



Lze vidět polarizované světlo?

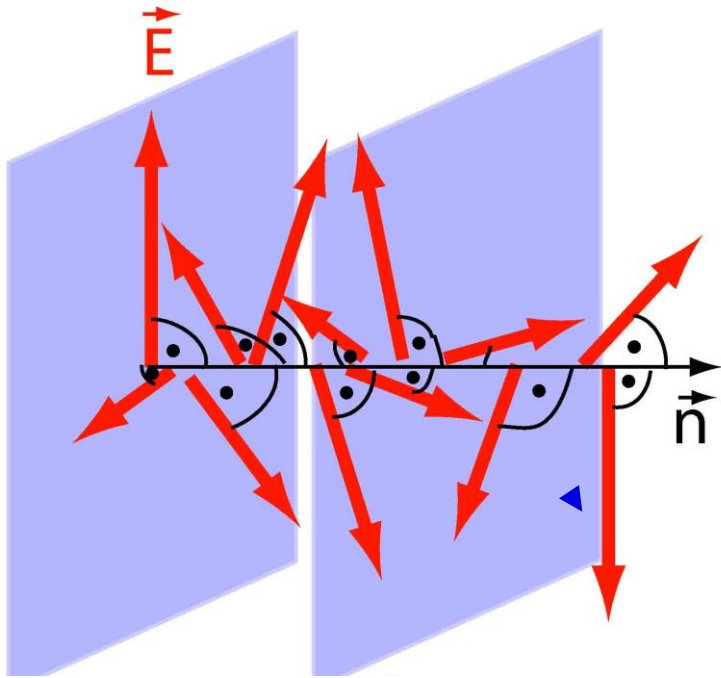
Konec včelího monopolu?

Materiál byl připraven v rámci projektu Zkvalitnění a inovace přípravy budoucích učitelů na MUNI (ZIP MUNI), reg. č. p.: CZ.02.3.68/0.0/0.0/19_068/0016170.

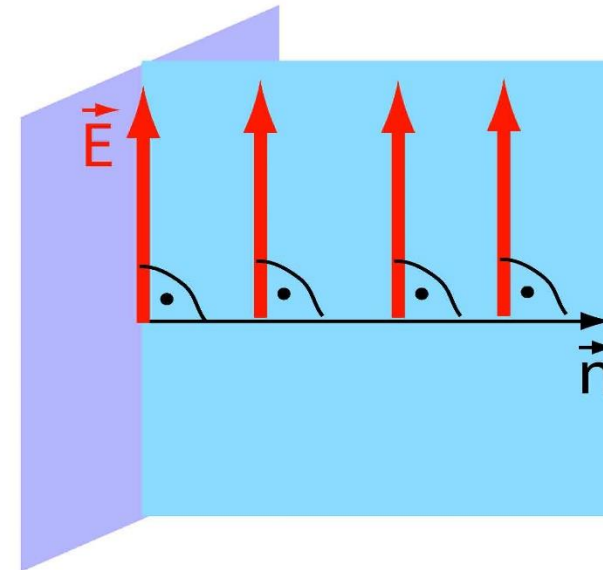
Světlo jako elektromagnetické vlnění

- Vektor elektrické intenzity \mathbf{E} vždy kolmý na směr šíření \mathbf{n}
- Vektor magnetické indukce \mathbf{B} kolmý na \mathbf{E} i \mathbf{n} ($\mathbf{n} \propto \mathbf{E} \times \mathbf{B}$) a dán i co do velikosti ($B=E/c$).
- Elektrická intenzita (i magnetická indukce) jsou funkce prostorové polohy x a časové souřadnice t : $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \sin 2\pi(t/T - x/\lambda)$
- <https://www.geogebra.org/m/xhYwXSsH>
- V dalším budeme uvažovat jen o vektoru el. intenzity \mathbf{E}

Nepolarizované a lineárně polarizované světlo



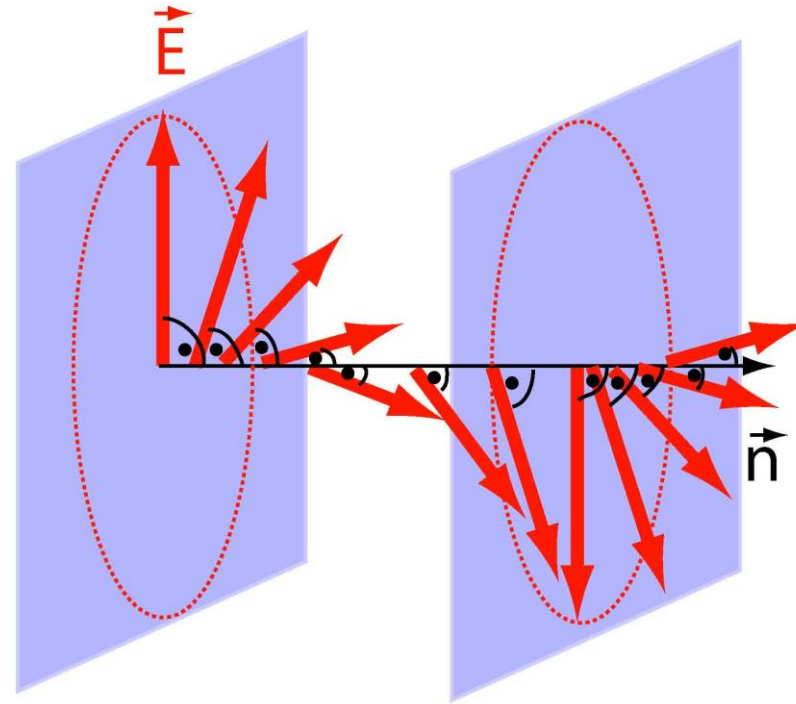
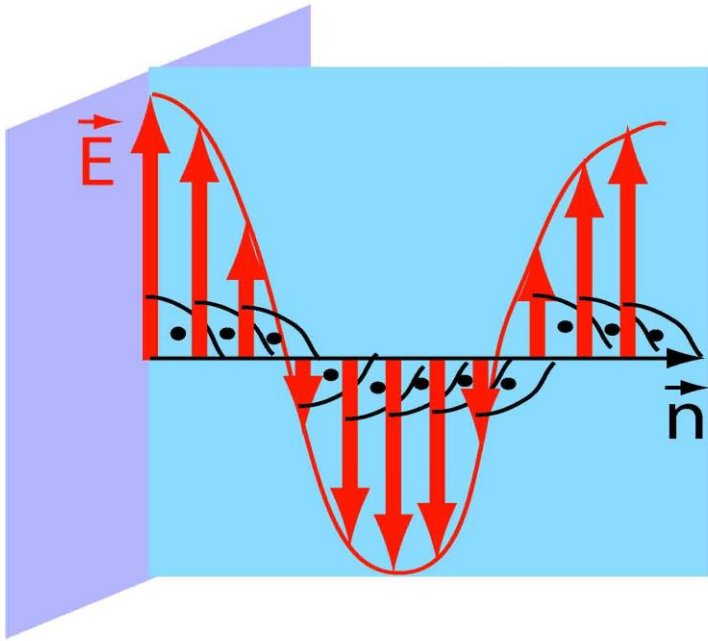
Obr. 1: Nepolarizované světlo (vlastní obrázek)



Obr. 2: Lineárně polarizované světlo (vlastní obrázek)

- Pouze: \vec{E} je kolmé ke směru šíření
- \vec{E} kolmé ke směru šíření a leží v jedné rovině

Lineárně a kruhově polarizované světlo



Obr. 3: Lineárně polarizované světlo (vlastní obrázek) Obr. 4: Kruhově polarizované světlo (vlastní obrázek)

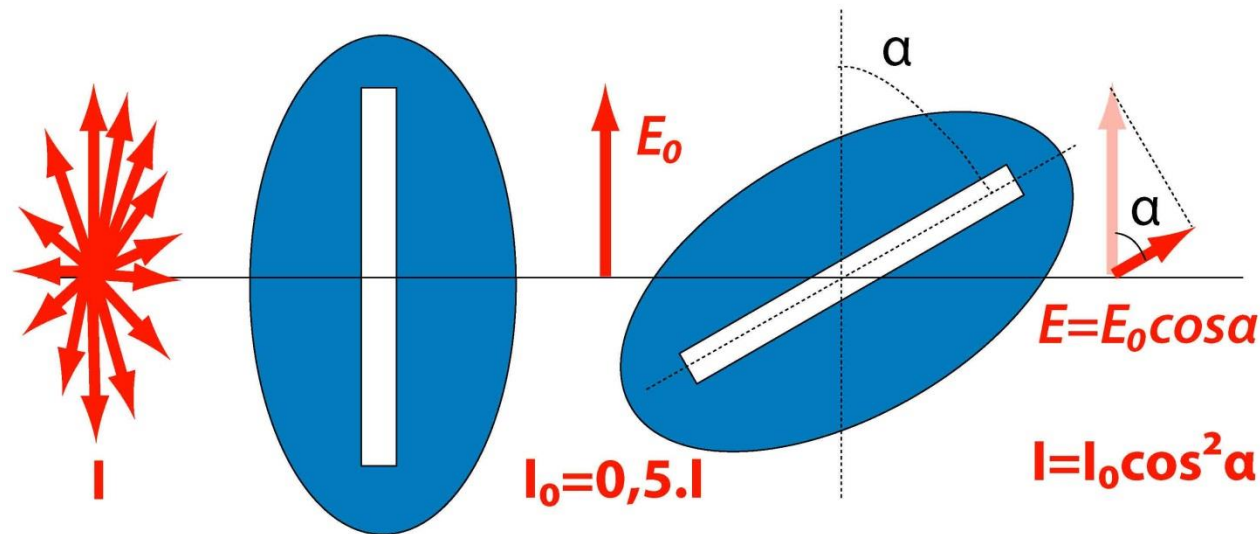
- \mathbf{E} kolmé ke směru šíření a leží v jedné rovině
- \mathbf{E} je kolmé ke směru šíření
- a v rovině na něj kolmé opisuje kružnici.

Jak získat lineárně polarizované světlo?

- Průchod polarizačním filtrem
- Odrazem či mnohonásobným lomem
- Dvojlomem
- Rozptylem
- ...

Jak poznat lineárně polarizované světlo?

- Nepolarizované světlo – je třeba dvou polarizačních filtrů
- Polarizované světlo – stačí jediný polarizační filtr



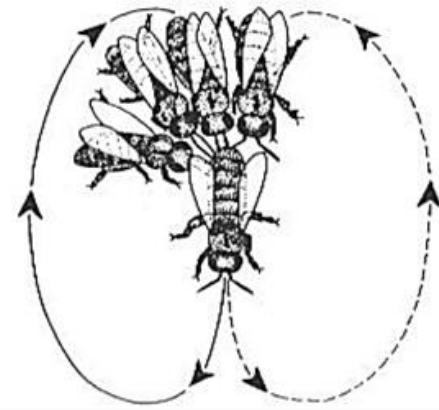
Obr. 5: Intenzita po průchodu polarizačním filtrem (vlastní obrázek)

A co včely?

