

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 je největší. Srovnání je v následující tabulce.

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

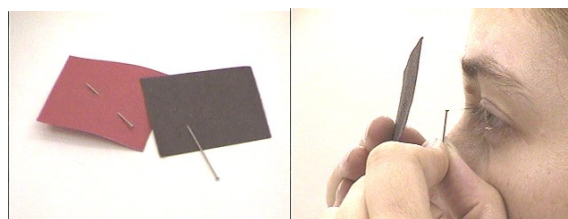
Tuto skutečnost lze jednoduše demonstrovat, pokud se oko obklopí prostředím jiného indexu lomu – pod vodou. Za této situace je schopnost ostrého vidění znemožněna.

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.

Pokus č. 1: Převrácení obrazu na sítnici.

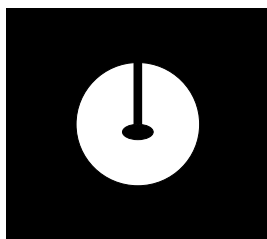
Postup

- 1) Do jedné ruky uchopíme kartičku, do druhé špendlík (za špičku). Kartičku dáme před oko do vzdálenosti 5 – 10cm, a díváme na osvětlené pozadí.
- 2) Těsně u oka zdola zasouváme špendlík hlavičkou vzhůru tak, aby zornice, špendlík a otvor v kartičce byly v jedné přímce, viz obr. 1.
- 3) Na prosvětleném pozadí otvoru uvidíme převrácený a relativně ostrý obraz špendlíku, viz obr. 2.



Obr. 1¹

¹ Obrázek byl převzat z <http://www.physics.umd.edu/lecdem/>.

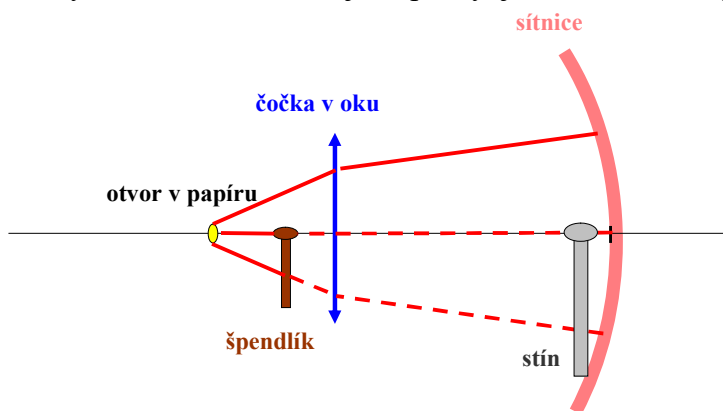


Obr. 2

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 dle obr. 4.

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 přímý. Protože však člověk vnímá skutečný převrácený obraz vytvořený rohovkou a čočkou jako přímý, jeví se mu stínový obraz převrácený.



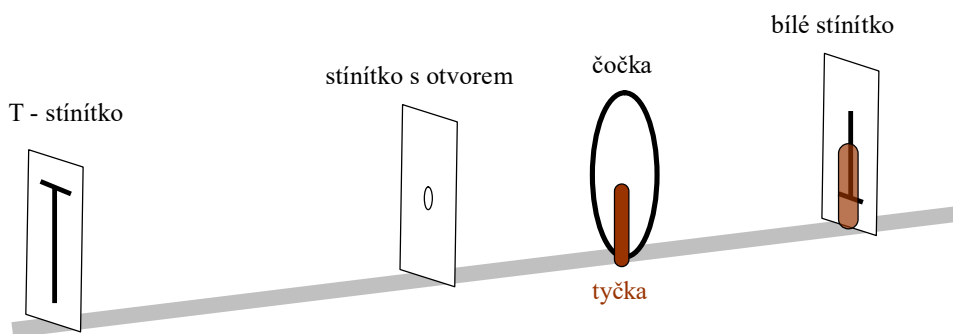
Obr. 4

Pokus č. 2: Převrácení obrazu na sítnici – simulace na optické lavici.

Optickou situaci z pokusu č. 1 lze ozřejmit simulací na optické lavici. Fyzikálně průhlednější experiment však postrádá působivost pokusu předchozího.

