

# Vnímání barev

Doc. RNDr. Petr Sládek, CSc.  
Katedra fyziky  
Pedagogická fakulta MU

# 1. Barvy kolem nás

- Problematika vnímání barev a jejich působení na člověka je dosti opomíjena, ač se s barvou a jejím působením na nás setkáváme již od svého narození a pak v průběhu celého našeho dalšího života.
- Často však vůbec nevíme, co je to barva
- Čím to je, že jedna květina je červená a druhá žlutá?
- Proč je tráva zelená? A nebe modré?
- Kde získala duha na obloze své barvy?

- Barva je podobně jako třeba číslo jen abstraktní, nehmátatelný pojem, neboť svět kolem nás je ve skutečnosti nebarevný.
- Všechny barvy jsou totiž ukryty ve světle, které se našemu zraku zdá bezbarvé.
- Ze světla se však barvy rodí, ve světle barvy žijí a bez světla barvy zanikají.

- Člověk je přitom po celý život vystaven působení barev. Barvy provázejí člověka na každém kroku.
- Ale nejsou pro nás jen tím, co vidíme, nepoddávají se jen pasivně našemu zraku, působí i na naši psychiku, ovlivňují naše city a naše jednání.
- Je těžké si představit, jak by svět vypadal bez barev.

- Člověk je přitom po celý život vystaven působení barev. Barvy provázejí člověka na každém kroku.
- Ale nejsou pro nás jen tím, co vidíme, nepoddávají se jen pasivně našemu zraku, působí i na naši psychiku, ovlivňují naše city a naše jednání.
- Je těžké si představit, jak by svět vypadal bez barev.

- První barvy jsme spatřili hned poté, co jsme poprvé na tomto světě otevřeli oči, proto barvy neodmyslitelně patří k lidskému vnímání.
- Barva je to první, co vnímáme, pak teprve vnímáme tvary, detaily,... Je pro nás často jednodušší si vybavit barvu předmětu než například jeho tvar.

## 2. Vývoj poznání povahy světla

- V bibli stojí, že světlo stvořil bůh – přednostně před vším ostatním, dokonce o tři dny dříve než Slunce.
- Otázka poznání světla

- Antika:

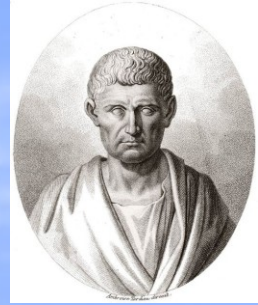
## Empedokles (490 před Kristem)



světlo má místní pohyb a šíří se mezi zemí a oblohou, aniž to můžeme pozorovat

- Démokrites (asi 460 – 370 před Kristem) byl přesvědčen, že světlo je proud částic, které neustále vysílá každý viditelný předmět.





- **Aristotelés**, (384 – 322 před Kristem) , byl přesvědčen, že „světlo je bezbarvá, statická matérie, jež je opakem tmy“. Aristotelés, který byl největší autoritou nejen starověké, ale i středověké vědy, postřehl, že existuje nějaká souvislost mezi světlem a barvami.
- Navíc : ...ono „průhledné“ šíří asi jako vlnky po vodní hladině.

→ A tehdy začal vědecký spor, jenž se táhne až do dneška – více než dva tisíce let:

**Je světlo vlnění, nebo proud částic?**

- 2. polovina 17. století - dvě teorie korpuskulární X ondulační
  - **Pierre Gassendi** (1592 -1655) obhajoval korpuskulární teorii: **světlo je proud drobných částic šířících se nepředstavitelně velkou rychlostí.**
  - **Christiaan Huygens** (1629 -1695) Roku 1690 vydal holandský učenec v Paříži spis o **vlnové teorie světla** nazvaný *Traité de la lumière (Traktát o světle)*. Huygens byl první, kdo našel různé argumenty proti Gassendiho korpuskulární světelné koncepci a svou teorií, že světlo tvoří vlny, snáze **vysvětlil např. lom světla při jeho přechodu ze vzduchu do skla nebo do vody.**
- K šíření světelných vln však potřeboval prostředí – tzv. **éter**

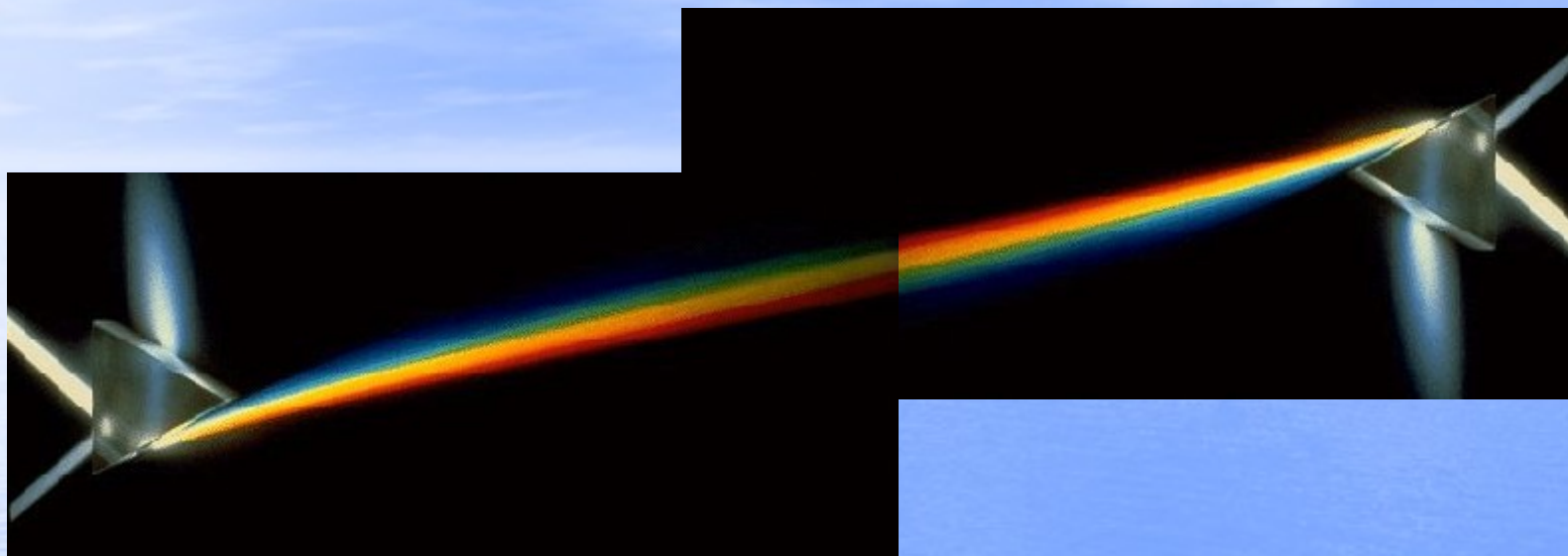




- **Isaac Newton** (1643 -1727) Newtonovi se však v Londýně hypotetický éter a vůbec celá Huygensova vlnová teorie nějak nezamlouvá. Podle Newtona spíše bude světlo charakteru **korpuskulárního**.
- Newton říká ve své *Optice* (1704): „...předpokládám, že světlo je něco, co se různým způsobem šíří ze svítících těles...“.
- Newtona zajímalo zejména to, jak dochází k barevnému vidění. V této době již fyzikové pozorovali vznik spektra barev, k němuž dochází, když světlo projde skleněným hranolem. Všeobecně se ale přijímalo Aristotelovo vysvětlení, že světlo je bílé a že se průchodem skrze sklo znehodnocuje.

- Newton se dlouze zabýval pokusy se skleněnými hranoly a čočkami a jako první popsal škálu barev: **rozdělil spektrum na sedm základních barev**
- **červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, indigová a fialová – tak jak za sebou následovaly ve slunečním spektru,**
- protože číslo sedm je prvočíslo s určitými mystickými významy a podle počtu tónů v hudební stupnici a počtu dosud známých planet (Newton se podrobně zabýval i alchymií a gnosticismem).

# Rozklad světla hranolem



K nejdůležitějšímu experimentu došlo, když umístil za sebe dva trojboké skleněné hranoly. Zatímco první hranol rozložil bílé světlo na duhové barevné spektrum, druhý rozložené barvy sloučil zase zpátky. I když světlo prošlo sklem, nebylo znehodnoceno, jak se domníval Aristoteles, ale vrátilo se ke své původní průzračnosti. Díky tomuto pokusu si Newton uvědomil, že **bílé světlo** není ve své podstatě čisté, ale že **obsahuje směs všech druhů barev**

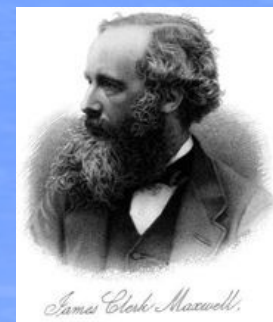
- **Robert Hook** (1635-1703), který objevil difrakci světla a snažil se v Anglii prosadit **Huygensovu vlnovou teorii**.  
Hooke Newtonovy hypotézy zcela odmítl, byl to všestranný vědec, jehož jméno mělo váhu, což i Newton, známý svou arogancí, respektoval (Hooke vysvětlil fungování plic, je autorem termínu „buňka“, formuloval zákon o deformaci pružného tělesa, vysvětlil vznik kráterů na Měsíci jako důsledek dopadu meteoritů, sestrojil barometr a helioskop).
- **Thomas Young** (1773 - 1829) Roku 1801 provedl důmyslný pokus. Světlo svíčky nechal procházet dvěma uzounkými otvory v neprůhledné překážce. Na stínítku se objevily, jak Young ostatně i předpověděl, světlé a tmavé pruhy: místa křížení světelných vln.
- **Augustin Jean Fresnel** (1788 - 1827). K pokusu dodá i brilantní matematické zdůvodnění vlnové teorie světla, a přivede ji tak k vítězství.

- Vlnová teorie světla vynesla na světlo jeden starý problém.
- Světlo je tedy chvění, ale čeho?
  - U vln na vodě se vlní vodní částice .
  - Zvukové vlny se šíří vzduchem a ostatními kapalnými a pevnými látkami.
  - Jak je to se světlem?

- Otázka je, co chvěje vzduchoprázdným prostorem, když jím proniká světlo?
- A tak vznikl koncept „světového éteru“ – éter byl definován jako nekonečně jemné médium, kterým všechny látky pronikají a které současně vyplňuje veškerý prostor kolem nás. Světlo se tedy šíří éterem, ale světelné vlny nejsou podélné, jak myslel Huygens, nýbrž příčné. S pomocí takto zdokonalené teorie dokázal Fresnel vysvětlit všechny v té době známé optické jevy.
- Problém je s éterem - žádným pokusem nedá tento přenašeč světelných vln prokázat.



- Na počátku šedesátých let devatenáctého století fyzika získává novou teorii.
- **James Clerk Maxwell** (1831-1879) vytvoří v letech 1855 – 1865 novou teorii - je to **teorie elektromagnetického vlnění**. Čtyřmi diferenciálními rovnicemi, vyjádří základní vlastnosti elektřiny a magnetismu. Studium těchto rovnic dospěje k závěru, že
- „světlo a elektromagnetismus jsou jevy téže podstaty a světlo je elektromagnetický vzruch, který se šíří polem podle elektromagnetických zákonů“.
- Maxwellova teorie naprosto uspokojivě vysvětluje všechny optické jevy (zákon přímočarého šíření světla, lom, odraz i ohyb světla, interferenci i disperzi – rozklad světla). Vytvoří předpoklady i pro objev nových úkazů, jako třeba rádiových vln.
- Navíc nepotřebovala ke svému vysvětlení éter.



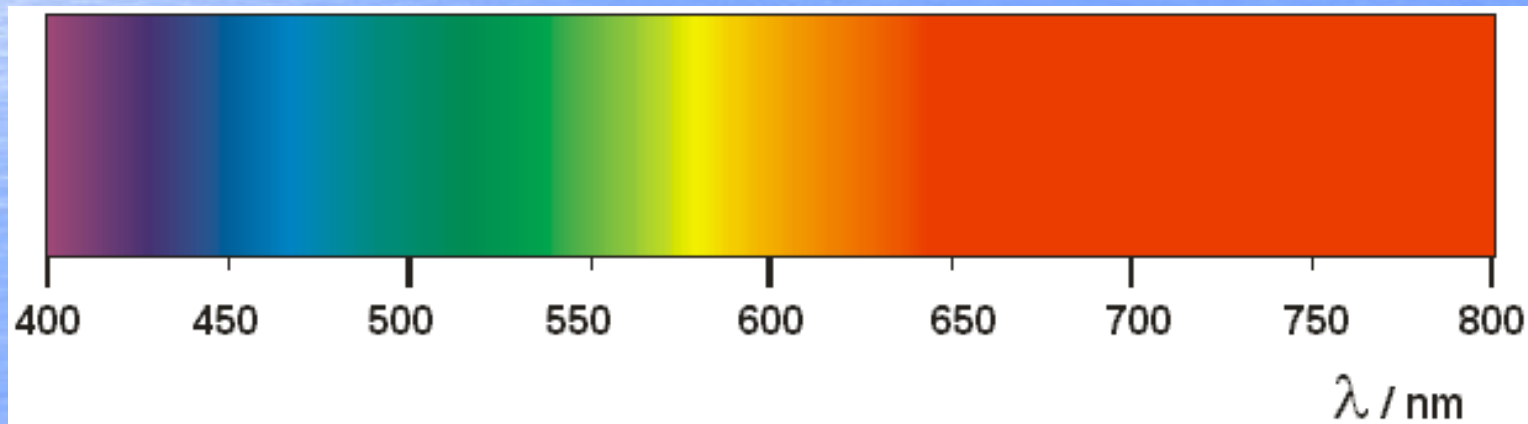
● **Heinrich Hertz** (1857-1894) za 12 let experimentálně prokázal Maxwellovu teorii .