„natřásavý včelí taneček“ – určuje vzdálenost a směr ke zdroji potravy

Vzdálenost:

- 15 sekund 9 - 10 osmiček = 150 - 180 metrů,
- 15 sekund 7 osmiček = 600 metrů,
- 4 osmičky = 1 km
- 2 osmičky do 6 km, vzdálenější zdroje ignoruje



Obr. 6: Včelí taneček (převzato z časopisu Vesmír)

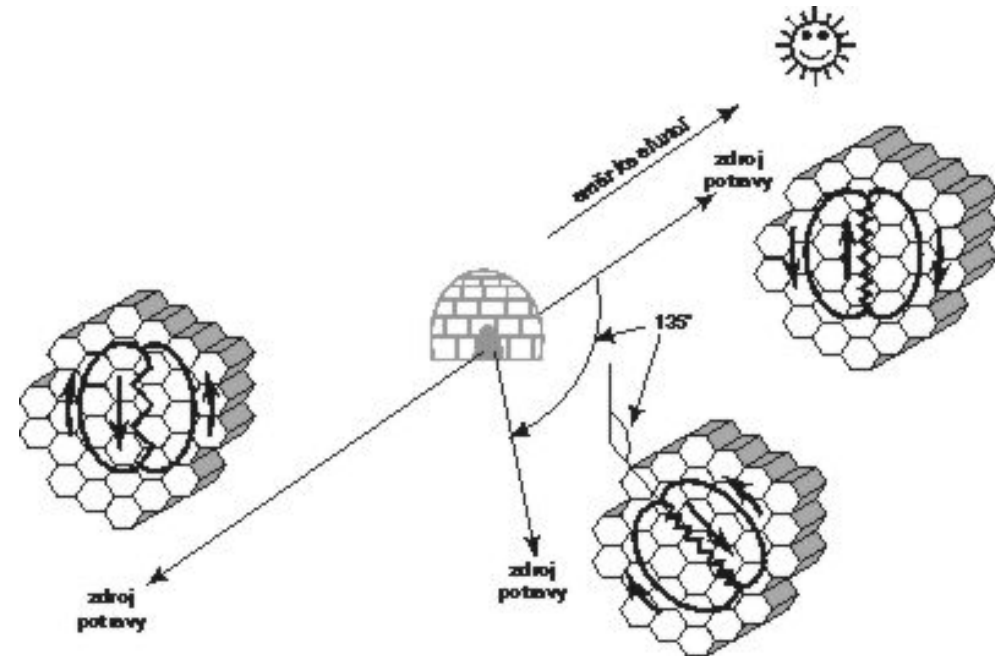
- Počtem natřásavých pohybů zadečku udává vydatnost zdroje, ochutnávkami přineseného nektaru dává posoudit kvalitu.

<http://www.youtube.com/watch?v=-7ijl-g4jHg>

A co včely? – svítí sluníčko

Směr:

„Pokaždé uprostřed osmičkového tvaru začne tanečnice kývat celým tělem ze strany na stranu. V tom okamžiku je vždy obrácena čelem ke zdroji potravy v relaci s okamžitou polohou slunce a samozřejmě i s nakloněním „tanečního parketu“ kolmo na skutečnou plochu reálného světa. Jestliže je potrava na místě ležícím směrem ke slunci, postupuje včela za současného kývání tělem přímo vzhůru (ke dvanáctce na pomyslném ciferníku hodin). Nalézají-li se „dobrůtky“ 135° vpravo (po směru hodinových ručiček) od slunce, směřuje létavka při kývavé části tance také ve směru 135° vpravo od dvanáctky (tedy mezi čtyřku a pětku na ciferníku). Směr od slunce udává tanečnice pohybem přímo dolů (k šestce na ciferníku).“

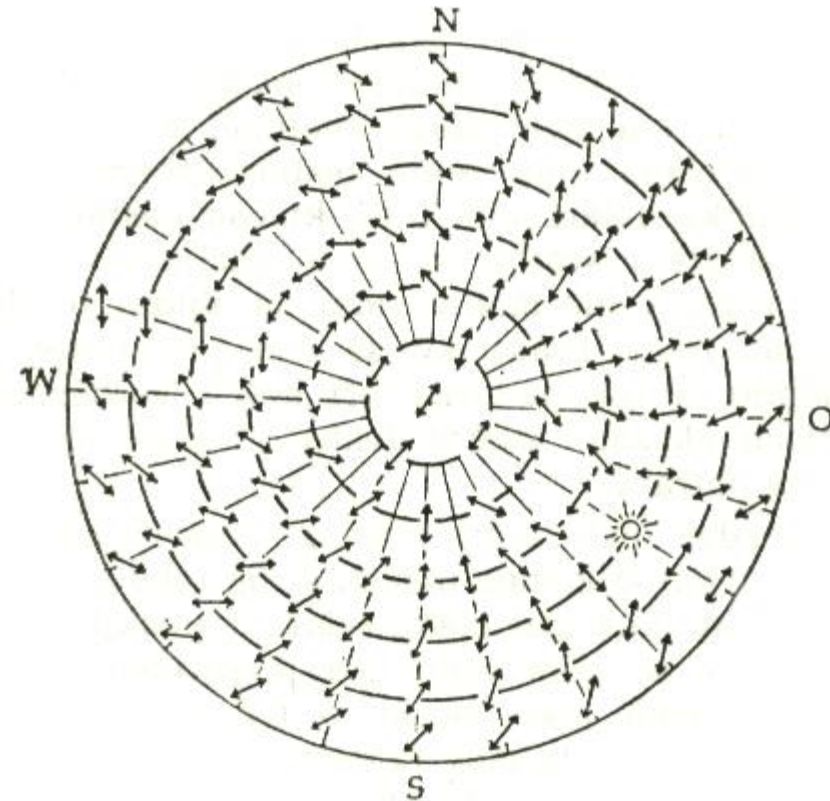


Obr. 7: Včelí taneček - směry (převzato z časopisu Vesmír)
<http://www.vesmir.cz/clanek/o-vcelich-taneccich-orientaci-a-robotech>

A co když nesvítí?

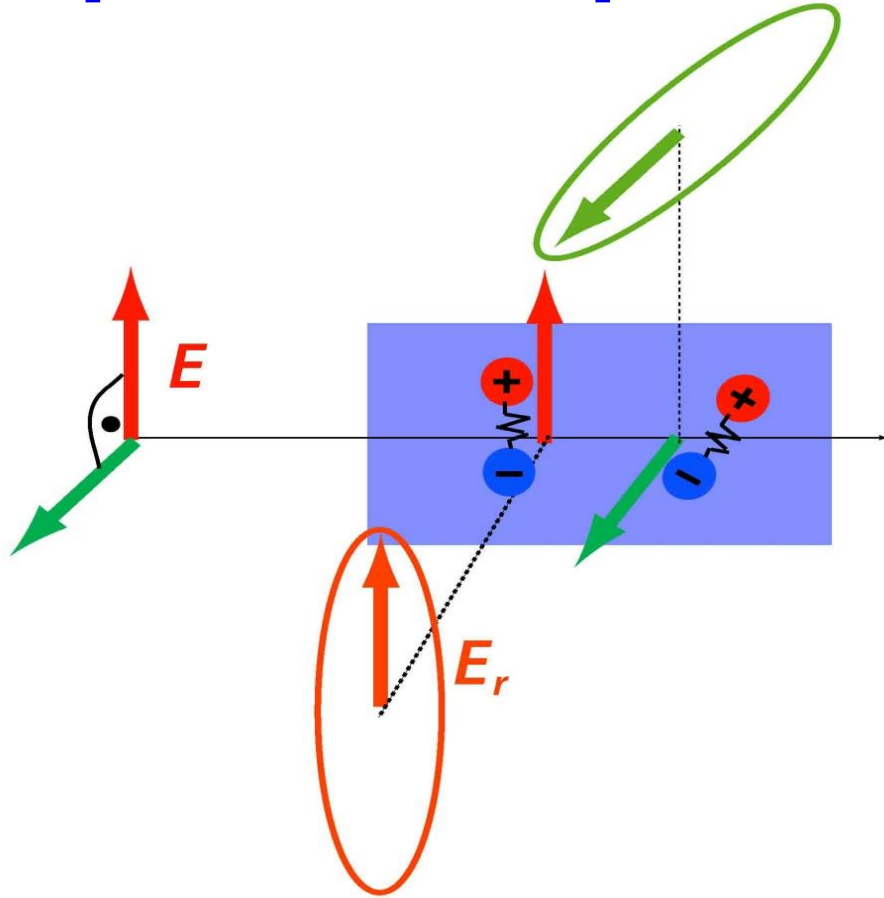
- Je-li vrstva mraků slabší, může včela použít svého vidění v UV oblasti – pro ni jsou mraky do určité tloušťky propustné, jen mírně rozptylují.
- Pokud je vrstva mraků silnější, je třeba použít schopnosti vidět polarizované světlo.

Polarizace světla oblohy v 10 hodin dopoledne: dvojité šipky znázorňují směr roviny polarizovaného světla. S postupem slunce na obloze se charakteristicky mění „vzorek“ oblohy. Některé druhy hmyzu znají tyto souvislosti a mohou z nich „vypočítat“, tj. určit polohu slunce na obloze, i když je slunce skryto za mraky:
V obrazci: N=sever, O=východ, W=západ, S=jih



Obr. 8: Včelí taneček – polarizace oblohy (převzato z časopisu Vesmír)

Rozptýlené světlo a polarizace – jak určit směr propustnosti prvního polaroidu



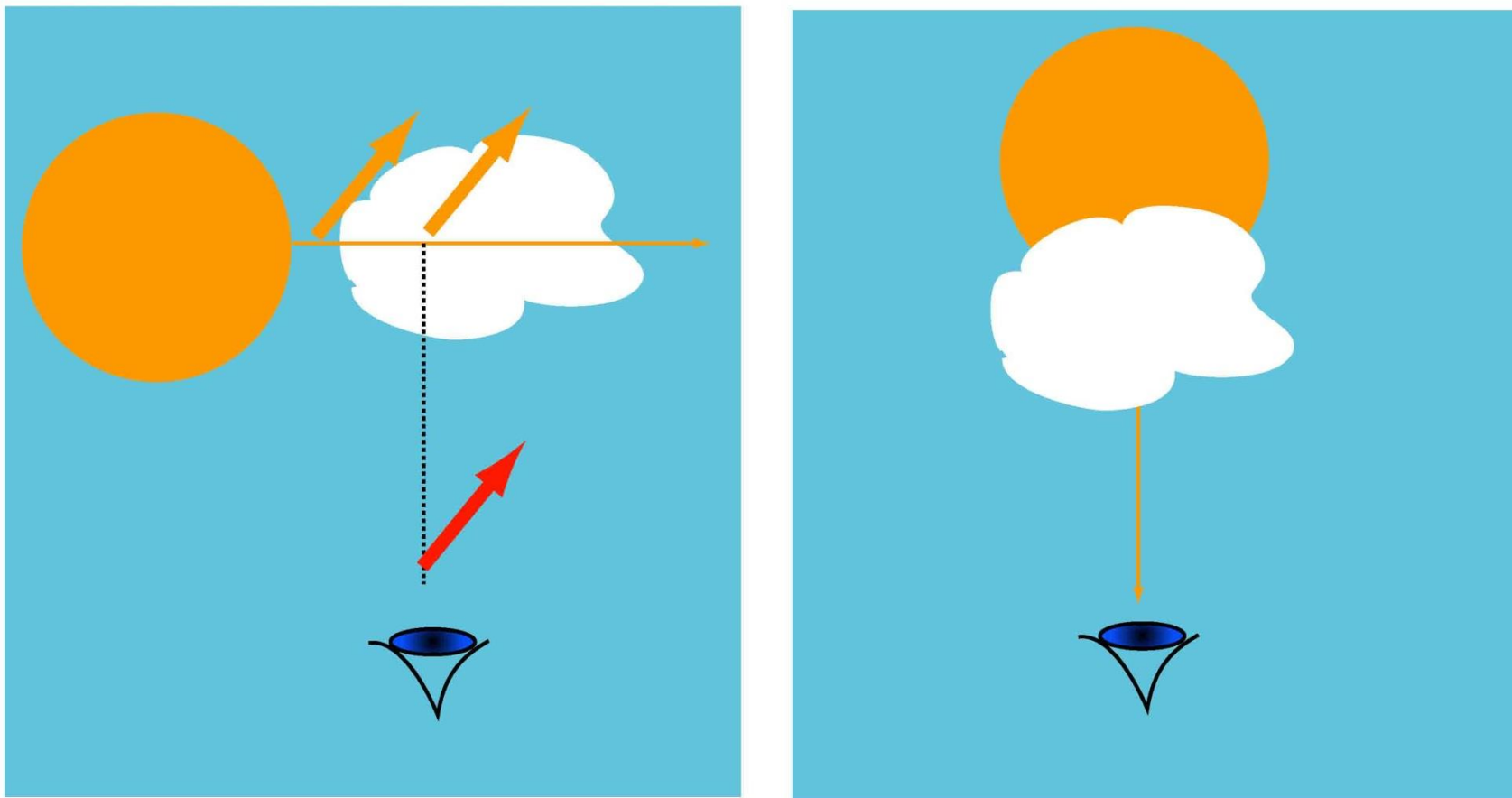
Obr. 9: Intenzita po průchodu polarizačním filtrem (vlastní obrázek)

- Dopadající vlnění vyvolává vznik sekundárního vlnění se stejnou polarizací (pozorováno v kolmém směru na roztok).
- Při pozorování v jiném než kolmém směru je světlo pouze částečně polarizované.
- Prošlé světlo polarizované není.

