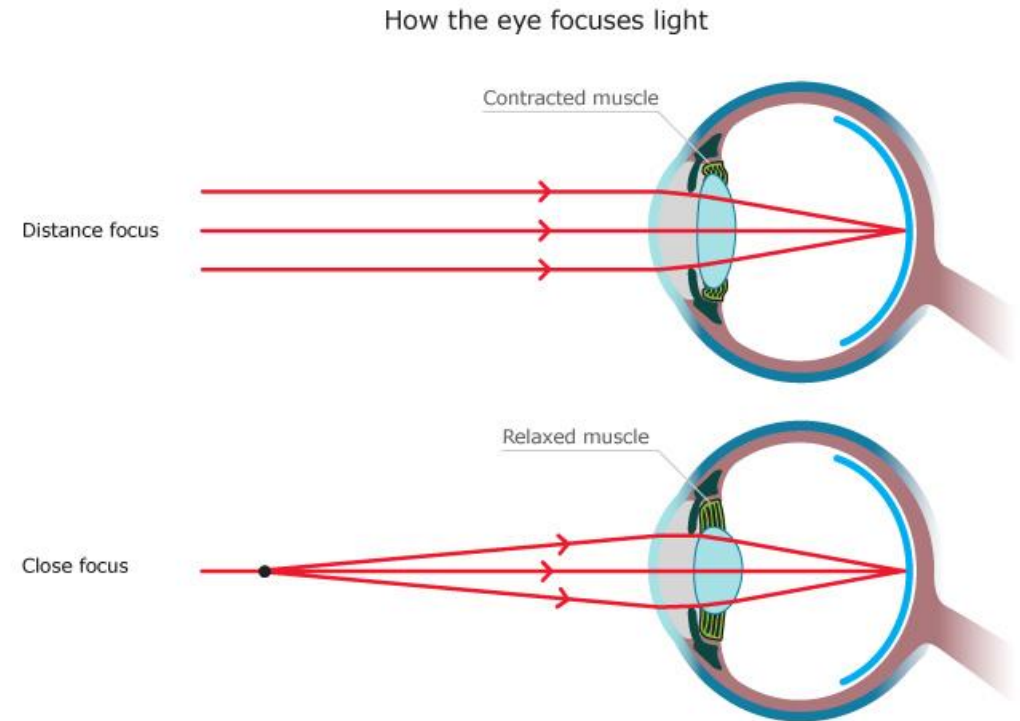


Optická mohutnost oka, akomodace

Optická mohutnost oka je přibližně **+60 D**, což je dáno především zakřivením očních struktur a indexem lomu očních tekutin

Akomodace

- je schopnost měnit **optickou mohutnost** čočky podle vzdálenosti pozorovaného objektu
 - **Bod daleký** je ostře vidět bez akomodace, svaly upnuté na čočku jsou **kontrahovány**
 - **Bod blízký** je ostře vidět s maximální akomodací, svaly upnuté na čočku jsou **relaxovány**



© Copyright. 2012. University of Waikato. All Rights Reserved.

Optický systém oka

- Světelný paprsek prochází několika různými prostředími
- pro zjednodušení se používá **Gullstrandův model**
- Průměrné hodnoty

Index lomu	Rohovka	1,376
	Komorová voda	1,336
	Čočka	1,413
	Sklivec	1,336
Poloměry křivosti	Rohovka	7,8 mm
	Přední plocha čočky	10,0 mm
	Zadní plocha čočky	- 6,0 mm
Optická mohutnost	Rohovka	42,7 D
	Čočka uvnitř oka	21,7 D
	Oko jako celek	60,5 D
Poloha ohnisek	Ohnisko předmětové	- 14,99 mm
	Ohnisko obrazové	23,9 mm
	Poloha sítnice	23,9 mm

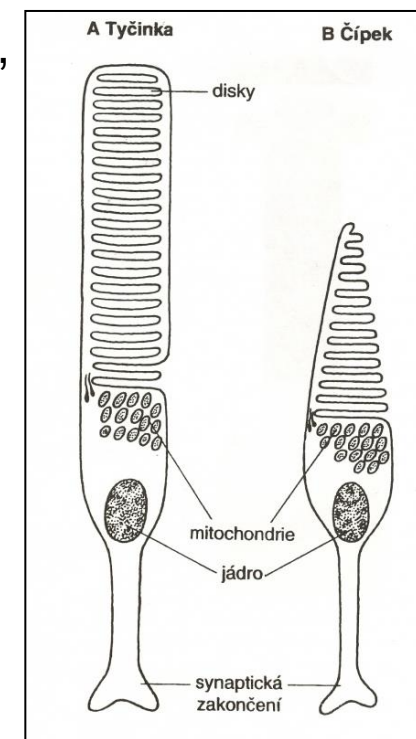
Čípky a tyčinky

- **Světločivné buňky** – schopné zachytit **foton**, což způsobí **depolarizaci membrány** gliových buněk
- **Čípky** - barevné vidění při vyšších intenzitách, největší hustota ve **žluté skvrně**, nejcitlivější na žluto-zelené světlo v oblasti 555 nm
- **Tyčinky** - citlivé i za šera, nejcitlivější na zeleno-modré světlo v oblasti 507 nm

Rhodopsin (membrána disku)
-obsahuje na světlo citlivou molekulu **retinal**

Vnější membrána tyčinky:
sodné kanály regulované cGMP – Na⁺ proniká do buňky a depolarizuje membránu disku

1. Dopadá foton = izomerizace retinalu = aktivace rhodopsinu
2. Aktivovaný rhodopsin na sebe váže protein transducin (G-protein)
3. Aktivace transducinu (GDP – GTP)
4. G-alfa podjednotka transducinu se odpojí a naváže se na cGMP fosfodiesterázu
5. cGMP je tímto enzymem přeměněn na 5'-GMP
6. Uzavření Na⁺ kanálu
7. Hyperpolarizace membrány
8. Tvorba elektrického vzruchu



