

### 3. JEDNODUCHÉ EXPERIMENTY

„Schola ludus

Škola hrou“

/J. A. Komenský/

Úlohou nasledujúcich pokusov je „osviežiť“ čitateľovi jeho školské vedomosti a prebudiť v ňom hlbavý záujem o fyzikálne princípy a fyziku, ktorá nás obklopuje v dennom živote v oblasti prírody a techniky.

Samotné experimenty začínajú pútavými názvami, sľubujú zaujímavý obsah, v ktorom sa odpovedá na otázky „prečo“ o samozrejmostiach či zdanlivých paradoxoch.

Tieto hádankové úlohy a zábavná zmes ľahko uskutočniteľných pokusov umožňujú žiakom uskutočňovať jednotlivé experimenty doma a učiteľovi šetria drahocenný čas na vyučovaní.

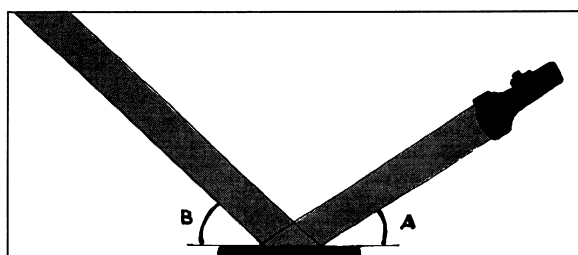
#### 3.1 AKO ZMENIŤ SMER SVETLA ALEBO UROBME SI PERISKOP



Určite ste už videli vo filme ponorku a v nej človeka, ktorý pozoroval plavidlá na hladine mora. Prístroj, ktorý na to slúži, sa nazýva *periskop*. Tento prístroj usmerňuje lúče tak, aby sa človek v ponorke pozrel na hladinu mora bez toho, aby sa namočil. Ako však tento prístroj funguje?

#### REALIZÁCIA:

Zájdite najprv do zatemnenej miestnosti a položte na podlahu zrkadlo tak, aby bolo obrátené smerom k stropu. Odstúpte od zrkadla, zapnite baterku a nasmerujte lúč na zrkadlo. Keď sa pozriete na strop, zbadáte osvetlený obrazec. Ak teraz trochu vyprášite handru na tabuľu medzi baterkou, zrkadlom a svetelným kruhom na strope, lúč sa zviditeľní (obr. 3.1.).



Obr. 3.1. Podarilo sa vám zmeniť smer svetla [31]?

Premiestnite teraz baterku tak, aby osvetľovala zrkadlo z iného uhla a pozorujte svetelný lúč. Aký je vzťah medzi uhlami, ktoré zvierajú lúč vychádzajúci z baterky a odrazený od zrkadla s podlahou?

VYSVETLENIE:

Keď svetlo narazí na zrkadlo, nepokračuje ďalej po priamke, ale sa odráža od zrkadla na novú priamku, ktorá sa mení, keď meníme sklon baterky. Svetlo dopadajúce na zrkadlo sa odráža tak, že obidva uhly medzi každým lúčom a zrkadlom sú rovnaké. Z určitých dôvodov je zvykom merať uhly od kolmice k povrchu zrkadla. Zákon, ktorý charakterizuje správanie sa lúča dopadajúceho na zrkadlo sa nazýva *zákon odrazu*. Hovorí, že uhol medzi kolmicou k povrchu zrkadla a odrazeným lúčom, t. j. *uhol odrazu*, sa rovná uhlu medzi kolmicou a dopadajúcim lúčom, čiže *uhlom dopadu*, pričom odrazený lúč ostáva v rovine dopadu určenej dopadajúcim lúčom a kolmicou na rozhranie optických prostredí, v našom prípade vzduch - zrkadlo.

Poznámka:

Máte už laserové pero alebo inú laserovú hračku? Ak áno, tak ten istý experiment si môžete urobiť bez baterky a zaprášenej handry. Stačí, ak lúč vychádzajúci z pera bude dostatočne intenzívny.

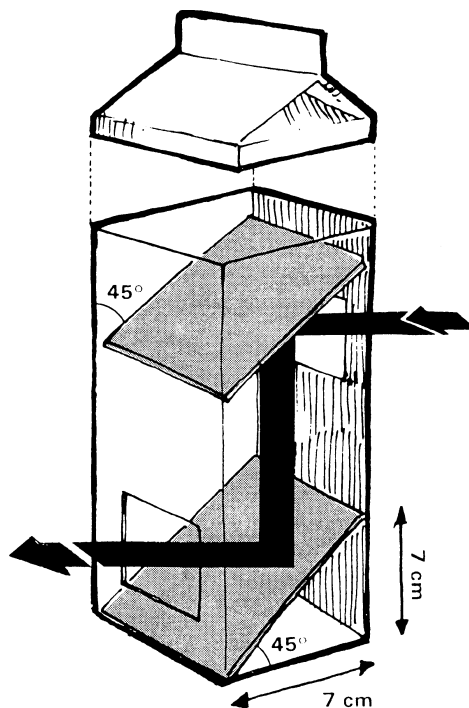
Ako prakticky využiť odraz svetla? Napríklad na zostrojenie periskopu.

REALIZÁCIA:

Vystrihnite najskôr štvorcový otvor na bočnej strane pri vrchnej časti krabice a druhý rovnako veľký pri spodnej časti protifahej strany. Snažte sa, aby otvory boli v rovnakej vzdialenosti od príslušných koncov krabíc. Odrežte vrchnú časť krabice a pomocou lepiacej pásky pripevnite zrkadlá. Umiestnite ich oproti sebe tak, aby zvierali uhol 45 stupňov so základňou krabice a overte si, či sú zrkadlá rovnobežné a dobre upevnené. Zalepte otvor krabice lepiacou páskou. Pozrite sa do vnútra. Čo vidíte?

VYSVETLENIE:

Lúče vychádzajúce z predmetu a idúce rovnobežne so základňou krabice dopadajú na prvé zrkadlo pod uhlom 45°. Využitím zákona odrazu zistíte, že sa odrážajú tiež pod uhlom 45°. Keďže pod takým istým uhlom dopadajú aj

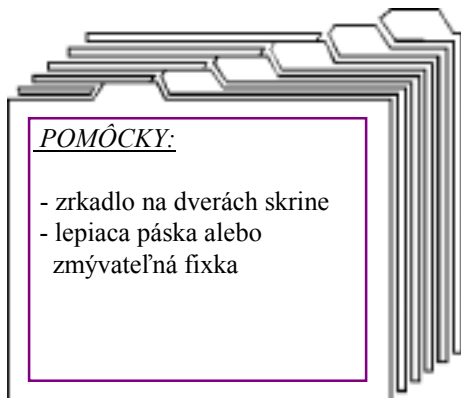


**Obr. 3.2. Urobte si periskop [32]**

na druhé zrkadlo, odrazia sa od neho a budú sa pohybovať opäť v rovnobežnom smere. Takže všetko to, čo uvidíte v periskope, videli by ste, keby ste stáli o niečo vyššie a bez neho.

Od teraz už môžete stáť pred múrikom a sledovať, čo sa deje za ním. Stačí len, ak cez múrik necháte prečnievať iba jeden z otvorov periskopu a druhým sa budete pozerat'.

### 3.2 AKÉ VEĽKÉ MÁ BYŤ ZRKADLO, ABY STE SA V ŇOM VIDELI CELÍ ?



POMÔCKY:

- zrkadlo na dverách skrine
- lepiaca páska alebo
- zmývateľná fixka

Každý z vás sa už určite stretol s rovinným zrkadlom. Či už pri skúšaní oblečenia alebo obuvi. Ale aké vysoké má byť zrkadlo, aby sme sa v ňom videli celí od hlavy až po päty? Asi si myslíte, že to závisí od vzdialenosti medzi vami a zrkadlom. Že ak budete veľmi ďaleko, postačí malé zrkadielko, ak budete zasa veľmi blízko, musíte mať zrkadlo také veľké, ako vy. Ale to je omyl!

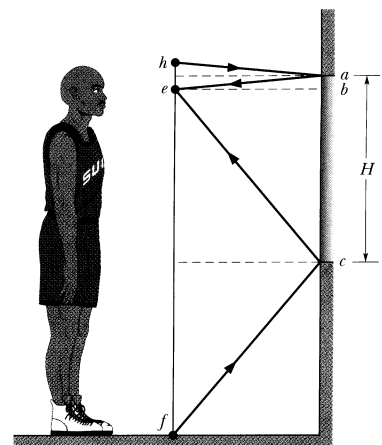
REALIZÁCIA:

Postavte sa do vzdialenosti asi jedného metra od zrkadla tak, aby ste sa v ňom videli od hlavy až po päty. Uistite sa, či zrkadlo je pripevnené kolmo dole. Požiadajte spolužiaka, aby pomocou motúza označil smer vášho pohľadu na zrkadlo tak, aby raz ste videli vrchol hlavy a druhýkrát spodok nôh. Miesta dotyku špagátu so zrkadlom označte či už lepiacou páskou alebo fixkou. Zmerajte túto vzdialenosť medzi značkami. V akom vzťahu je táto vzdialenosť k vašej výške?

Ustúpte asi na dva metre od zrkadla. Pokus zopakujte. Na ktoré miesto na zrkadle sa pozeráte teraz, aby ste videli vrchol hlavy a spodok nôh? Postavte sa do rozličných vzdialeností od zrkadla a pokus zopakujte. Žeby ste už žiadne nové značky nepotrebovali?

VYSVETLENIE:

V minulom pokuse sme sa dozvedeli, že uhol odrazu lúča sa rovná uhlu dopadu lúča. Na to, aby lúč vychádzajúci z bodu na spodku topánky dopadol po odraze do oka, musí sa odrážať od zrkadla v polovičnej vzdialenosti očí od spodku nôh. Aby sme videli aj vrchol hlavy, potrebujeme sa pozerieť na miesto nachádzajúce sa na zrkadle medzi očami a vrcholom hlavy a to presne v polovici. Ak zmeriame vzdialenosť týchto bodov a porovnáme ju s výškou vašej postavy zistíme, že na to, aby sme sa videli v zrkadle celí, stačí, aby zrkadlo malo polovičnú výšku, ako je vaša. Dôležité však je aj umiestnenie zrkadla.