Kdy je polarizované rozptýlené světlo oblohy nejlépe pozorovatelné?

Polarizace oblohy

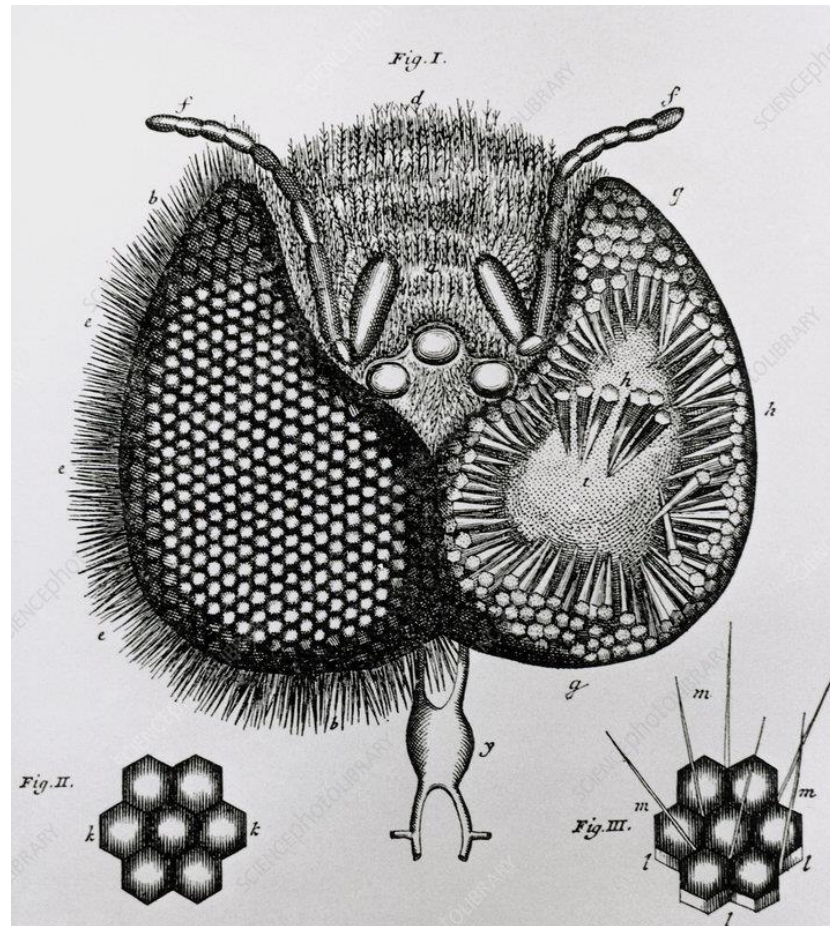
Obloha je nejlépe polarizovaná ráno a večer, není polarizovaná v poledne.



Obr. 10: Polarizace oblohy ráno či večer a v poledne (vlastní obrázek)

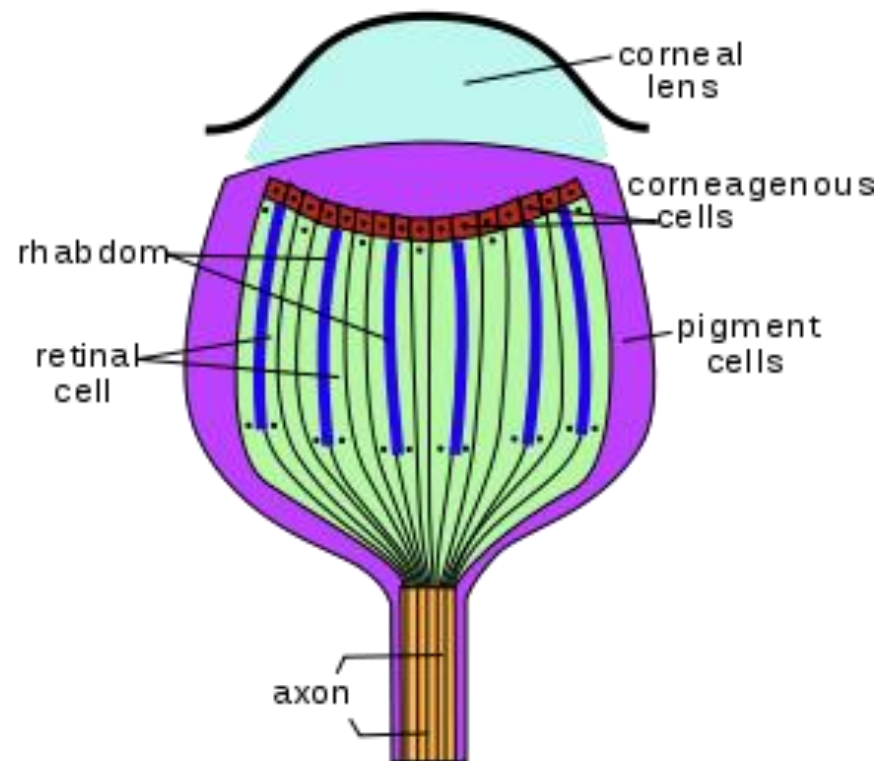
Včela má pět očí:

Tři jednoduchá oka na temeni hlavy + dvě složená. Jednoduchá oka jsou detektor intenzity světla, složená slouží k vlastnímu vidění.



Obr. 11: Včelí oko (převzato ze stránek Science Photo)

Včelí oko - jednoduché



Obr. 12: Včelí oko – jednoduché (převzato z Free Transparent PNG Images)

Včelí oko - složené

Jak velké by mělo být omatidium, čili jeden kousek složeného oka?

Byl by vhodný co nejmenší vstupní úhel $\Delta\alpha$ pro dané oko (poměr průměru čočky δ a poloměru r omatidia):

$$\Delta\alpha_g = \frac{\delta}{r}$$

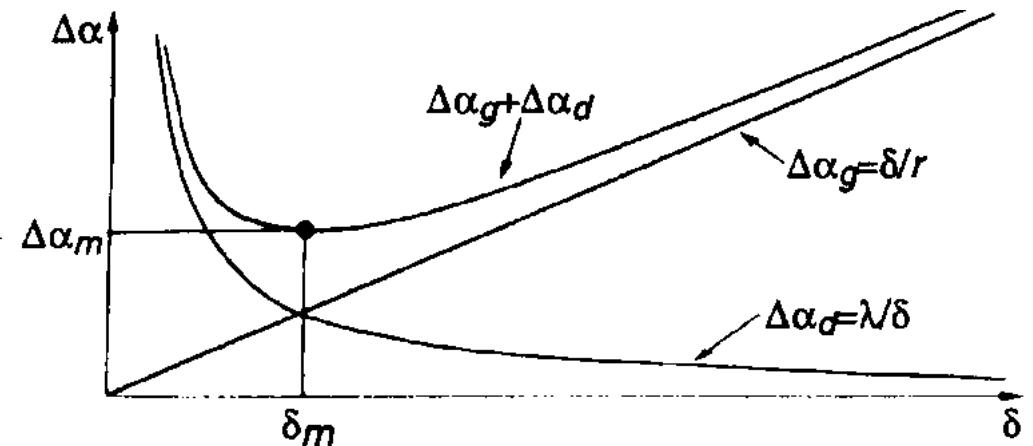
V úzkých otvorech se ale bude projevovat difrakce v závislosti na vlnové délce λ :

$$\Delta\alpha_d = \frac{\lambda}{\delta}$$

Hledáme-li optimum, musíme spočítat extrém:

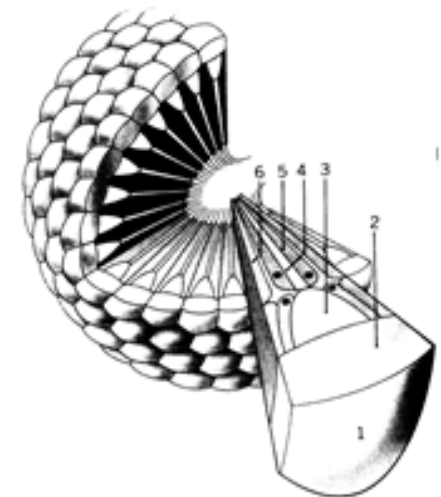
$$\frac{d(\Delta\alpha_g + \Delta\alpha_d)}{d\delta} = 0 = \frac{1}{r} - \frac{\lambda}{\delta^2}$$

Minimum nastává pro: $\delta_m = \sqrt{\lambda r}$

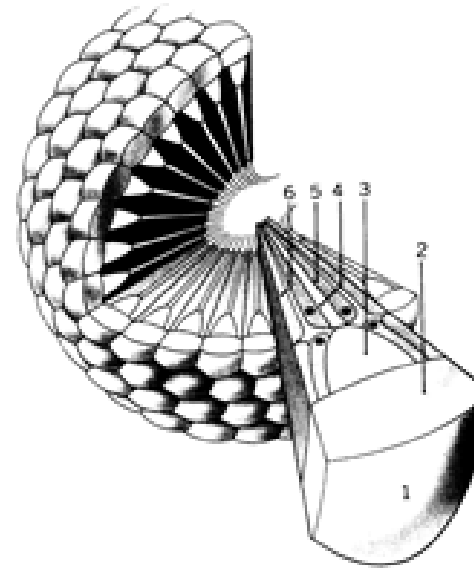
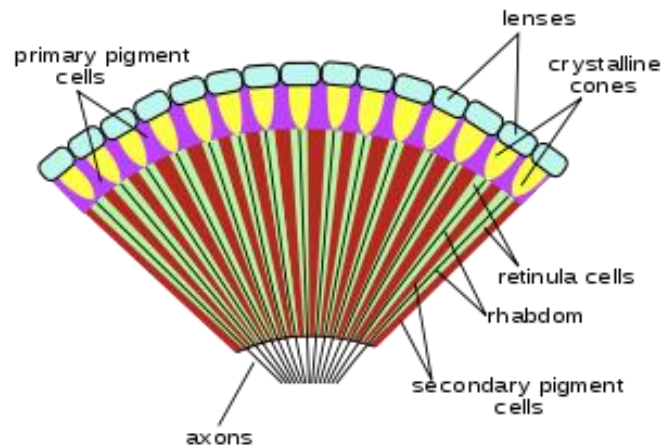


Pro $r=3$ mm a $\lambda=400$ nm je minimální $\delta_m=35$ μm (literatura uvádí $30\mu\text{m}$).