„Světlo je elektrický jev. ... Kdyby ze světa zmizela elektrina, bude všude tma“,

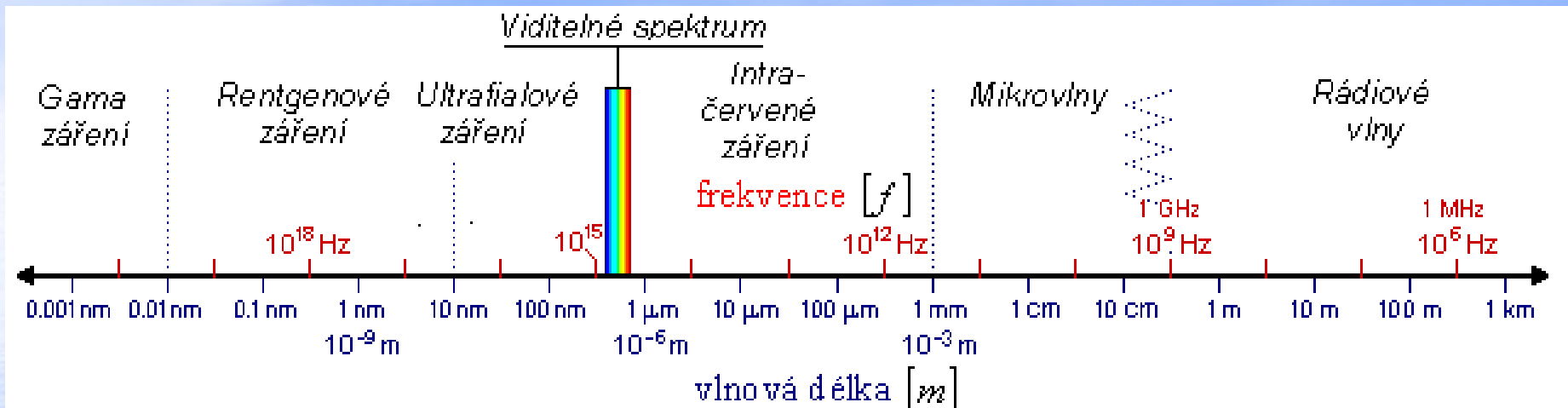
prohlásil roku 1899 výkvětu německé vědy shromážděnému v přednáškovém sále polytechniky v Karlsruhe, kde předvedl svůj pokus s dipólem.



- A teď bylo konečně jasné, co to vlastně jsou barvy:
  - elektromagnetické vlnění, které má rozličnou vlnovou délku.
  - Každá barva slunečního spektra odpovídá určité vlnové délce světla.



# Spektrum elektromagnetických vln

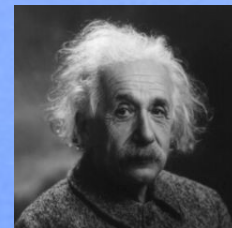


Světlo je tedy elektromagnetické záření. Charakterizuje se frekvencí  $\nu$  (eventuálně  $f$ ), která udává počet vln neboli kmitů za sekundu (jednotkou je hertz), a vlnovou délkou  $\lambda$ . snadno prochází atmosférou, mlhou i kouřem. Zrakem jsme schopni vnímat jen velmi úzké rozmezí vlnových délek od  $700 \text{ nm}$  až  $400 \text{ nm}$ .

| <u>● Vlnové délka</u> | <u>Barva</u> |
|-----------------------|--------------|
| ● 380 až 430 nm       | fialová      |
| ● 430 až 490 nm       | modrá        |
| ● 490 až 550 nm       | zelená       |
| ● 550 až 585 nm       | žlutá        |
| ● 585 až 610 nm       | oranžová     |
| ● 610 až 700 nm       | červená      |

- Při dokazování existence elektromagnetických vln Heinrich Hertz narazil na problém – pozoroval zvláštní jev, pro který nenašel vysvětlení. Zjistil, že některé světelné paprsky uvolňují (vyrážejí) z povrchu kovů elektrony. Energie vyletujících elektronů se přitom neřídila intenzitou světla, ale barvou dopadajících světelných paprsků. Paprsky z „červené“ strany spektra tento jev nezpůsobovaly, paprsky z „fialové“ strany spektra vyrážely elektrony z povrchu kovu docela snadno.
- Heinrich Hertz nazval tento jev **fotoelektrický jev**.
- Jak může světelná vlna uvolnit elektron z povrchu kovu a co s tím má co společného barva? Klasická fyzika na tuto otázku hledala dvacet let odpověď.

- Albert Einstein (1879 - 1955). V roce 1905 publikoval svoji **teorii fotoelektrického jevu** mladý a dosud neznámý zaměstnanec Bernského úřadu pro patenty a vynálezy Pěkně vědcům svojí teorií zamotal hlavu.
- Fotoelektrický jev nelze vyložit z hlediska vlnové teorie, zato je výborně vysvětlitelný, pokud přijmeme zavrženou teorii korpuskulární. Za toto vysvětlení dostal Einstein v roce 1924 Nobelovu cenu



- Podle Einsteina jsou **korpuskule světelná kvanta – fotony**.
- Světlo je v kvantech nejen vyzařováno a pohlcováno, ale také se v podobě kvant šíří. Na této představě vybudoval Einstein kvantovou teorii světla, která snadno fotoelektrický jev vysvětluje.
- Energie každého fotonu závisí pouze na frekvenci (rychlosti) vlnění a frekvenci vlnění odpovídá barva světla. „Červenému“ záření odpovídá bezmála dvakrát menší frekvence než záření „fialovému“. To znamená, že energie „červených“ fotonů je téměř dvakrát menší než energie fotonů „fialových“. „Červené“ fotony mají moc malou energii na to, aby dokázaly elektrony vyrazit.

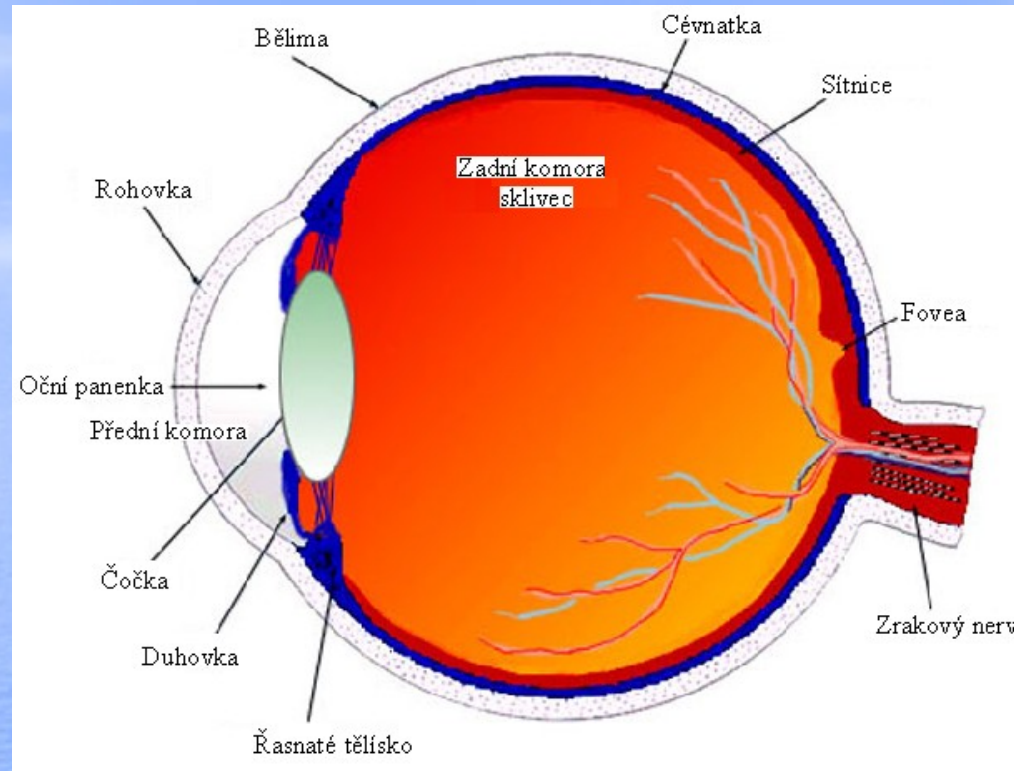
- Znamená to snad, že vlnová teorie neplatí?
- Vždyť přece vlnová teorie platí ve všech ostatních případech – copak může kvantová teorie vysvětlit například interferenci?
- A tak vědci přijali názor, že světlo má duální charakter - má povahu korpuskulární i vlnovou. Za určitých okolností se chová jako vlna a jindy zase jako proud částic (fotonů).



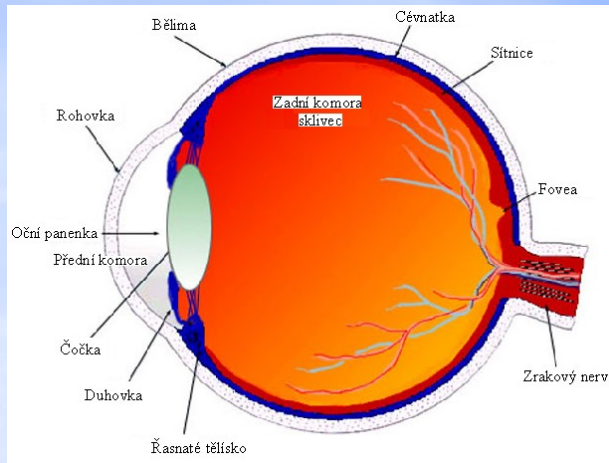
# 3. Vnímání světla a barev

- Lidské i zvířecí vidění je vysoce komplexní proces.
- I přes veškeré pokroky vědeckých znalostí v této oblasti, ale není dosud dopodrobna známo, jak náš zrak přesně pracuje,
  - a to zdaleka nejen třeba co se týká vyšší sémantické analýzy zrakových signálů mozkiem (tj. rozpoznávání tvarů, objektů apod.)
  - ale i co se týká procesů, které stojí na úplném počátku vidění, neboli vidění v jeho nejprimitivnější formě – formace zrakových signálů okem.

# 3.1 Lidské oko



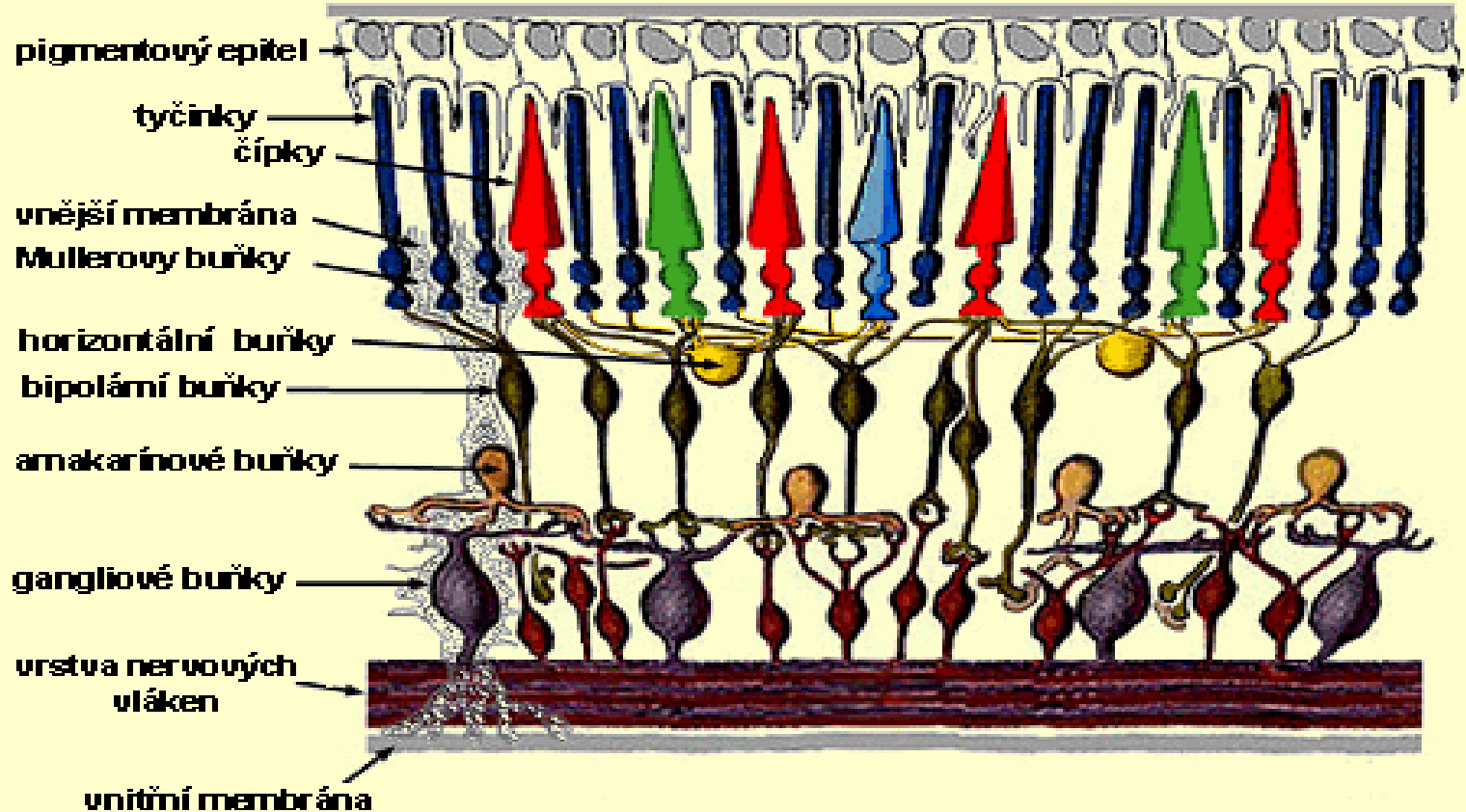
- Světlo vstupující do oka zvenku nejprve prochází rohovkou, pak přední oční komorou, vyplněnou průhledným mokem, poté skrz čočku vstupuje do zadní oční komory, vyplněné taktéž průhledným, rosolovitým sklivcem a nakonec dopadá na její zadní část, jež je pokrytá sítnicí. Tento proces lze poměrně spolehlivě fyzikálně modelovat – je to podobný princip jako u fotoaparátu.