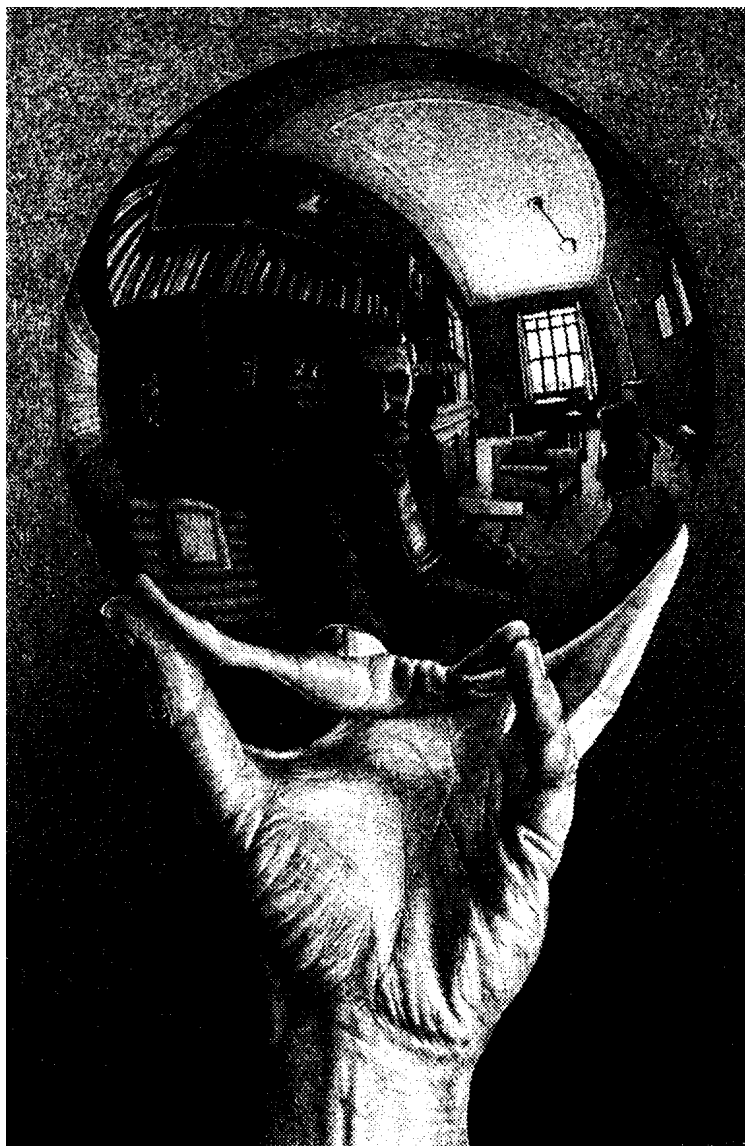


Obr. 3.3. K experimentu [37]

A teraz, keď už viete, aké má byť zrkadlo vysoké a v akej polohe má byť, skúste určiť, aké má byť široké, aby ste sa v ňom videli celí. Že už to viete?

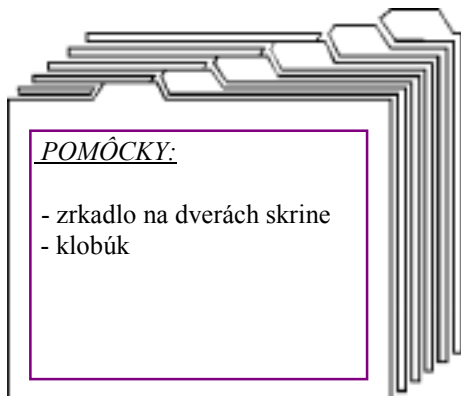
**Poznámka:**

V predchádzajúcom pokuse sme sa zaoberali rovinným zrkadlom. Ale rozmýšľali ste už niekedy nad tým, aké veľké môže byť zrkadlo ľubovoľného tvaru, aby ste sa v ňom videli celí? Že nie? Skúste sa pozrieť na nasledujúci obrázok 3.4 a porozmýšľať trochu.



***Obr. 3.4. Aké veľké guľové zrkadlo stačí, aby ste sa v ňom videli celí? [36]***

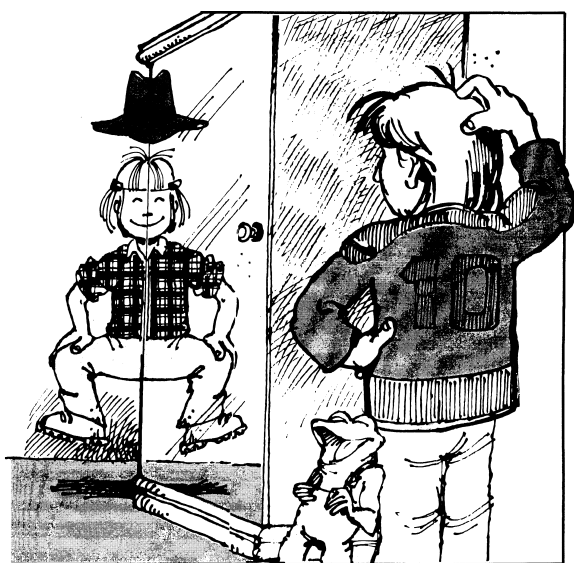
### 3.3 KÚZLO SO ZRKADLOM?



Poznáte ten trik s klobúkom, ktorý sa sám dvíha z hlavy? Že nie? Tak dávajte dobrý pozor.

#### REALIZÁCIA:

Odtiahnite skriňu so zrkadlom umiestneným na dverách do vzdialenosti asi 30 cm od múru. Nasadíte si klobúk a postavte sa za skriňu tak, aby z vás bolo vidno presnú polovicu. Potom skrytou rukou klobúk nadvihnete. Ako je možné, že klobúk sa hýbe celkom sám? (obr. 3.5)



#### VYSVETLENIE:

Spolužiaci stojaci oproti majú dojem, že vás vidia celého. V skutočnosti je druhá polovica vášho tela skrytá za skriňou so zrkadlom. A ruka, ktorú nevidíme si môže robiť, čo chce. Napríklad aj zdvíhať klobúk. Za to všetko môže zase zrkadlo a odraz svetla od neho.

Dojem, že druhá polovica tela sa nachádza za zrkadlom vzniká preto, lebo svetlo, ktoré vniká do oka z prvej polovice tela po odraze od zrkadla, vniká do neho fyzikálne presne tak isto, ako keby vnikalo z druhej polovice tela umiestnenej za zrkadlom, odhliadnuc však od toho, že vieme o existencii zrkadla, čo sa v našom mozgu koriguje.

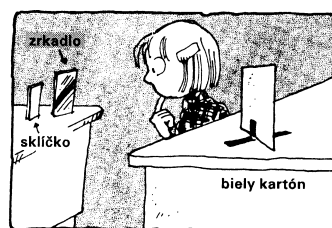
*Obr. 3.5. Poznáte ten trik s klobúkom? [32]*

### 3.4 ODRAZ SVETLA NA SKLE A ZRKADLE

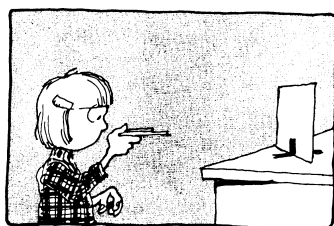


REALIZÁCIA:

Vezmite biely kartón alebo krabicu od topánok a upevnite to na stole (obr. 3.6). Na druhý stôl položte sklíčko a zrkadielko vedľa seba. Odstúpte trochu. Pozrite sa do zrkadielka aj na sklíčko. Ako odrážajú biely kartón?



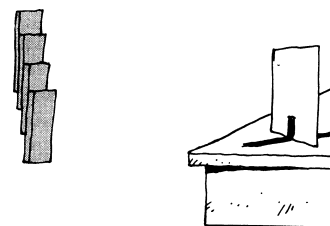
**Obr. 3.6. Odrazy. Situácia a) [33]**



**Obr. 3.7. Odrazy. Situácia b) [33]**

Teraz sklíčko aj zrkadielko umiestnite vodorovne. Opäť sa pozrite najprv do zrkadielka a potom na sklíčko. A ako teraz odrážajú biely kartón? Žeby skoro rovnako?

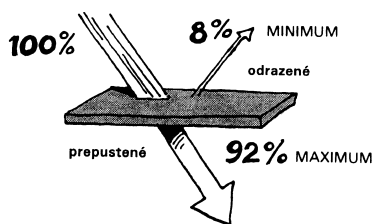
A teraz uložte štyri sklíčka na seba tak, aby mali tvar schodišťa a zopakujte predchádzajúce pokusy. Čo ste zistili?



**Obr. 3.8. Odrazy. Situácia c) [33]**

VYSVETLENIE:

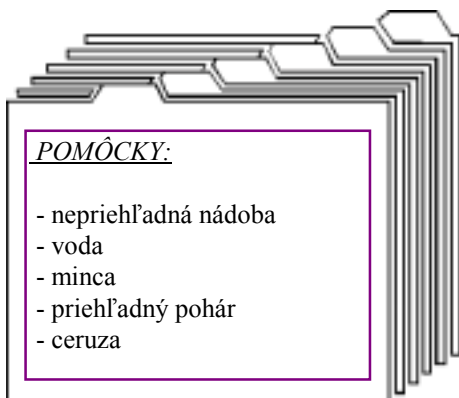
Ani čisté sklo neprepúšťa všetko svetlo, ktoré naňho dopadá. Platnička skla neprepustí viac ako 92% svetla, pretože najmenej 8% svetla je odrazené od oboch strán sklíčka, pričom 4% pripadajú na jednu stranu (obr. 3.9). Dôležitý je tiež uhol, pod ktorým svetlo dopadá na sklíčko. Ak svetlo dopadá kolmo, iba malá časť z neho sa odrazí a zvyšok prejde cez neho. Čím šikmejšie bude svetlo dopadať na



**Obr. 3.9. Prechod a odraz svetla v skle [33]**

sklo, tým menej ho prejde. Povrch skla bude teda pôsobiť ako zrkadlo, pričom veľká časť svetla sa od neho odrazí. Ak budeme mať viac sklíčok poukladaných na seba, odraz svetla sa prejaví ešte výraznejšie. Keď budú štyri sklíčka na sebe a budú rovnobežné s objektom, na ktorý sa cez ne pozeráme, prepustia iba 72% svetla. Jedno sklíčko by však prepustilo 92%.

### 3.5 MINCA, KTORÁ SA OBJAVÍ



Vždy, keď svetlo prechádza cez rôzne prostredia, rozdelí sa na dva zväzky: - zväzok lúčov odrazený a zväzok lúčov lomený.

Napríklad - svetlo prichádzajúce zo Slnka na Zem prechádza zo vzduchoprázdna do ovzdušia Zeme. Časť tohto svetla sa k nám nikdy nedostane, lebo je odrazená. Inak povedané: časť svetla sa odrazí od atmosféry Zeme a stratí sa vo vesmíre.

Svetlo lomené, ktoré preniká našou atmosférou, je však odklonené od svojho pôvodného smeru. Toto odklonenie môžeme aj my ľahko pozorovať.

#### REALIZÁCIA:

Položte mincu na dno nádoby niekoľko centimetrov od okraja tak, že bude mimo vášho zorného uhla (mincu nevidíte). Potom bez posunutia hlavy pomaly prilievajte vodu do nádoby. Dávajte si však pozor, aby ste nepohli hlavou ani mincou.

V momente, keď už je v nádobe dost' vody, začne sa minca objavovať až ju uvidíte celú (obr. 3.10).



Obr. 3.10. K pokusu

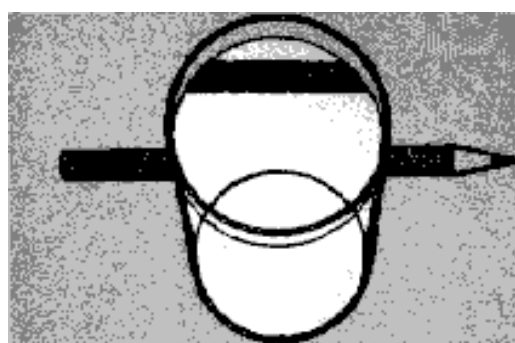
Ale veď sa nepohla ani minca ani vy! Ako je to možné?