Obr. 13: Difrakce (převzatý obrázek)



Včelí oko - složené

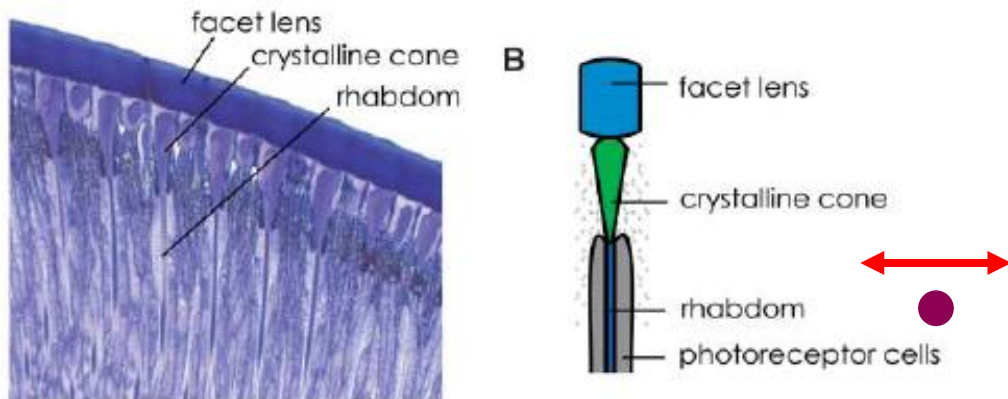


Složené oko a struktura ommatidia, jednoduché buňky složeného oka.
1- ommatidium, 2 - rohovka, 3 – čočka, 4 – rhabdom, 5 – sítnicové buňky
přenášející signály do mozku, 6 – buňky s izolačním pigmentem

Obr. 14: Anatomie včelího oka (převzatý obrázek)

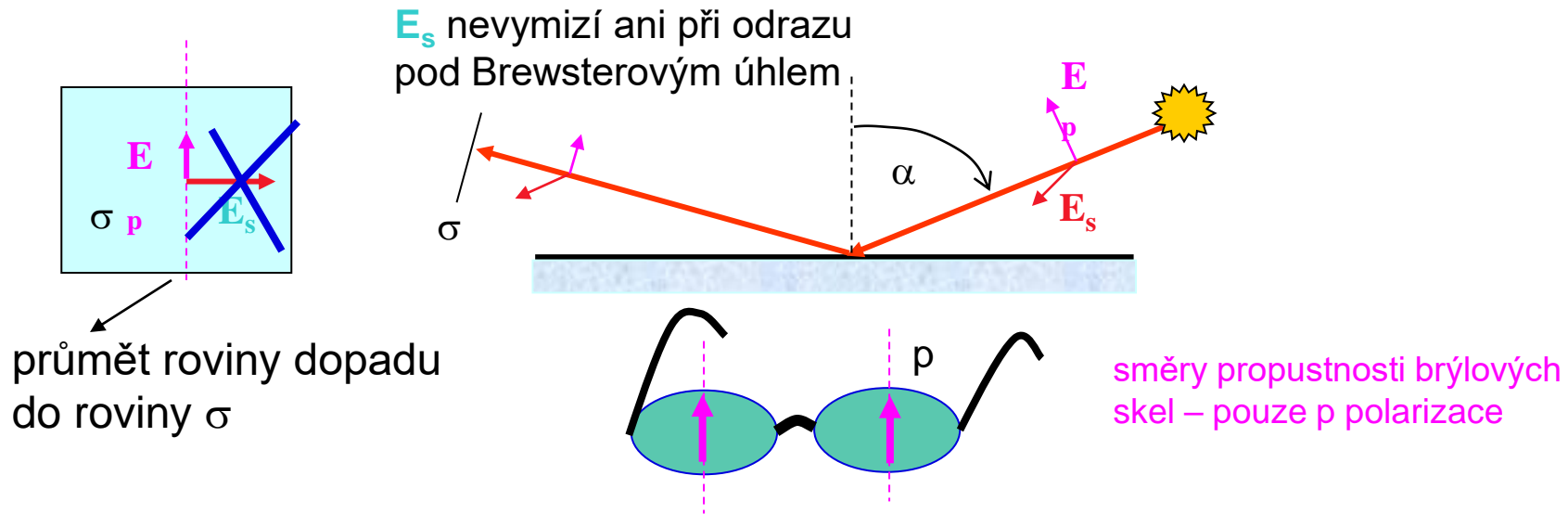
Včelí oko - složené

- V jednom omatidiu je vedeno světlo osmi kanály (rhabdom) do zrakových buněk.
- Kanálky se skládají z mikrokapilár (průměr 60 μm), které jsou naplněny kapalinou reagující na osvětlení, uspořádání je napříč kanálku
- Dva sousední kanálky mají uspořádání mikrokapilár rovnoběžné, dva další kolmé na směr předchozích mikrokapilár.
- V daném omatidiu při osvětlení polarizovaným světlem, které má směr jedné sady kanálků, vidí 4 kanálky světlo a 4 tmu = základní rozlišení polarizace.
- Na jemnějším rozlišení patrně spolupracuje více omatidií.



Obr. 15: Anatomie včelího oka (převzatý obrázek)

Jak lidé vidí polarizované světlo?- polarizační brýle



Polarizační brýle by měly snížit intenzitu odražených slunečních paprsků od povrchu vody nebo sněhu nebo jiných přibližně vodorovných povrchů.

Kdy je světlo odražené od hladiny Brněnské přehrady lineárně polarizované?

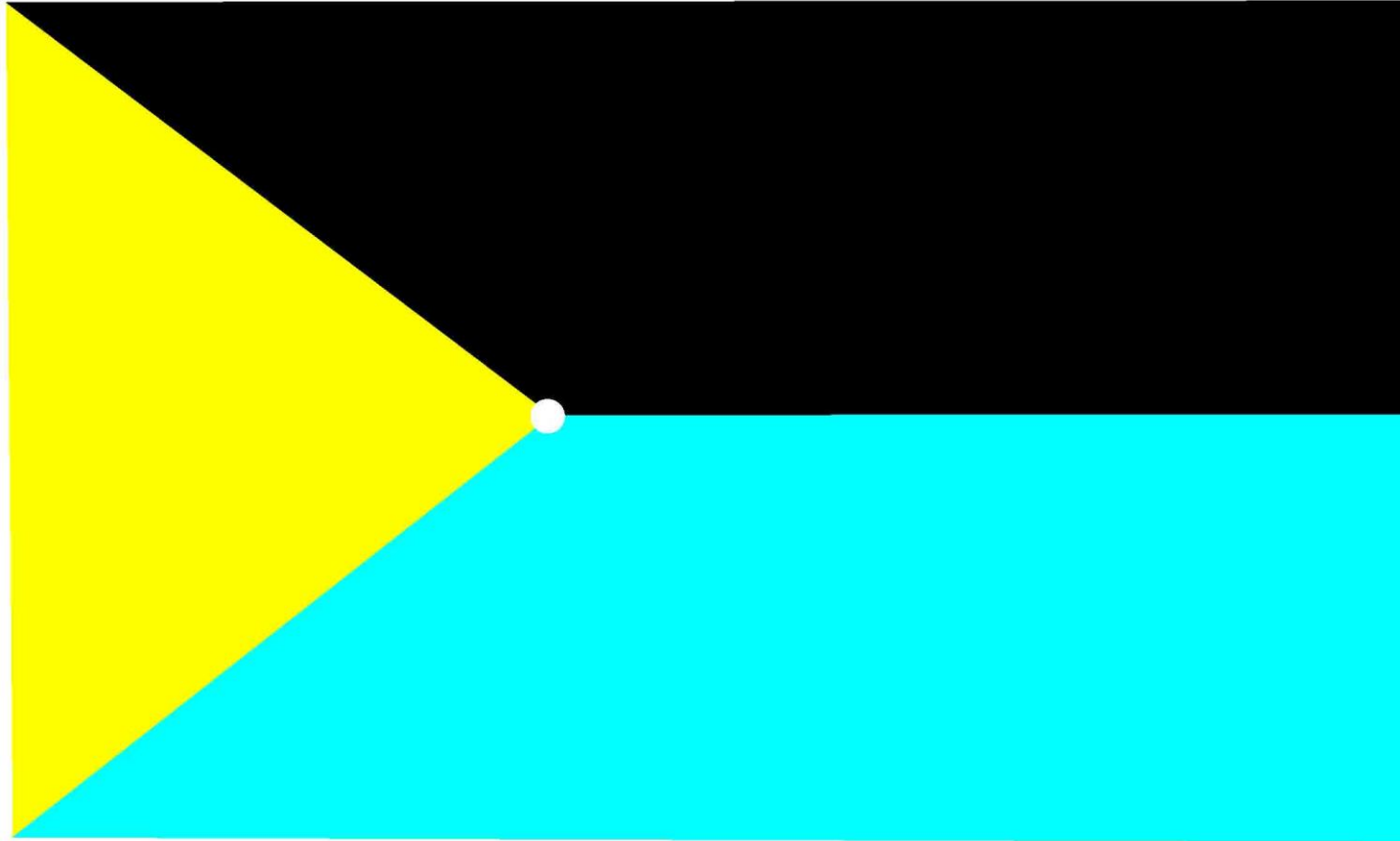
Index lomu vody je $4/3$, vzduchu 1 , tedy $\tan \alpha = 4/3$, $\alpha = 53^\circ 7' 49''$. Slunce je tedy ve výšce $36^\circ 52' 11''$ nad obzorem. Podle astronomických tabulek dojde k jevu nejdříve 10.3. v poledne, nejpozději 4.10. v poledne, v tomto období se denní hodina mění, například 30.6. jev nastane krátce před 8.00 a před 16.00.

Obr. 16: Polarizační brýle (vlastní obrázek)

Poznáte polarizaci tohoto světla?

- Díváte-li se na obraz vytvořený projektorem, není obvykle polarizovaný. Použijte LCD displej (notebook, mobil).

Odbočka – princip barevného vidění



Dívejte se nejprve na bílou skvrnu na vlajce, pak překlikněte na další stránku.

Obr. 17: Vlajka (vlastní obrázek)

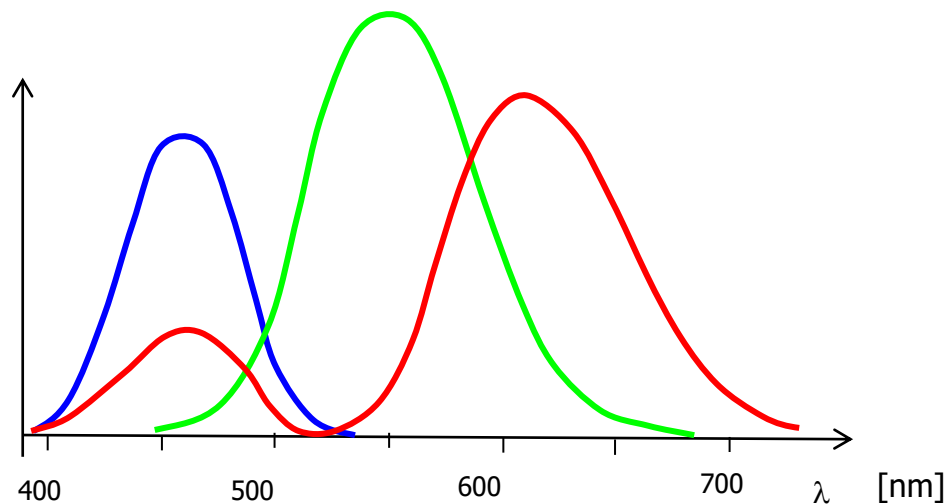
Odbočka – princip barevného vidění

Co vidíte? A proč?