## Okno jako fotoaparát

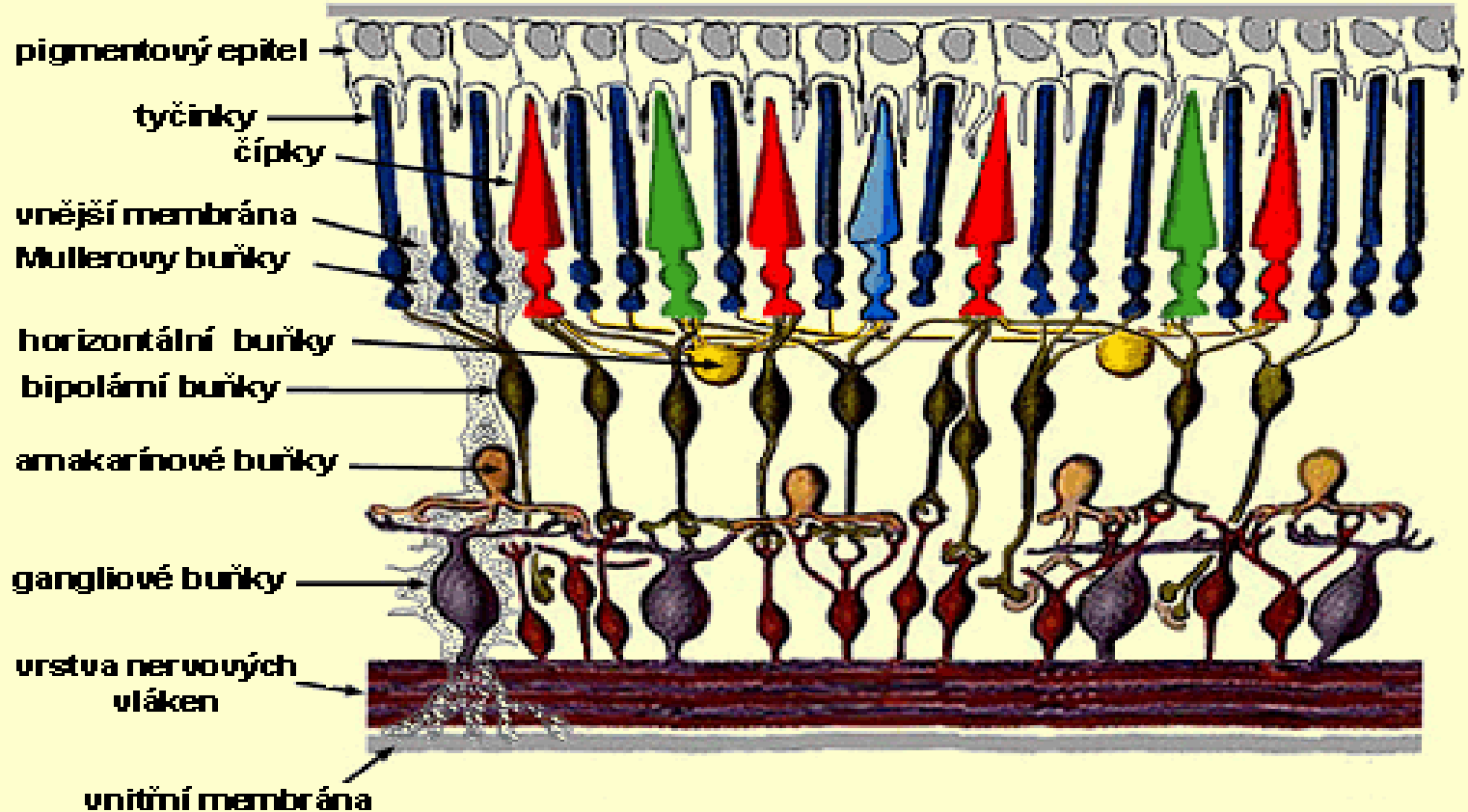
- Zornice, která je umístěná mezi přední oční komorou a čočkou, reguluje množství světla do oka vstupujícího, hraje úlohu clony
- přední komora a čočka slouží jako objektiv. Závěsný vaz, na kterém je čočka uchycená (tzv. řasnaté tělíčko), dokáže pružnou čočku napínat a zplošťovat – dovoluje tak zaostřit na různé vzdálenosti.
- Sítnici, obsahující světločivné buňky, jenž jsou citlivé na elektromagnetické vlny o vlnové délce zhruba 400 – 700 nm, lze zhruba přirovnat k filmu nebo spíše čipu digitálního fotoaparátu.

# Sítnice



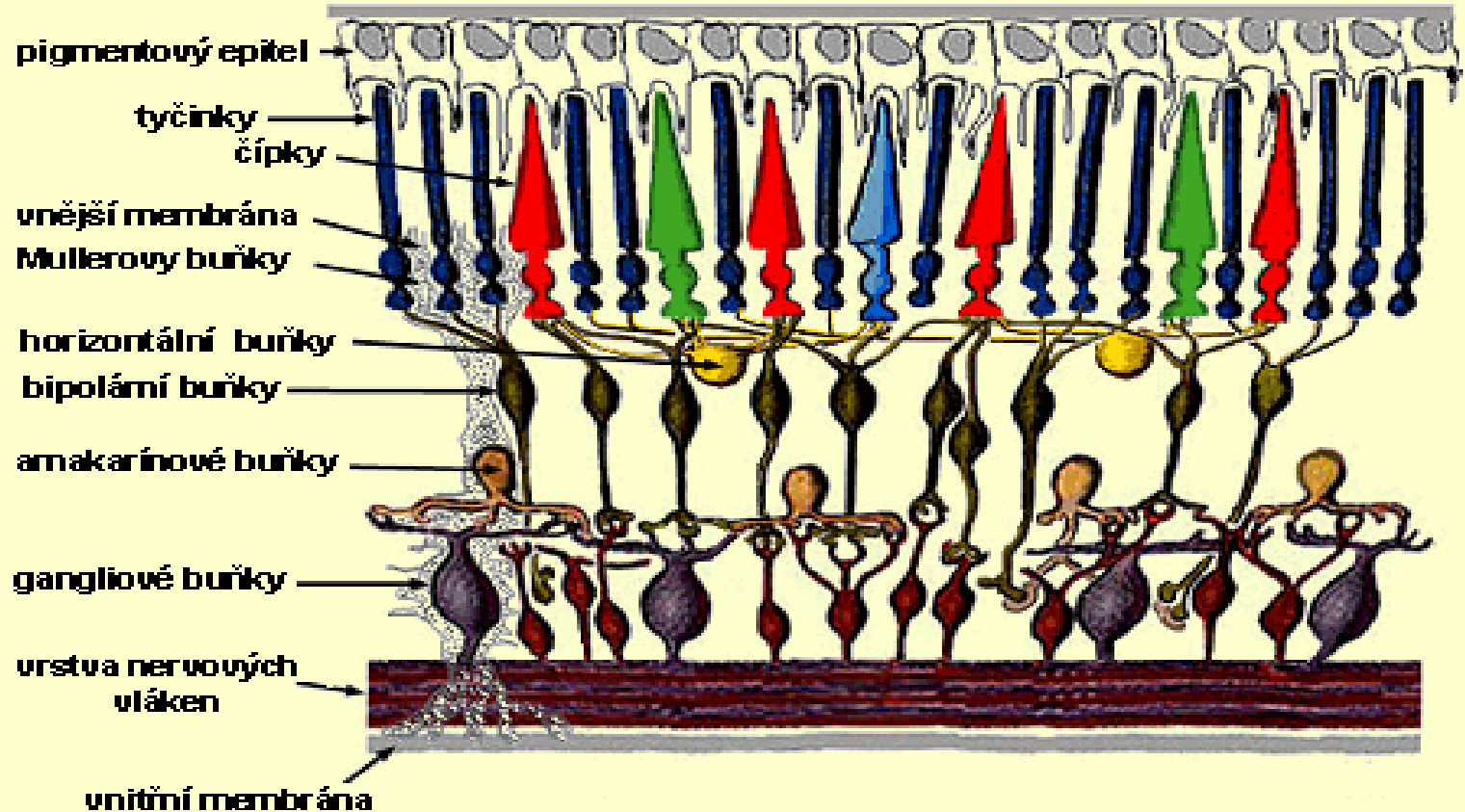
- Světlo do sítnice proniká skrz svrchní membránu a vlákna spojující gangliové buňky s optickým nervem, pokračuje přes samotnou vrstvu jader gangliových buněk, dále pak přes vrstvu výběžků těchto buněk a vláken spojujících je s další vrstvou nervových buněk, obsahující různé druhy bipolárních, ale také amakarínové a horizontální buňky, až k vlastním světločivným buňkám – tyčinkám a čípkům.

# Sítnice



- Tyto buňky mají protáhlý tvar a můžeme si je představit jako světelná vlákna, která vedou světlo. Světlo musí nejprve projít vrstvou synaptických kontaktů spojujícími je s výše jmenovanými vrstvami, vrstvou tvořenou jádry tyčinek a čípků a podpůrnou membránou sítnice, až se úplně nakonec dostane do jejich vnějších segmentů, které obsahují fotocitlivé pigmenty.

# Sítnice



Fotochemickou reakcí s nimi je světlo převáděno na elektrické signály. Za tyčinkami a čípkami se pak nachází ještě jedna vrstva, epitel obsahující tmavý nefotoaktivní pigment melanin, do něž jsou vnější segmenty světločivných buněk obsahující aktivní pigmenty zanořené. Tento pigment pohlcuje světlo a tím zaručuje jednak to, že světlo do oka vstupuje pouze zornicí, a také to, že se od zadní strany oka neodráží zpět a necestuje napříč mezi fotoreceptory, neboli zabraňuje vzniku reflexů (podobně jako černý vnitřek fotoaparátu). Doc. RNDr. Petr Sládek, CSc.

- Signály vznikající ve vnějších segmentech tyčinek a čípků putují sítnicí opačným směrem a jsou postupně nervovými buňkami cestou zpracovávány, až se nakonec výsledné signály dostanou do zrakového nervu a odtud jsou předány až do mozku (konkrétně do jeho týlního laloku) k dalšímu zpracování.
- v obou synaptických vrstvách existuje i síť dlouhých, napříč běžících spojení, která umožňují kombinování signálů ze vzdálenějších buněk.  
Délka těchto vláken dosahuje až 1 mm, což je v měřítku sítnice, kde v její nejcitlivější oblasti je na 1 mm<sup>2</sup> natěsnáno i více než 150 000 fotoreceptorů, gigantická vzdálenost.

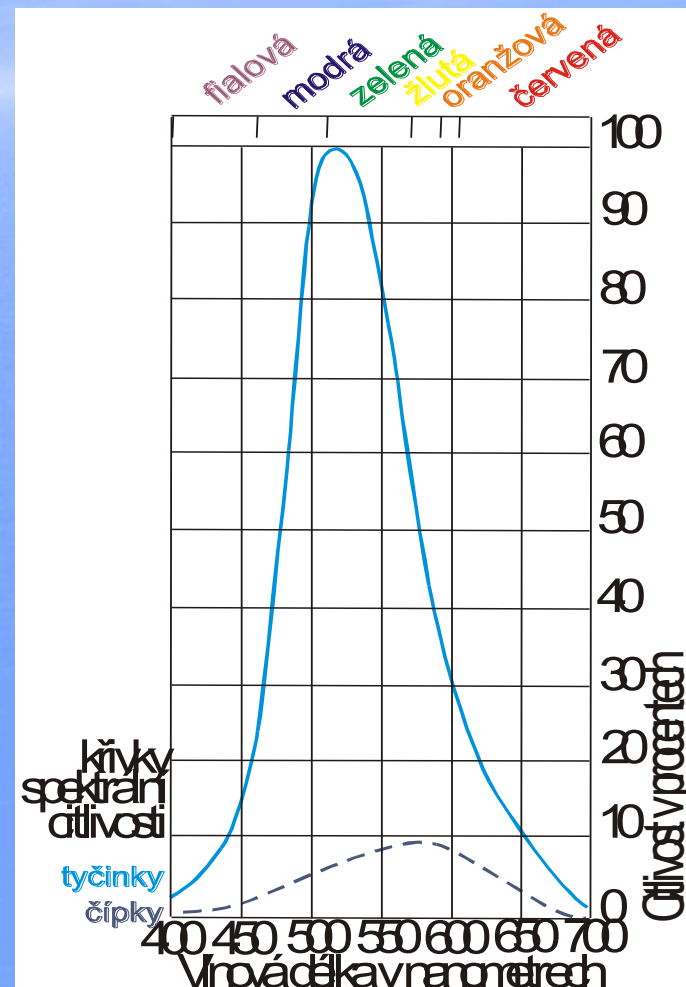
- Klíčovou součástí tyčinek a čípků jsou již zmíněné fotoaktivní pigmenty.
- Molekula pigmentu se při dopadu světla rozpadne („vybělí“), přitom vznikne elektrický impuls, který je pak dále předáván a zpracováván nervovou sítí. Současně s tím, jak se některé molekuly rozpadají, jsou jiné naopak zpětně regenerovány.
- Součástí tohoto chemického procesu je vitamín A – proto je pro náš zrak tak podstatný.



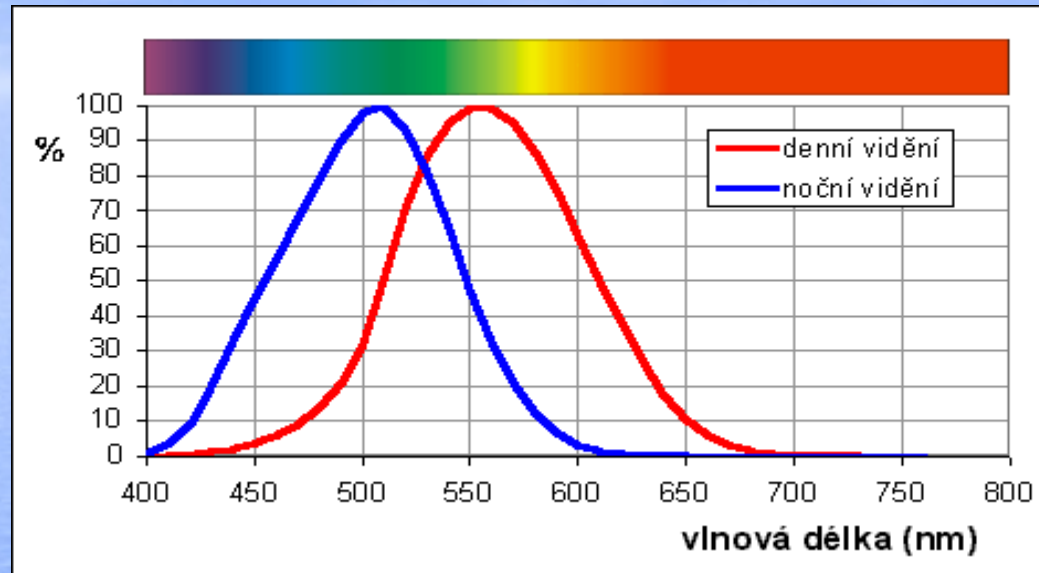
- **Citlivost buněk** je úměrná tomu, kolik nevyběleného pigmentu v daném okamžiku obsahují. Množství nevyběleného pigmentu buněk přímo odpovídá **intenzitě dopadajícího světla**. Této samoregulaci vděčíme nejen za schopnost zraku přizpůsobit se obrovskému rozsahu různých úrovní osvětlení (která daleko přesahuje jen prostou regulaci množství světla dopadajícího na sítnici prostřednictvím změny velikosti zornice), ale také za automatickou barevnou adaptaci zraku.
- **Adaptace zraku** na náhlou změnu podmínek probíhá zpočátku velmi rychle, ale postupně výrazně zpomaluje, k maximální možné adaptaci dojde až po poměrně dlouhé době, např. úplné adaptace na tmou dosáhne oko asi až po 40 minutách.