#### VYSVETLENIE:

Je to svetlo, ktoré sa „ohlo“ pri prechádzaní cez rozhranie voda - vzduch. Hovoríme, že svetlo sa láme pri prechode z jedného do druhého prostredia.

Pretože predmety vidíme vždy v smere lúča dopadajúceho do nášho oka, zdá sa nám, že predmet je na inom mieste než tam, kde v skutočnosti leží. To práve spôsobuje lom svetla.

Tým istým spôsobom môžete ohnúť aj ceruzku ponorením jej polovičky do vody (obr. 3.11).



Obr. 3.11. Čo všetko dokáže lom svetla [12].

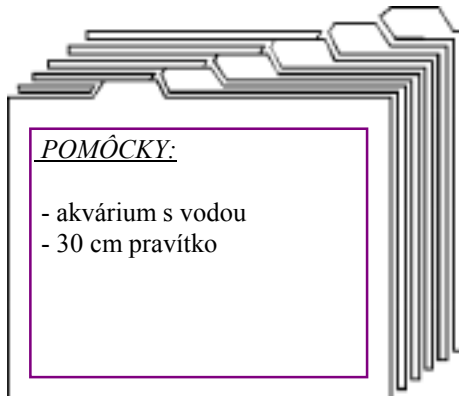
---

**Historická poznámka:**

Už Euklides (365-300 pred n. l.) vo svojom diele *Katoptika* opisuje pokus s obručou. Na dne nádoby je položená obruč tak, že je skrytá za okrajom nádoby. Keď do nádoby nalejeme vodu, človek bez zmeny svojej polohy môže obruč uvidieť. V Euklidovej práci má tento pokus zvláštne postavenie.



### 3.6 AKO DOSTAŤ Z JEDNÉHO PRAVÍTKA DVE



Poviete si, ale veď to nie je žiaden problém. Ohneme ho napoly, až kým sa nám nezlomí. To je síce pravda aj takto sa to dá. Ale prečo ničiť pravítko? Nedá sa to urobiť nejako ináč? Čo by nie, poďme si to vyskúšať.

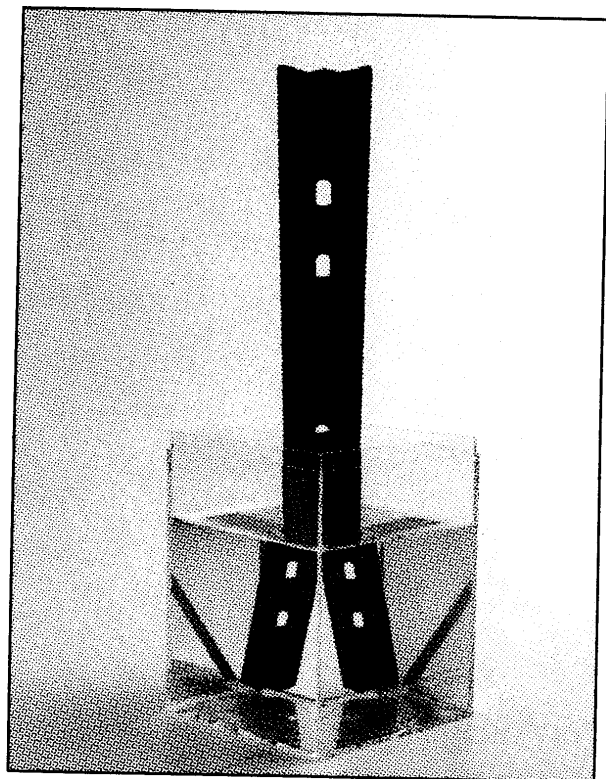
#### REALIZÁCIA:

Veźmite si akvárium s vodou (prípadne nejakú inú hranatú sklenenú nádobu) a natočte si ho tak, aby pred vami bola hrana akvária. Teraz zoberte do ruky pravítko a vložte ho do akvária tak, aby sa dotýkalo protiľahlej hrany akvária. A teraz sa pozrite do akvária cez hranu pred vami. Ako je možné, že miesto jedného pravítka, ktoré je v akváriu, vy tam vidíte dve?

#### VYSVETLENIE:

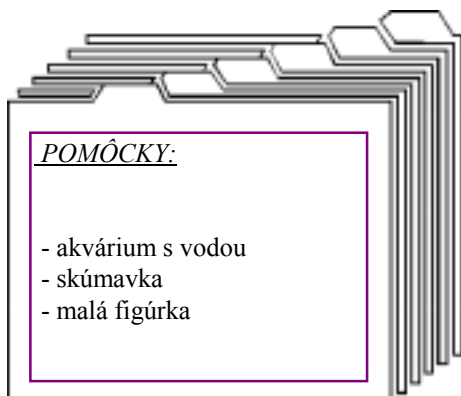
Môže za to svetlo, ktoré sa pri prechode z jedného optického prostredia do druhého zlomilo. Svetelné lúče, ktoré umožňujú videnie pravítka, prechádzajú z vody do vzduchu (z opticky hustejšieho prostredia do redšieho). To má za následok lom svetla na rozhraní vody a vzduchu. Keďže v našom prípade máme rozhrania dva, budeme pozorovať aj dva zdanlivé obrazy predmetu.

Ak vás experiment zaujal, skúste porozmýšľať, kde sa ešte môžete stretnúť s niečím podobným. Poradím vám, že to, čo sa deje s pravítkom v akváriu, deje sa aj s akváriovými rybičkami. Takže ak máte doma akvárium a niekedy sa vám zdá, že máte o rybku navyiac, skúste zmeniť uhol pohľadu.



*Obr. 3.12. Koľko je pravítok vo vode, jedno, či dve?[36]*

### 3.7 SKRÝVAČKA ALEBO AKO UKRYŤ FIGÚRKU



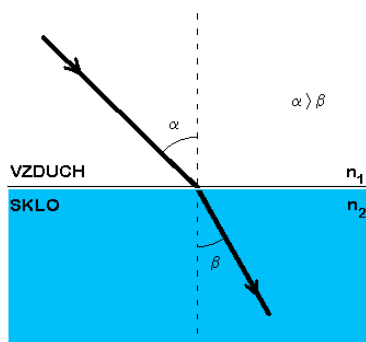
Každý z vás isto pozná hru na schovávačku. Ale hrali ste už schovávačku vo vode alebo pod vodou? Samozrejme, že v čistej a priehľadnej. Že vraj sa to nedá? Poďme sa o tom spolu presvedčiť.

#### REALIZÁCIA:

Naplňte akvárium vodou a dobre si ho poobzerajte. Voda aj sklo sú priehľadné. Zoberte skúmavku a vložte do nej napríklad figúrku z hry „Človeče nezlob sa“. Ponorte teraz skúmavku do vody tak, aby sa do nej nedostala voda. Pomaly ju nakláňajte a otáčajte ňou. Skúmavka sa v jednom okamihu zmení na striebornú. Ale kam zmizla figúrka?

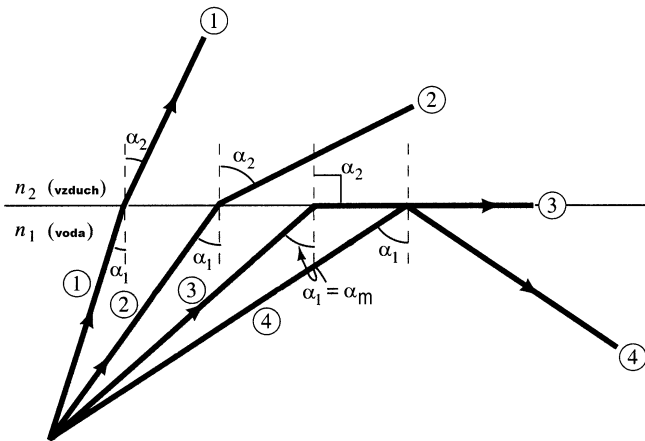
#### VYSVETLENIE:

Svetlo sa pri prechode z jedného prostredia do druhého prostredia láme. Príčinou je rôzna rýchlosť v rôznych prostrediach. Najrýchlejšie sa svetlo šíri vo vákuu, rýchlosťou približne 300 000 km/s. V každom ďalšom prostredí je rýchlosť svetla o niečo menšia. Fyzikálna veličina, ktorá charakterizuje, koľkokrát je rýchlosť v danom prostredí menšia ako vo vákuu sa nazýva (*absolútny*) *index lomu*. Charakterizuje každé prostredie a môžeme ho nájsť vo fyzikálnych tabuľkách (napr. pre vodu je to 1,33, vzduch má index lom 1 a sklo 1,55). Index lomu vody je väčší ako index lomu vzduchu. Hovoríme, že voda je *opticky hustejším prostredím* ako vzduch a vzduch *opticky redším prostredím* ako voda. Ak svetlo bude prechádzať z jedného optického prostredia do druhého, môže nastať *lom svetla*, čiže svetlo sa odkloní od svojho pôvodného smeru. V 17. storočí holandský matematik a fyzik Willebrordus Snellius, objavil, aká je matematická závislosť uhla dopadu a uhla lomu svetelného lúča. *Snellov zákon* teda hovorí, že pomer sínusov uhla dopadu a uhla lomu je rovný pomeru rýchlostí svetla v daných prostrediach. Ak do



Obr. 3.13. Lom svetla ku kolmici

toho zamontujeme index lomu, zistíme, že súčin indexu lomu prostredia a sínusu uhla, ktorý je v ňom meraný, sa zachováva ( $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$ ). Svetlo, ktoré bude prechádzať z opticky redšieho prostredia (s menším indexom lomu) do hustejšieho (s väčším indexom lomu) sa bude odkláňať od svojho pôvodného smeru bližšie ku kolmici. Hovoríme, že sa láme *ku kolmici* (obr. 3.13). V opačnom prípade hovoríme o lome *od kolmice*. Ak svetlo bude prechádzať z opticky hustejšieho prostredia



Obr. 3.14. Lom a totálny odraz svetla

do redšieho (čiže sa láme od kolmice), môže sa stať, že lomený lúč sa bude šíriť po rozhraní dvoch optických prostredí (vtedy je uhol lomu  $90^\circ$  a uhol dopadu sa nazýva *medzný (hraničný) uhol*). Keď teraz zväčšíme uhol dopadu zistíme, že svetlo sa do druhého prostredia vôbec nedostane. Prečo? Lebo sa všetko odrazí späť. A tomuto javu hovoríme *úplný odraz svetla* (obr. 3.14).

Vráťme sa teraz k nášmu akváriu a skrytej figúrke. Voda v akváriu je opticky hustejším prostredím ako vzduch v skúmavke. Keď ste otáčali a nakláňali skúmavku, vtedy ste vlastne hľadali medzný uhol. Keď sa vám ho podarilo nájsť, vtedy sa všetky lúče dopadajúce na skúmavku odrazili od opticky redšieho prostredia – vzduchu v skúmavke do vášho oka. Preto ste sa do skúmavky nemohli pozrieť a figúrka ostala pred vašim zrakom ukrytá.