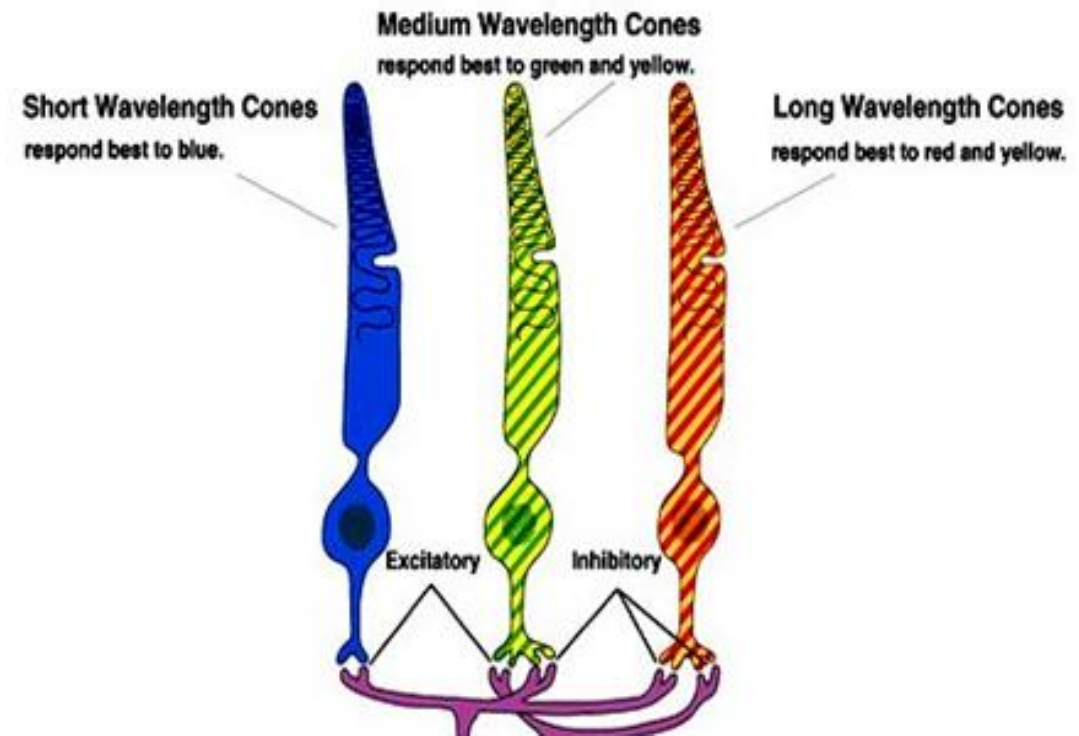
Odbočka – princip barevného vidění

- 3 druhy čípků – vnímání červené, zelené a modré barvy, umístění hlavně ve žluté skvrně

Spektrální citlivost
jednotlivých druhů čípků



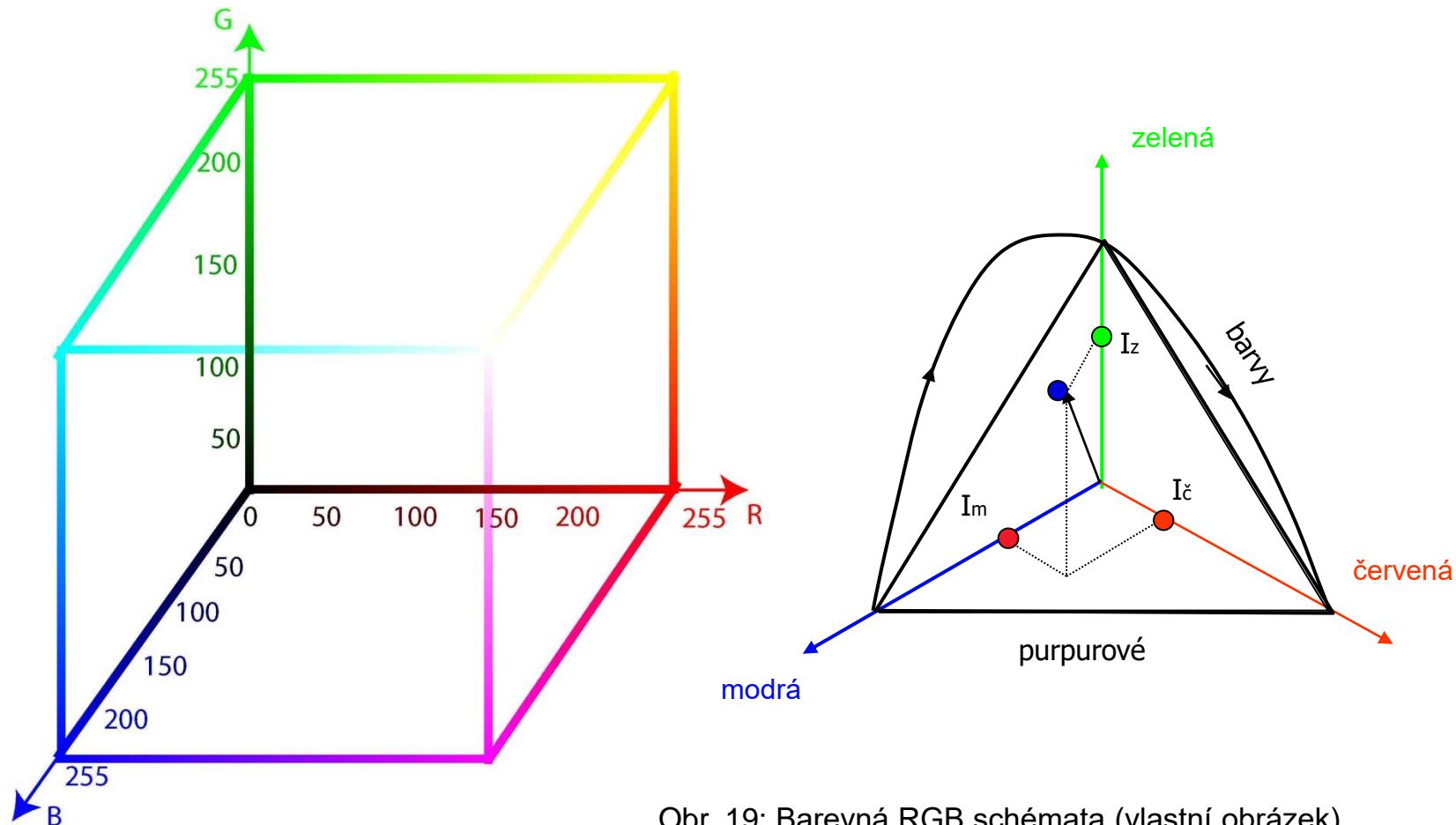
Obr. 18: Citlivost oka (vlastní obrázek)



k zrakovému
nervu

Odbočka – princip barevného vidění

– Barevný trojúhelník (krychle)

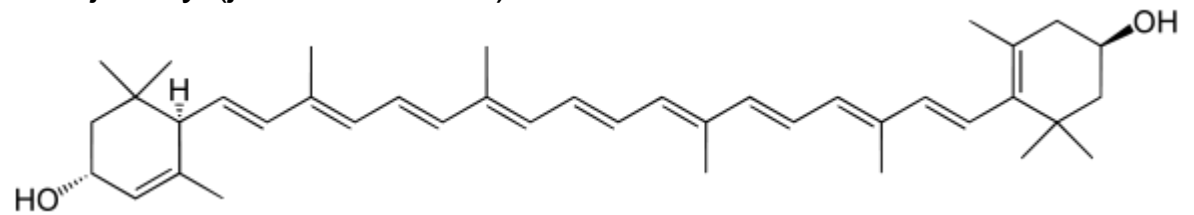


Obr. 19: Barevná RGB schémata (vlastní obrázek)

Haidingerův snop (Büschel, brush)

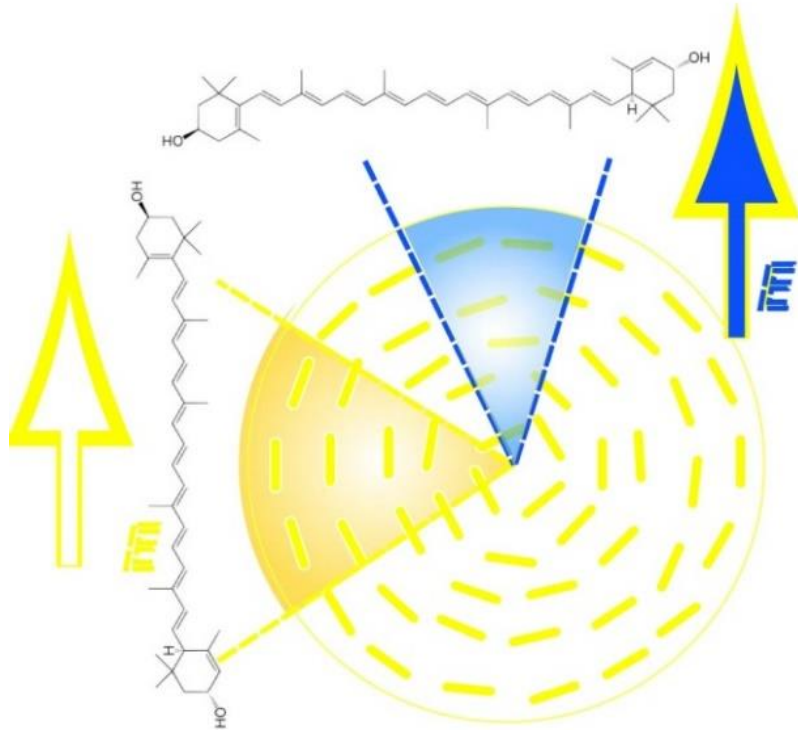
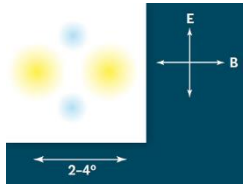
směr pohlcení modré
z bílé – zůstává žlutá

- Jev je individuální, vnímá ho každý na sítnici a odlišně (úhlová velikost 4-5°).
- Původcem je žlutá skvrna (makula), konkrétně okolí její jamky (jamka = fovea).



- V čípcích jsou umístěny molekuly luteinu, a to jako dlouhé tyčinky umístěné do kruhu v jamce.
- Lutein (žluté barvivo) je schopen absorbovat modré světlo.
- Dorazí-li světlo vhodné polarizace k molekule luteinu (vektor el. intenzity rovnoběžný s orientací molekuly), modrá složka se pohltí.

Haidingerův snop – vnímání lineární a kruhové polarizace



- Při pozorování lineární polarizace se poloha obrazce při natáčení hlavy nemění.
- Při pozorování kruhové polarizace se obrazec při otáčení hlavy může otáčet (pozor, nestačíme sledovat rotaci vektoru el. intenzity! Pomáhá něco jako stroboskopický efekt?).

<http://www.vesmir.cz/clanky/clanek/id/8999>

<http://www.polarization.com/haidinger/haidinger.html>

Poznáte polarizaci tohoto světla?

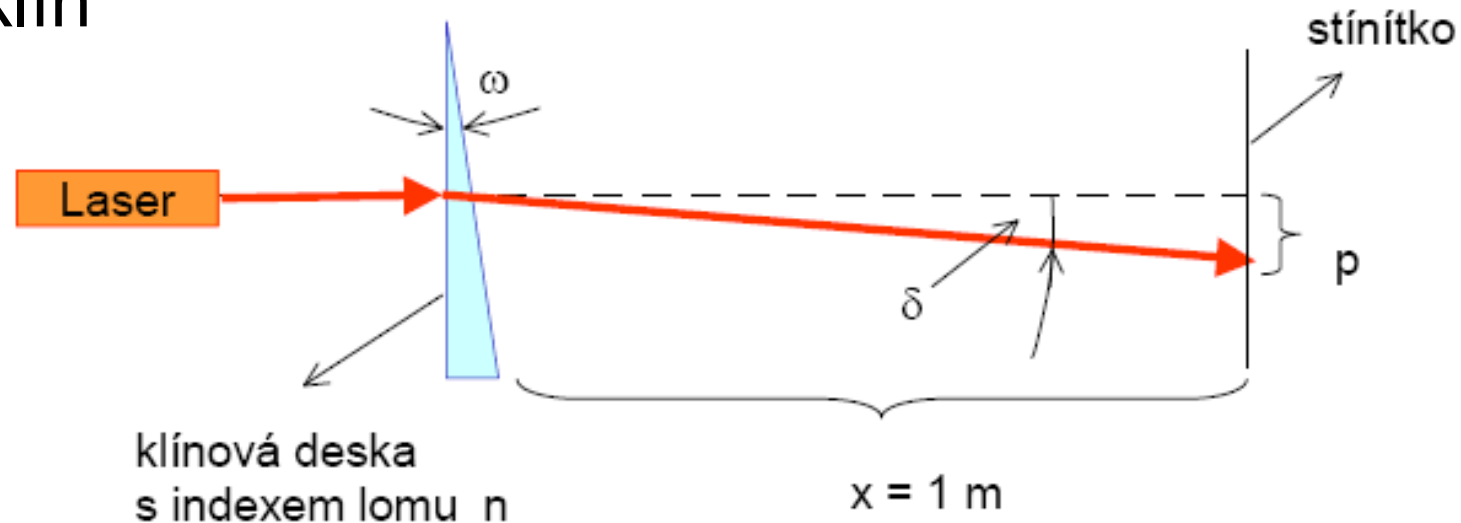
Použijte LCD display (notebook, mobil).

Medicínské využití - strabismus

- Při šilhavosti je obraz posunut ze žluté skvrny do jiného místa sítnice. Pacient zakryje zdravé oko a trénuje šilhavé: pokouší se překrýt zakreslený objekt Haidingerovým snopem (objekt je zakreslen na jasně bílé ploše podsvícené kruhově polarizovaným světlem).

Jak korigovat strabismus jinak?

