

Úloha č. 11: Zrak

jarní semestr 2022

1 Lidské oko a geometrická optika

Z pohledu geometrické optiky je lidské oko jednoduchá zobrazovací soustava s jednou čočkou. K optické mohutnosti oka přispívá nejvíce rozhraní rohovka – vzduch, které je zakřivené a na němž je poměr indexů lomu největší. Srovnání je v následující tabulce.

	Akomodace	
	uvolněná	maximální
Optické mohutnosti		
rohovka	40 D	
čočka	19 D	33 D
soustava oka	59 D	70 D

Tuto skutečnost lze jednoduše demonstrovat, pokud se oko obklopí prostředím jiného indexu lomu – pod vodou. Za této situace je schopnost ostrého vidění znemožněna.

Skutečný obraz spojné čočky je převrácený, což je možné velmi snadno demonstrovat s libovolnou spojnou čočkou. Jednoduchým, ale velmi působivým experimentem lze převrácení obrazu ukázat s využitím vlastního oka.

1.1 Převrácení obrazu na sítnici

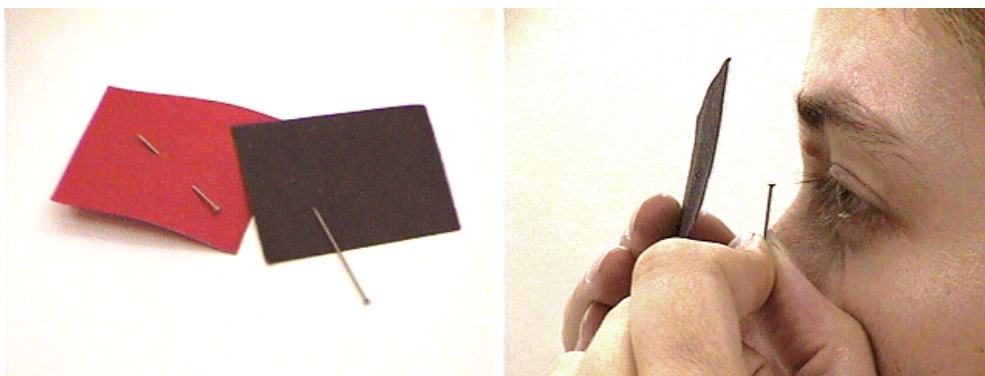
Pomůcky Kartička tmavého papíru s otvorem průměru do 1mm, špendlík.

Provedení – varianta A Postavíme se proti jasnému zdroji rozptýleného světla (okno, monitor počítače, ...) Do jedné ruky uchopíme kartičku, do druhé špendlík (za špičku). Kartičku dáme do vzdálenosti 5–10 cm před oko, těsně u oka pak zdola zasouváme špendlík hlavičkou vzhůru tak, aby zornice, špendlík a otvor v kartičce byly v jedné přímce, viz obr. 1. Na prosvětleném pozadí otvoru uvidíme převrácený a relativně ostrý obraz špendlíku, viz obr. 2.

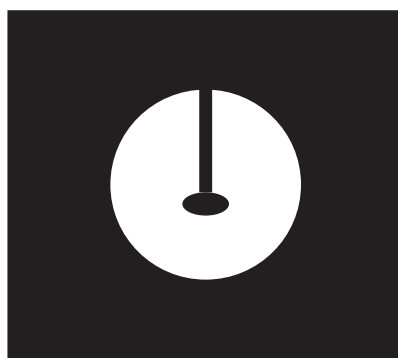
Provedení – varianta B Pokus lze provést i v jednodušší variantě, při které nejsou potřeba vůbec žádné pomůcky. Místo dírky v kartičce vytvoříme malý otvor jako štěrbinu mezi třemi prsty (viz. obr. 8).

Poté těsně před oko zespodu přisouváme vztyčený prst druhé ruky. Otvor je prstem zastiňován shora, tedy z opačné stany, než je zasouván prst.

Aby výsledky měly srovnatelnou kvalitu s provedením ve variantě A, musí být dírka dobře osvětlena zdrojem rozptýleného světla, a prst co nejbližší oku, jinak bude chybět jasný vjem ostrosti obrazu.



Obrázek 1: Převrácení obrazu na sítnici – varianta A. Obrázek převzat z <http://www.physics.umd.edu/lecdem/>



Obrázek 2: Schématický obrázek převráceného obrazu špendlíku na sítnici

Interpretace Experiment ukazuje dvě překvapivé skutečnosti:

1. obraz špendlíku je subjektivně převrácený,
2. obraz je ostrý.

Oba efekty jsou důsledkem toho, že obraz není vytvořen čočkou, ale stínovou projekcí.

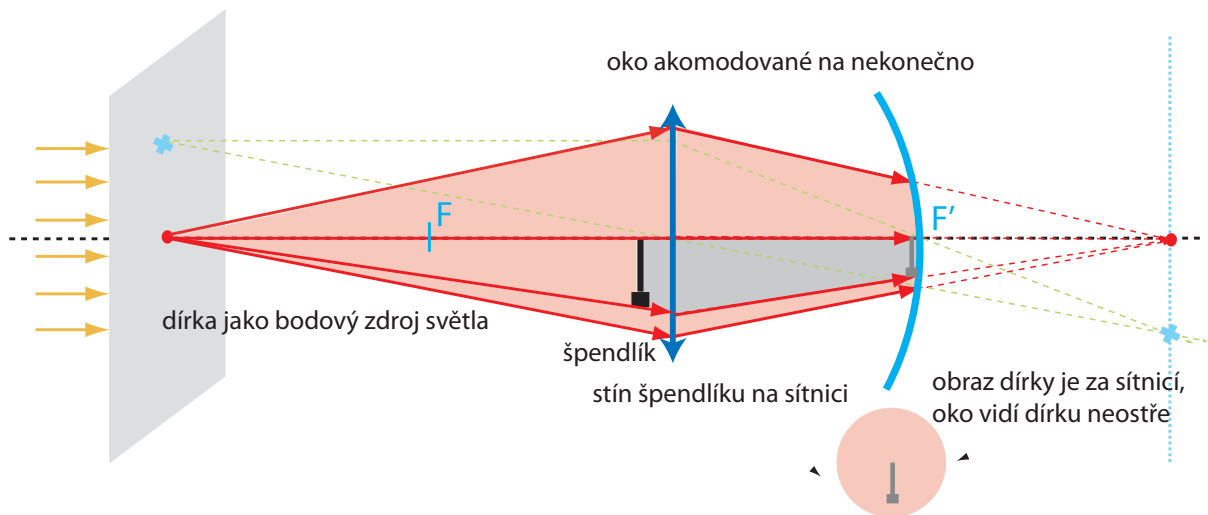
Otázka č. 1

Jak funguje stínová projekce s použitím velmi malé dírky? Nakreslete obrázek s chodem paprsků.