Barevné vidění, Adaptace oka na světlo

Barevné vidění

Vnímání barev – čípky

- Teorie barevného vidění předpokládá **tři druhy čípků** s různou spektrální citlivostí
- **Tři různé typy opsinu** (vit A+ opsin = rodopsin)
- **Tyčinky** registrují patrně všechny vlnové délky kromě červené, **ale neúčastní se** barevného vidění – při malých intenzitách se snižuje barvocit

Trichromatická teorie

- Helmholtz – červená, zelená, modrá (RGB)
- Young/Lomonosov – červená, modrá, žlutá

Adaptace oka na světlo

- **Fotopické vidění – denní**, zprostředkováno **čípky** za vyšší intenzity světla, nastupuje při jasu 10^2 cd.m^{-2} , adaptace probíhá **20-60 sekund**.
- **Skotopické vidění noční**, zprostředkováno **tyčinkami** za šera, převládá při jasu $10^{-3} \text{ cd.m}^{-2}$, adaptace probíhá **40 - 60 minut**
- **Mezopické vidění** – oba druhy fotoreceptorů jsou v činnosti, při jasu $10^{-3} - 10^2 \text{ cd.m}^{-2}$
- **Šeroslepost** – snížená adaptační schopnost může být dědičná, nebo při avitaminóze vit. A, nevytváří se dostatek rhodopsinu. Dochází k poruše vidění za šera.