# 3.2. Barevné vidění

- Tyčinky a čípky
- Barevné vidění je především záležitostí čípků, i když existují důkazy, že i tyčinky se na něm mohou za jistých okolností částečně podílet.



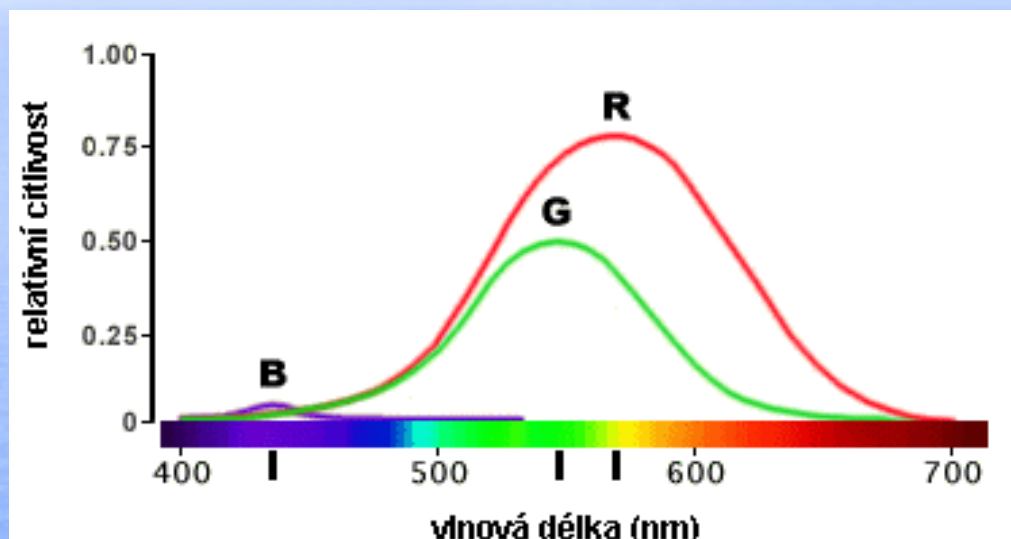
# Purkyňův jev



Se stmíváním se citlivost oka postupně posunuje směrem ke kratším vlnovým délkám, tj. relativní citlivost na modré světlo roste, zatímco na červené klesá. Naopak při rozednívání nejprve vnímáme modré barvy, pak teprve červené.

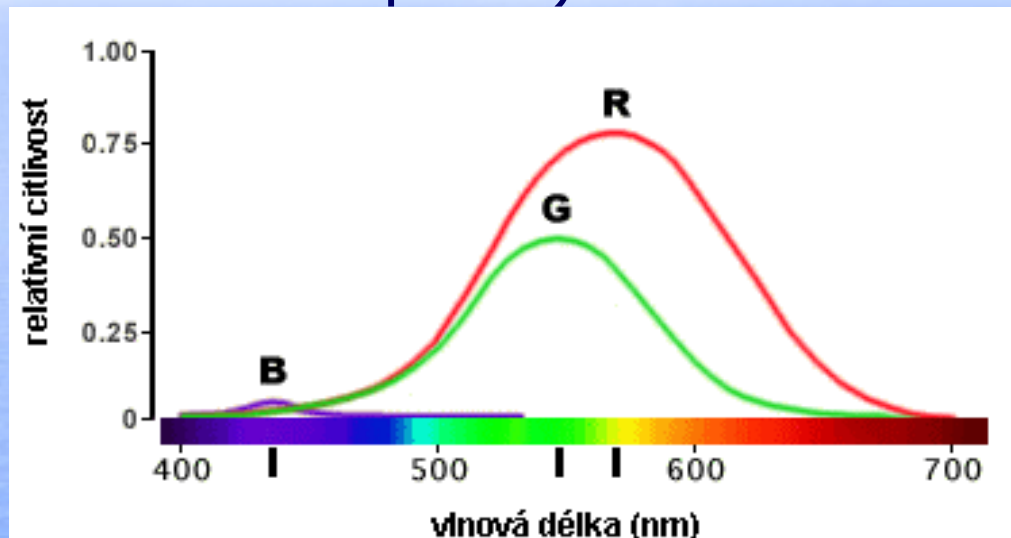
- Tyčinek je v sítnici asi 20x více než čípků (uvádí se zhruba **120 miliónů tyčinek** a **6 miliónů čípků**) a jsou propojené ve větších skupinách.
- To zvyšuje citlivost zrakového vnímání při velmi nízkých hladinách světla, nicméně dochází k tomu na úkor **prostorového rozlišení**. Za tmy vidíme daleko méně ostře, a proto také nejsme při nedostatku světla schopni číst.
- Dalším rysem zvyšujícím citlivosti tyčinek je delší časová integrace dopadajícího světla. I když naše oko neobsahuje závěrku, tak nicméně fotoreceptory oka i tak mají svůj jistý „**expoziční čas**“. Má to za následek např. to, že velmi rychlé blikání se nám slévá (díky tomu může existovat např. film a televize). Při vyšších hladinách osvětlení, kdy vidění zprostředkovávají hlavně čípky, jsme schopni rozlišit změny i 10x rychlejší, než když je náš zrak adaptovaný na tmu.

- Barevné vidění je především záležitostí čípků.
- To, že vidíme barevně, je způsobeno tím, že existují **tři druhy iodopsinu** – fotoaktivního pigmentu, jež čípky obsahují.



- Tyto pigmenty jsou spektrálně selektivní a každý druh je citlivý na jiný rozsah vlnových délek. Maximum citlivosti „modrých“ čípků se pohybuje kolem vlnové délky 440 nm, zatímco u „zelených“ čípků je to asi 540 nm a u „červených“ asi 570 nm.

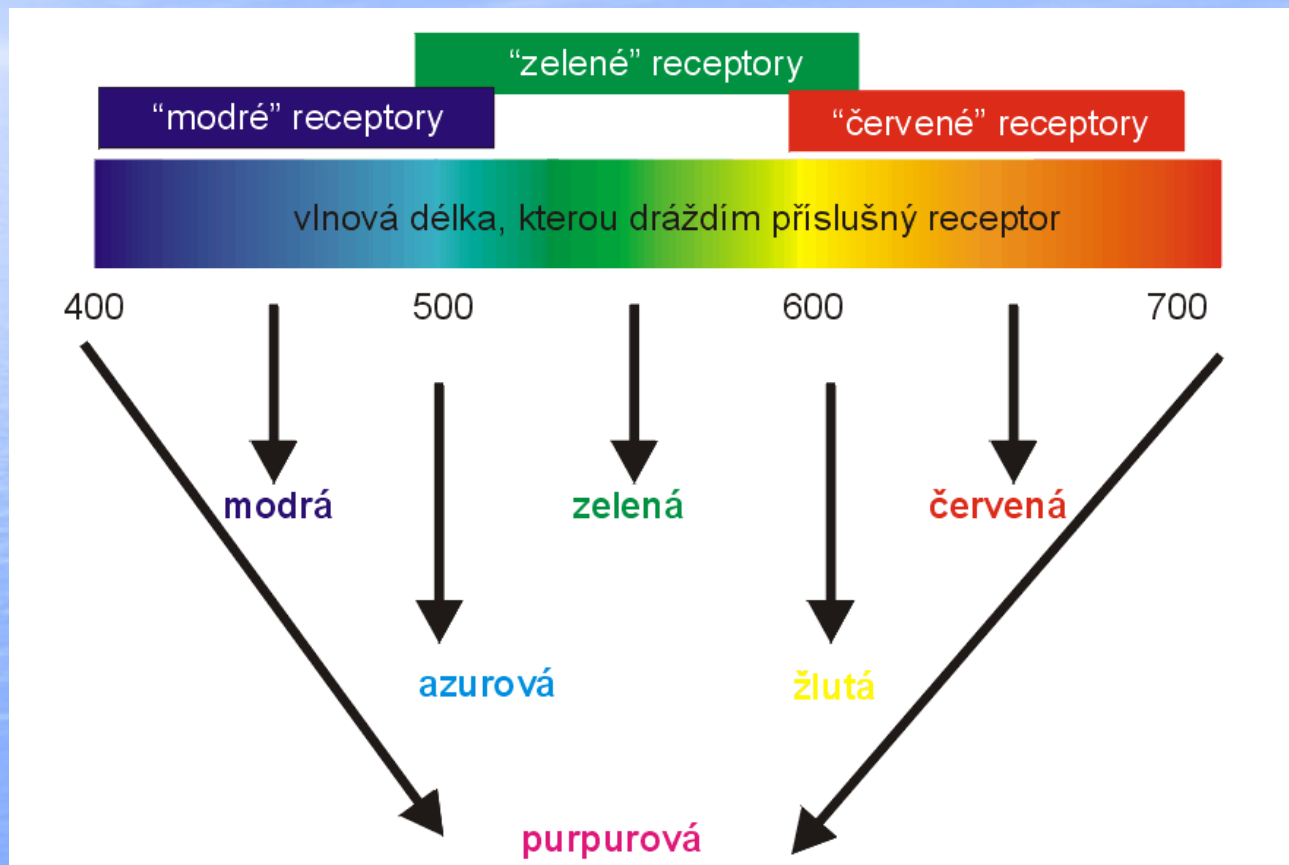
- Červené a zelené čípky jsou si navzájem hodně podobné - většina savců je na rozdíl od nás dokonce vůbec nemá takto rozlišené a místo nich má pouze jeden typ „žlutých“ čípků (takže vidí pouze dvojbarevně - podobně jako někteří barvoslepi lidé).



- Vlastnosti modrých čípků jsou podstatně výrazně odlišné. V sítnici je jich mnohem méně, odhadem jen asi 4%. Zelených čípků je asi 32% a zbylých 64% je čípků červených.

- Již dávno fyzikové Young a Helmholtz (1821 – 1894) zjistili, že lidské oko skládá barevný obraz ze tří dílčích podnětů. Maxwell později (v roce 1861) usoudil, že každý barevný obraz lze složit ze tří jednobarevných dílčích obrazů - tzv. výtažků
- Mezi modely vnímání barev tak našel místo např. **RGB model** (R – red, červená, G – green, zelená, B – blue, modrá).

# Barevné vjemy způsobené jednotlivými vlnovými délkami





## 3.3. Odlišnosti ve vnímání barev

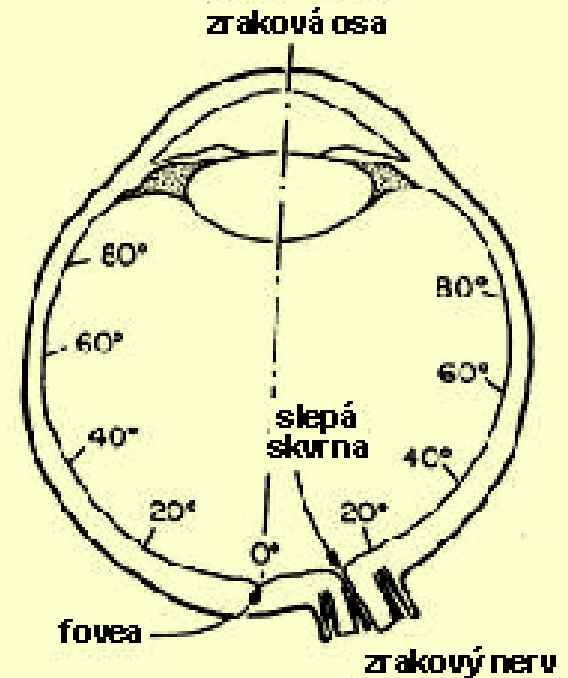
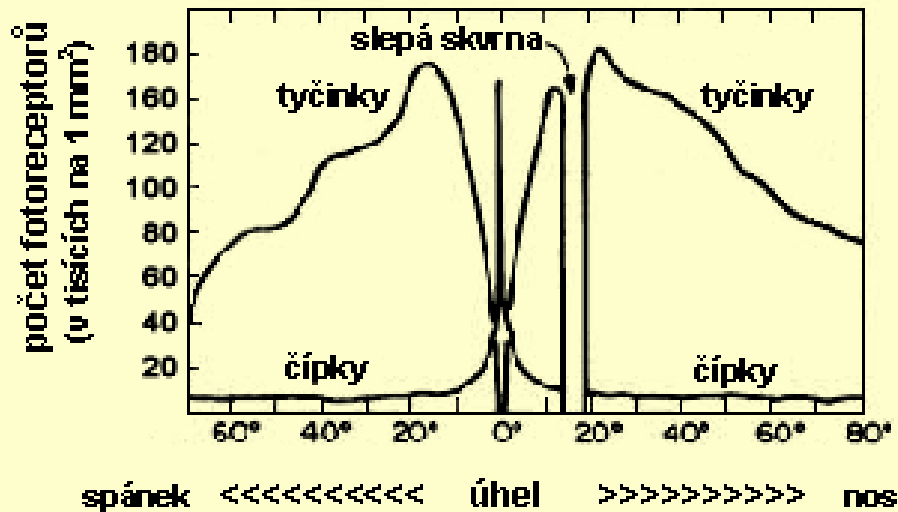
- Maximální uvažovaný rozsah pro člověka viditelné části elektromagnetického spektra, který se při kolorimetrických měřeních a výpočtech používá, je od 360 nm do 830 nm.
- Běžně se ale za viditelnou část spektra považuje jen rozsah od 380 nm do 780 nm.
- Citlivost lidského oka rapidně klesá od 650 nm výše a stejně tak je i malá citlivost pro vlnové délky pod 400 nm.
- Proto se také často uvádí jen hrubý rozsah 400-700 nm.

- Každou okem vnímanou barvu lze vyjádřit jako směs tří nezávislých primárních barev. (Nezávislých znamená, že žádná z nich není kombinací zbylých dvou.)
- Pouze asi 2,6% mužů a méně než 0,05% žen má vidění dvojbarevné, tzn. k namíchání barvy pro ně vizuálně shodné s jinou danou barvou je zapotřebí jen dvou primárních barev.
- Zhruba 0,003% populace postrádá barevné vidění kompletně – tito lidé vidí pouze jednu barvu – vnímají pouze jas.
- I mezi lidmi, kteří vidí trojbarevně, je ale barevné vidění zhruba 5,5% mužů a 0,4% žen klasifikováno jako abnormální.
- (To, že je daleko více barvoslepých mužů je způsobeno tím, že tato porucha se přenáší jako recesivní alela na chromozomu X – zatímco muž s jediným X chromozomem je barvoslepý, kdykoli je nositelem této alely, žena, aby byla barvoslepá, ji musí mít současně na obou svých X chromozomech.)