Stínová projekce s využitím malé dírky Špendlík je příliš blízko k oku – v mnohem menší vzdálenosti než je blízký bod – a tedy zobrazovací soustava oka není schopna na sítnici obraz vytvořit. Špendlík je osvětlen malým zdrojem – otvorem – a vrhá na sítnici stín. Jeho ostrost je dána velikostí otvoru v papíru, a nikoliv schopností akomodace oka. Stínový obraz je sice přímý, ale protože lidský mozek interpretuje skutečný převrácený obraz vytvořený rohovkou a čočkou jako přímý, jeví se mu stínový obraz převrácený. Vše je zakresleno na obrázku 3.

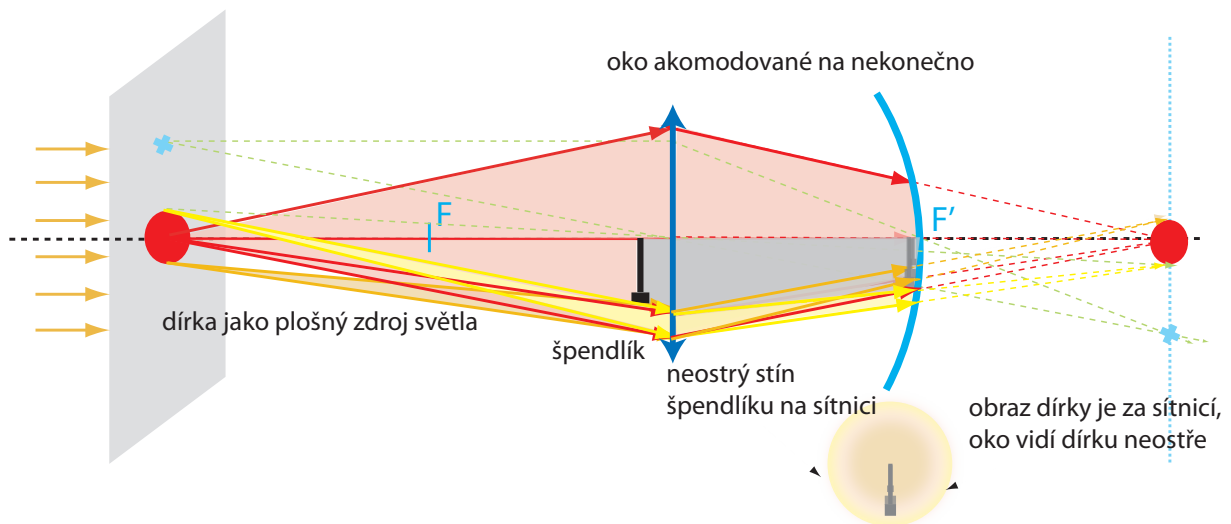
Otázka č. 2

Proč je při použití velké dírky obraz špendlíku neostrý? Nakreslete obrázek s chodem paprsků.



Obrázek 3: Schéma chodu paprsků při pozorování převrácení obrazu na sítnici

Stínová projekce s využitím velké dírky Pokud je dírka velká, není již bodovým zdrojem světla, ale plošným. Lze to interpretovat například tak, že stín špendlíku je vytvářen jednotlivými body dírky, a to na různých místech sítnice. Proto se stín špendlíku jeví jako neostří. Situace je schématicky zakreslená na obrázku 4.



Obrázek 4: Schéma chodu paprsků při pozorování převrácení obrazu na sítnici – díрку nelze považovat za bodový zdroj světla

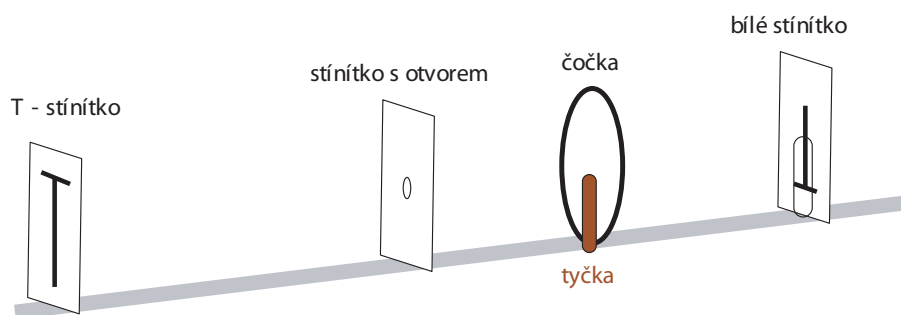
1.2 Převrácení obrazu na sítnici – simulace na optické lavici

Optickou situaci z pokusu 1.1 lze ozřejmit simulací na optické lavici. Fyzikálně průhlednější experiment však postrádá působivost pokusu předchozího.

Pomůcky Optická lavice, zdroj světla, T-stínítko, stínítko s otvorem o průměru 5 mm, čočka $f = 20$ cm, bílé stínítko.

Provedení Experiment vyžaduje dobré zatemnění. Pokus sestavíme podle obrázku 5. T-stínítko osvětlíme zezadu silným zdrojem světla a zobrazíme čočkou na bílé stínítko. Asi 10 cm před čočku vložíme stínítko s otvorem. Zastínění velmi sníží intenzitu obrazu, ale při vhodné vzdálenosti T-stínítko od otvoru zůstane obraz písmene T celý. Je převrácený, jako vždy při skutečném obrazu. Pokud nyní vsouváme zespodu tyčku těsně před čočku, objeví se v místě obrazu její vzpřímený stín. Komentujeme protiklad převráceného obrazu vytvořeného čočkou a přímého stínu.

Interpretace Stejná jako u pokusu 1.1, promyslete si podrobněji.



Obrázek 5: Simulace převrácení obrazu na sítnici na optické lavici

1.3 Otvorová vada oka

Pomůcky AAA přípravek nebo prezentace na monitoru.

Provedení Pokus vyžaduje alespoň mírné zatemnění. Z přiměřené vzdálenosti pozorujeme objekt – prosvětlený AAA přípravek nebo prezentaci na monitoru, viz obr. 6. Nejprve volným okem, potom přes otvor mezi prsty. Pozorujeme změnu ostrosti obrazu.

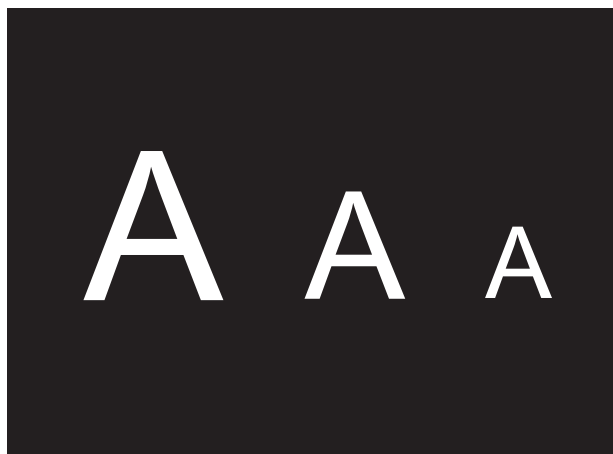
Na „AAA přípravku“ je větší počet písmen „A“ různé velikosti, aby jejich míru čitelnosti bylo možné posoudit z různých vzdáleností.