3. Oční vady

Optika

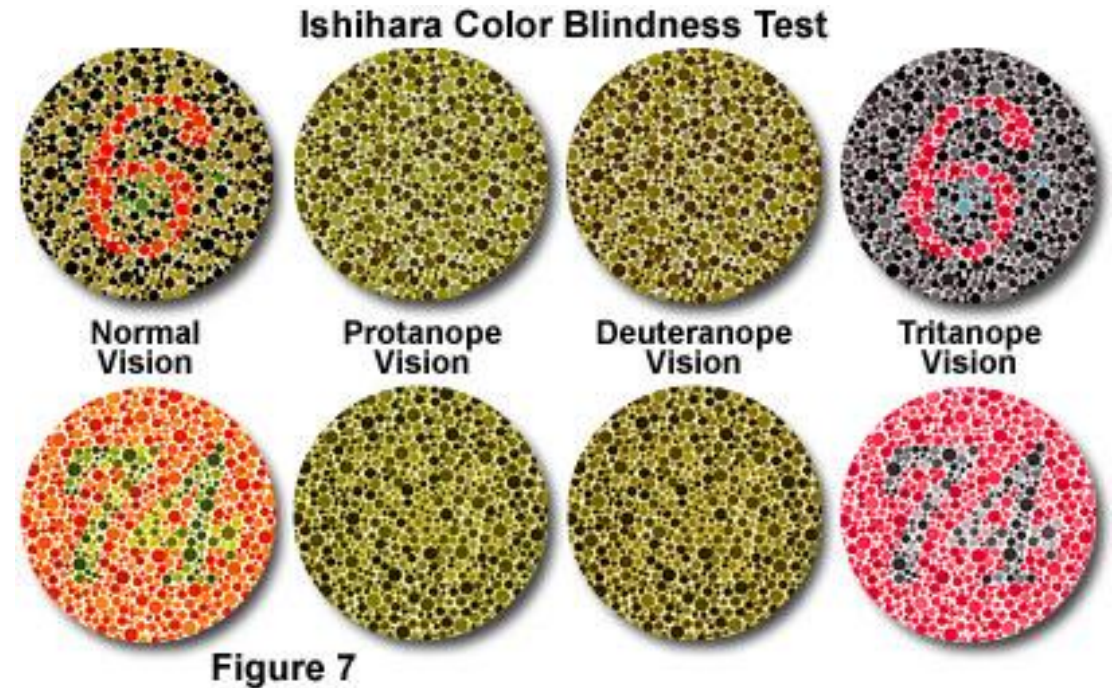
Barvoslepost

Monochromazie – úplná barvoslepost

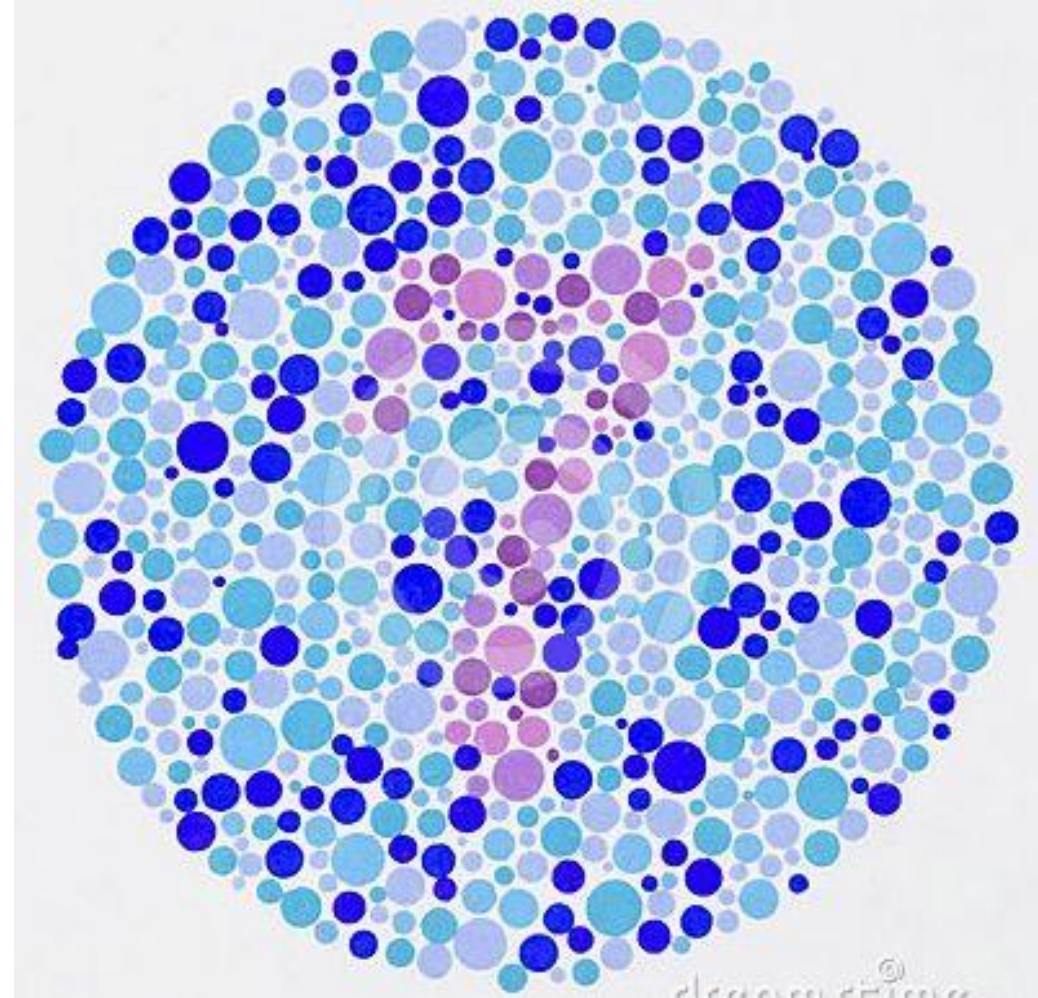
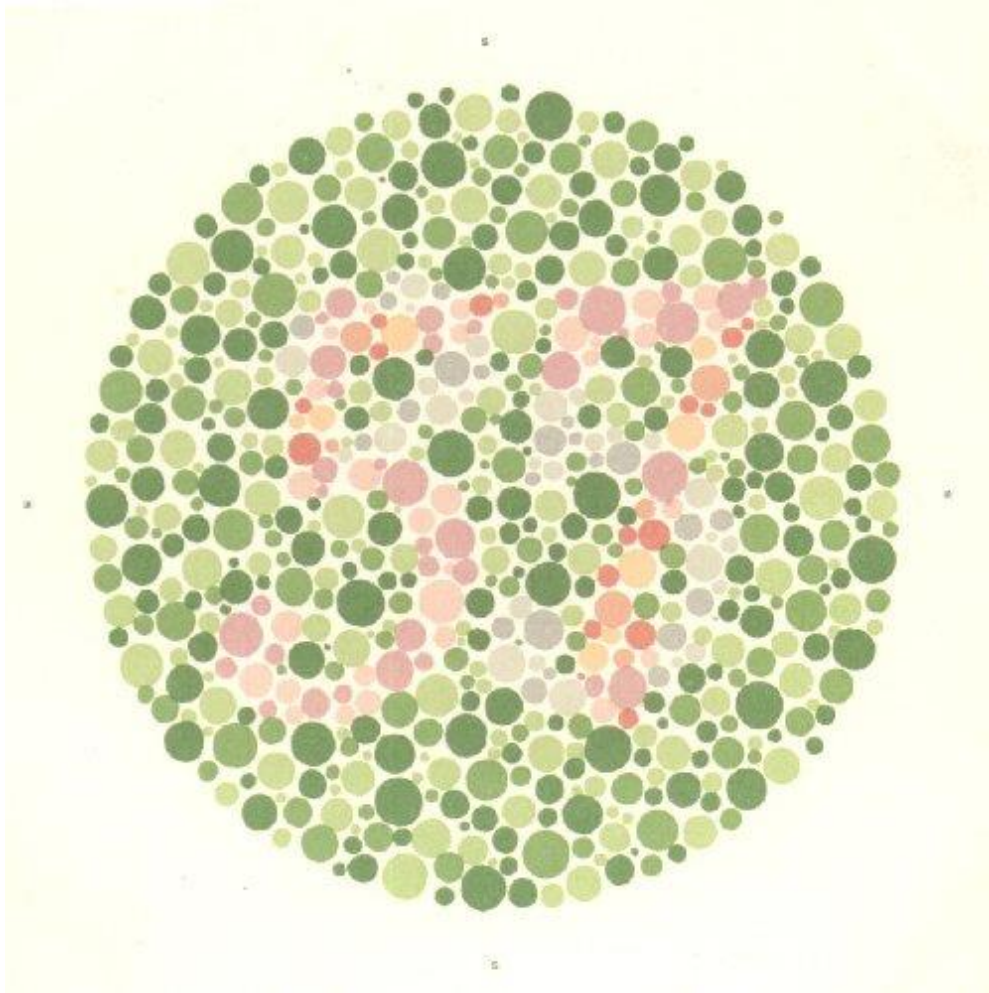
Dichromazie – částečná porucha vnímání barev (protanopie – červená; deuteranopie – zelená; tritanopie - modrá)

Vyšetření barvosleposti:

pseudoisochromatické tabulky



Barvoslepost



Zákal

Zelený zákal (glaukom)

Tvorba komorové vody

- Fyziologicky tvorba a odtok v rovnováze; stálý tlak 2,66 kPa
- Odchytky +/- 0,3 kPa značí vážnou oční poruchu
- Porucha regulace tvorby nitrooční tekutiny, ucpání odtokových kanálků...