## Vnímání základních barev spektra normálním a barvoslepým okem

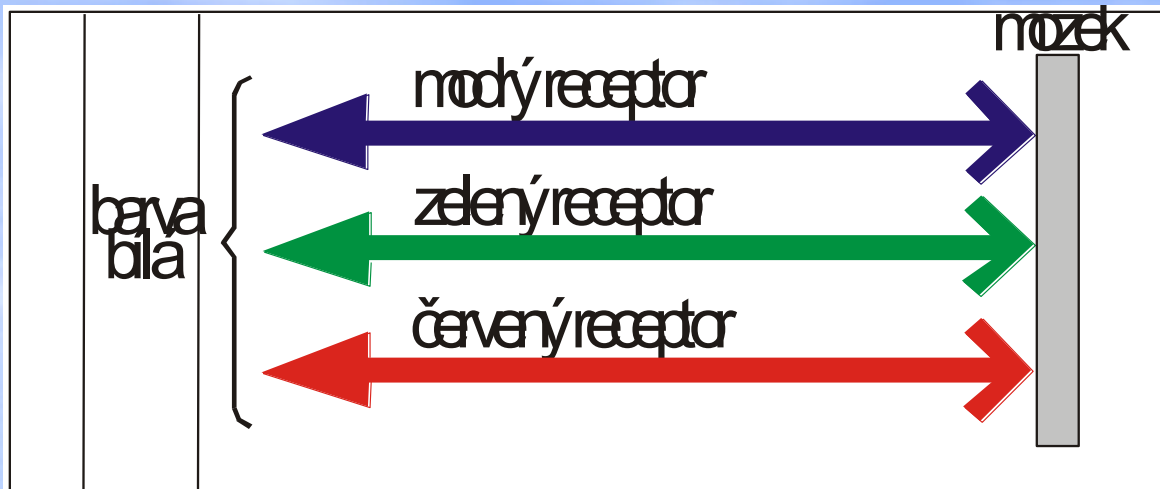
| Viděné barvy | NORMÁLNÍ OKO      | BARVOSLEPÉ OKO    |                  |
|--------------|-------------------|-------------------|------------------|
|              |                   | na červenou barvu | na zelenou barvu |
|              | červená           | špinavě zelená    | žlutočervená     |
| oranžová     | žlutá             | žlutá             |                  |
| žlutá        | světle žlutá      | žlutá             |                  |
| žlutozelená  | šedožlutá až bílá | žlutá             |                  |
| zelená       | šedá              | šedožlutá až bílá |                  |
| modrá        | světle modrá      | světle modrá      |                  |
| fialová      | modrá             | modrá             |                  |

# Topografie sítnice

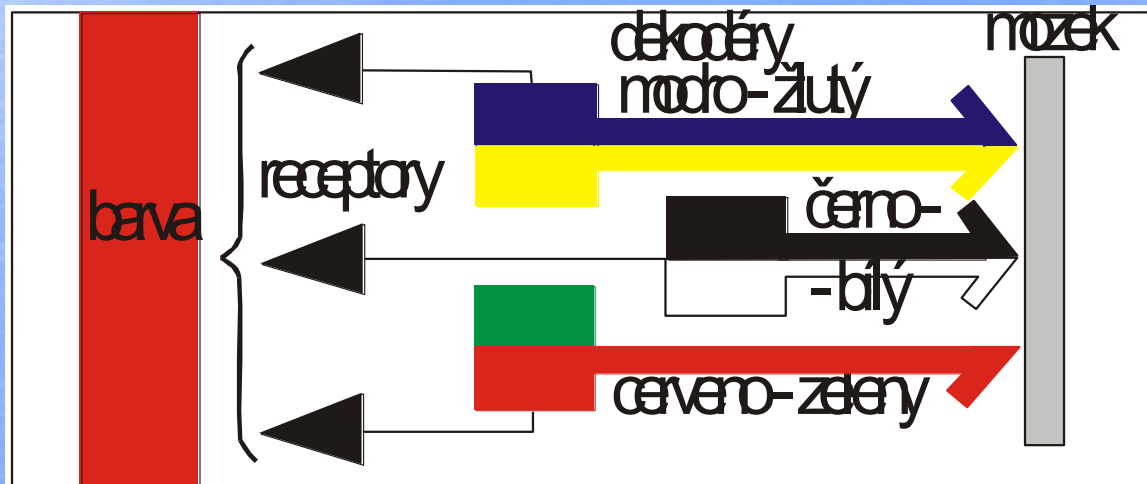


**Fovea (žlutá skvrna)** je místem na sítnici, kde vidíme nejosvěji. Je zde vysoká koncentrace čípků, tyčinky u většiny lidí ve středu této oblasti sítnice chybí.

Na sítnici je i oblast, kde nejsou vůbec žádné fotoreceptory a kde tudíž vůbec nevidíme – tzv. **slepá skvrna**. Je to místo, ve kterém z oka vystupuje zrakový nerv.



- **RGB teorie** Young-Helmholtzova teorii tří druhů receptorů na sítnici



- **Teorie „protibarev“** Vznik červené barvy podle Heringa – dojde jen k podráždění červené části v červeno-zeleném dekodéru

- Barvy na fotografii nebo na monitoru nejsou **nikdy** „přesně takové, jaké byly ve skutečnosti“.
- Při reprodukci barev totiž nejde zdaleka jen o nějaké prosté okopírování barvy, ale obvykle o vytvoření zcela jiného zrakového podnětu, který se nám jeví, jako že má (aspoň přibližně) tutéž barvu, a to často navíc za zcela odlišných pozorovacích podmínek (např. reálná scéna venku versus obraz na monitoru nebo fotografii prohlížená pod umělým světlem v místnosti), což situaci ještě dále komplikuje.

## 3.4. Zajímavosti z vnímání barev živočichy

- Oči s čočkou se vyvinuly už dávno v pravěku u již dávno vyhynulých živočichů – u **trilobitů**.
- Trilobit měl oko čočkové, ale současně i mozaikové. Každé elementární oko obsahovalo čočku z krystalického vápence a celkový počet až 15 000 elementárních očí pokryl téměř polokruhovitě zorné pole.
- Protože vápencová zorná čočka vzhledem ke svému indexu lomu 1,50 světlo ve vodním prostředí rozptylovala, k vytvoření obrazu byly v oku dvě čočky za sebou.

- Většina **hmyzu** má mozaikové oči, a na rozdíl od trilobitů nejsou v očích hmyzu čočky.
- Každý element mozaikového oka je tvořen trubicí, jež přivádí světlo na tenké vlákno, které světlo absorbuje. Jednotlivé čočky se nazývají omatidie. Každá buňka je citlivá na světlo vycházející z určitého úzkého kužele a podněty ze všech omatidií pak vytvářejí celkový zrakový vjem.
- Oči hmyzu jsou kupodivu citlivější než oči obratlovců.
- Schopnost vidět barevně má většina hmyzu, která opylovává pestré květy, výjimku tvoří **motýli**, kteří nevidí červenou barvu. Motýli sytou červeně vnímají jako černou, protože jejich hranice viditelného spektra je posunuta směrem ke krátkovlnnému pásmu.
- Například **včela** vnímá elektromagnetické záření o vlnové délce až 30nm, to znamená že vidí mnohem „hlouběji“ do ultrafialové oblasti než člověk. Proto také včela vidí svět mnohem barevněji než my.
- Další pozoruhodnou vlastností včelího oka je jeho citlivost na polarizované světlo. Rozptýlené světlo oblohy je polarizované, což umožňuje včele snadno určit směr ke Slunci, aniž na něj vidí. Díky tomu jsou včely schopny se dokonale orientovat mimo úl.



- Pokusně bylo barevné vidění prokázáno u některých **ryb** a zajímavé je, že pestře zbarvené jsou i ty ryby, které nemají oči nebo tráví svůj život ponořeny v bahně či v mořských hloubkách, kam až světlo nepronikne.
- Také **hlodavci, žáby, ještěři a hadi** pravděpodobně vidí svět barevně.
- Taktéž většina **ptáků** rozezná barvy velmi dobře, s výjimkou ptáků nočních. Barevně vidící živočichové jsou totiž v noci bezmocní, ale zato ti, kteří vnímají pouze v černobílé škále mohou rozeznat i nepatrné rozdíly ve světelné intenzitě a bezpečně se pohybovat i v hluboké tmě. Tyčinky umožňující oku černobílé vidění jsou totiž schopny reagovat na desettisíckrát menší množství světla než čípky, na které je vázáno vidění barevné.

- O barevném vnímání savců toho zatím mnoho nevíme.
- **Pes** byl například dlouho považován za barvoslepého. Až teprve pomocí elektronového mikroskopu se zjistilo, že v psím oku je i určitý počet čípků. Některé psy lze skutečně vycvičit k rozlišování barevných tónů – jenže se neví, jestli jen nevnímají různé odstíny šedi.
- **Kůň** si plete černou a červenou, ale nikoliv šedou a růžovou, rozezná i žlutou, zelenou a modrou.
- **Kráva** ani **býk** barvy nerozlišují, a proto je zbytečné dráždit býka červenou látkou – stejného účinku by toreadoři dosáhli, i kdyby muleta byla černá. Býk totiž nereaguje na červenou barvu šátku, ale na jeho pohyb.

## 4. Fyzikální pohled na barvy světla

- Barva je mnohoznačný psychosenzorický, psychofyzikální i fyzikální pojem.
- Z psychosenzorického (vjemového) hlediska barva vyjadřuje vlastnost lidského zrakového vjemu, kterou se rozlišují dvě bezstrukturní části zorného pole stejného tvaru a velikosti.
- Z fyzikálního (objektivního) hlediska je barva charakterizována spektrálním složením barevného podnětu, tj. spektrálním složením světla emitovaného světelným zdrojem, které prošlo tělesem nebo se odrazilo od jeho povrchu.
- Z psychofyzikálního hlediska se přihlíží k vyhodnocování barevného podnětu barvocitlivými buňkami (analyzátory) lidského zrakového orgánu – oka.

## 4.1. Barva světla a tělesa

- **Barva světla**, tj. primárních světelných zářičů, je psychosenzorický pojem a jemu odpovídá psychofyzikální pojem **barevnost** (**chromatičnost** – **spektrální složení**).
- Naproti tomu **barvu tělesa (předmětu)**, tj. sekundárních světelných zářičů, vystihuje psychofyzikální pojem, zvaný **kolorita** (**spektrální složení** + **odrazivost/propustnost**).

# Barvu světla a tělesa, také posuzujeme podle syty a pestrosti.

- **Sytost** barvy je vlastnost zrakového vjemu, jenž umožňuje posoudit účast čisté pestré barvy na celkovém vjemu, a navíc syté barvy neobsahují bílou složku.
- **Sytost** je psychosenzorický pojem a odpovídá psychofyzikálnímu pojmu čistota barvy.
- **Pestrost** barvy je vlastnost zrakového vjemu, jenž je vyvolaná pestrými a nepestrými barvami.
- **Pestré barvy** tvoří spektrální barvy a jejich aditivní směsi (např. červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, fialová a jejich vzájemné kombinace). Přitom aditivní směs barev označuje takové míchání barev, při němž výsledná barva má bohatší spektrální složení než dílčí barvy.
- **Nepestré barvy** těles (předmětů) jsou bílá, šedá a černá barva, kdežto jedinou nepestrou barvou světla je bílá barva (šedé a černé světlo neexistuje).

# Jas, světlost

- Podkladem barevného vjemu toho, že část zorného pole vydává více nebo méně světla, je **jasnost barvy** – je to psychosenzorický pojem, který zhruba odpovídá fotometrické veličině zvané **jas**.
- Naproti tomu psychosenzorický pojem **světlost** barvy vystihuje vlastnost barevného vjemu, podle kterého usuzujeme, že těleso odráží nebo propouští větší nebo menší část na něj dopadajícího světla.

# Stupňování barev

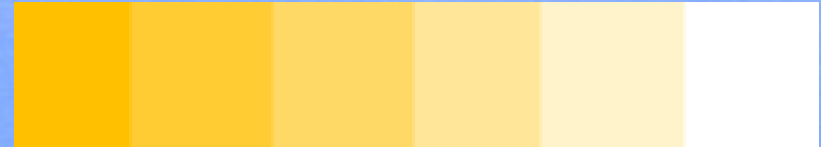
stupňování sytosti při nezměněné pestrosti a světlosti



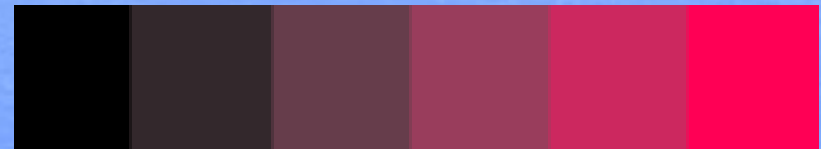
stejná světlost i sytost u různých barev