Interpretace Kulová lámavá plocha v principu neposkytuje dokonalé zobrazení bodu na bod (a to ani v případě, kdy neuvažujeme vlnové jevy). Okrajové paprsky se lámou více než paprsky paraxiální.

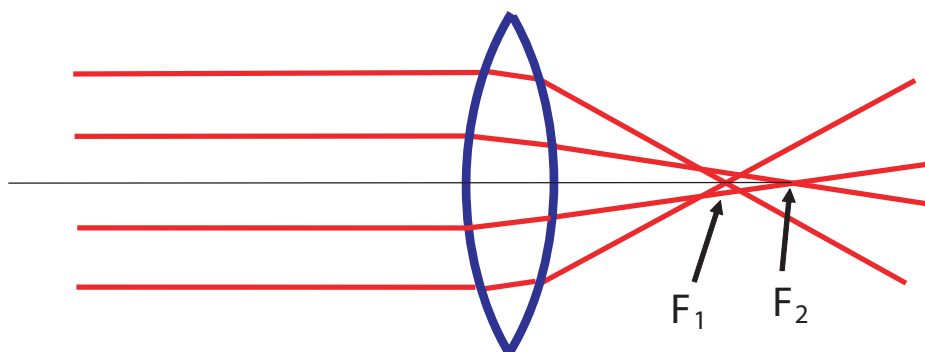
Otázka č.3

Proč při použití clony dojde k zaostření obrazu?

Proč použití malé dírky obraz zaostří? Okrajové paprsky se lámou více, než paprsky paraxiální, tedy ohnisková délka středu čočky je větší než ohnisková délka okrajových částí čočky (pokud je v celé čočce stejný index lomu). Obě ohniska jsou zakreslena na obrázku 7.



Obrázek 6: AAA přípravek – tři velikosti písmene A



Obrázek 7: Okrajové a centrální paprsky mají různá ohniska

Částečným zacloněním čočky se její aktivní oblast omezí na menší část plochy – sníží se úhlová apertura – což vede sice ke snížení intenzity světla dopadajícího na sítnici, ale současně i k zlepšení ostrosti obrazu. Lidská čočka není ohraničena kulovou plochou, navíc index lomu čočky klesá směrem od optické osy, což obojí otvorovou vadu snižuje. Nicméně ani v oku tato vada není zcela odstraněna.

Popsaný experiment je nutné provádět za velmi malého osvětlení, aby zornice oka byla maximálně rozšířena. Pohledem skrz otvůrek mezi prsty se úhlová apertura zmenší a ostrost obrazu se zvětší.

1.4 Otvorová vada oka – simulace na optické lavici

Pokuste se sami sestavit experiment na optické lavici tak, abyste demonstrovali změnu ostrosti obrazu se zmenšením apertury čočky. Výsledek svého snažení ukažte vyučujícímu.

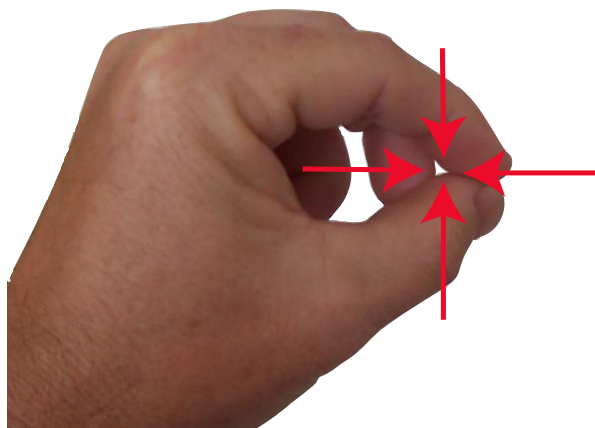
1.5 Hloubka ostrosti, pozorování vlastním okem

Pomůcky Žádné

Provedení: Varianta A pro studenty s normálním zrakem a dalekozraké Snažte se zaostřit z co nejmenší možné vzdálenosti drobný text, vlastním okem bez použití brýlí. Pak text přiblížte na zlomek této vzdálenosti – na polovinu až čtvrtinu. Při pohledu přes otvor mezi prsty z obr. 8 se obraz opět zaostří a je možné s větším zorným úhlem rozlišit mnohem menší detaily předmětu.

Provedení: Varianta B pro studenty krátkozraké Pohled přes otvor mezi prsty umožňuje zaostřit i na vzdálené předměty (např. na nápis na tabuli), na který krátkozraké oko bez brýlí nezaostří.

V obou variantách je efekt výraznější za horších světelných podmínek.



Obrázek 8: Malý otvor vytvořený mezi třemi prsty

Interpretace Hloubkou ostrosti myslíme interval předmětových vzdáleností, ve kterém se nám jeví obraz předmětu stále ostrý. Existence nenulové hloubky ostrosti je dána jednak omezeným rozlišením našeho oka – tj. omezenou schopností oka či jiného zobrazovacího prvku ostrost obrazu posoudit – a jednak ohybem světla na vstupní pupile zobrazovací soustavy, který vznik obrazu nevyhnutelně doprovází. Z vlnové teorie zobrazení vyplývá pro hloubku ostrosti vztah:

$$\Delta h = \pm \frac{\lambda}{2 \sin^2 \sigma}$$

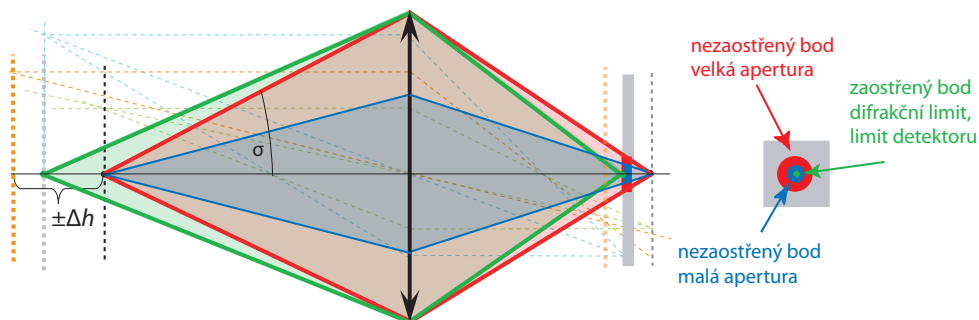
kde λ je vlnová délka a σ úhlová apertura (= úhlová šířka svazku vcházejícího z bodového zdroje do vstupní pupily čočky).

Otázka č.4

Jak lze tedy dosáhnout zvětšení hloubky ostrosti? Zkuste nakreslit obrázek.

Interpretace hloubky ostrosti Zmenšení průměru vstupní pupily, tedy zmenšení apertury, vede ke zvětšení hloubky ostrosti (viz obr. 9). V intervalu hloubky pole můžeme vidět ostře i pro předmět v kratší vzdálenosti, než je blízký bod, a nebo naopak ve větší vzdálenosti než bod daleký. V kapitole 2 budeme hovořit o tom, že bod zaostřený na sítnici není bodem, ale má rozměr Airyho difrakčního disku (viz 2). Bod v jiné obrazové rovině se nám může jevit na sítnici zaostřený, pokud světelná stopa svazku vytvářejícího obraz bodu před či za sítnicí má na sítnici průměr srovnatelný s velikostí Airyho disku.