NORMAL VISION



ADVANCED GLAUCOMA



EARLY GLAUCOMA



EXTREME GLAUCOMA



Šedý zákal (katarakta)

Zakalení čočky

- Senilní katarakta
- Úrazy, záněty
- Vrozená katarakta

Odstranění zkaleného jádra čočky

- Ultrazvuk
- Laser

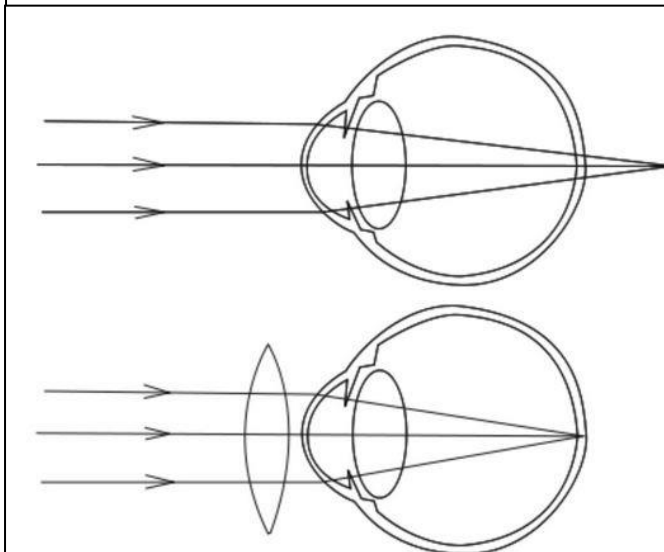
Presbyopie (vetchozrakost)

- **Akomodace**, tj. schopnost zaostřit blízký bod, **se s postupujícím věkem snižuje.**
- Elasticita čočky se začne zmenšovat mezi 40-45 rokem a zcela vymizí mezi 70-80 rokem.
- U zdravého dospělého člověka má oko schopnost zaostřit na blízký bod ve vzdálenosti cca 25 cm, tj. 4 D.
- V opačném případě **nastává presbyopie**, tj. **pokud je akomodační šíře $< 4D$, tj. > 25 cm.**
- **Paprsky pak dopadají za sítnici**

Ametropie sferické

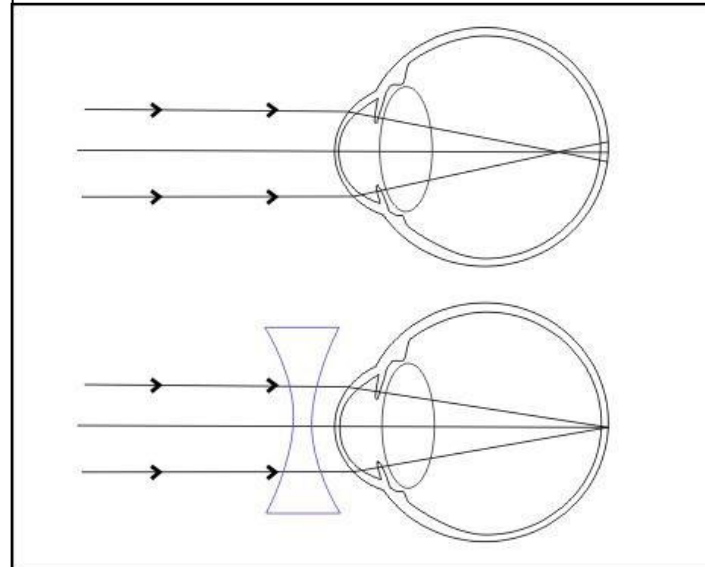
Hypermetropie (dalekozrakost)

- Patří mezi sférické vady, kdy **optické ohnisko leží za sítnicí; řešení = spojka**
- **Axiální:** oční koule je příliš krátká
- **Refrakční:** oko má menší lomivost



Myopie (krátkozrakost)

- Patří mezi sférické vady, kdy **optické ohnisko leží před sítnicí; řešení = rozptylka**
- **Axiální:** oční koule je příliš dlouhá
- **Refrakční:** oko má větší lomivost



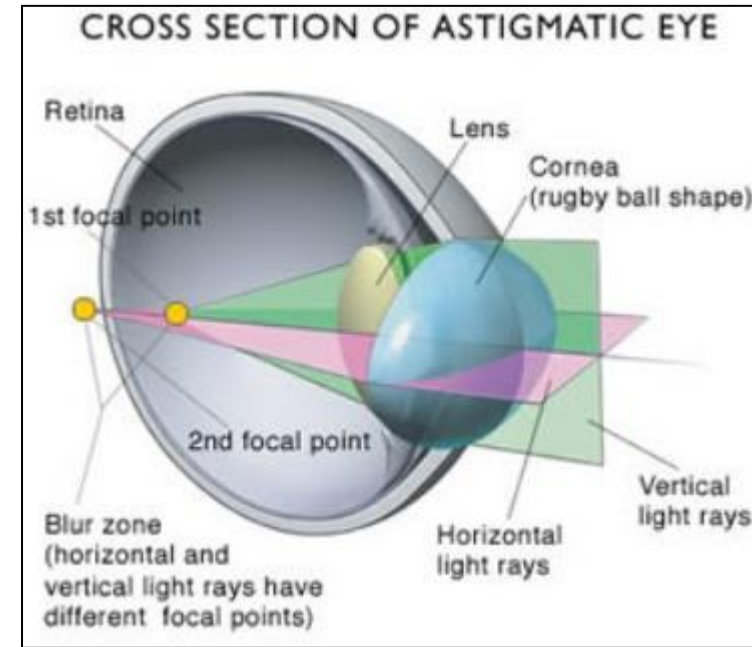
Ametropie asferická

Astigmatismus

- Je způsoben **asymetrií optické mohutnosti rohovky**.
- Rohovka nemá stejné zakřivení ve všech rovinách procházející optickou osou. Patří mezi **asférické vady**.