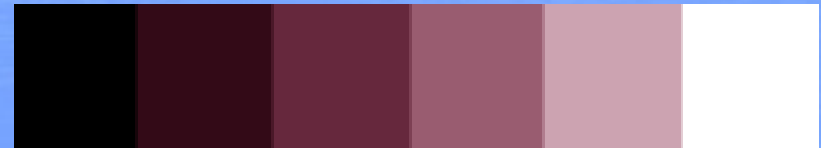
stupňování světlosti



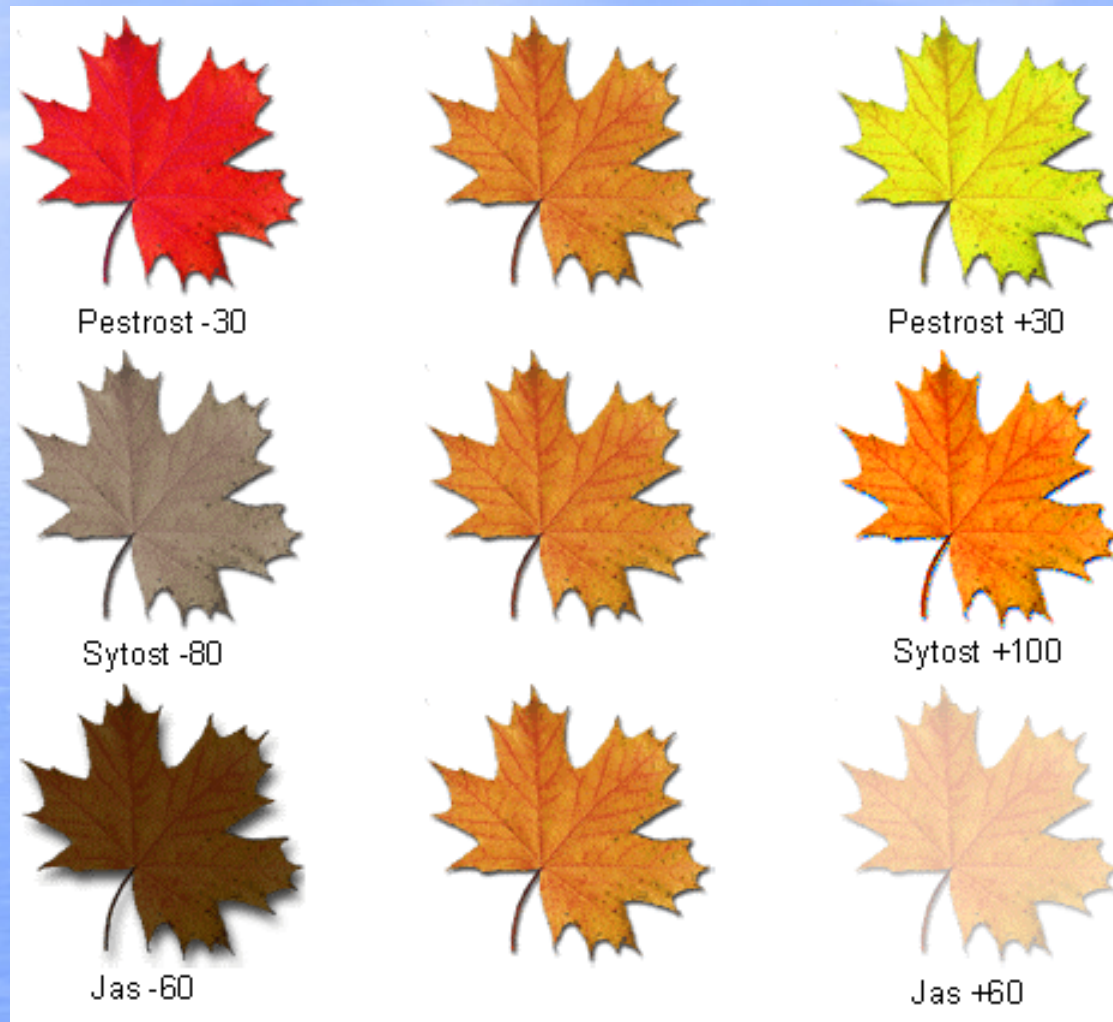
stupňování sytosti a světlosti zároveň



stupňování sytosti a světlosti proti sobě



# Barevné vlastnosti – pestrost, sytost, jas

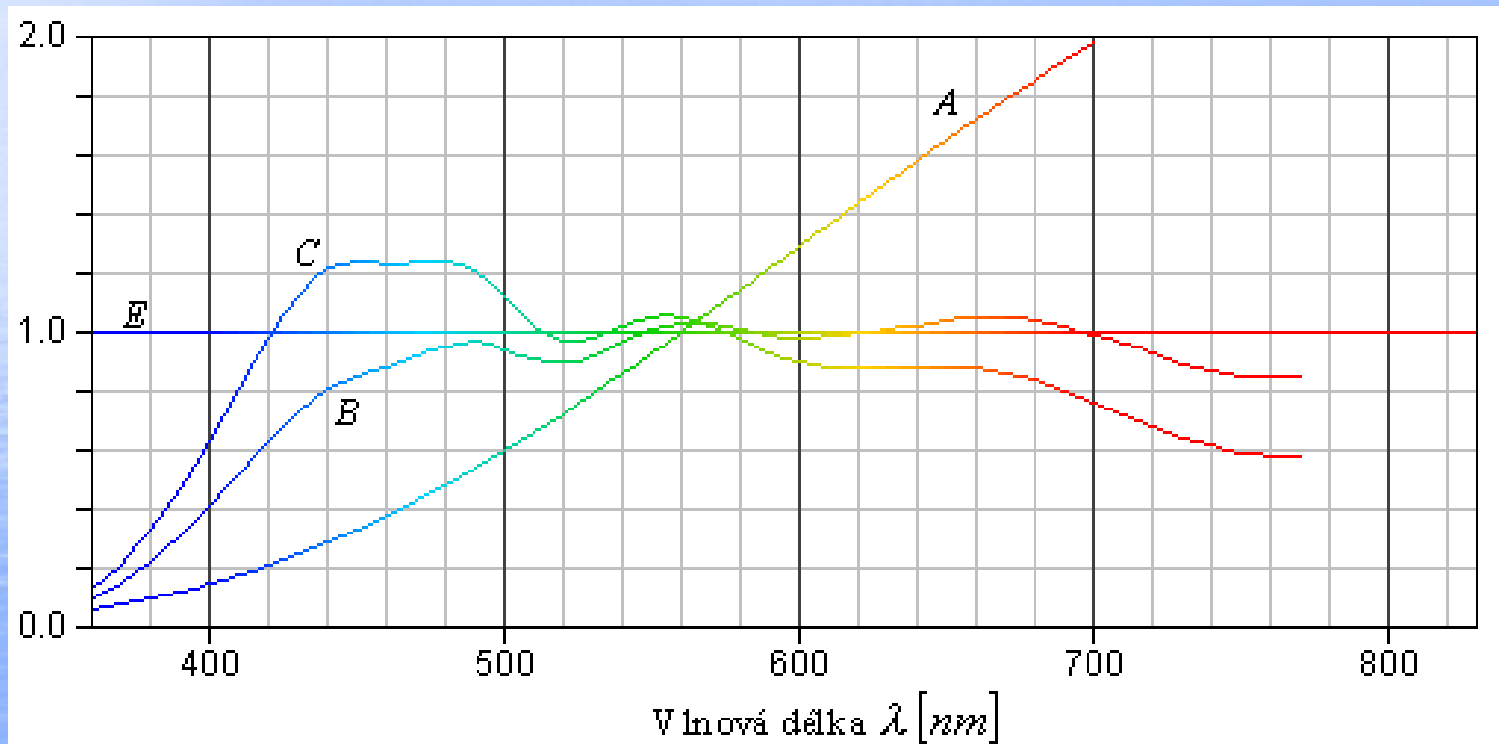




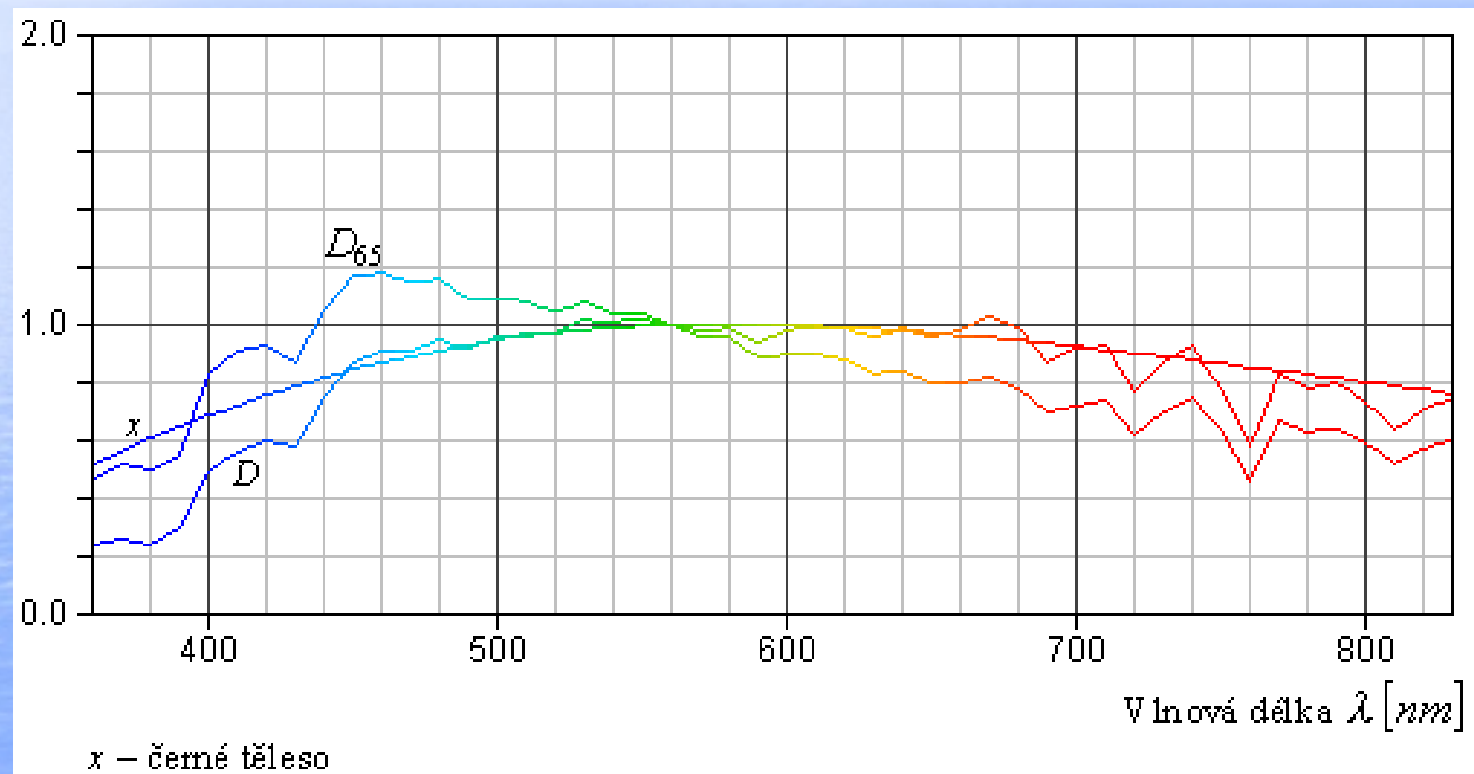
# Smluvní bílé světlo

- Smluvní bílé světlo *A* odpovídá umělému světlu žárovky anebo světlu do běla rozžhavené plynové lampy. Jeho tzv. ekvivalentní teplota barvy je asi 2 854 kelvinů (*K*).
- Smluvní bílé světlo *B* přísluší střednímu dennímu světlu (přibližně slunečnímu světlu) s převažující složkou přímého slunečního záření a lze mu přiřadit ekvivalentní teplotu barvy zhruba 4 800 *K*.
- Smluvní bílé světlo *C* je přiřazeno střednímu dennímu světlu bez přímého slunečního záření, to odpovídá přibližně dennímu světlu (s ekvivalentní teplotou barvy asi 6 500 *K*).
- Smluvní bílé světlo *E* odpovídá barvou izoenergetickému spektru, ale zdroj tohoto světla je však nerealizovatelný (jde o druh kvaziizoenergetického světla o ekvivalentní teplotě barvy asi 5 600 *K*).
- Smluvní bílé světlo *D* odpovídá spektrálním složením průměrnému dennímu světlu a je možné je vypočítat pro libovolnou ekvivalentní teplotu barvy v rozmezí od 4 000 do 25 000 *K*. Příkladem je smluvní bílé světlo s ekvivalentní teplotou barvy 6 500 *K*, zvané někdy taktéž jako standardní bílé světlo. V případě potřeby se používá i jiné, avšak přesně definované smluvní bílé světlo (za standardní bílé světlo je někdy považováno i smluvní bílé světlo *E*).

# Spektrální křivky smluvních bílých světel *A*, *B*, *C*, *E*



# Spektrální křivky smluvních bílých světel $D$ , a černého tělesa

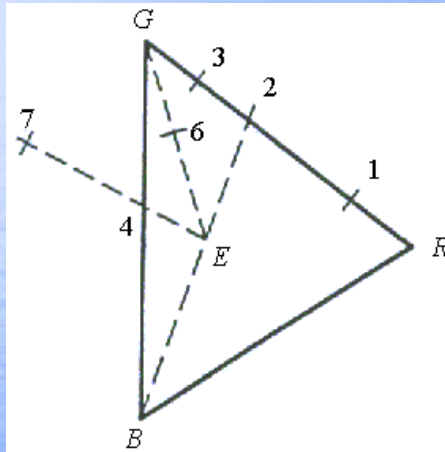


# Teplota barvy

- Teplotou barvy vyjadřujeme barvu světla černého zářiče (černého tělesa), tj. tělesa, které veškeré dopadající elektromagnetické záření úplně pohlcuje a vykazuje též maximální výkon vyzařovaného tepelného záření, a sice jeho absolutní (kelvinovskou) teplotu.
- Zmíněná teplota barvy se taktéž nazývá **teplota barevnosti** (chromatičnosti) černého zářiče.