Aj steny akvária sa zdajú byť niekedy strieborné. Tiež aj guľôčky vzduchu, ktoré sú prilepené na skle, sa javia ako strieborné korálky. Nastáva tam to isté – úplný odraz svetla. Ktorá však zo štyroch stien akvária sa vám bude zdať strieborná závisí od toho, odkiaľ bude prichádzať svetlo a ako sa budete pozeráť na akvárium vy.

A ako figúrku znova odkryť?

#### REALIZÁCIA:

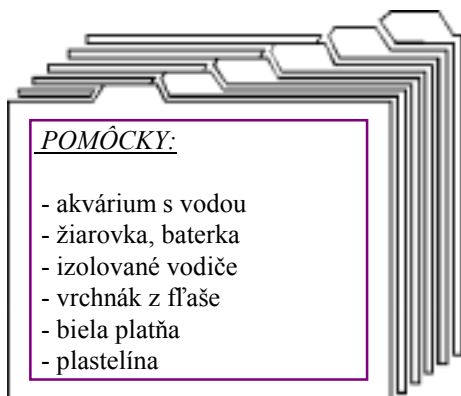
Naberte do skúmavky trocha vody a figúrka sa hneď objaví. Teraz skúmavku môžete otáčať a nakláňať do všetkých možných smerov, kúsok figúrky, ktorý je v nabratej vode sa skryť nedá.

#### VYSVETLENIE:

Prostredie pred skúmavkou aj skúmavke je rovnaké, pretože pred skúmavkou aj v nej je voda. Lúče svetla prechádzajú tým istým prostredím, takže sa neodkláňajú od pôvodného smeru a teda nenastáva ani totálny odraz svetla.

Tí hlbavejší si určite všimli, že sme z tejto hry vynechali sklo. Veď predsa lom svetla nastáva aj pri prechode svetla z vody do skla a zo skla do vzduchu. Treba to však brať vôbec do úvahy? Skúste trochu porozmýšľať.

### 3.8 SVETELNÝ PAVÚK



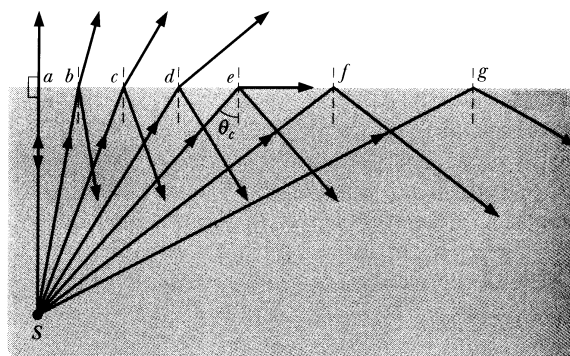
So svetlom sa dá hrať všelijako. Vie sa odrážať, lámať, ale aj ohýbať. Dokonca sa s ním dajú napodobniť aj niektoré zvieratká. Neveríte? Poďme sa o tom spolu presvedčiť.

#### REALIZÁCIA:

V dolnej časti bielej platne urobte malý otvor pre žiarovku. Izolovanými vodičmi ju pripojte k batérii. Dajte pozor, aby žiarovka bola dobre pripevnená a izolovaná. Na izoláciu vodivých častí použite plastelínu. Potom vezmite vrchnáčik a v jeho valcovej stene urobte asi tak do polovice rovnobežné otvory široké približne 1 mm. Vrchnáčikom zakryte žiarovku tak, aby žiarovka ležala na osi vrchnáka. Otvory nech smerujú hore. Zapnite žiarovku a overte, či svetlo prechádza cez vrchnáčik s otvormi. Malo by to vyzerať ako Slniečko do polovice zakryté mrakom. Teraz vezmite platňu so žiarovkou prikrytou vrchnáčikom a opatrne ju vložte do akvária naplneného do polovice vodou. Dávajte pritom pozor, aby sa izolácia a upevnenie neporušili. Ak je všetko v poriadku, naplňte akvárium vodou tak, aby bola žiarovka s vrchnáčikom pod vodnou hladinou. Zasuňte! Objavil sa vám svetelný pavúk?

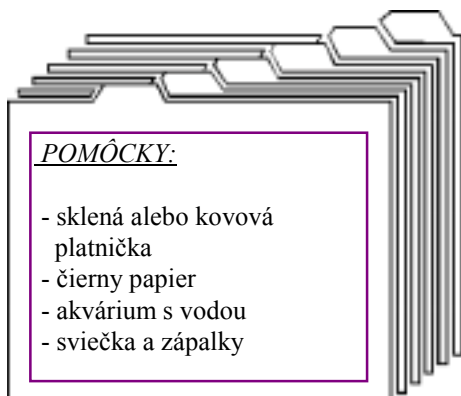
#### VYSVETLENIE:

Svetlo vychádzajúce zo žiarovky prechádza z vody do vzduchu (obr. 3.15). Voda má pritom väčší index lomu ako vzduch, teda je opticky hustejším prostredím. Pri prechode svetla z opticky hustejšieho prostredia do opticky redšieho prostredia nastáva lom svetla od kolmice. Avšak len za určitých podmienok. Ak svetelný lúč zo žiarovky vychádza pod uhlom väčším ako je medzný uhol, nelomí sa, ale sa odráža. Nastáva totálny odraz svetla. Preto niektoré lúče nevystúpia nad vodnú hladinu a iné áno.



Obr. 3.15. Svetelný pavúk

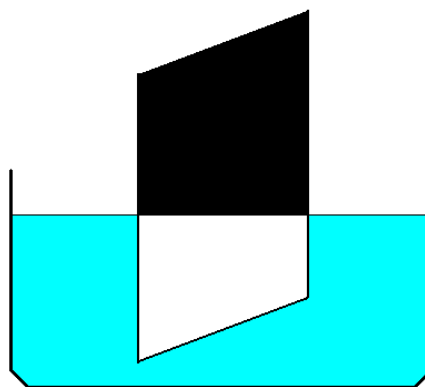
### 3.9 „ČIERNE ZRKADLO“



Už ste niekedy videli čierne zrkadlo? Poviete si, čo je to za hlúpa otázka, veď predsa v zašpinenom zrkadle sa dobre nevidím, nie to ešte v čiernom. A môže byť zrkadlo vôbec čierne? Ukážeme si, že môže! Poďme to spolu vyskúšať.

#### REALIZÁCIA:

Zapáľte najprv sviečku. Vezmite platničku a nad plameňom sviečky ju poriadne začiernite. Do akvária napustite vodu a ponorte do nej začiernenú platničku. Otáčajte ju okolo zvislej osi, až kým sa nebude blyšťať do strieborna (obr. 3.16). Vezmite nejaký predmet a položte ho pred platňu do akvária. Pozrite sa na platňu. Tak čo, vidíte ho v tom „čiernom zrkadle“ alebo nie?

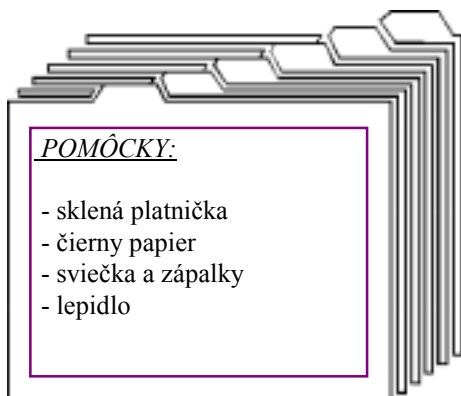


**Obr. 3.16. Čierne zrkadlo**

#### VYSVETLENIE:

Povrch platničky, ktorý ste začiernili sa vo vode nezmáča. Na jeho povrchu sa vytvorí tenká vzduchová vrstvička. Pri určitej polohe platne, kedy pozorujete, že sa platňa zmenila na striebornú, sa všetky svetelné lúče dopadajúce na vzduchovú vrstvičku od nej odrážajú. Dochádza k totálnemu odrazu svetla na rozhraní dvoch prostredí, a to vody a vzduchu. Vďaka tomu môžete vidieť obraz predmetu položeného do akvária ako v zrkadle.

### 3.10 TAJOMSTVO MIZNÚCEHO OBRÁZKU



Aj neviditeľné veci sa občas stávajú viditeľnými. A niekedy netreba k tomu až tak veľa. Stačí len trocha fantázie a nejaké tie znalosti z fyziky. A všetci si budú o vás myslieť, aký ste dobrý kúzelník. Tak čo, chcete sa naučiť kúzlo, ktorým ohúrite aj svojich spolužiakov? Ak áno, tak poďme do toho.

#### REALIZÁCIA:

Sklenú platničku obaľte do čierneho papiera. Zapáľte plameň sviečky. Vezmite platňu s papierom a pohybujte ňou nad sviečkou tak, ako keby ste plameňom sviečky chceli namaľovať nejaký obrázok.



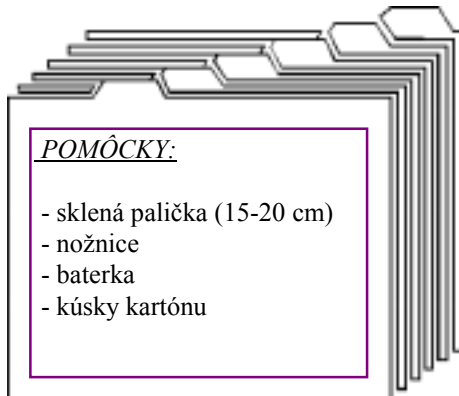
**Obr. 3.17. Miznúci obrázok**

Dávajte pri tom pozor, aby sa papier nad plameňom nezapálil. Pracujte rýchlo a zároveň opatrne. Papier vlastne začierňujete, ale keďže je čierny, nič na ňom nebude rozoznateľné. Ak sa naň budú pozerat' spolužiaci z diaľky, žiaden obrázok na papieri nevidia. Ponorte teraz platničku do vody. Otáčajte ňou dovedy, kým sa na nej nebude niečo strieborné ligotať (obr. 3.17). Už to máte? Žeby sa to ligotavé podobalo na váš obrázok?

#### VYSVETLENIE:

Obrázok nie je nič iné ako začiernený povrch papiera, ktorý sa vo vode nezmáča. Takže v mieste začierania sa vytvorí tenká vzduchová vrstvička. Ak budú lúče dopadať na rozhranie voda-vzduch pred obrázkom pod väčším uhlom ako je medzný uhol, nastane totálny odraz svetla. Začiernená plocha sa nebude javiť ako čierna, ale ako strieborná. Zvyšná, nezačiernená časť papiera sa bude javiť stále ako čierna. Ak platničku trocha pootočíte, obrázok opäť zmizne.

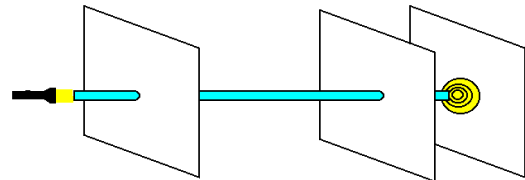
### 3.11 SVETLOVOD



Okrem toho, že svetlo sa šíri vzduchom a aj vo vákuu, šíri sa aj vo vode, dokonca aj v skle. A to nielen v rovnej sklenej tyčke, ale aj v ohnutej. To má veľký praktický význam. Dostaneme svetlo všade tam, kde je to potrebné. Teda nielen za roh, ale aj do vnútra človeka, ako to mnohokrát robia lekári. Ukážme si, ako je možné viesť svetlo sklom.