Stupeň astigmatismu

- Rozdíl v dioptriích mezi maximálním a minimálním zakřivením rohovky
- Vyšetření: Keratometr - podle zrcadlení testovacích světel na rohovce měří její zakřivení



4. Optické přístroje, mikroskopie

Optika

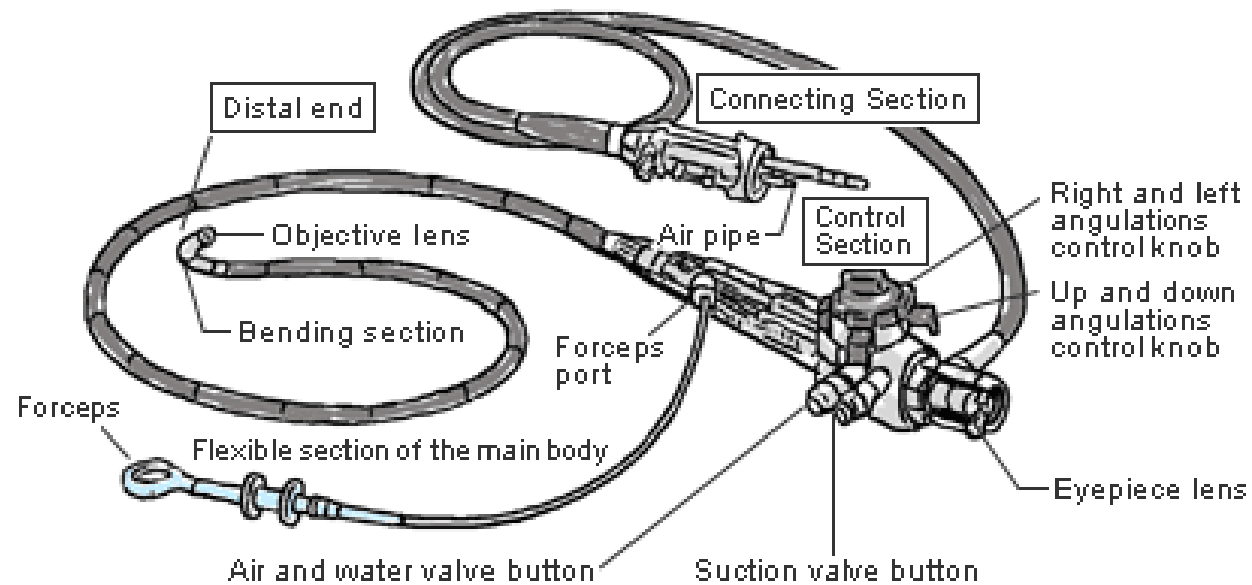
Endoskopie

- Metoda umožňující prohlédnutí vnitřních tělesných dutin nebo dutých orgánů
- Možnost biopsie
- V kombinaci s další výbavou součástí chirurgických sestav
- **Endoskopická zrcadla**
 - Laryngoskopické zrcátko (laryngoskop)
 - Ušní zrcátko (otoskop)
 - Nosní kleště (rinoskop)
 - Oční zrcátko - slouží k sledování odrazu světelných paprsků od sítnice, pro zjišťování refrakčních vad lomu oka.



Endoskopie

- **Rigidní endoskopy** – kovová trubice (objektiv, okulár, převáděcí soustava); žárovka na konci trubice)
- **Fibroendoskop** – svazek optických vláken – systém přenáší světlo (zdroj mimo pacienta) a na zpět obraz; až 30 000 vláken



Optická vlákna

Princip:

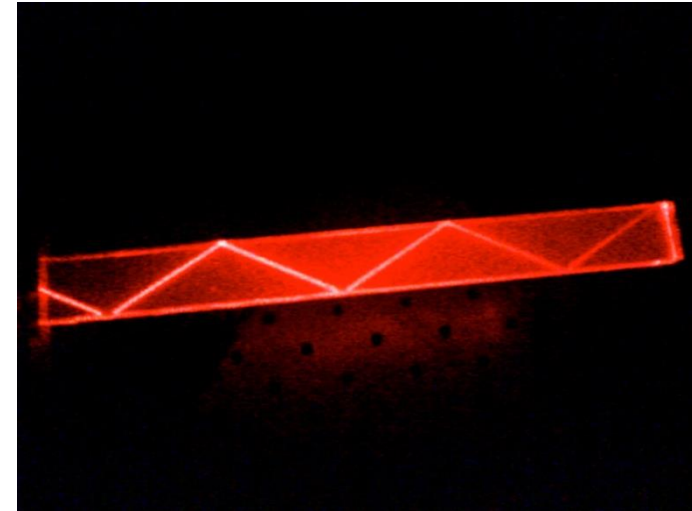
Vlákno složeno z jádra a obalu

- Dvě opticky různá prostředí
 - Jádro = vyšší index lomu (1,48)
 - Obal = nižší index lomu (1,46)
- Úplný odraz