## 4.2 Aditivní míšení barev

- Základní barvy: **červená**, **zelená**, **modrá**
- Trojúhelník RGB



- Všechny syté barvy  
nejde namíchat uvnitř  
(azurová – bod 7)

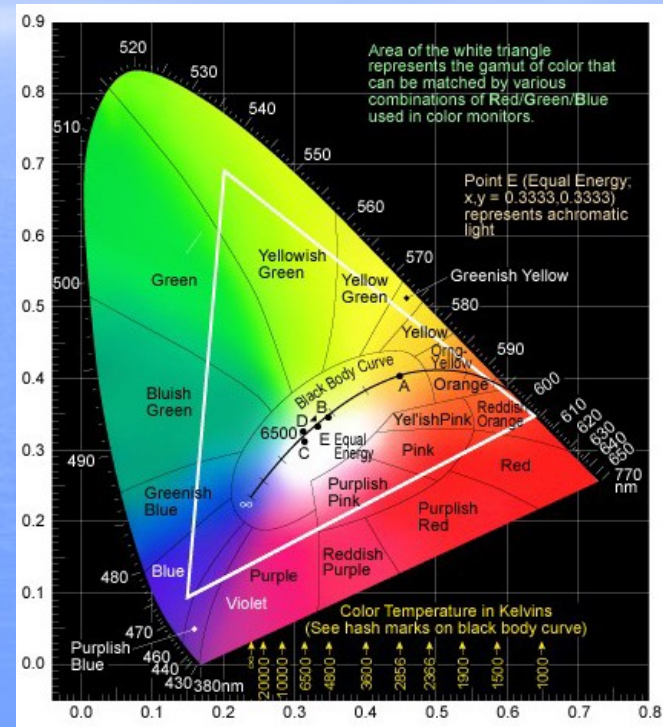
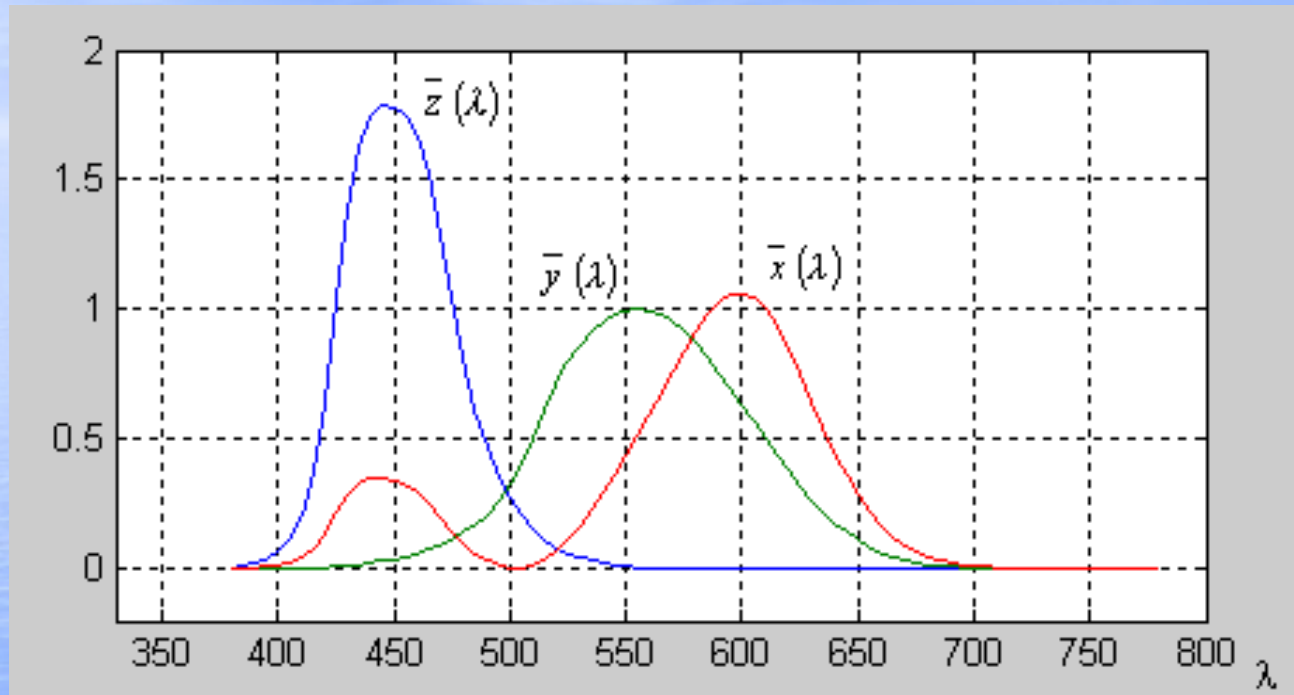


Diagram barevnosti

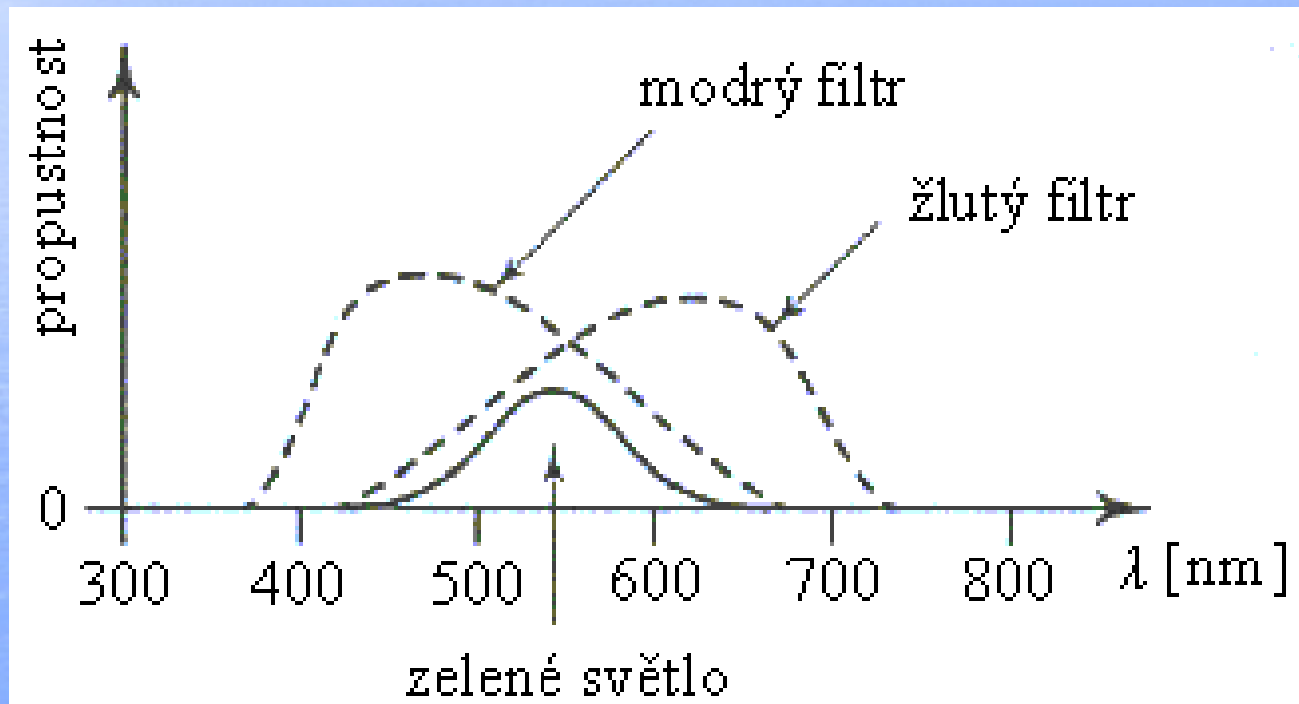
- Standardní křivky



## 4.3 Subtraktivní míšení barev

- Při subtraktivním míšení barev se ze spektra daného mnohobarevného (polychromatického) světla odebírají (odečítají) některé jeho spektrální složky, proto má výsledná barva chudší spektrální složení a jeví se tudíž obecně jiná, než jaká je původní barva světla.
- Subtraktivní míšení lze realizovat například za pomoci barevných optických filtrů zároveň zařazených za sebou před jediný zdroj mnohobarevného světla.

- Subtraktivní skládání barev - zelená





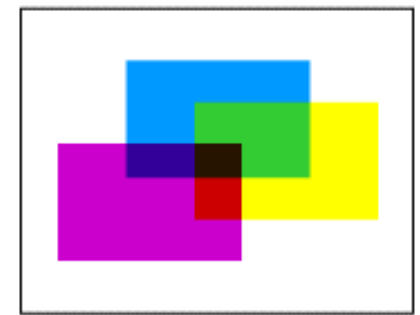
- Obdobně jako v případě aditivního míšení lze při subtraktivním míšení získat ze tří barev různé barevné tóny.
- Při něm jsou však základem tzv. **normální barvy**, tj. barvy, které jsou doplňkové k základním barvám  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , konkrétně jde o barvy azurovou, **purpurovou** a **žlutou**.
- obecně platí:
  - azurová + žlutá = zelená
  - purpurová + žlutá = červená
  - azurová + purpurová = modrá
  - azurová + purpurová + žlutá = černá (šedá).

- Základní a normální barvy jsou navzájem doplňkové
- Subtraktivní míšení barev má velký význam například pro barvy těles (předmětů).
- Barviva se skládají z průsvitného pojidla, v němž jsou rozptýlena různobarevně zbarvená zrnka. Při dopadu složeného (bílého) světla na povrchový nátěr tělesa vzniká na zmíněných různobarevných zrnech difusní odraz světla. Protože při osvětlení tělesa světlo prochází mnoha zrnky, které působí jako barevné optické filtry, je odražené světlo zbarveno.
- Smícháme-li dvě barviva, například modré a žluté, působí jejich promíchaná zrnka jako za sebou zařazené barevné filtry a výsledná barva tělesa je tudíž zelená

# Využití aditivního a subtraktivního míšení barev



Aditivní míšení barev



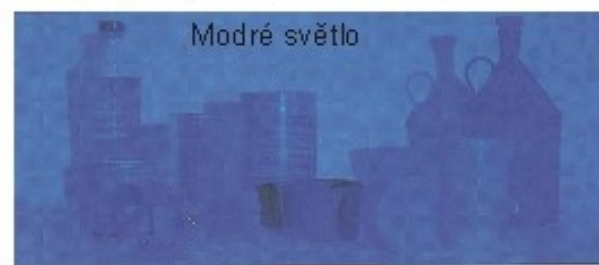
Subtraktivní míšení barev

- U barvotisku se subtraktivně mísí dvě barvy tak, že se tisknou přes sebe, světlo pak prochází vrstvami barviva, odraží se od bílého podkladu a opět prochází vrstvami barviva. Tímto způsobem vzniká dvojnásobná optická filtrace světla a tím se zvětšuje sytost výsledné barvy barvotisku.
- Barvotisk někdy též mísí barvy aditivně, a to tehdy, když se barevné tečky (případně plošky), tvořící barvotisk, umístí těsně vedle sebe. V takovém případě každá tečka (ploška) odraží světlo své barvy a tato světla se mísí aditivně ve výslednou barvu.
- Někdy se u barvotisků využívá i kombinace aditivního a subtraktivního míšení barev a to tak, že barevné elementy barvotisku jsou natištěny na bílém podkladu částečně vedle sebe a částečně na sobě.

## 4.4 Barva předmětů

- Předměty se mohou chovat ke světlu různě:
- 1. předměty mohou všechno světlo (nebo jen jeho část) propouštět, pak se nám jeví bezbarvé nebo barevně průsvitné;
- 2. všechno světelné záření nebo jeho část předměty pohlcují – mění světelnou energii na energii tepelnou – takové předměty se nám jeví černé nebo barevné neprůhledné a tmavé;
- 3. předmět může všechno dopadající světlo (nebo jen jeho část) odrazit zpět, pak se nám jeví jako bílý, šedý nebo světle zbarvený.

# Barva předmětu závisí na použitém světle



# 5. Vytváření barev malířem

- Každý malíř se neobejde bez tří základních barev – modré, žluté a červené, protože z těchto tří barev dokáže namíchat všechny ostatní odstíny.
- Ale pro fyzika jsou základní barvy červená, zelená a modrá, přesněji řečeno modrofialová.
- Proč ale zelená, a ne žlutá? Vždyť žádnou kombinací červené, zelené a modré malířské barvy žlutou nedostaneme, ať bychom se snažili sebevíc..

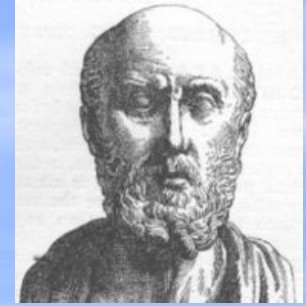
- Ale fyzik si **žlutou** barvu vyrobí snadno, stačí mu, když si promítne na bílý papír na totéž místo **červený** a **zelený** paprsek
- Ale pokud provedeme totéž s malířskými barvami: smícháme-li **červenou** a **zelenou**, nevznikne jasná žlut', ale vždy jen ošklivá **šedohnědá**.

- Malířská „barva“ ve skutečnosti barvou není: obsahuje pouze pigment, látku, jejíž molekuly mají schopnost pohlcovat a odrážet světlo o určité vlnové délce.





## 6. Psychologie a barvy



- Již řecký lékař **Hippokratés** (asi 460 – 370 před Kristem) dával barvy do souvislosti s lidskou povahou.
- Vypracoval podle nich teorii čtyř základních typů temperamentu (temperament znamená řecky něco jako „správné míšení“).
- Hippokratés měl na mysli míšení čtyř hlavních šťáv v lidském těle, temperamentem rozuměl povahu člověka a učil, že závisí na poměru krve – sanguis, černé žluči – melancholé, žluči – cholé a hlenu – flegma.
- Podle tohoto rozdělení stanovil základní lidské typy:
  - **sangvinik – červená barva**      **flegmatik – zelená barva**
  - **cholerik – žlutá barva**              **melancholik – modrá barva**

- Za zakladatele zkoumání barev z psychologického hlediska je považován

- **Johann Wolfgang von Goethe**  
(1749-1832)



- Na pozitivní straně světla jsou umístěny barvy bílá, žlutá, červeno-žlutá a žluto-červená.
- Negativní strana zahrnuje barvu černou, modrou, černo-modrou a modro-černou.

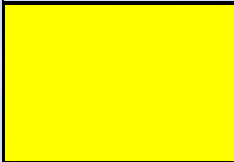



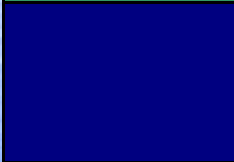
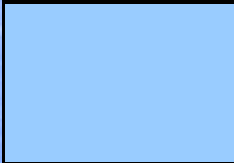
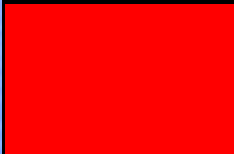
- Ernst Kretschmer (1884 – 1964), německý psychiatr jenž se zabýval typologií, rozdělil lidi na dva druhy: na cyklotýmy a achizotýmy.
- **Cyklotýmové** jsou lidé otevření, jenž snadno podléhají citům, pocitům a náladám svým i svého okolí. Vůči barvám jsou mnohem vnímavější a mají nejraději **žlutou** a **červenou**
- **Schizotýmové** – to jsou suší systematici, které barvitost světa drásá a kteří své city neustále kontrolují. Na rozdíl od cyklotýmů vnímají z okolního světa především tvary a ne barvy. Pokud si mají vybrat mezi barvami, volí obvykle odstíny chladné – hlavně **modrou** a **zelenou**.

- **Carl Gustav Jung** (1875 – 1961), tvůrce jiného typologického systému zjistil, že lidé, jenž se projevují jako
- **extroverti** (je pro ně charakteristické zaměření na vnější svět), dávají přednost teplým barvám, **žluté** a **červené**,
- **introverti** (lidé uzavření do svého nitra), mívají v oblibě **zelenou** a **modrou**.







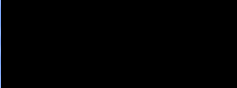
- **Max Lüscher** (nar. 1923) vytvořil populární test, který pracuje výhradně s barvami
- Čtyři základní barvy představují podle Lüschera čtyři základní lidské potřeby:
  - **modrá** – klid a spokojenost,
  - **zelená** – sebeuplatnění,
  - **červená** – činnost,
  - **žlutá** – naději.