Experiment je přesvědčivější ve variantě A, pro normální a dalekozraké oko. Ve variantě B splývá s pokusem 1.3. Oddělení interpretace pokusů 1.3 a 1.5 je problematické, protože v subjektivním vjemu jsou výsledky obou pokusů v podstatě shodné – zlepšení zrakové ostrosti. I fyzikálně se oba efekty částečně překrývají, přesto je však lze odlišit. V případě pokusu 1.3 jde o zaostření v situaci, ve které oko správně

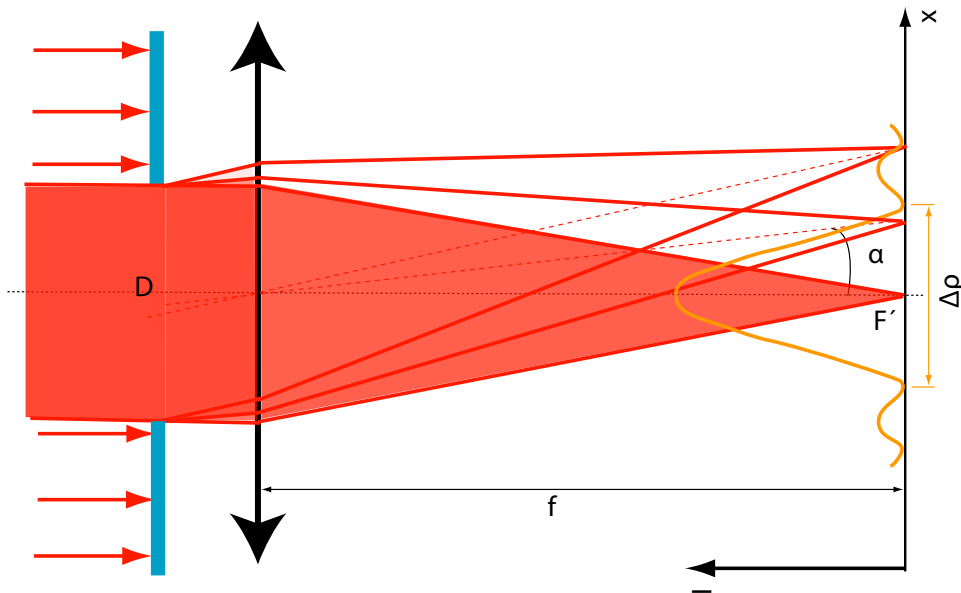


Obrázek 9: Hloubka ostrosti: nezaostřený bod se zobrazí jako kroužek o průměru závisícím na průměru vstupní pupily.

akomoduje, ale zobrazení je rozostřeno nedokonalostí optické soustavy. Na druhé straně v pokusu 1.5 je dosaženo ostrého obrazu i v oblasti velmi vzdálené od intervalu akomodace oka.

2 Lidské oko a vlnová optika

Člověk vlnovou povahu světla běžně nevnímá. Přesto vlnový jev – difrakce – je tím, co omezuje rozlišení oka. Na zornici dochází k difrakci, v jejímž důsledku se rovinná monochromatická vlna nezobrazí na sítnici jako bod, ale vytvoří difrakční obrazec, viz obr. 10.



Obrázek 10: Difrakce na kruhovém otvoru – rovnoběžný svazek nezaostří čočka v bod, ale vznikne difrakční obrazec

Je lidské oko optimalizováno? Ve Fraunhoferově aproximaci (dopadající vlnu lze považovat za rovinnou) plyne pro průměr centrálního maxima (tzv. Airyho disku) vztah

$$\Delta\rho = 1,22 \frac{\lambda f}{D/2}$$

kde λ je vlnová délka světla, D průměr difrakčního otvoru a f ohnisková vzdálenost čočky. Po dosazení běžných hodnot dostaneme $\Delta\rho = 5\ \mu\text{m}$ (opět viz obr. 10). S použitím Rayleighova kritéria (dva objekty jsou na hranici rozlišení, jestliže centrální difrakční maximum jednoho padne do prvního minima druhého) vychází pro úhlové rozlišení oka

$$\Theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} = 1'.$$

Z fyzikálního pohledu vychází mezní rozlišení lidského oka jedna úhlová minuta.

Z technického či biologického hlediska je však prostorové rozlišení zobrazovací soustavy omezeno také hustotou světlocitlivých detektorů – pixelů. Pro oko je rozhodující hustota čípků ve žluté skvrně. Aby byly dva svítící body rozlišeny, musí být dva osvětlené čípky sítnice odděleny jedním čípkem neosvětleným. Střední vzdálenost čípků ve žluté skvrně je asi $2\ \mu\text{m}$. Mezní rozlišení tedy nastane v případě, kdy středy Airyho disků budou od sebe vzdáleny asi $4\ \mu\text{m}$, což je hodnota velmi blízká jejich průměru. Je tedy pozoruhodné, že rozlišovací schopnost oka vychází prakticky identická jak z fyzikálního, tak i anatomického pohledu. To znamená, že oko je svojí stavbou optimalizováno tak, aby bylo využito mezi daných fyzikálními zákony.

2.1 Ohyb modrého a červeného světla, přímé pozorování okem

Pomůcky Přípravek s modrou a červenou LED diodou, difrakční mřížky z hedvábného šátku a další difrakční objekty.

Provedení Pokus je třeba provádět v zatemněné místnosti, úplná tma však není nutná. Z dostatečné vzdálenosti pozorujte svítící přípravek s modrou a červenou diodou. Nejprve přes otvor vytvořený mezi prsty dle obr. 8. Vzájemným stiskem prstů je možné měnit velikost otvoru, a tak sledovat vliv velikosti na difrakční obrazec. Ke zřetelnému ohybovému jevu dojde až při velmi malé velikosti otvoru, tedy silném stisku prstů. Zřetelnější je rozdíl mezi difrakčním obrazcem pro červené a modré světlo při pozorování přes difrakční mřížku z hedvábného šátku.

Interpretace Velikost difrakčního obrazce je přímo úměrná vlnové délce světla (viz také interpretace pokusu 1.4). Červené světlo má téměř dvojnásobnou vlnovou délku ve srovnání se světlem modrým, difrakční obrazec pro červené světlo je na stejném otvoru zřetelně širší.

2.2 Ohyb zeleného a červeného světla, difrakce na štěrbině

Pomůcky Optická lavice, červený a zelený laser v úhlovém manipulátoru, štěrbinu, kruhový otvor s průměrem $50\ \mu\text{m}$.

Provedení Na optickou lavici umístíme za sebe červený a zelený laser tak, aby zadní svítil těsně nad předním. Oba laserové svazky namíříme do stejného místa vertikální štěrbinu, tím vyloučíme vliv nestejně šířky štěrbinu. Na vzdáleném stínítku pozorujeme oba nad sebou umístěné difrakční obrazce. Změnou šířky štěrbinu měníme šířku difrakčních obrazců.