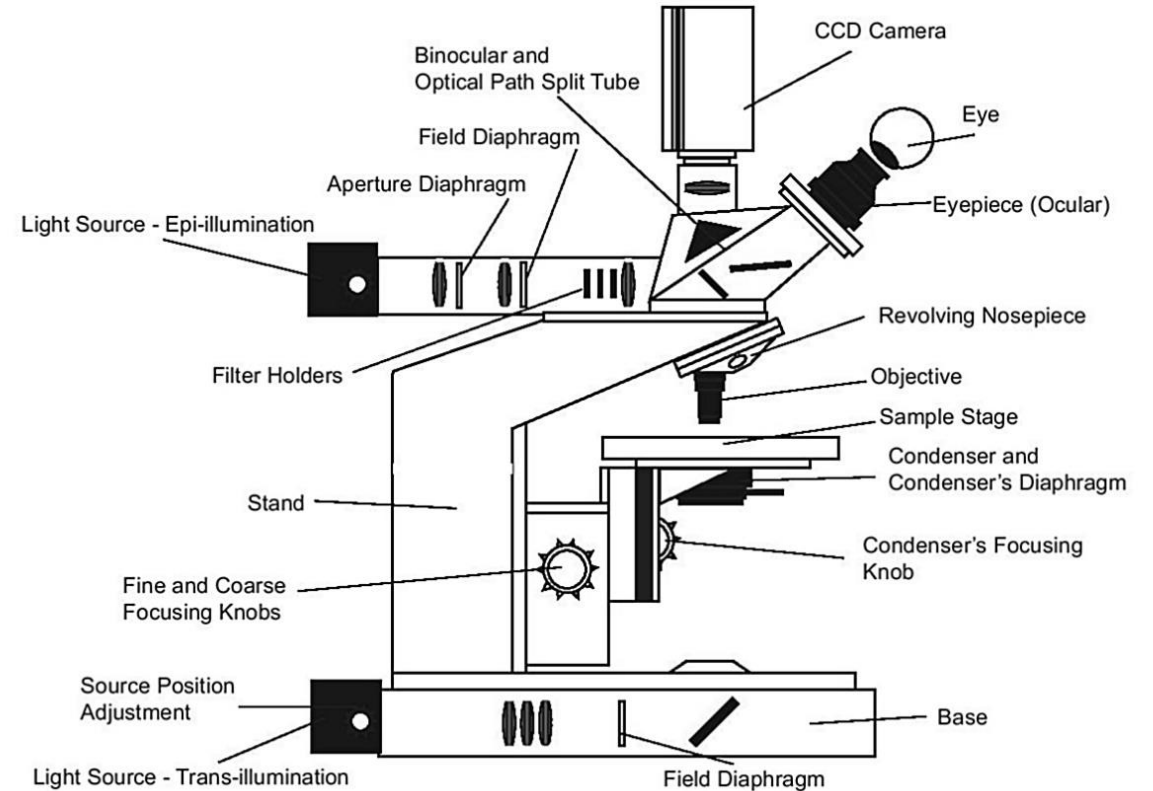
Materiál: Sklo/Plast

Výhody

- Menší ztráta signálu na jednotce délky vodiče
- Vyšší rychlost přenosu
- Odolnost vůči EM interferenci



Optická mikroskopie



Optická mikroskopie

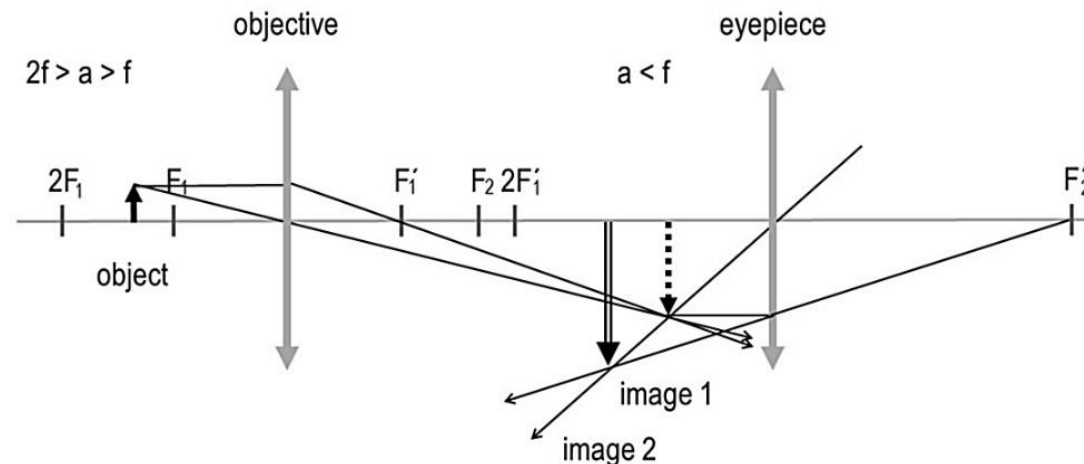
- **Rozlišovací mez**, δ , je minimální vzdálenost dvou rozlišitelných bodů
 - Lze ji popsat vztahem $\delta = \lambda / (n \cdot \sin \alpha)$ [mm]
 - Jak vyplývá ze vztahu, rozlišovací schopnost lze ovlivnit **vlnovou délkou λ**
 - Rozlišovací mez řádově odpovídá vlnové délce použitého vlnění
 - Pro UV-VIS mikroskopické metody tedy v řádu desetin mikrometru
 - Dále lze rozlišovací schopnost ovlivnit tzv. **numerickou aperturou**, tj. výrazem ve jmenovateli (**$n \cdot \sin \alpha$**)

Použití **imerzní metody**: mezi vzorek a čočku kápneme kapalinu s větším indexem lomu
Používá se například cedrový olej s $n = 1,52$

- **Lidské oko**
 - rozliší předmět o velikosti přibližně 150 mikrometrů
 - Dva body předmětu jsou rozlišitelné, dopadají-li paprsky světla od tohoto předmětu na sítnici od sebe ve vzdálenosti alespoň jedné neosvícené buňky