#### REALIZÁCIA:

Pokúste sa zaobstarat' si takú sklenú paličku, ktorá bude mať oba konce kolmé na os. Podarí sa vám potom preniesť „viac“ svetla. Z kartónov vystrihnete dva väčšie štvorce. Urobte do nich otvory, cez ktoré prestrčíte sklenú tyčku. Baterku skryte za jeden z kartónov a osvetlite ňou koniec tyčky. Za

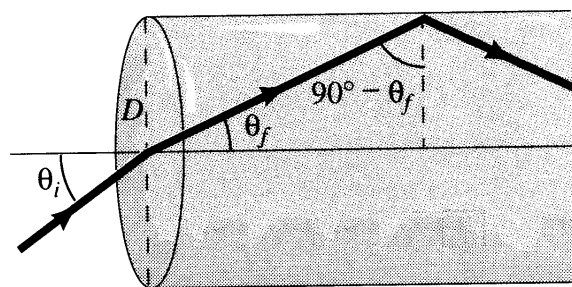


**Obr. 3.18. Svetlovod**

druhý kartón dajte biely papier. Všimnite si, že svetlo vchádzajúce na jednom konci tyčky, vychádza na druhom konci. Ak budete pohybovať druhou clonou v smere paličky uvidíte, že vôbec nie je osvetlená. Čo z toho vyplýva? Svetlo vchádza do paličky na jednom konci a vychádza z nej až na druhom. Sklená palička skutočne slúži ako svetlovod (obr. 3.18). Prečo?

#### VYSVETLENIE:

Opäť tu ide o totálny odraz svetla. Svetlo, ktoré sa dostane do vnútra sklenej paličky dopadá na rozhranie sklo-vzduch. Keďže naň dopadá pod väčším uhlom ako je medzný uhol, neláme sa, nevychádza von z paličky, ale sa všetko odráža dovnútra skla. To sa deje dovtedy, až kým sa svetlo nedostane z paličky von.

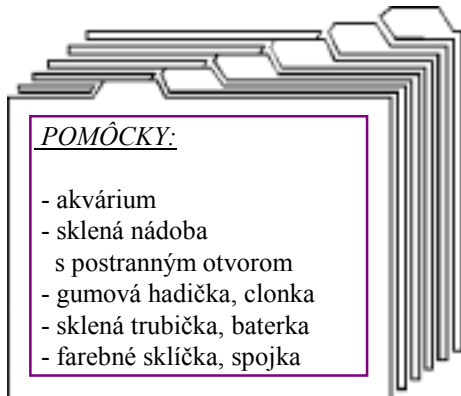


**Obr. 3.19. Totálny odraz svetla v sklenom vlákne**

#### Poznámka:

Pre tých, ktorých tento experiment zaujal, majú chuť skúmať ďalej a matematika im nerobí žiadne problémy, tu máme úlohu navyše. Možno viete, že nie je sklo ako sklo. Sklá sa môžu líšiť aj tým, že majú iný index lomu. Mohlo by sa teda stať to, že to vaše sklo bude „prepúšťať“ trochu svetla? Aký by muselo mať index lomu?

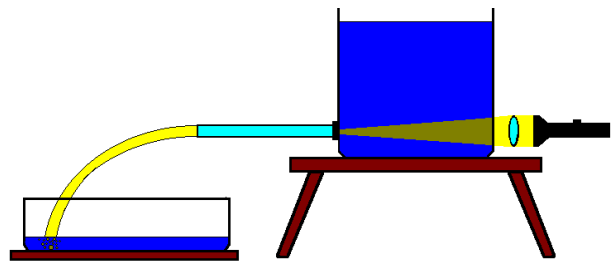
### 3.12 SVETELNÁ FONTÁNA



Každý z vás už určite videl striekajúcu fontánu. Ale videli ste už farebne striekajúcu fontánu? Každú chvíľu z nej vychádzajú prúdy vody inej farby. Ako je to možné? Žeby tam stále vpúšťali vodu inej farby? To sa mi nechce veriť. Určite sa to musí robiť nejakou jednoduchšie. Nemyslíte?

#### REALIZÁCIA:

Nádobu s postranným otvorom postavte na vyvýšené miesto. Do postranného otvoru zasuňte korkovú zátku so sklenou trubičkou. Pod trubičku umiestnite akvárium. Vezmite gumovú hadicu a jeden koniec nasuňte na vodovod. Druhý koniec vložte do nádoby. Baterku a spojnú šošovku pripevnite za nádobu s vodou tak, aby svetlo vychádzajúce z baterky sa po prechode šošovkou sústredilo v otvore v stene nádoby. Pripravte sa na spustenie experimentu. Otočte vodovodným kohútikom a nechajte pritekať vodu do nádoby. Snažte sa, aby hladina vody v nádobe bola stále rovnaká. To dosiahnete otáčaním vodovodného kohútika. Voda bude pomaly odtekať cez sklenú trubičku do akvária. Zatemnite miestnosť a zažnite baterku. Vidíte ten nádherný prúd svietiacej vody vytekajúcej z nádoby (obr. 3.20)? Ak pred baterku dáte kúsok farebného sklíčka, sfarbí sa aj vytekajúci prúd vody. A aby to bolo ešte efektnejšie, pridajte do nádoby s vodou zopár kvapiek mlieka.



**Obr. 3.20. Svetelná fontána**

#### VYSVETLENIE:

Určite ste už aj sami na to prišli, že prúd vody funguje rovnako ako sklený svetlovod. Vďaka úplnému odrazu na rozhraní voda-vzduch vám svetlo z vytekajúceho prúdu vody „neunikne“, no rozptyľuje sa na vzduchových bublinkách v mieste dopadu vody do spodnej nádoby. Ak do vody pridáte trochu mlieka, bude žiariť celý prúd vody, pretože svetlo v ňom sa bude rozptyľovať aj na drobných častočkách mlieka.

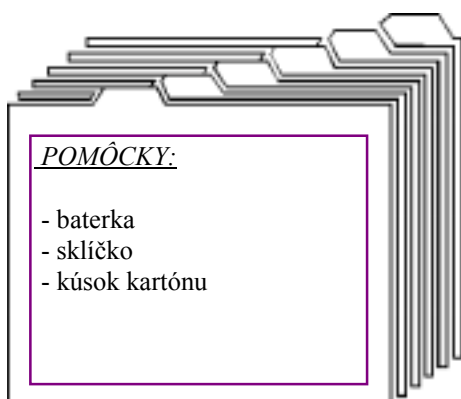
---

#### Historická poznámka:

Roku 1870 írsky fyzik John Tyndall predviedol členom kráľovskej spoločnosti v Londýne svoj objav úplného odraz svetla vo vodnom prúde v tvare oblúka. Z pomerov indexov lomu svetla vo vode a vo vzduchu vyrátal medzný uhol. Zistil, že ak svetlo vo vnútri prúdu vody dopadá na rozhranie voda-vzduch pod väčším uhlom ako je kritický uhol, nemôže z neho vystúpiť von a je v ňom vedené ako v kábli.



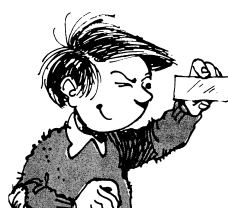
### 3.13 ZNÁSOBENÉ ODRAZY



Pri pohľade do zrkadla alebo do skla môžete za určitých podmienok vidieť hocijaký predmet pred vami alebo za vami. Ale vedeli ste, že ten istý predmet sa vám môže objaviť aj niekoľkokrát?

#### REALIZÁCIA:

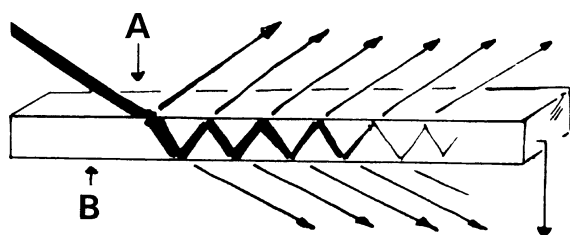
Do kartónu vyrežte otvor v tvare obdĺžnika široký asi 3 mm a priložte ho k svietiacej baterke. Postavte sa asi meter od kartónu. Zhasnite všetky svetlá v miestnosti okrem baterky (alebo skúste zatemiť miestnosť). Vezmite do ruky sklíčko a pozerajte sa cez neho na osvetlený otvor kartónu. Skúste



sklíčko pomaly natáčať až do najšikmejšej možnej polohy (obr. 3.21). Odkiaľ sa berú ďalšie obrazy osvetleného otvoru?

**Obr. 3.21. Koľko obrazov sa vám podarilo vidieť? [33]**

#### VYSVETLENIE:



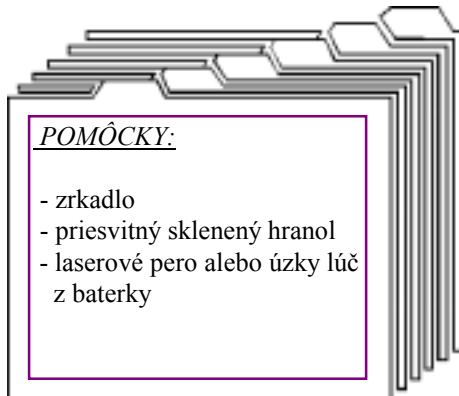
**Obr. 3.22. Z násobené odrazy**

Keď dopadne zväzok svetelných lúčov na sklenenú platňu, časť lúčov sa odrazí od plochy A, časť prenikne do skla a odrazí sa od plochy B, časť sa opäť odrazí k ploche A. Plocha A opäť časť lúčov prepustí a časť lúčov sa dostane na plochu B. Tento proces sa opakuje viackrát (obr. 3.22).

Z násobené odrazy nám umožňujú vidieť množstvo obrazov daného predmetu vo vnútri skla. Ak sklíčko otáčame jedným alebo druhým smerom, početnosť obrazov sa mení. Tiež sa mení aj ich vzdialenosť. Pri každom odraze však sklo pohlcuje časť svetla, takže intenzita žiarenia sa postupne znižuje. Ak sa pozriete cez koniec sklíčka, tiež zbadáte obraz osvetleného otvoru. Tento obraz je vytvorený svetlom zachyteným v skle. Je však omnoho menej intenzívny, ako obraz vytvorený plochou A.

Celý pokus možno zopakovať použitím sviečky. Obrazy sa budú meniť tak, ako bude plápať plamienok.

### 3.14 FERMATOV PRINCÍP



POMÔCKY:

- zrkadlo
- priesvitný sklenený hranol
- laserové pero alebo úzky lúč z baterky

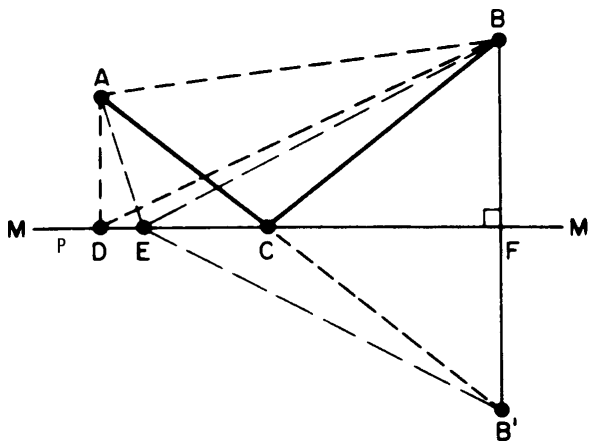
Už ste si niekedy všimli, ako sa svetlo odráža alebo sa lomí? Prečo sa lúče šíria tak, ako sa šíria? Je v tom nejaká zákonitosť?