Výsledek pokusu srovnajte kvantitativně. Odměřte vzdálenost některého specifického rozměru, například vzdálenost obou minim prvního řádu. Poměr vzdáleností srovnajte s poměrem vlnových délek (tyto jsou uvedeny přímo na laserech, například $\lambda_{\text{red}} = 653\ \text{nm}$, $\lambda_{\text{green}} = 533\ \text{nm}$).

Fyzikálně věrnější demonstrací difrakce na oční pupile je difrakce na kruhovém otvoru. Experiment je však náročnější na geometrické nastavení - zeleným laserem svítíme na kruhový otvor o průměru $50\ \mu\text{m}$.

Pozor!! Oba lasery jsou třídy IIIa a je nutné se vyvarovat přímému zasažení oka!

Interpretace ohybových experimentů

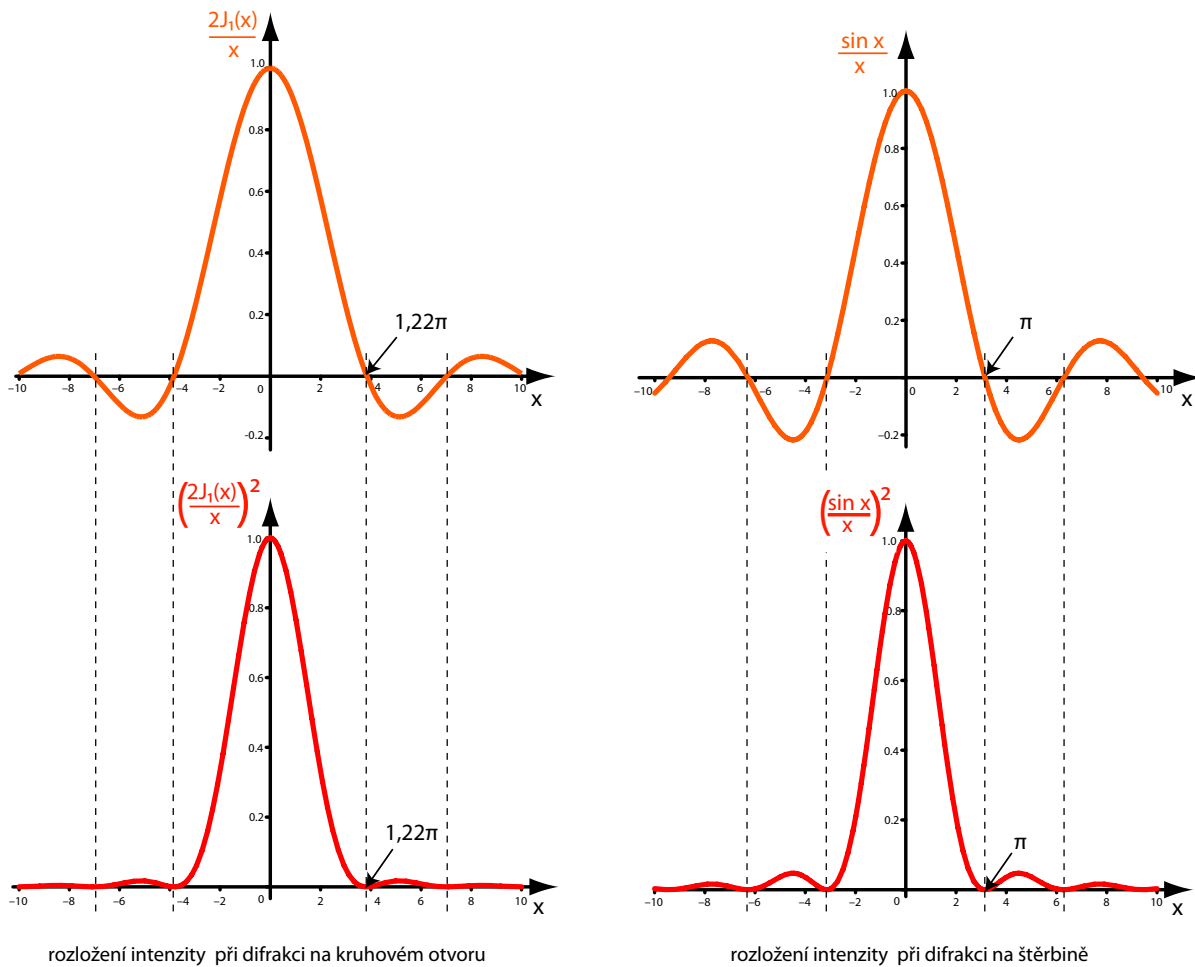
Rozložení intenzity na stínítku při difrakci na štěrbině je ve Fraunhoferově aproximaci dáno vztahem

$$I(x) = I_o \left(\frac{\sin \frac{\pi d x}{\lambda r}}{\frac{\pi d x}{\lambda r}} \right)^2$$

kde d je šířka štěrbin, r vzdálenost stínítka od štěrbin a x souřadnice měřená na stínítku.
Pro difrakci na kruhovém otvoru platí vztah

$$I(\rho) = I_o \left(\frac{2J_1 \left(\frac{2\pi R \rho}{\lambda r} \right)}{\frac{2\pi R \rho}{\lambda r}} \right)^2$$

kde R je poloměr difrakčního otvoru, ρ je polární souřadnice na stínítku a J_1 je Besselova funkce 1. řádu – viz obr. 11 (průběh funkce $\frac{2J_1(x)}{x}$ je velmi podobný funkci $\frac{\sin x}{x}$).



Obrázek 11: Rozložení intenzity při difrakci na štěrbině a kruhovém otvoru (červeně). Oranžově jsou zakresleny umocněné funkce.

Vzájemná vzdálenost minim prvního řádu je v případě štěrbin rovna

$$\Delta x = 2 \frac{\lambda r}{d}$$

a pro kruhový otvor je průměr prvního tmavého kroužku roven

$$\Delta \rho = 1,22 \frac{\lambda r}{R},$$

což je výše uvedený průměr Airyho disku.

V obou případech jsou vzdálenosti minim (a jiných charakteristických rozměrů) přímo úměrné vlnové délce, což vysvětluje pozorovaný jev.

3 Fyziologie oka

3.1 „Afterimage“ – falešný obraz

Pomůcky Počítač

Provedení: Varianta A, s využitím barevného vidění Otevřete v počítači soubor vlajka.pdf, viz obr. 12. Sledujte asi 20 s bez pohnutí očima červený bod uprostřed. Pak přesuňte svůj pohled na čistě bílou plochu. Co uvidíte?



Obrázek 12: Vlajka pro vytvoření falešného obrazu – sledujte bez pohnutí očima červený bod uprostřed, pak přesuňte pohled na bílou plochu

Provedení: Varianta B, dohoň šneka Totéž vyzkoušejte se souborem snek.pdf, viz obr. 13, zaměřte se na křížek.

Interpretace V interpretaci pokusu varianty A se kombinují dva efekty: zraková únava a mechanismus barevného vidění.