Optická mikroskopie

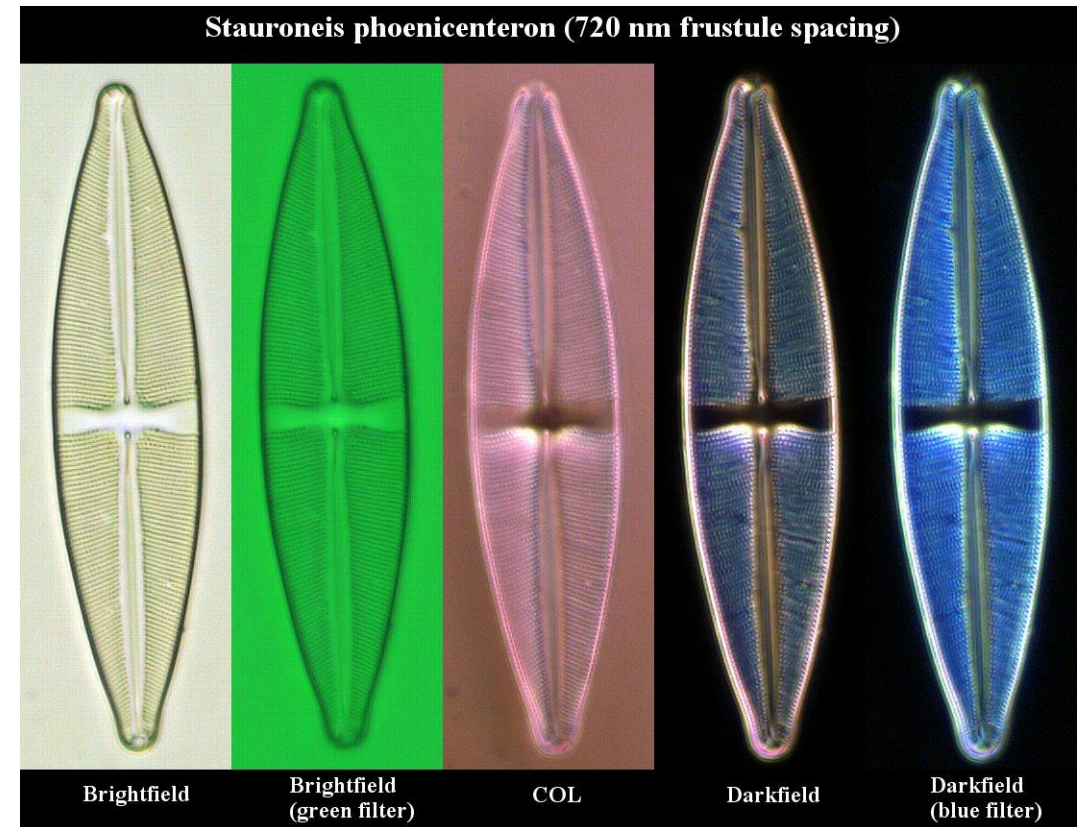
- **Objektiv**- spojná soustava čoček, malá ohnisková vzdálenost (1,5–20 mm), obraz předmětu je **převrácený, skutečný a zvětšený**, obraz může být zvětšen až 150×
- **Okulár**- spojná soustava čoček, obraz zvětšen až 20×), nezvětšuje již rozlišovací schopnost mikroskopu, **konečný obraz** předmětu je **převrácený, zdánlivý, zvětšený**
- Celkové zvětšení mikroskopu je dáno násobkem příčného zvětšení objektivu a úhlového zvětšení okuláru (lupy)



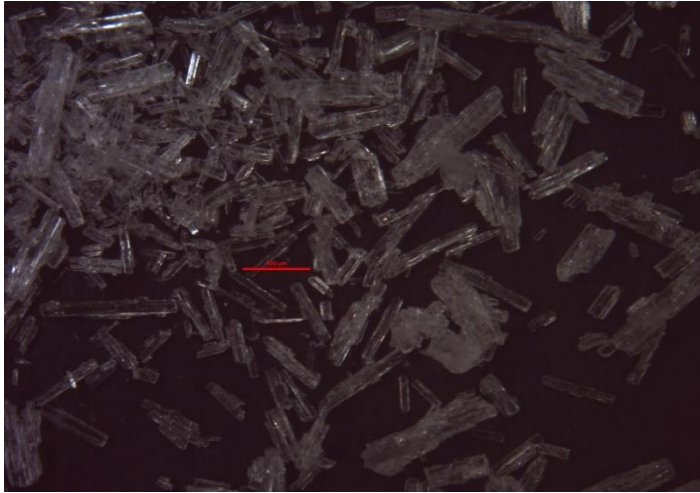
Optická mikroskopie

Typy optické mikroskopie

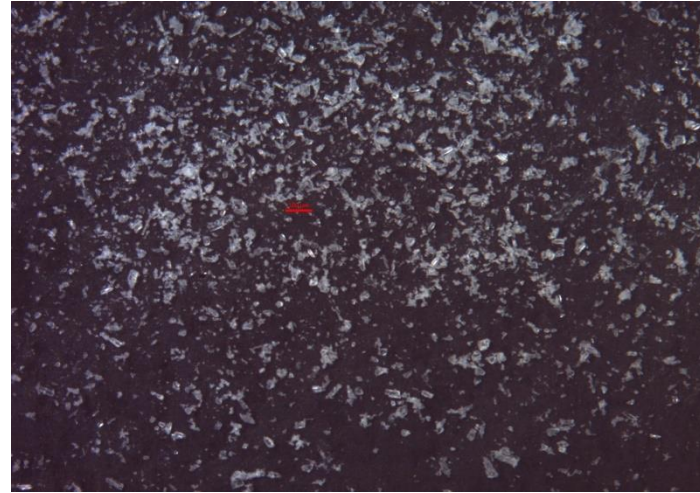
- Světlé pole
- Temné pole
- Metoda fázového kontrastu
- UV a IR mikroskopie
- Luminiscenční mikroskopie