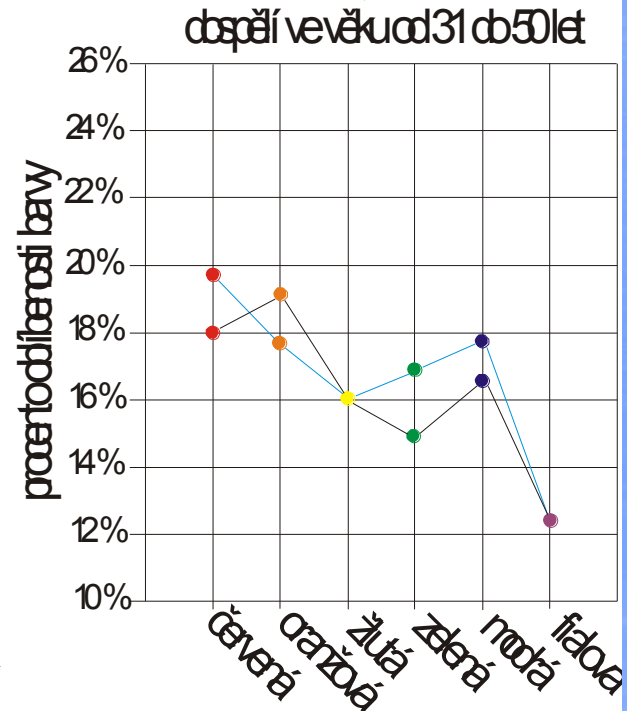
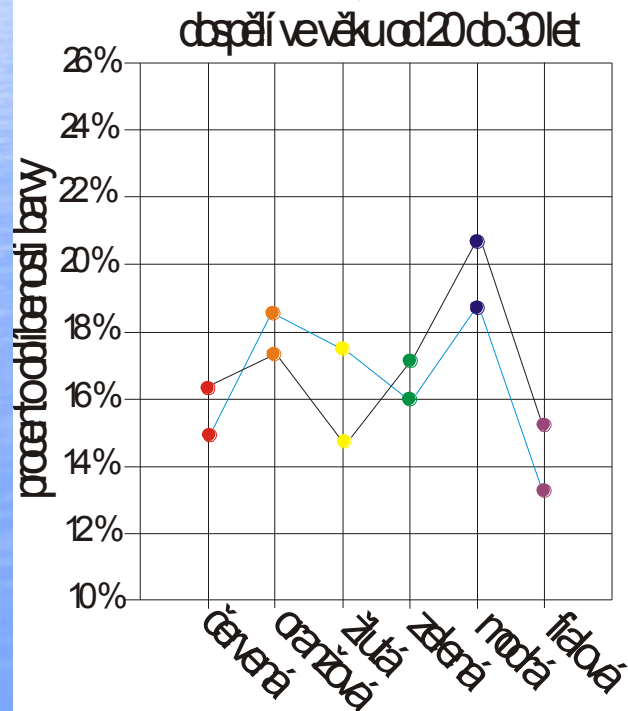
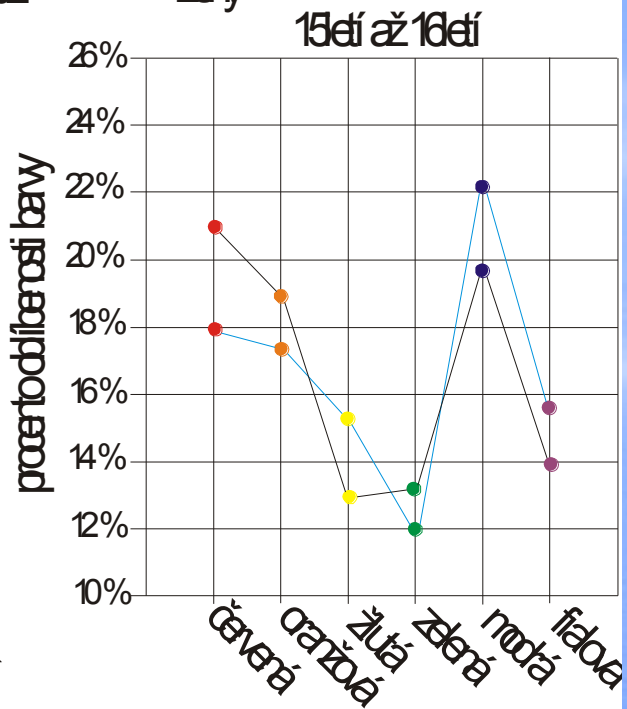
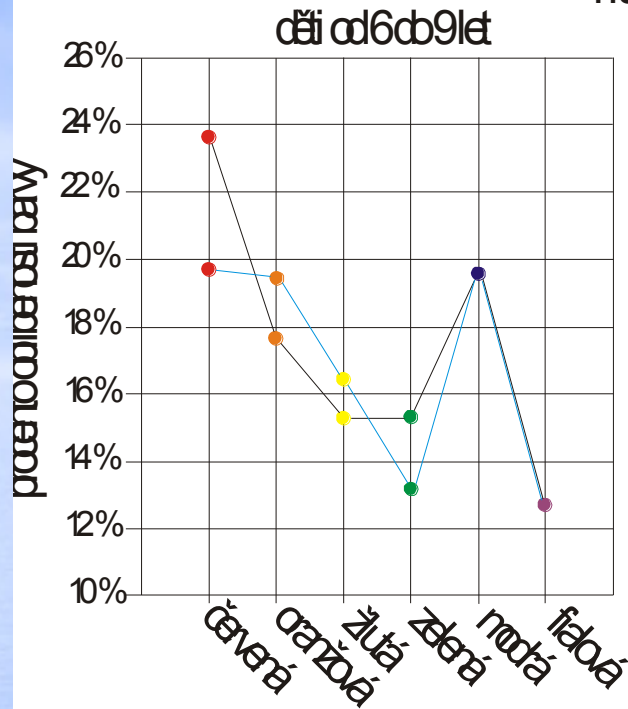
| barva    | muži   | ženy   |
|----------|--------|--------|
| modrá    | 18,50% | 22%    |
| červená  | 19,20% | 15,60% |
| zelená   | 17,80% | 14,80% |
| žlutá    | 12,20% | 13,20% |
| oranžová | 11,10% | 8,70%  |
| fialová  | 6,10%  | 8,50%  |
| hnědá    | 6,30%  | 7,70%  |
| černá    | 6,10%  | 5,80%  |
| bílá     | 2%     | 2%     |
| šedá     | 0,70%  | 1,70%  |

# Vliv barev na psychiku

|   |               |   |
|---|---------------|---|
|    | žlutá         | povzbuzuje, osvobozuje, přináší uvolnění, pocit souladu, harmonie, působí vesele a otevřeně                       |
|    | oranžová      | je slavnostní, vyvolává pocit radosti, je spoj. s představou slunce, tepla, bohatství, zlata, úrody               |
|    | světle zelená | působí přirozeně, ale někdy i jedovatě, je spojena s představou chladu, vlhka, ticha, rostlin                     |
|    | tmavozelená   | uklidňuje a chrání, ale také omezuje, je přátelská, dává pocit bezpečí a naděje                                   |
|    | tmavomodrá    | klidná, vážná až skličující, barva dálek, hloubky, rozjímání a smutku   |
|   | světle modrá  | působí přívětivě, vyvolává představu oblohy a vzduchu, ticha a touhy  |
|  | červená       | vzrušující, energická, prudká až náruživá, silná, mocná, spojená s představami ohně, krve, nebezpečí, lásky hluku |

# Vliv barev na psychiku

|  |                |  |
|--|----------------|--|
|    | purpur         | působí důstojně, hrdě, vznešeně, povzbudivě, je spojen s představou spravedlnosti a majestátu                              |
|    | fialová        | neklidná, znepokojivá, melancholická, tajemná, osobitá, náročná  |
|    | světle fialová | působí začarovaně, rozpolceně, slabošsky, je to barva magie, melancholie, opojení  |
|    | hnědá          | střízlivá, mlčenlivá, solidní a vážná, realistická, spojená s představou jistoty a pořádku, domova, tradice, zdrženlivosti |
|   | šedá           | netečná, smutná, spojená s představou chudoby a pokory   |
|  | bílá           | neurčitá, nejistá, spojená s představou nevinnosti a čistoty   |
|  | černá          | barvy vzdorného protestu, zlého tajemství, nicoty, smrti   |





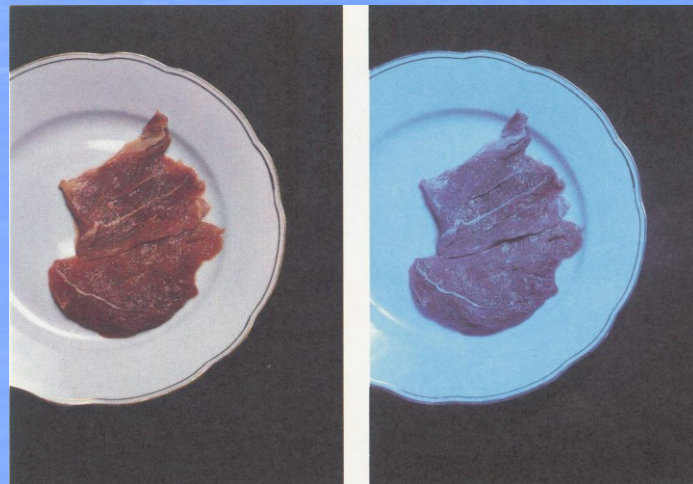
## 7. Barvy nevnímáme pouze očima

- Při výzkumech s ozařováním pokusných osob barevnými světly se měřil jejich krevní tlak a puls.
- Zjistilo se, že červené světlo vyvolalo zřetelný pokles tlaku – zhruba 20 mm rtuťového sloupce.
- Modré světlo vyvolalo vzestup tlaku. Změny frekvence tepu však pozorovány nebyly.
- Při zeleném a žlutém světle podle naměřených údajů k evidentním změnám krevního tlaku nedocházelo

- Zjistilo se, že červené světlo zvětšuje svalový tonus z normálních 23 jednotek na 42 jednotek a oranžové světlo na 35 jednotek.
- Vnikalo-li světlo pouze do jednoho oka, rostlo svalové napětí jen v odpovídající polovině těla.

## 8. Barevné asociace

- Vnímání barev často doprovázejí silné citové zážitky – mohou být jak příjemné, tak i nepříjemné a silně ovlivňující náš vztah k barvám.
- Kdo si spojuje žlutou barvu se sluncem a pampeliškami na jaře, bude mít pocit libý, kdo ale se žloutenkou, bude mít pocit nelibý.
- Asociace barev s některými zážitky mohou být i neobyčejně silné. Barva pak může okamžitě vyvolat určitý prožitek, anebo naopak stačí dokonce pouhá zmínka o takovém zážitku aby vznikl vjem barvy



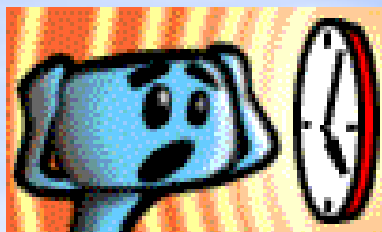
## 9. Vjemová barevná konstanta

- Vjemová barevná konstanta je jednou z nejdůležitějších psychologických zvláštností lidského vnímání. Někteří fyziologové ji vysvětlují jako adaptační schopnost oka.
- Vjemovou barevnou konstantou se lidská psychika brání proti přemíře diferencovaných barevných vjemů, které by mohly narušit naši představu světa, v němž žijeme, respektive by nedovolily, aby se taková představa vytvořila a ustálila.
- Plet'ové barvy – rozpoznávání tváří bělochů, černochoů, asiátů

- **Mozek** plní roli režiséra
- dbá, na to, aby každý záběr, každý náš barevný vjem měl svůj jasný smysl a dobře zapadl do složitého celku díla, jímž je v tomto případě naše vizuální představa světa.

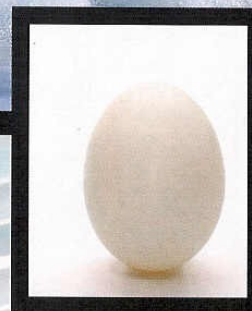
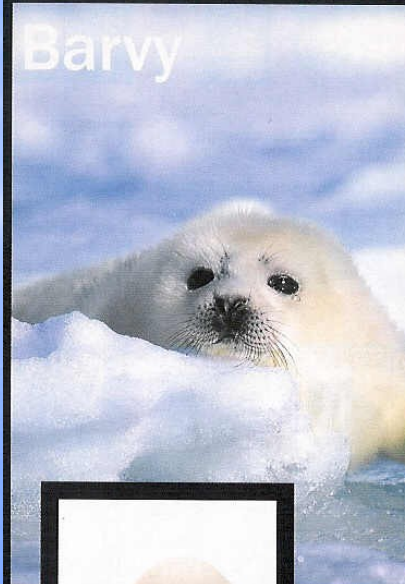
# Závěr

- Kdybychom neviděli barevně, byl by náš vnitřní svět mnohem chudší.
- Přišli bychom o mnoho duševních a citových zážitků a náš způsob života by byl podstatně odlišný od toho současného.
- I naše řeč by ztratila na své barvitosti, nemluvě o tom, jak by vypadaly básně a literatura a co by zbylo z malířství.

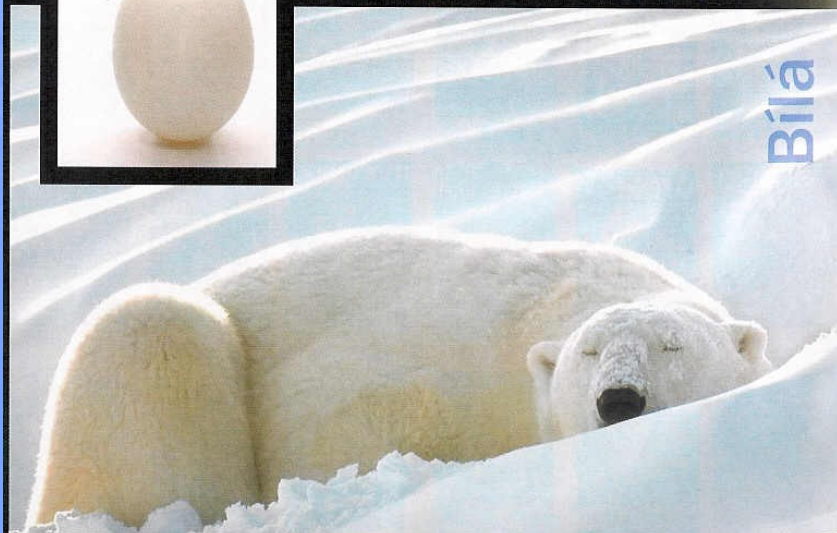


# KRÁSNÁ PLANETA

Barvy



Bílá



Děkuji za pozornost.