Postup

- 1) Experiment vyžaduje dobré zatemnění. Pokus sestavíme podle obrázku. T – stínítko osvětlíme zezadu silným zdrojem světla a zobrazíme čočkou na bílé stínítko.
- 2) Asi 10 cm před čočku vložíme stínítko s otvorem tvořené irisovou clonou. Stínítko velmi sníží intenzitu obrazu, ale při vhodné vzdálenosti T – stínítka 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 jeho vzpřímený stín.

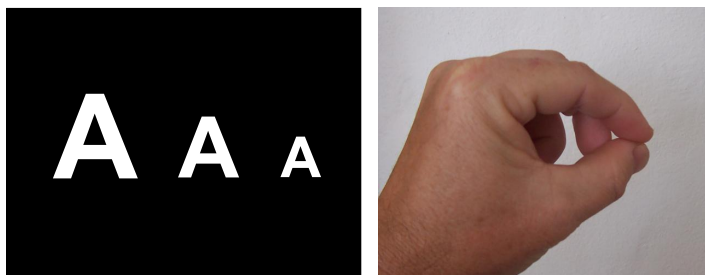


Obr. 5

Pokus č. 3: otvorová vada oka, hloubka ostrosti

Postup

- 1) Pokus vyžaduje téměř dobré zatemnění. Z přiměřené vzdálenosti pozorujeme objekt – AAA prezentaci na monitoru, viz obr. 6. Nejprve volným okem, potom přes otvor mezi prsty. Pozorujeme změnu ostrosti obrazu.
- 2) Přiblížíme drobný text tak blízko k oku, že jej již nedokážeme zaostřit. Při pozorování přes otvor mezi prsty text však uvidíme ostře.



Obr. 6

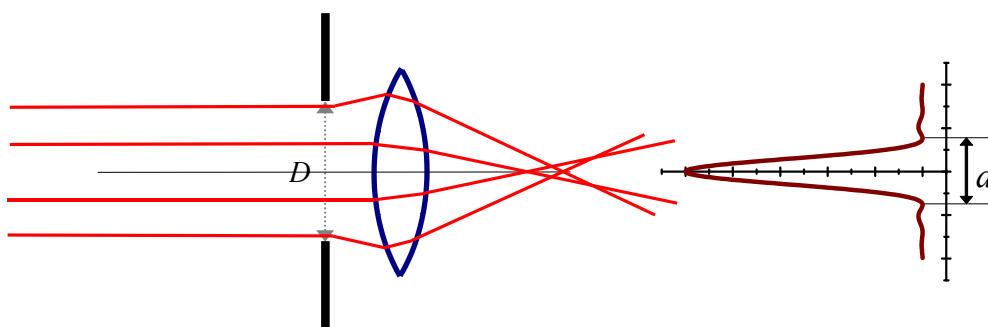
Interpretace

Částečným zacloněním čočky zmenšíme otvorovou vadu a zvětšíme hloubku ostrosti. Za těchto podmínek vidíme ostrý obraz i v případech, kdy bychom ostře neviděli.

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. 8.

Efekt difrakce je tím větší, čím menším otvorem světlo prochází a čím větší má vlnovou délku. Toto si ukážeme následujícím pokusem.



Obr. 7

Pokus č. 4: Ohyb modrého a červeného světla,

Postup

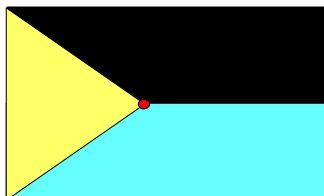
- 1) Pokus je třeba provádět v zatemněné místnosti, úplná tma však není nutná.
- 2) Z dostatečné vzdálenosti pozorujte svítící přípravek s modrou a červenou diodou. Nejprve přes difrakční mřížku z hedvábného šátku a poté přes otvor vytvořený mezi prsty dle obr. 6.
- 3) Vzájemným stiskem prstů je možné 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.
- 4) Soustřeďte se zejména na rozdíl mezi difrakčním obrazcem červeného a modrého světla. Červené světlo difraktuje více a pozorovaný obrazec je tedy širší.