Iste ste už všetci videli zapadať Slnko za horizont. Ale kedy vlastne v skutočnosti Slnko zapadne? Aby sme si mohli zodpovedať na túto otázku, skúsme najprv zistiť, ako sa svetlo správa.

REALIZÁCIA:

Položte zrkadlo na rovnú podložku. Určte si nejaké body  $A$  a  $B$  nad zrkadlom a pokúste sa viesť svetelný lúč z bodu  $A$  tak, aby sa po odraze od zrkadla dostal do bodu  $B$ . Podarilo sa vám to? V ktorom bode na zrkadle sa odráža svetelný lúč? A prečo práve tento bod a túto cestu si vybralo svetlo?

VYSVETLENIE:



**Obr. 3.23. K odrazu svetla od zrkadla**

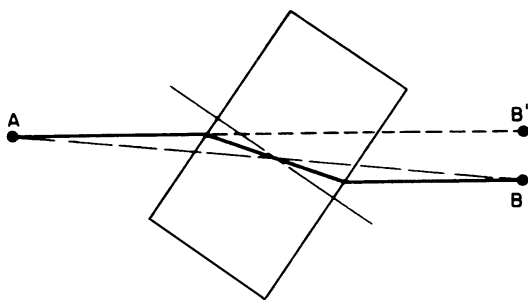
Na obrázku 3.23 sú znázornené body  $A$  a  $B$  a rovinné zrkadlo ako úsečka  $MM'$  na priamke  $p$ . Ako sa môže dostať svetlo z  $A$  do  $B$ ? Pokúsme sa tento problém rozobrať najprv teoreticky. Priama vzdialenosť je najkratšia vzdialenosť medzi bodmi  $A$  a  $B$ . Ale my sme si povedali, že svetlo sa musí odraziť od zrkadla. Jeden zo spôsobov by bol doraziť čo najskôr na zrkadlo a potom do bodu  $B$ , čiže po dráhe  $ADB$ . Ak sa však o málo posunieme doprava do bodu  $E$ , tak prvá vzdialenosť sa o čosi zväčší, ale druhá sa dosť skrúti, takže celková dráha sa skrúti. Posúvaním k bodu  $C$ , v ktorom sa odráža svetelný lúč od zrkadla, sa celková dráha postupne skrúca. Je vzdialenosť  $ACB$  najkratšou možnou vzdialenosťou spomedzi všetkých možných vzdialeností medzi bodom  $A$  zrkadlom a bodom  $B$ ? Overme si to napríklad využitím geometrie.

V opačnej polrovine k polrovine  $pB$  si zostrojíme pomocný bod  $B'$ , ktorý je obrazom bodu  $B$  v osovej súmernosti s priamkou  $p$ . Inak povedané, bod  $B'$  sa nachádza rovnako ďaleko od priamky  $p$  ako bod  $B$ . Nakreslíme si úsečku  $EB'$ . Keďže uhol  $BFM$  je pravý a  $|BF| = |FB'|$ , tak aj  $|EB|$  sa rovná  $|EB'|$ . Súčet vzdialeností  $|AE| + |EB|$  sa bude rovnať  $|AE| + |EB'|$ . Podobne súčet vzdialeností  $|AC| + |CB|$  sa rovná  $|AC| + |CB'|$ , pretože  $|BC| = |CB'|$ . Keďže najkratšia cesta z bodu  $A$  do bodu

$B'$  je cez bod  $C$  („priama cesta“), vzdialenosť  $ACB$  je najkratšia vzdialenosť medzi bodom  $A$ , zrkadlom a bodom  $B$ . Svetlo sa odráža od zrkadla tak, aby túto vzdialenosť prešlo po najkratšej dráhe.

Celý problém, ako nájsť miesto dopadu svetelného lúča na zrkadlo je v tom, aby súčet dvoch vzdialeností medzi danými bodmi a bodom na zrkadle bol najmenší. Inými slovami, treba nájsť taký bod na zrkadle, cez ktorý sa do obrazu bodu v osovej súmernosti dostaneme po najkratšej vzdialenosti.

Ak  $AB'$  je úsečka prechádzajúca cez bod  $C$ , tak uhol  $BCF$  sa rovná uhlu  $B'CF$  a teda aj uhlu  $ACM$ . Teda výrok, že svetlo sa odráža od zrkadla tak, aby túto vzdialenosť prešlo po najkratšej dráhe je ekvivalentný výroku, že uhol odrazu sa rovná uhlu dopadu. Ale platí tento výrok vždy pri šírení svetla? Poďme si to overiť na lome svetla.



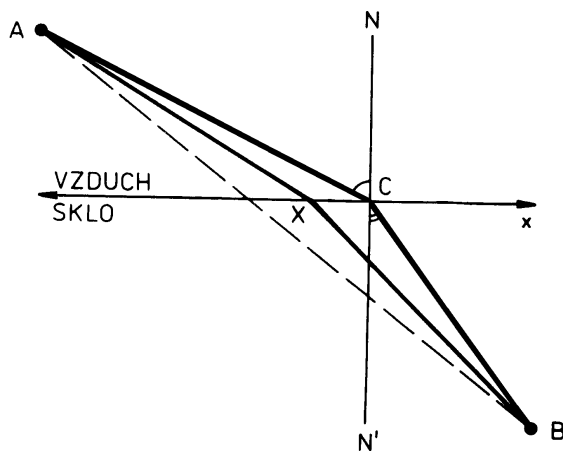
Obr. 3.24. Posunutie svetelného lúča pri prechode cez priesvitný hranol [7]

REALIZÁCIA:

Položte sklenený kváder s rovnobežnými stenami na podložku. Opäť si určite nejaké body  $A$  a  $B$  tak, aby jeden bol pred hranolom a druhý za ním. Body si však vyberajte tak, aby ich spojnica nebola kolmá na hranol. A teraz sa pokúste viesť svetelný lúč z  $A$  do  $B$  tak, aby prechádzal hranolom. Že sa vám to nepodarilo? Skúste znova. A prečo sa vôbec svetelný lúč odkláňa od pôvodného smeru (obr. 3.24)?

VYSVETLENIE:

Naša predpokladaná hypotéza o najkratšej dráhe svetla sa pri lome nepotvrdila. Tak ako sa teda svetlo správa? Vráťme sa opäť k odrazu svetla. A preskúmajme ho ešte raz. Ak sa svetlo bude pohybovať homogénnym prostredím so stálym indexom lomu (čo predpokladáme, že pre vzduch platí), rýchlosť svetla bude stále rovnaká. Vzdialenosť medzi danými bodmi je priamoúmerná času potrebnému na preletenie tejto vzdialenosti pri konštantnej rýchlosti. Takže na prekonanie najkratšej dráhy pri konštantnej rýchlosti bude svetlo potrebovať aj najmenší možný čas. Možno teda náš predošlý výrok



Obr. 3.25. Lom svetla pri prechode zo vzduchu do skla

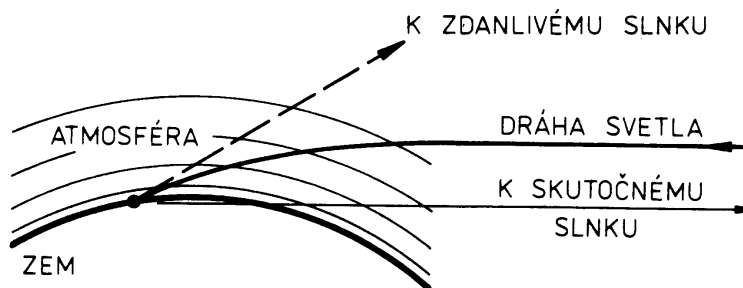
poopraviť a povedať, že svetlo sa odráža od zrkadla tak, aby sa do daného miesta dostalo za najmenší možný čas. Skúsme overiť túto hypotézu.

Na obrázku 3.25 máme znova problém, ako sa dostať z  $A$  do  $B$ . Pre názornejšie vyriešenie si predstavme situáciu z praktického života. V bode  $B$  vypadlo z člna do vody pekné dievča a volá o pomoc. Priamka  $x$  predstavuje breh. My sa nachádzame pri brehu v bode  $A$  na súši. Vidíme, čo sa stalo. Vieme bežať aj plávať, ale bežať vieme rýchlejšie ako plávať. Čo spravíme?

Pôjdeme priamo? Samozrejme! Ale čo keby sme trochu porozmýšľali? Ved' pohyb vo vode je oveľa pomalší ako vo vzduchu. Výhodnejšie by bolo prejsť o niečo viac po zemi, aby sme si skrátili vzdialenosť vo vode. Dalo by sa ukázať, že najvhodnejším riešením pri určitých podmienkach (v závislosti od indexov lomu daných prostredí) je dráha  $ACB$ , pretože túto dráhu by sme absolvovali za najkratší čas.

Podobne sa správa aj svetlo. Pri prechode cez sklenený kváder z bodu  $A$  do bodu  $B$  nejde po priamke, ale skrakuje si čas potrebný na prechod cez hranol tým, že si znižuje veľkosť uhla v hranole a tým aj dráhu cez hranol, hoci tým niečo stráca z dráhy vo vzduchu. Lúč vychádzajúci z hranola sa posunie paralelne, pretože uhly, pod ktorými svetlo vniká do vnútra hranola a zasa vychádza z neho von, sú rovnaké.

A ako je to so zapadajúcim Slnkom? Keď vidíme Slnko zapadať, je vlastne už pod horizontom. Zemská atmosféra je hore riedka a dole hustá. Svetlo sa šíri vzduchom pomalšie ako vo vákuu. Preto sa slnečné lúče do bodu za horizontom dostanú rýchlejšie, keď miesto toho, aby išli po priamke, vyhnú sa hustejším oblastiam, kde idú pomalšie a potom cez ne preletia pod strmším uhlom (obr. 3.26). Keď vidíme, že Slnko zapadá pod horizont, v skutočnosti je už pod horizontom.