– Optický klín



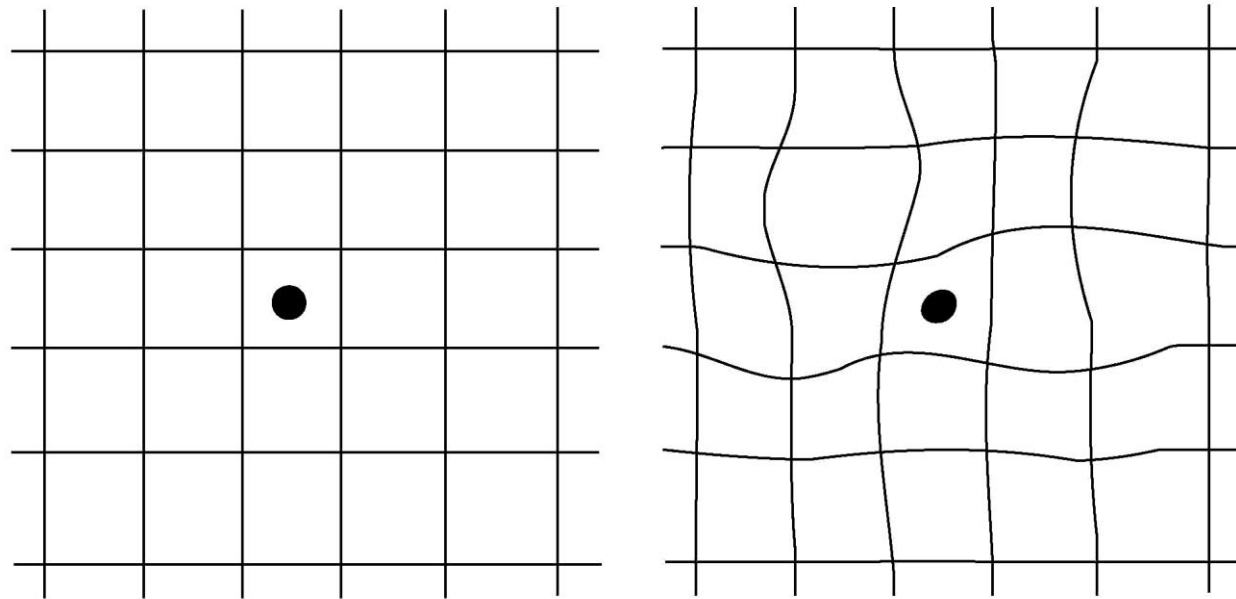
Prizmatický účinek: $p = x (n - 1) \omega$

Index lomu klínové desky: $n = 1 + \delta / \omega = 1 + p / (x \omega)$

Klínová deska vložená před spojku posune příčně obraz o úhel δ .

Medicínské využití – vyšetření makulární degenerace

- Při makulární degeneraci dochází k odumírání buněk jamky žluté skvrny a tím dochází i k zhoršení vidění. Haidingerův snop je alternativní test.



Amsler mřížkový test (citlivější je pro modré čáry na žlutém pozadí)

Glaukom (zelený zákal)

- Onemocnění oka, které neléčené může skončit ztrátou zraku (nazelenalá duhovka a zamlžená rohovka v pokročilých stádiích).
- Zákeřná choroba – dokud není narušeno vidění, pacient nemá žádné příznaky, nejprve drobné výpadky v zorném poli, v pokročilejších stádiích pokles zrakové ostrosti.
- Glaukom nelze léčit, degenerativní změny (degenerace a odumření zrakového nervu) jde v nejlepším případě zastavit ve stadiu, ve kterém byly objeveny.
- V 50% bývá onemocnění dědičné, proto je vhodné vyšetřit i rodinné příslušníky.
- Každý ve věku nad 35 let by měl absolvovat standardní oční vyšetření a měření nitroočního tlaku (zvýšený je nejčastější příčinou glaukomů).

Diagnostika glaukomu

- Časně zjištění a prevence glaukomového poškození zrakových funkcí je velmi důležitým momentem v boji s glaukomem.
- Klasické vyšetřovací metody: tonometrie, oftalmoskopie, perimetrie, gonioskopie.
- V současnosti se snažíme diagnostikovat glaukom ve velmi raném stádiu pomocí analýzy zrakového nervu a vrstvy nervových vláken sítnice a jejich případných změn, které jsou považovány za základní ve zjištění a monitorování tohoto onemocnění.
- Metody, které umožňují analýzu změn zrakového nervu a vrstvy nervových vláken:
 1. Heidelberský sítnicový tomograf
 2. optická koherenční tomografie
 3. **analyzátor nervových vláken = GDx.**



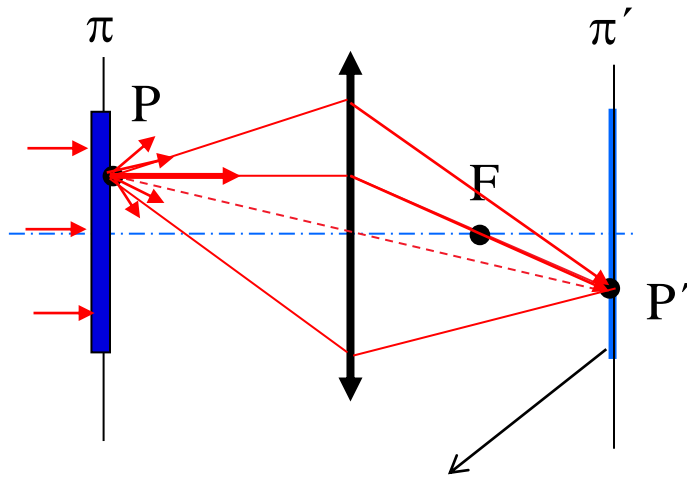
Obr. 24: Tunelové vidění (převzatý obrázek)

Několik slov ke skenovacím metodám

- Princip skenování.
- Zaostřování, hloubka ostrosti – většinou detektor v ohnisku čočky.
- Důležitá úloha počítačů – zachycování a vyhodnocování výsledků, tvorba i jiných řezů.
- Rychlost vyšetřování – maximálně několik minut.

Zobrazení skenovací optikou

Standardní zobrazení

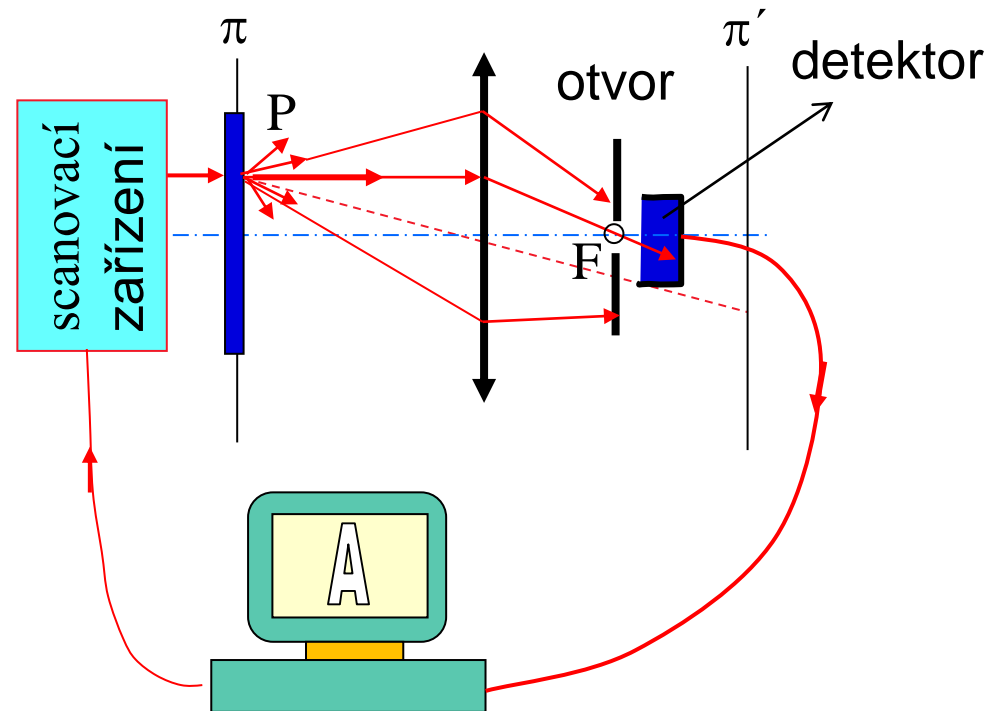


Záznam obrazu na film
nebo na stínítko



Skenovací zobrazení

Optics Computer Tomograph

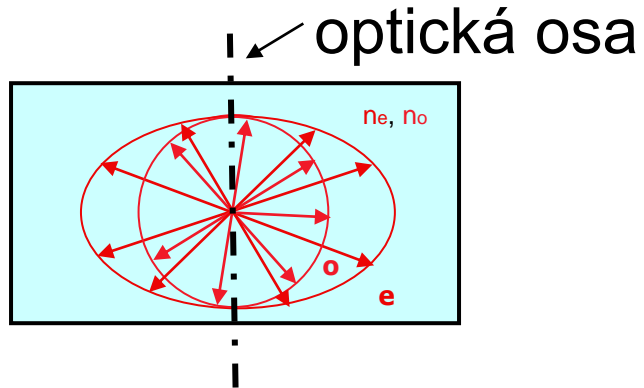


1. Paprsek, který projde ohniskem, přemění detektor na elektrický signál a tím se řídí při skenování jas v daném bodě obrazu na monitoru.
2. **Zaostřování** obrazu na předmět odpadá!

Obr. 25: Skenovací optika (vlastní obrázek)

Dvojlomné látky

Anizotropní látky (látky dvojlomné)



Polární diagram

Koncové body n_o leží na kouli, zatím co n_e leží na rotačním elipsoidu.

Dvojlomná látka je charakterizována **dvěma indexy lomu n_o a n_e a optickou osou**. Ve směru optické osy jsou indexy lomu stejné.

Přírodní anizotropní látky (dvojlomné látky):

- např. krystaly jako vápenec, křemen, KH_2PO_4 (dihydrogenfosforečnan draselný, zkráceně KDP)
- např. organické látky s orientovanými makromolekulami

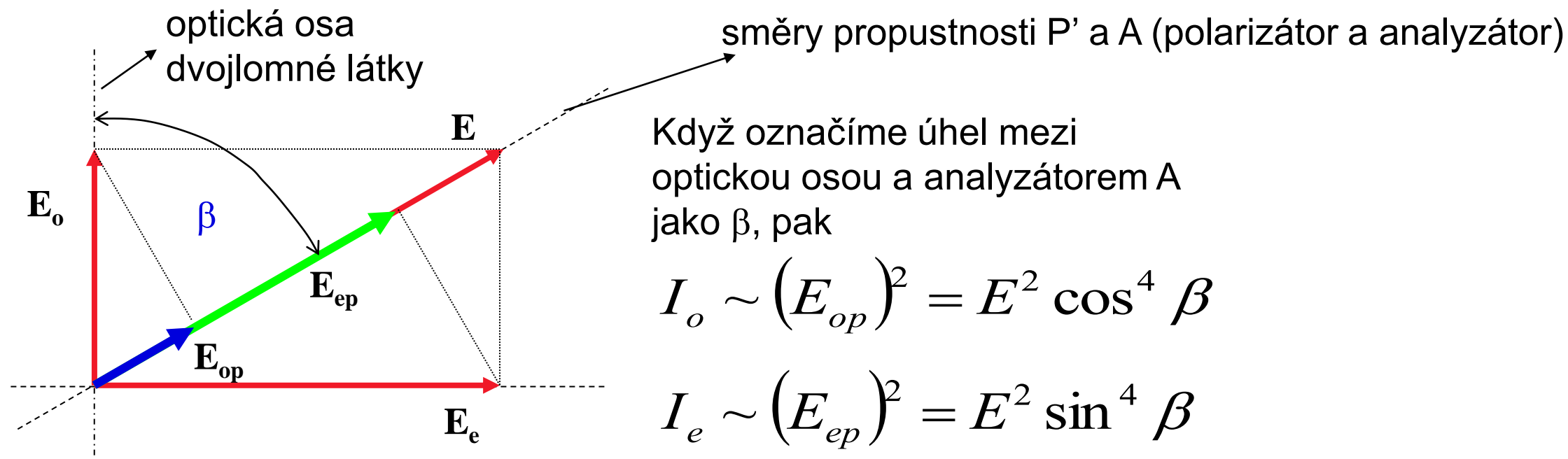
Izotropní látky:

např. sklo, plexisklo, kapaliny, ...