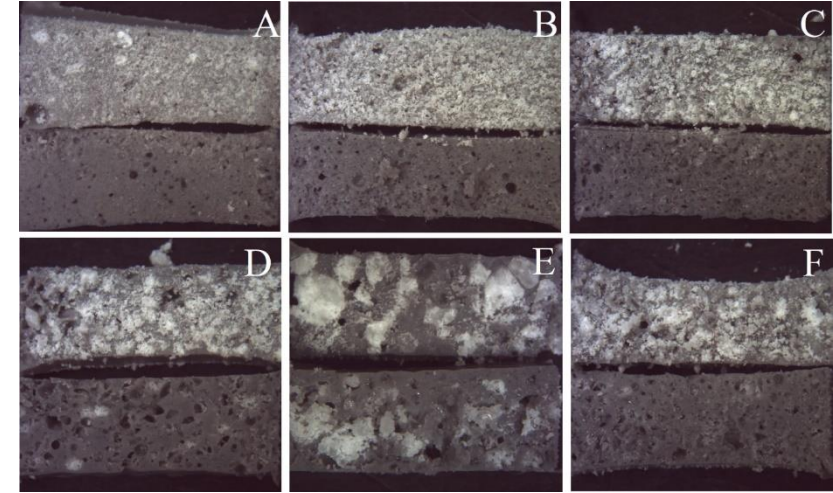
Optická mikroskopie



20x zv (500 mikrom.)

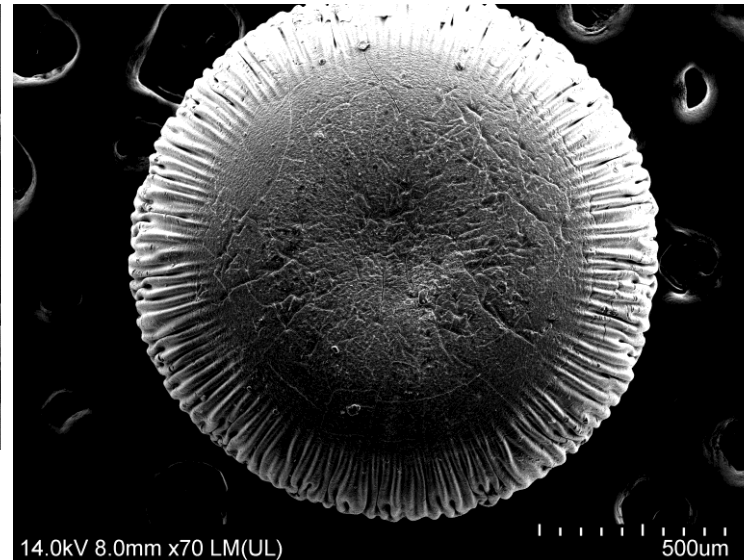
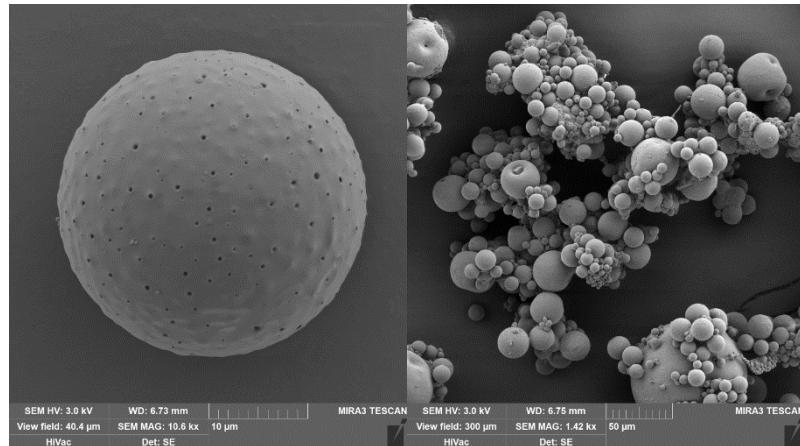
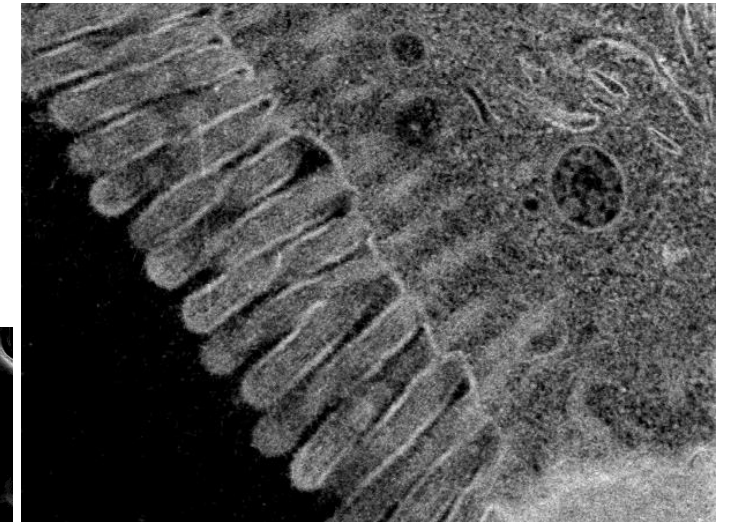


40x zv (100 mikrom.)



Elektronová mikroskopie

- Fotony nahrazeny elektrony, systém elektromagnetických čoček (pole působí na elektron, jejich dráha podobná spirále)
- Transmisní elektronová mikroskopie (TEM)
- Rastrovací elektronová mikroskopie (REM; také skenovací – SEM)



Mikroskopie atomových sil (AFM)

- Sondová mikroskopie
- Sonda na pružině řádkuje vzorek přibližně ve vzdálenosti podobné vzdálenosti působení van der Waalsových sil
- Deformace pružiny, způsobená interakcí sondy s povrchem, je detekovaná laserovým paprskem odraženým do fotodektoru
- Miliardová zvětšení, jednotlivé atomy