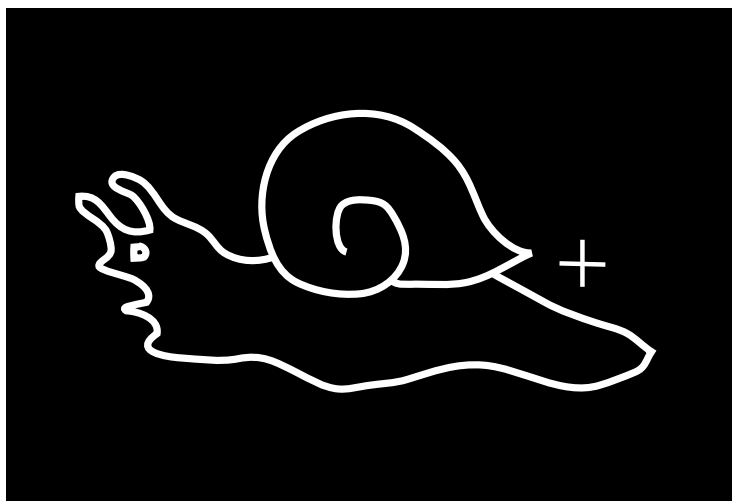
Při absorpci fotonu dojde v buňkách k chemické změně. Konkrétně v tyčinkách je opticky aktivní molekula rodopsinu, přesněji její část zvaná retinin, která po absorpci fotonu změní izomerii z cis na trans, viz obr. 14. Před další detekcí je nutná rekonstrukce chemických vazeb, která vyžaduje určitý čas. Můžeme tedy říci, že intenzivní detekce oko svým způsobem unavuje.

Barevné vidění je zprostředkováno trojicí druhů čípků s maximy citlivosti v oblasti červené, zelené a modré barvě. Pokud je určitá část sítnice osvětlena po určitou dobu například červeným světlem, „unaví“ se nejvíce červené čípky. Při následném pohledu na bílé plátno je signál z unavených červených čípků nejslabší a my vnímáme směs zelené a modré barvy, tedy barvu azurovou.

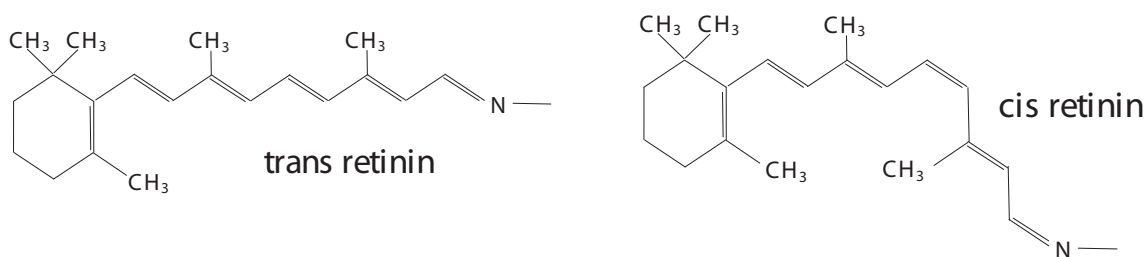
Otázka č.5

Interpretujte vznik jednotlivých falešných barev naší vlajky.

Interpretace falešných barev naší vlajky Falešný vjem modrého trojúhelníku na státní vlajce je



Obrázek 13: Šnek pro vytvoření falešného obrazu – sledujte bez pohnutí očima křížek, pak přesuňte pohled na hlavu



Obrázek 14: Izomery retininu

vyvolán tak, že jsou pohledem na žlutou plochu nejvíce unaveny červené a zelené čípký (žlutá je směs zelené a červené). Modré čípký jsou unaveny nejméně, a proto je po osvětlení bílým světlem signál z modrých čípků nejsilnější. Podobně je tomu i v případě jiných barev.

Otázka č.6

Na naší státní vlajce není zelená barva. S využitím například programu „Malování“ připravte experiment tak, abyste uviděli falešné zelené pole.

Při strnulém zírání na určitý obraz jsou oblasti různě unavených světločivných buněk pevně svázány s povrchem sítnice. Pohneme-li očima, pohne se i falešný obraz. Proto není možné přímo pohlédnout na část obrazu, která je otisknuta mimo oblast nejostřejšího vidění, a proto tedy šnek ve variantě B před přímým pohledem uniká.

3.2 Adaptační na tmou, změna citlivosti sítnice

Pomůcky Žádné, pouze možnost zatemnit místnost.

Provedení Pozorujte asi dvě minuty silně osvětlenou scénu s jedním okem těsně přikrytým rukou. Pak se místnost zatemní a zůstane osvětlena jen velmi slabě. Zakryté oko odkryjte. Nyní je

oko, které bylo při silném osvětlení odkryté, jakoby slepé. Rozdíl ve vnímání je zvláště markantní, pokud v šeru střídavě pozorujeme jedním a druhým okem.

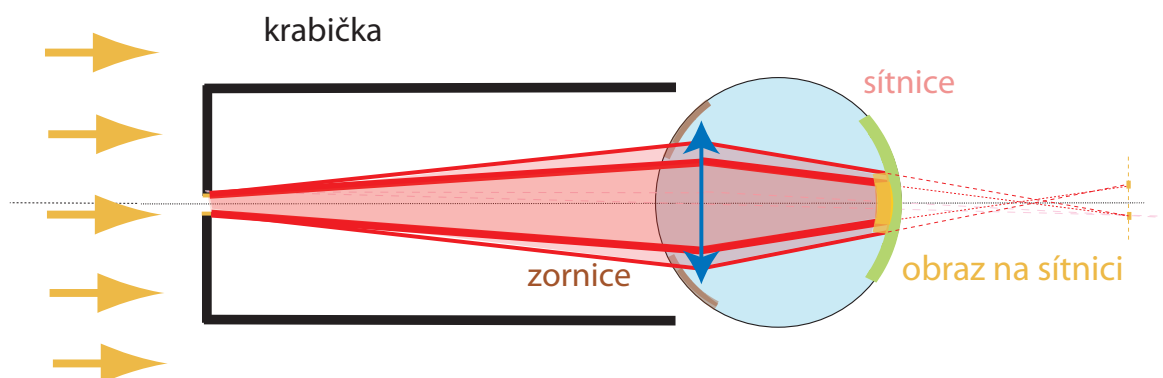
Interpretace Sítnice zakrytého oka je lépe adaptována na malé osvětlení, než sítnice oka, které pozorovalo silně osvětlenou scénu. Roli hraje také zraková únava nezakrytého oka. Proto při sníženém osvětlení vidí oko, které bylo dříve zakryté, lépe.

3.3 Adaptace na tmou, změna velikosti zornice

Pomůcky Krabička od kinofilmu s malým otvorem ve dně.

Provedení Jedno oko přikryjeme krabičkou od filmu tak, že k oku přitlačíme volný otvor krabičky a dno s malou dírkou máme přímo naproti oku. Otvor ve dně vidíme jako malý světlý kroužek. Pokud střídavě zakrýváme a odkrýváme druhé volné oko, průměr světlého kroužku se zvětšuje, resp. zmenšuje.