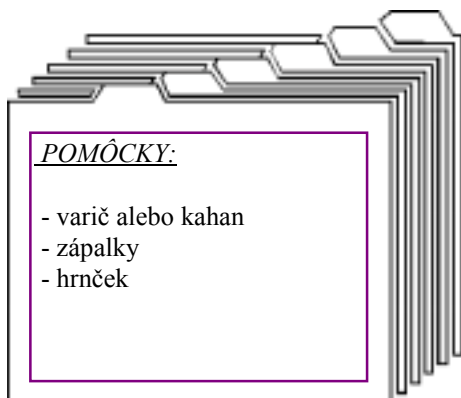


**Obr. 3.26.** Pri horizonte sa Slnko zdá byť o niečo vyššie, ako v skutočnosti je, asi o  $1/2$  stupňa [7]

#### **Historická poznámka:**

Autorom výroku, že svetlo sa šíri tak, že k zrkadlu a potom k inému bodu ide po najkratšej možnej dráhe, je Heron Alexandrijský. To inšpirovalo Fermata k tomu, aby si myslel, že lom svetla snád prebieha na tom istom základe. Ale pri lome svetla je jasné, že svetlo nejde po najkratšej vzdialenosti, preto Fermat prišiel na myšlienku, že to bude za najkratší čas. [7]

### 3.15 ZDANLIVÉ TVARY A ÚKAZY?



Už sa vám to stalo? Na ceste vidíte vodu, ale keď prídeme na to miesto, cesta je úplne suchá. Ako si to vysvetliť?

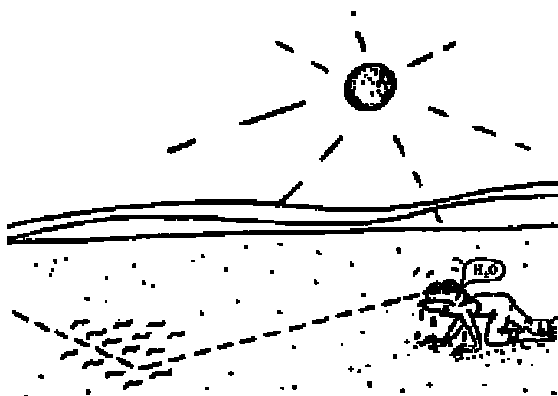
#### REALIZÁCIA:

Veźmite varič, zapojte ho do elektrickej siete a nechajte ho chvíľu zohrievať sa. (To isté môžete robiť aj so zapáleným kahanom.) Postavte za varič hrnček alebo nejaký iný predmet. Vráťte sa naspäť pred varič a pozrite sa na hrnček. Akoby sa začal vlniť. Ako je to možné?

#### VYSVETLENIE:

Svetlo, ktoré sa odráža od predmetu a vyvoláva v našich očiach zrakový vnem, nie vždy sa pohybuje priamočiara. Pri prechode okolo horúceho variča nejde po priamke, ale skrakuje si cestu tak, aby od hrnčeka do nášho oka cez dané prostredie prešlo za najkratší čas. Vzduch pri variči sa postupne zohrieva, rozpína sa viac ako studený, stáva sa redším a rýchlosť svetla sa v ňom menej spomaľuje. Keďže zohrievanie je neustále, aj vlastnosti vzduchu sa neustále menia a to spôsobuje, že aj dráha svetla sa neustále mení. Takže máme dojem, že hrnček sa vlní.

To isté môžeme pozorovať v horúci slnečný deň pri rozpálenej ceste, v blízkosti horiaceho ohňa alebo aj na púšti. Niekedy sa na púšti stáva, že v diaľke vidíte to, čo tam v skutočnosti neexistuje.

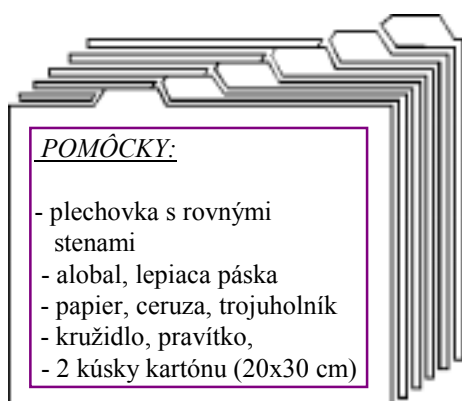


Obr. 3.27. Fatamorgána na púšti

po priamej ceste, ide po dráhe, kde mu to trvá najmenší čas. Čiže presunie sa do oblasti, kde chvíľu letí rýchlejšie, aby si ušetrilo čas. Takže letí po krivke (obr. 3.27).

A ako vzniká fatamorgána? Voda, ktorú sme videli na ceste a ktorá tam nie je, keď tam prídeme, je v skutočnosti „zrkadliaca“ sa obloha. Svetlo z oblohy dopadajúce na cestu môže skončiť v našom oku, pretože vzduch nad cestou je veľmi horúci a vyššie je chladnejší. Horúci vzduch sa rozpína viac ako studený a stáva sa redším. Môžeme povedať, že svetlo ide rýchlejšie v horúcich oblastiach ako v studených. Preto svetlo miesto toho, aby sa rozhodlo letieť

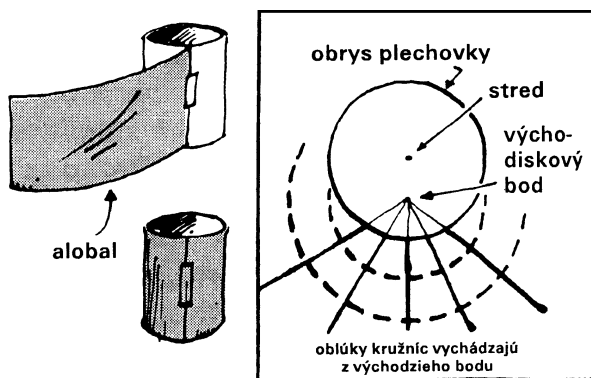
### 3.16 DEFORMUJÚCE ZRKADLÁ



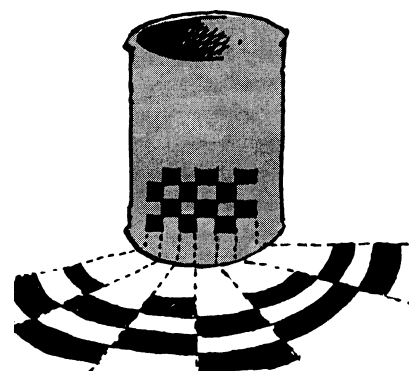
Už ste sa niekedy videli v inom ako plochom zrkadle? To bol pohľad, však? Raz chudí, inokedy tuční, potom zase kriví. Tieto zrkadlá sa nazývajú vypuklé (konvexné) alebo duté (konkávne) a deformujú obraz predmetov. Aj doma máte takéto zrkadlá. Skúste sa pozrieť do lyžičiek. Uvidíte sa zdeformovaní. Ako však tieto zrkadlá oklamať, aby odrážali obraz, ktorý by vyzeral ako nedeformovaný?

#### REALIZÁCIA:

Prilepte na škatuľu konzervy alobal. Dávajte pozor, aby alobal bol hladký ako zrkadlo. Podarilo sa vám zostrojiť konvexné zrkadlo. Položte ho na list papiera. A teraz sa budeme snažiť na papier nakresliť čiary tak, aby vytvorili v zrkadle šachovnicu. Na list papiera narysujte kružnicu, ktorej priemer bude zhodný s priemerom konzervy. Označte stred kružnice a bod, ktorý leží v polovici medzi stredom a kružnicou. Nazvime ho napríklad východiskový. Pomocou pravítka nakreslite niekoľko priamok prechádzajúcich týmto východiskovým bodom (obr. 3.28). A teraz položte na narysovanú kružnicu konzervu a pozrite sa na ňu. Narysované priamky vytvorili na alobale zvislé vodorovné čiary (obr. 3.29). Prečo?



Obr. 3.28. Zhotovenie konvexného zrkadla [33]



Obr. 3.29. Šachovnica v zrkadle

Ak však chceme vytvoriť šachovnicu, musíme použiť kružidlo. Zapichnete ho do východiskového bodu a narysujte viacero oblúkov, častí sústredných kružníc, ktorých vzdialenosť od seba bude rovnaká. A teraz vybrané políčka vyfarbite ako na šachovnici a pozrite sa znova na konzervu. Ako je možné, že na alobale konzervy sa objavil obraz šachovnice?

#### VYSVETLENIE:

Vráťme sa na chvíľu k bežným, čiže plochým zrkadlám. Obrazy vytvorené rovinným zrkadlom sú vždy neskutočné, priame, rovnako veľké ako predmet a symetricky združené vzhľadom na rovinnú zrkadla.

Zdá sa nám, ako keby sme ich videli za zrkadlom. Čím viac sa od zrkadla vzdľafujeme, tým viac sa aj obraz vytvára hlbšie. Ak sa pozrieme na vonkajšiu stranu lyžice, uvidíte obraz zmenšený, priamy a neskutočný. Ak budete lyžicu od seba vzdľafovať, tiež sa bude obraz vytvárať hlbšie.

Čosi podobné sa deje aj pri vami zostrojenom konvexnom, čiže vypuklom zrkadle. Stred kružnice, na ktorej leží plechovka, sa nazýva stred krivosti vypuklého guľového zrkadla. Ak lúče smerujú do tohto streda, odrážajú sa späť po tých istých priamkach. Východiskový bod sa nazýva ohnisko. Lúče, ktoré budú smerovať do neskutočného ohniska vypuklého guľového zrkadla sa odrazia rovnobežne s optickou osou. Obrazy vzdialenejších predmetov od zrkadla sa budú vytvárať hlbšie. Vypuklé zrkadlo vytvára vždy obrazy zmenšené, priame a neskutočné.

Podobný pokus môžete urobiť aj s konkávnym zrkadlom.

#### REALIZÁCIA:

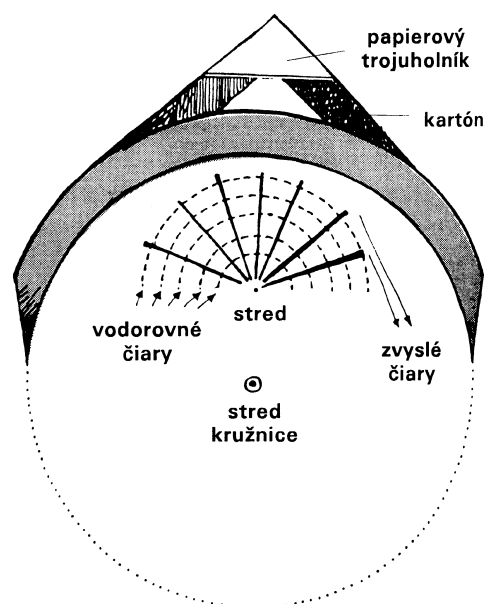
Lepiacou páskou spojte dva neohybné kartóny tak, aby vytvárali pravý uhol. Pomôže vám pri tom pravouhlý trojuholník. Na jeden koniec pevného kartónu prilepte tvrdý papier. Zohnite ho do streda a prilepte ho aj na druhý kartón. Dajte pri tom pozor, aby sa na nejakom mieste tvrdý papier neprelomil. Z alobalu vystrihnite pásik o niečo väčší ako preliačený tvrdý papier a lepiacou páskou ho opatrne naň prilepte. Dajte pritom pozor, aby ste alobal nepokrčili. A máte hotové konkávne zrkadlo. Položte ho na list papiera. Zrkadlo leží na časti istej kružnice. Narysujte túto kružnicu na papier pod zrkadlom. Označte stred medzi stredom kružnice a zrkadlom. Tento východiskový bod bude ohniskovým bodom. Narysujte priamky prechádzajúce týmto bodom. Pozrite sa do zrkadla. Žeby odzrkadľované priamky boli rovnobežné? Teraz zapichnete hrot kružidla do ohniska a naneste niekoľko kružníc (obr. 3.30). Vybrané políčka vyfarbite ako na šachovnici. Pozrite sa na obrázok v zrkadle. Podarilo sa vám to? Vidíte šachovnicu?