V izotropních látkách je možné vyvolat **umělou anisotropii**:

- elastickou nebo i plastickou deformací (fotoelasticimetrie)
- silným elektrickým polem (Kerrův jev, Pockelsův jev)

Měření tloušťky dvojlomné látky



Po dosazení do vztahu pro interferenční intenzitu dostaneme

$$I(P') = E^2 \sin^4 \beta + E^2 \cos^4 \beta + 2\gamma_t E^2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos \varphi,$$

kde fázový posuv

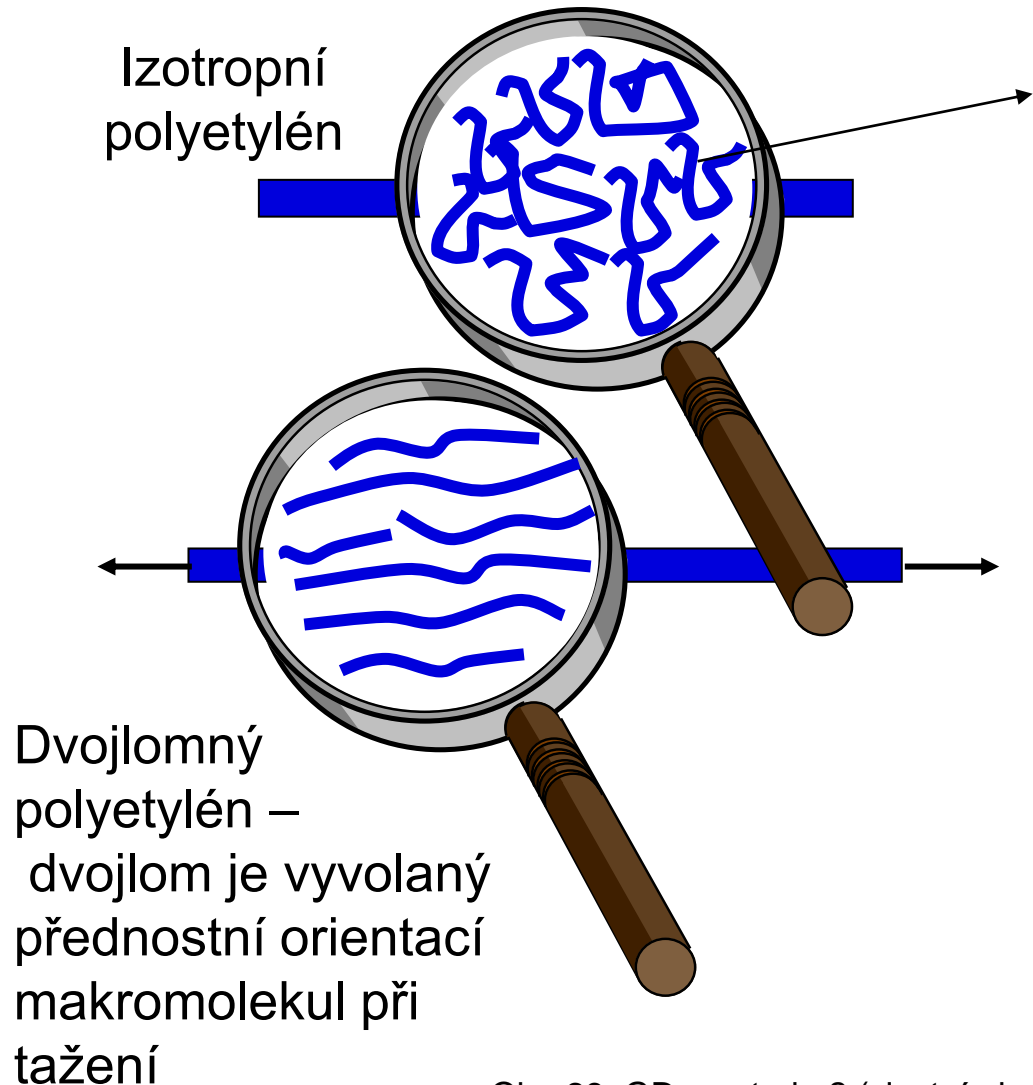
$$\varphi = \frac{2\pi d(n_e - n_o)}{\lambda}$$

Metoda GDx

MUNI
SCI

Deformační dvojlom

Dvojlom vyvolaný orientací makromolekul: natažení polyetylenové folie



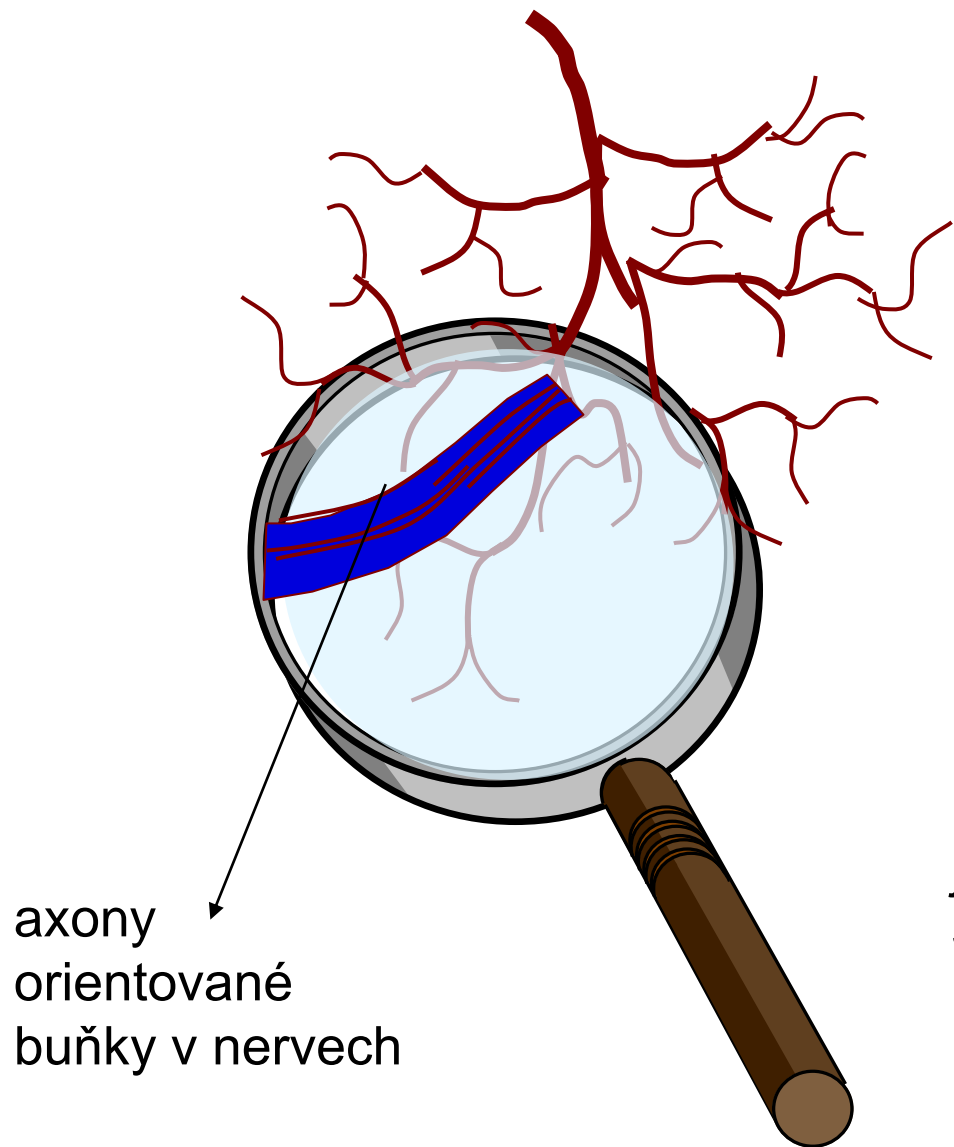
Obr. 28: GDx metoda 2 (vlastní obrázek)

$$\varphi = \frac{2\pi d(n_e - n_o)}{\lambda}$$

1. tloušťka folie d je konstantní
2. rozdíl $(n_e - n_o)$ je úměrný stupni orientace makromolekul
3. λ je konstantní
4. největší kontrast při $\beta = 45^\circ$ (natočení optické osy k směru propustnosti rovnoběžných filtrů)

Dvojlom biologických preparátů

Nervová vlákna se vyznačují dvojlomem



$$\varphi = \frac{2\pi d(n_e - n_o)}{\lambda}$$

1. tloušťka nervů d je různá
2. rozdíl $(n_e - n_o)$ je konstantní
3. λ je konstantní
4. úhel φ je úměrný tloušťce d
5. optická osa dvojlomu má v každé části nervového vlákna jiný směr

Intenzita obrazu při rovnoběžných směrech A a P':

Interferenčním kontrastem se zobrazí nejkontrastněji jen ty části nervového vlákna, jejichž úhel $\beta = 45^\circ$.
Se zmenšujícím úhlem β bude kontrast klesat.
Pro $\beta = 0$ se kontrast neobjeví.

Výpočet tloušťky pro $\gamma_t = 1$

1. $\beta = 0 \quad I_{\max} = E^2$

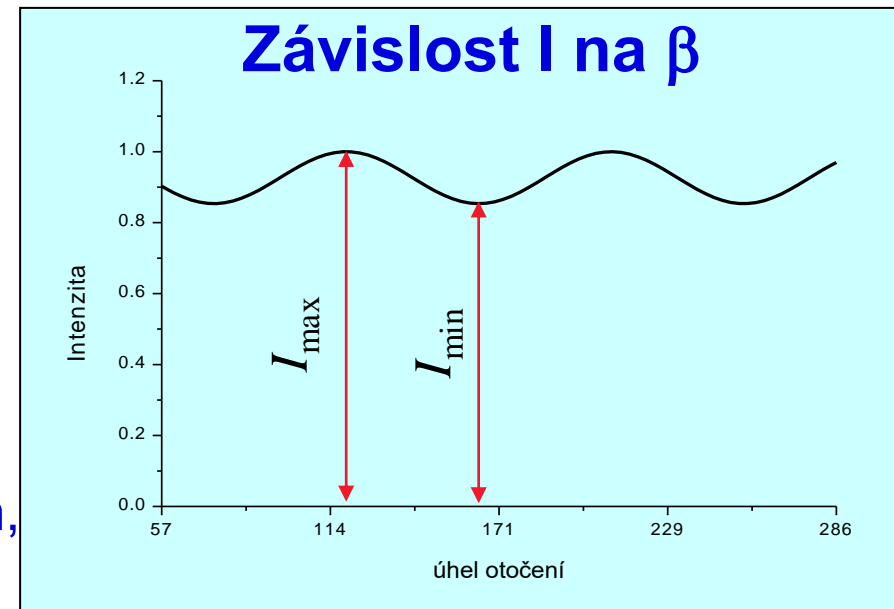
Metoda GDx

2. $\beta = 45^\circ \quad I_{\min} = E^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{2}{4} \cos \varphi \right) = \frac{1}{2} E^2 (1 + \cos \varphi) = \frac{1}{2} I_{\max} (1 + \cos \varphi)$