Interpretace Oko není schopné zaostřit akomodací na blízký otvor ve dně krabičky. Průměr „obrazu“ otvoru na sítnici tedy není dán velikostí otvoru, ale zejména aktuální velikostí zornice, viz obr. 15.



Obrázek 15: Optické schéma změny průměru zornice při adaptaci na tmou

Při adaptaci na osvětlení se zornice obou očí upravují částečně synchronně. Proto při odkrývání a zakrývání volného oka se mění průměr zornice i u oka přikrytého krabičkou a změnu průměru zornice pozorujeme jako změnu velikosti obrazu otvoru ve dně krabičky.

Otázka č.7

U většiny lidí je jedno oko „řídící“, podílí se na vidění dominantně. Řídící oko poznáme tak, že pokud do vzdálenosti, v níž pohodlně zaostříme, umístíme svislý předmět (prst, tužku) a řídící oko zavřeme, „odskočí“ obraz tužky stranou. Pokud zůstane řídící oko otevřené a zavřeme druhé oko, obraz se nepohne. Závisí výsledek předchozího experimentu na tom, zda zakrýváme řídící oko, či nikoliv?

3.4 Adaptace na tmou, změna velikosti zornice – simulace na optické lavici

Pokuste se sami sestavit experiment na optické lavici tak, abyste demonstrovali změnu pozorovaného obrazu na sítnici při změně velikosti zornice. Výsledek svého snažení ukažte vyučujícímu.

3.5 Reakční doba v centrální a periferní části sítnice

Pomůcky Frekvenční generátor, 2 LED diody.

Provedení Obě LED diody napájíme z téhož výstupu generátoru. Umístíme je tak, aby jedna byla ve středu zorného pole a druhá na straně, v periferním vidění. Zvyšujeme frekvenci generátoru až do té hodnoty, kdy nerozlišíme, že LED dioda v centru zorného pole bliká. Blikání druhé LED diody však stále lze rozlišit.

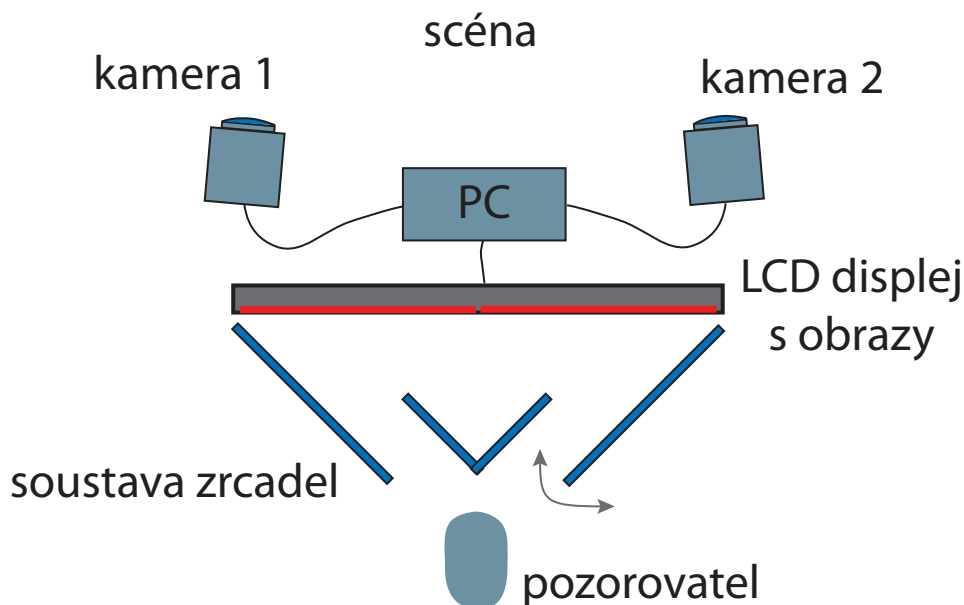
Interpretace V periferní části sítnice jsou světločivné buňky rychlejší – mají kratší integrační dobu detekce světla. Tento fakt má dobrý evoluční důvod – rychlost reakce zraku v periferním vidění umožňuje registrovat pohyb a reagovat na možné ohrožení.

3.6 Prostorové vidění

Pomůcky Počítač, 2 web kamery na posuvné liště, zrcadlový stereoskopický přípravek.

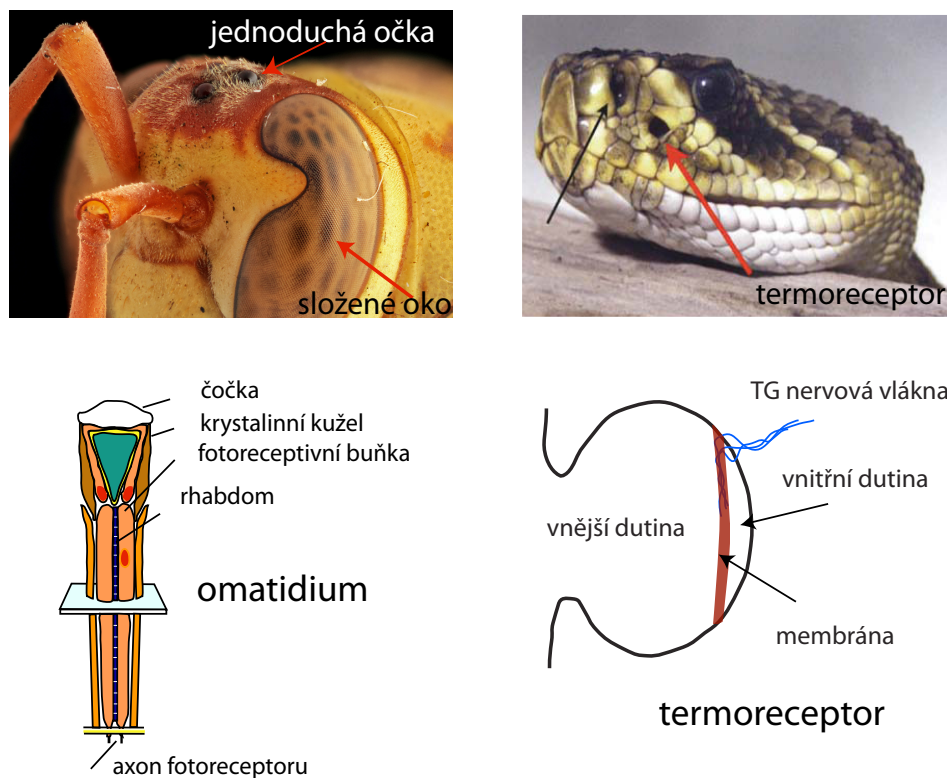
Provedení Zapojíme dvě web kamery do USB portů a na počítači spustíme program 3Dskop, který zajistí zobrazení projekce z obou kamer vedle sebe na dvě stejná pole jednoho monitoru. K monitoru přiložíme zrcadlový stereoskopický přípravek, viz obr. 16. USB kamery na posuvné liště umístíme nejprve asi 15 cm od sebe. Při pohledu do přípravku nastavíme úhlovým manipulátorem pravé zrcadlo tak, aby dvojobraz výrazného vzdálenějšího objektu v místnosti splynul v jediný obraz. Pozorujeme prostorový vjem, jehož míru můžeme ovlivnit změnou vzdálenosti web kamer.