Fyziologie oka

Pokus č. 5: „Afterimage“ – falešný obraz

Postup: provedení Varianta A, s využitím barevného vidění

- 1) Otevřete v počítači soubor vlajka.doc, viz obr 8.
- 2) Sledujte asi 20 s bez pohnutí očima červený bod uprostřed. Pak změňte obraz na čistě bílý. Popište, co uvidíte?



Obr. 8

Postup: provedení varianta B, dohoň šneka

- 1) Totéž vyzkoušejte se souborem snek.doc, viz obr. 9.
- 2) Sledujte asi 20 s bez pohnutí očima křížek vpravo. Pak změňte obraz na čistě bílý. Zkuste se podívat na hlavu šneka. Stále vám před očima utíká. Víte proč?

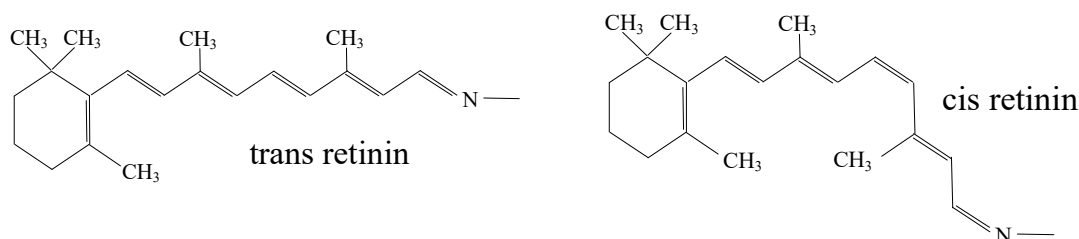


Obr. 9

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. 12. Před další detekcí je nutná rekonstrukce chemických vazeb, která vyžaduje určitý čas. Můžeme tedy říci, že intenzivní detekce oko svým způsobem unavuje.



Obr.12

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.

Podobně i v případě jiných barev. Tedy například falešný vjem modrého trojúhelníku na státní vlajce je vyvolán tak, že jsou pohledem na žlutou plochu nejvíce unaveny červené a zelené čípky (žlutá je směs zelené a červené). Modré čípky jsou unaveny nejméně, a proto je po osvětlení bílým světlem signál z modrých čípků nejsilnější.

Při strnulém zírání na určitý obraz jsou oblasti různě unavených světločivných buněk pevně svázané s povrchem sítnice. Pohne-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.

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

Pokus č. 6: Adaptace na tmu, změna citlivosti sítnice

Postup

- 1) Pozorujte asi dvě minuty silně osvětlenou scénu s jedním okem těsně přikrytým rukou.
- 2) Pak světlo vypněte a pohlédněte do temné části místnosti.
- 3) 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.

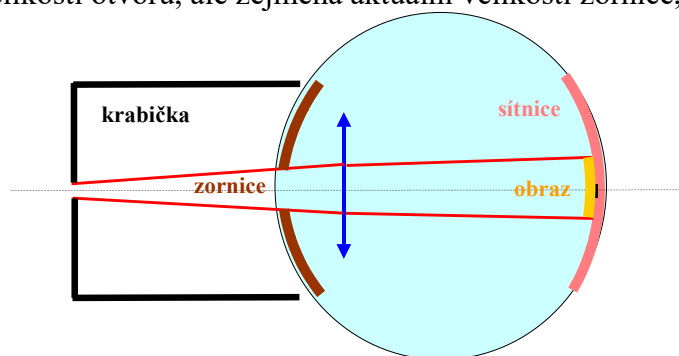
Pokus č. 7: Adaptace na tmu, změna velikosti zornice

Postup

- 1) 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.
- 2) 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. 13.



Obr. 13

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.

Pokus č. 8: Reakční doba v centrální a periferní části sítnice

Postup

- 1) K pokusu použijeme žluté LED diody napájené z výstupu generátoru elektrických kmitů.

- 2) Nastavíme vhodnou intenzitu světla diody a měníme frekvenci jejich blikání – změnou frekvence napětí na generátoru.
- 3) Pozorujeme, pro kterou maximální frekvenci ještě rozlišíme blikání a kdy již vidíme jen spojitý svit. Porovnáme situace při pozorování diody v centrální a periferní oblasti sítnice.

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.