Z těchto rovnic pro fázový posuv mezi řádným a mimořádným paprskem dostaneme vztah

$$\cos \varphi = \frac{2I_{\min}}{I_{\max}} - 1$$

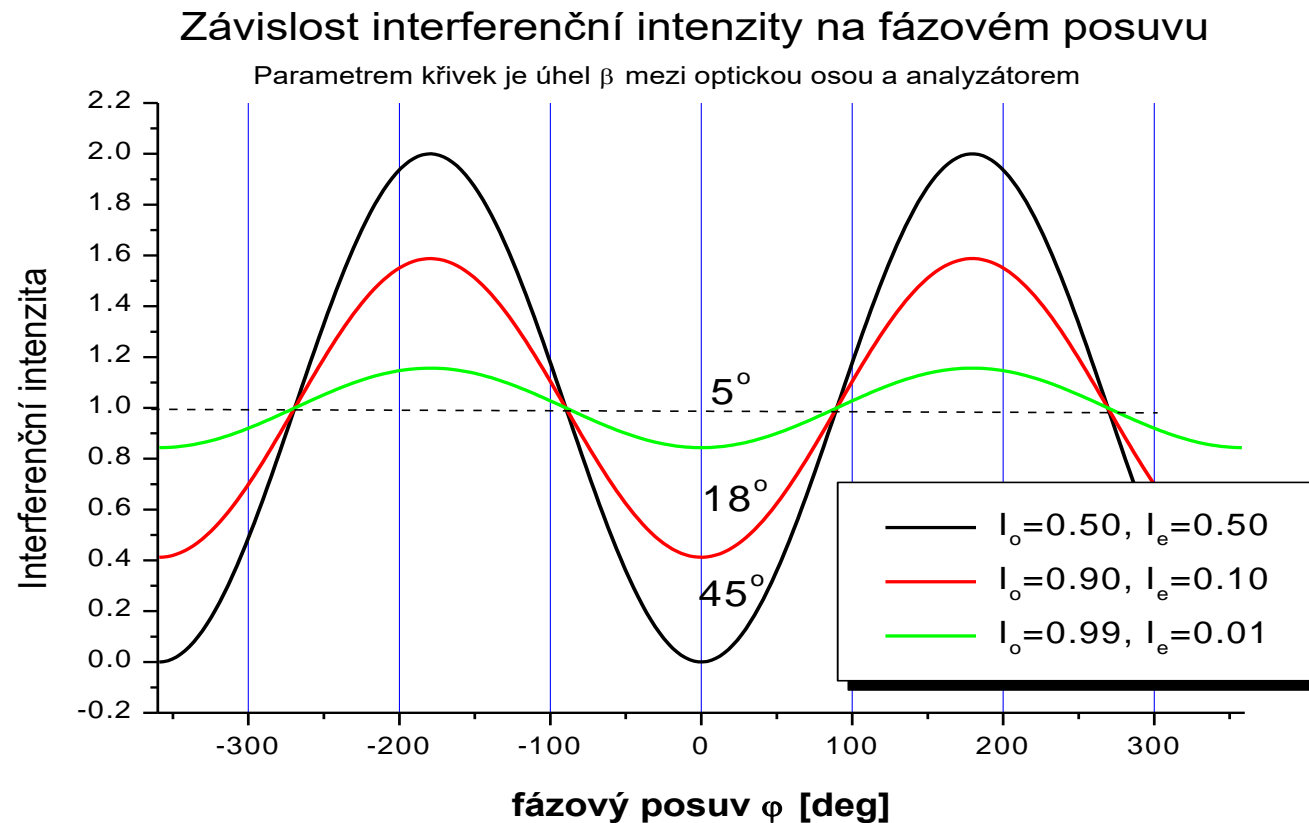
Tím je problém výpočtu tloušťky dvojlomné tkáně v bodě P' vyřešen, protože I_{\max} a I_{\min} jsme naměřili.



Vyšší matematika tento výpočet provádí pomocí Fourierovy analýzy $I(\beta)$.

Graf interferenční intenzity $P_{\perp A}$

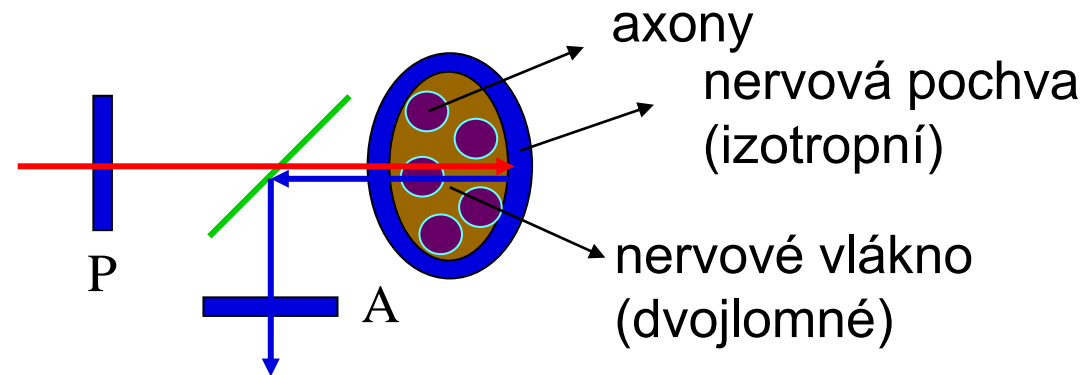
Když roste velikost fázového rozdílu, tak zprvu intenzita roste!



Zobrazení tloušťky nervového vlákna



Metoda GDx



1. Lineárně polarizovaný paprsek projde nervovým vláknem **tam a zpět**, odražené paprsky **o** a **e** po průchodu A **interferují**.
2. **Největší kontrast** nastane **jen** u těch částí vláken, kdy je $\beta = 45^\circ$.
3. **Zobrazení různě orientovaných vláken** se dosáhne tím, že se do počítače sejme sada snímků pro řadu úhlů β_i . Na každém snímku budou zobrazeny kontrastně jiné části nervové sítě. Počítač pak provede superpozici všech snímků a jejím výsledkem je zobrazení celé sítě.
5. Fázového posuvu mezi ordinárním a extraordinárním paprskem po průchodu vrstvou nervových vláken sítnice se využije k měření její tloušťky.
6. Současnou rotaci v úhlovém oboru β od -45° do 45° a **výpočet tloušťky** v každém bodě zajistí počítač. Podle tloušťky určí jas bodu na monitoru.
6. Použije se IR laser, aby **neoslňoval** pacienta (dioda 780 nm), vyšetřované oko má normální šíři zornice.
7. Metoda je vhodná pro vyšetření rizikových osob s podezřením na glaukom a pro dlouhodobé sledování pacientů s glaukomem, protože změna tloušťky nervových vláken je známkou progresu tohoto onemocnění.

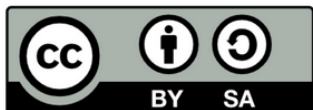
Seznam převzatých obrázků – citace

- Obr. 1: Nepolarizované světlo (vlastní obrázek)
- Obr. 2: Lineárně polarizované světlo (vlastní obrázek)
- Obr. 3: Lineárně polarizované světlo (vlastní obrázek)
- Obr. 4: Kruhově polarizované světlo (vlastní obrázek)
- Obr. 5: Intenzita po průchodu polarizačním filtrem (vlastní obrázek)
- Obr. 6: Včelí taneček ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-1/o-vcelich-taneccich-orientaci-robotech.html><<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-1/o-vcelich-taneccich-orientaci-robotech.html>>)
- Obr. 7: Včelí taneček - směry ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-1/o-vcelich-taneccich-orientaci-robotech.html><<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-1/o-vcelich-taneccich-orientaci-robotech.html>>)
- Obr. 8: Včelí taneček – polarizace oblohy ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-1/o-vcelich-taneccich-orientaci-robotech.html><<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-1/o-vcelich-taneccich-orientaci-robotech.html>>)
- Obr. 9: Intenzita po průchodu polarizačním filtrem (vlastní obrázek)
- Obr. 10: Polarizace oblohy ráno či večer a v poledne (vlastní obrázek)
- Obr. 11: Včelí oko ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z: https://media.sciencephoto.com/image/z3450372/800wm/Z3450372-Historical_artwork_of_ommatidia_in_honey_bee_eye.jpg < https://media.sciencephoto.com/image/z3450372/800wm/Z3450372-Historical_artwork_of_ommatidia_in_honey_bee_eye.jpg />)
- Obr. 12: Včelí oko – jednoduché ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z https://favpng.com/png_search/insect-morphology < (https://favpng.com/png_search/insect-morphology) >)
- Obr. 13: Difrakce ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z <https://docplayer.cz/46430255-Biochemickou-barevne-vidi-predevsim-prislusnici-zivocisnych-skupin-s-denni-aktivitou-v-prostredi-s-nedostatkem-svetla-se-oko-bud-redukuje-pripadne.html> < <https://docplayer.cz/46430255-Biochemickou-barevne-vidi-predevsim-prislusnici-zivocisnych-skupin-s-denni-aktivitou-v-prostredi-s-nedostatkem-svetla-se-oko-bud-redukuje-pripadne.html> >)
- Obr. 14: Anatomie včelího oka ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z <https://docplayer.cz/46430255-Biochemickou-barevne-vidi-predevsim-prislusnici-zivocisnych-skupin-s-denni-aktivitou-v-prostredi-s-nedostatkem-svetla-se-oko-bud-redukuje-pripadne.html> < <https://docplayer.cz/46430255-Biochemickou-barevne-vidi-predevsim-prislusnici-zivocisnych-skupin-s-denni-aktivitou-v-prostredi-s-nedostatkem-svetla-se-oko-bud-redukuje-pripadne.html> >)
- Obr. 15: Anatomie včelího oka ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné z https://www.researchgate.net/publication/7136351_Biologically_Inspired_Artificial_Compound_Eyes, <https://www.megacurioso.com.br/fotografia/44484-imagens-microscopicas-de-insetos-sao-nojentas-e-incriveis-ao-mesmo-tempo.htm> < https://www.researchgate.net/publication/7136351_Biologically_Inspired_Artificial_Compound_Eyes, <https://www.megacurioso.com.br/fotografia/44484-imagens-microscopicas-de-insetos-sao-nojentas-e-incriveis-ao-mesmo-tempo.htm> >)
- Obr. 16: Polarizační brýle (vlastní obrázek)
- Obr. 17: Vlajka (vlastní obrázek)
- Obr. 18: Citlivost oka (vlastní obrázek)
- Obr. 19: Barevná RGB schémata (vlastní obrázek)
- Obr. 20: Haidingerův snop (vlastní obrázek)
- Obr. 21: Haidingerův snop a žlutá skvrna (vlastní obrázek)
- Obr. 22: Optický klín (vlastní obrázek)
- Obr. 23: Mřížkový text (vlastní obrázek)
- Obr. 24: Tunelové vidění ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné <https://recuperacionvisual.blogia.com/2010/062801-la-importancia-de-la-visi-n-perif-rica.php> < <https://recuperacionvisual.blogia.com/2010/062801-la-importancia-de-la-visi-n-perif-rica.php> >)
- Obr. 25: Skenovací optika (vlastní obrázek)
- Obr. 26: Polární diagram dvojlohu (vlastní obrázek)
- Obr. 27: GDx metoda 1 (vlastní obrázek)
- Obr. 28: GDx metoda 2 (vlastní obrázek)
- Obr. 29: GDx metoda 3 (vlastní obrázek)
- Obr. 30: GDx metoda 4 (vlastní obrázek)
- Obr. 31: GDx metoda 5 (vlastní obrázek)
- Obr. 32: GDx metoda 6 ([Cit. 7.12.2023]. Dostupné <http://3augenaerzte-konstanz.de/individuelle-gesundheitsleistungen/adc-bodensee-augendiagnosecenter/index.html> < <http://3augenaerzte-konstanz.de/individuelle-gesundheitsleistungen/adc-bodensee-augendiagnosecenter/index.html> >)

Inovace vzdělávacího modulu předmětu 2. Praktikum školních pokusů 2 (F8662) proběhla v rámci projektu Zkvalitnění a Inovace Přípravy budoucích učitelů na MUNI (ZIP MUNI), reg. č. p.: CZ.02.3.68/0.0/0.0/19_068/0016170.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Tato prezentace k předmětu **Praktikum školních pokusů 2 (F8662)**, jehož autory jsou Mgr. Jana Jurmanová, Ph.D., RNDr. Pavel Konečný, CSc., doc. Mgr. Zdeněk Navrátil, Ph.D., a který je dostupný z **Databáze výstupů projektů OP VVV** (<https://databaze.opvvv.msmt.cz>), lze použít v souladu s licenčními podmínkami **Creative Commons BY-SA 4.0 International** (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>).

**MASARYKOVA
UNIVERZITA**