Při změně vzdálenosti obou kamer je nutné úhlovým manipulátorem vždy dostavit splynutí dvojobrazu, protože na rozdíl od dvojice očí nemění kamery vzájemné úhlové nastavení (sbíhavost očí).



Obrázek 16: Pomůcky pro demonstraci fungování prostorového vidění

Interpretace Prostorový vjem při zrakovém vnímání je zajištěn dvojicí očí, kdy každé oko pozoruje scénu pod jiným úhlem. Zrcadlový stereoskop zajistí, že obraz z různých kamer je sledován různými očima. Změnou vzdálenosti kamer je zaručena změna míry prostorového vnímání. Úhlové



Obrázek 17: Základní jednotka složeného oka, omatidium, u hmyzu a termoreceptor u chřestýšovitých.

doladění zrcadlem je nutné proto, že dvojice kamer nenastavuje sbíhavost automaticky tak jako lidské oči.

3.7 Simulace jednoduchého oka

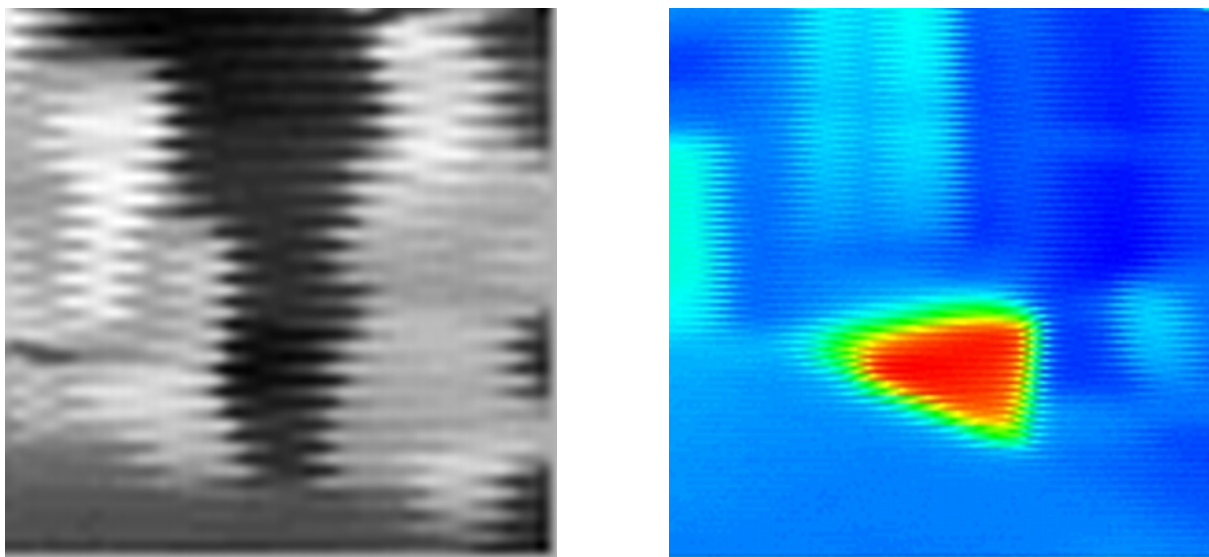
Řada živočichů pro vnímání okolního světa používají orgánů odlišných od komorového oka. Organismy jako červi, larvální stadia hmyzu i dospělí jedinci atd. mají na hlavě jednotlivá jednoduchá očka, tzv. ocelli nebo stemmata. Tyto detektory umožňují detekci světla dopadajícího na ně z určitého prostorového úhlu, avšak nikoliv vznik obrazu. Rozmístěním více detektorů či pouhým pohybem těla a natáčením očka může živočich získávat informaci o svém okolí. Podobně hadi z podčeledi chřestýšovití (nebo i upíří) jsou kromě komorových očí vybaveni jednotlivými, avšak velmi citlivými termoreceptory, kterými jsou schopni ve svém okolí registrovat zdroje infračerveného záření o vlnových délkách 5 – 30 μm . Tyto detektory ale pracují na zcela odlišném principu (viz obr. 17).

Složením více tzv. omatidií (300 – 25000) lze vytvořit zrakový orgán, který má schopnosti komorového oka (vnímání tvarů, jasů, pohybu, prostorového umístění). Světlo, které dopadne z příslušného směru na povrch jednotlivého omatidia, je koncentrováno čočkou do tzv. krystalinního kužele, kterým je převedeno až do místa fotoreceptivní buňky. Kombinací více fotoreceptorů lze dokonce dosáhnout i barevného vidění.

V tomto experimentu si ukážeme, že postupným natáčením jednoduchého detektoru můžeme zobrazit okolní scénu i bez složeného detektoru a zobrazovací soustavy. Omatidium můžeme nahradit např. fotodiodou, hadí „oko“ lze realizovat pomocí infračerveného teploměru, registrujícího vlnové délky 8 – 14 μm . Měření výstupu detektoru, jeho natáčení a přenos dat do PC po sériové lince RS-232 zajistí mikrokontroler Atmega128. Získané výsledky budou pouze ilustrativní a nelze je srovnávat se schopnostmi skutečného hmyzího/hadího oka.

Postup měření

1. Do vhodné vzdálenosti před oko postavíme kontrastní předmět (osobu, horký vaříč, světelný zdroj apod.).
2. Zapneme napájení pro serva a infrateploměr.
3. Zkontrolujeme, zda je deska s mikrokontrolerem připojena přes USB k počítači.
4. Spustíme program Omatidium.
5. Měření spustíme tlačítkem Start. Výsledek pozorujeme v okně programu. Kvalitnější snímek se často objeví až při přeškálování intenzit po dokončení snímání obrazu.



Obrázek 18: Obraz scény v IR oblasti v odstínu šedi a nepravých barvách používaných u termovize.

Úkoly

1. Vyzkoušejte si převrácení obrazu na sítnici s kartičkou a špendlíkem a na optické lavici.
2. Prozkoumejte otvorovou vadu oka pomocí AAA přípravku a dírky a vytvořte její simulaci na optické lavici.
3. Prověřte hloubku ostrosti při pozorování vlastním okem.
4. Pozorujte ohyb modrého a červeného světla vlastním okem.
5. Pozorujte ohyb zeleného a červeného světla laseru při difrakci na štěrbině a kruhovém otvoru, porovnejte poměr vzdáleností prvních difrakčních minim a poměr vlnových délek použitého světla laserů.
6. Pozorujte obraz vlajky a obraz šneka; vysvětlete vznik falešného obrazu v obou situacích.
7. Proveďte všechny tři experimenty s adaptací oka na tmu.
8. Určete svou reakční dobu oka v centrální a periferní části sítnice.
9. Vyzkoušejte si simulaci prostorového vidění.
10. Vyzkoušejte si simulaci jednoduchého oka.