#### VYSVETLENIE:

Opäť si pomôžeme lyžičkou. Ak sa pozrieme do vnútornej strany lyžice, uvidíme, že obraz sa vytvoril pred ňou, je zmenšený a prevrátený.

Vami vytvorené konkávne, čiže duté zrkadlo pracuje podobne. Ak lúče prechádzajú stredom krivosti dutého guľového zrkadla, odrážajú sa späť po tých istých priamkach. Lúče prechádzajúce skutočným ohniskom dutého guľového zrkadla sa odrážajú rovnobežne s optickou osou. Ak sa pozriete do vášho dutého zrkadla spoza kružnice, na ktorej leží, zistíte, že vytvára obrazy zmenšené, prevrátené a skutočné, čiže pred zrkadlom.

Každé zrkadlo, ktoré nie je ploché je deformujúce. Aj zrkadielko zo šminiek, ktoré vytvára



Obr. 3.30. Konkávne zrkadlo [33]

zväčšené a trochu zdeformované obrazy, je preličené dovnútra. Tieto obrazy sú neskutočné, priame, trochu zväčšené a nám sa zdá, ako keby boli vytvorené za zrkadlom. Keď sa však budeme od zrkadla vzdalovať, obraz sa bude rozmazávať a postupne mizne. Je to preto, lebo v určitej vzdialenosti vytvárajú tieto zrkadlá obraz prevrátený a skutočný.

Takto sa môžete pokúsiť nakresliť aj iné obrázky, ktoré budú či už v konkávnom alebo konvexnom zrkadle vyzerat' ako nezdeformované.

---

**Poznámka:**

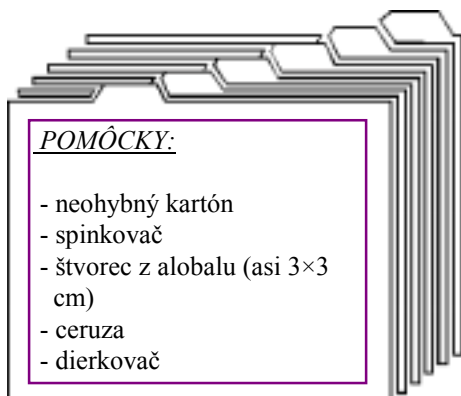
Zrkadlá sa väčšinou vyrábajú zo skla. Ak sa do nich pozeráme, naša tvár sa odráža od lesklej kovovej vrstvy nanesej na jeho zadnej strane.

Duté zrkadlá sa využívajú v ďalekohľadoch a osvetľovacej technike. Vytvárajú dva druhy obrazov. Ak je predmet blízko zrkadla, zrkadlový obraz bude priamy a väčší ako skutočný. Ak je predmet vzdialenejší, obraz bude malý a otočený hore nohami. Zakrivenosť zrkadiel dovnútra umožňuje pri ďalekohľadoch koncentrovať svetlo. Hovorí sa im, aj objektívové, pretože vytvárajú obraz vzdialeného objektu.

S vypuklými zrkadlami sa stretnete v doprave, napr. pri nepriehľadných zákrutách alebo pri spätnom zrkadle v aute. Tiež sa využívajú aj v ďalekohľadoch. Vypuklé zrkadlá odrážajú svetlo zo širokého uhla, čím vzniká oveľa širší obraz ako v rovinnom zrkadle. Preto všetky objekty v ňom vyzerajú zmenšené.



### 3.17 ZHOTOVTE SI LUPU



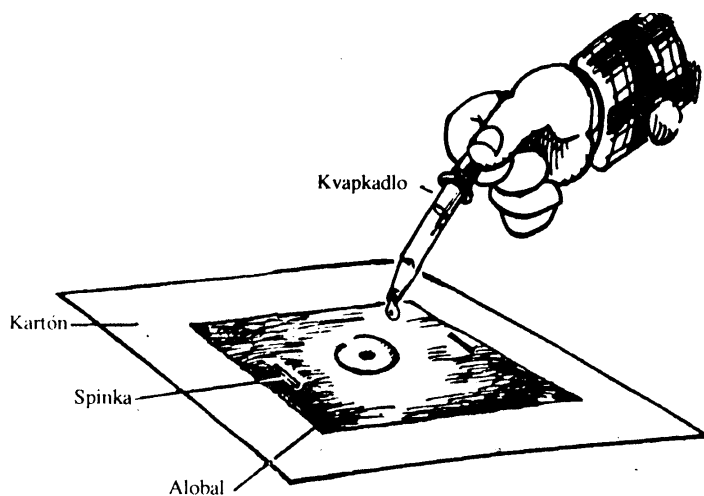
POMÔCKY:

- neohybný kartón
- spinkovač
- štvorec z alobalu (asi 3×3 cm)
- ceruza
- dierkovač

Lupa zväčšuje vďaka vypuklej šošovke. Sklo však nie je jediným materiálom, ktorý môže zväčšovať obrazy. Voda môže urobiť to isté. V nasledujúcom pokuse si vyrobíme lupu z kvapky vody.

REALIZÁCIA:

Kartón prederavíme dierkovačom na papier, potom spinkovačom upevníme alobal nad dierku. Ľahko pritlačíme prstom alobal v mieste dierky, čím vznikne forma. V prostriedku takto dosiahnutého vyhlbenia špičkou ceruzy prepichnete alobal. Pomocou kvapkadla kvapneme kvapku vody nad dierku (obr. 3.31). A hľa, lupa je hotová.

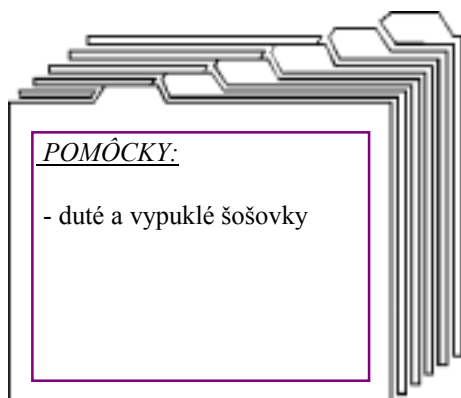


Obr. 3.31. Výroba lupy

VYSVETLENIE:

Malá kvapka sa bude správať ako lupa, pretože nadobudla tvar vypuklej šošovky. Čím väčšia bude dierka v alobale a čím väčšia bude kvapka vody, tým dosiahnete väčšie zväčšenie. Aby sme sa vyhlí tomu, že nám voda unikne dierkou, predtým, než kvapneme konečnú kvapku do stredu, nakvapkáme niekoľko kvapôčiek okolo stredu.

### 3.18 HRA NA GALILEA



Zastavme sa na chvíľu pri histórii ďalekohľadu. Historici vedy priznávajú prvenstvo vo vynájdení ďalekohľadu trom Holanďanom: *Zachariasovi Jansenovi, Hansovi Lippersheyovi a J. Metiusovi* [5]. Neboli to učenci v pravom slova zmysle. Boli brusičmi skiel. Objavenie efektu zväčšovania pri spojení dvoch šošoviek možno skôr považovať za náhodu.

Koncom roku 1608 a začiatkom roku 1609 sa v Benátkach, kde *Galilei* žil, začalo medzi ľuďmi hovoriť o tom, že akýsi cudzinec skonštruoval „pozorovaciu rúru“.

Ako Galilei prišiel na myšlienku zhotoviť ďalekohľad? Píše o tom: „...Uvažoval som nasledovne. Tento prístroj obsahuje jedno alebo viac skiel. Jedno sklo nepostačuje, pretože forma skla môže byť vypuklá, t. j. v strede hrubšia, alebo dutá, t. j. v strede tenšia, alebo ohraničená v strede paralelnými plochami. Ale ploché sklo vôbec nemení pozorované predmety, duté ich zmenšuje a vypuklé ich značne zväčšuje, obrazy sú však neostre a skreslené. Preto pre získanie efektu jedno sklo nebude stačiť. Tak som prišiel k dvom sklám, pričom som vedel, že sklo s paralelnými plochami, ako som už uviedol, nič nemení. Urobil som záver, že jeho spojenie s ktorýmkoľvek z dvoch ostatných nedá očakávaný efekt. Preto mi ostalo vyskúšať, čo sa získa spojením dvoch zostávajúcich skiel, t. j. vypuklého a dutého, a tu som objavil to, o čo som sa usiloval...[5]“

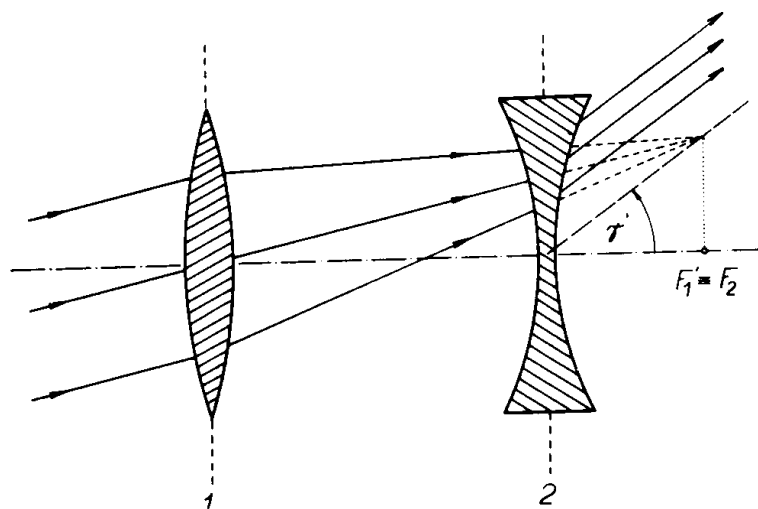
#### REALIZÁCIA:

Pokúste sa aj vy objaviť to, čo objavil Galilei. Čo ste zistili?

#### VYSVETLENIE:

Ak držíte vypuklú šošovku ďalej od oka a dutú bližšie po chvíli sa vám objaví zväčšený a neprevrátený obraz vzdialených predmetov. Spojkou vytvoríte skutočný a prevrátený obraz predmetu. Keď potom rozptylku umiestnite medzi spojku a oko tak, aby jej predmetová ohnisková rovina splývala s obrazovou ohniskovou rovinou spojky, rozptylka (okulár) láme zbiehavé lúče skôr, ako nimi spojka (objektív) vytvorí obraz nekonečne vzdialeného predmetu v jej obrazovej rovine. Takže vystupujúce lúče sú rovnobežné a oku sa javí výsledný obraz väčší, ako ho vidí bez šošoviek.

Na tomto princípe fungujú divadelné ďalekohľady, ktoré zväčšujú dvoj až štvornásobne.



**Obr. 3.32.** Spojná a rozptylná šošovka, ktoré spolu vytvárajú Galileiho (divadelný) ďalekohľad [8].

---

**Historická poznámka:**

Sám Galilei (1564-1642) opisuje svoju ďalšiu prácu takto: „Ihneď po tej diskusii, opierajúc sa o učenie o lome svetla, som pochopil podstatu veci a zhotovil som olovenú rúru, na ktorej koncoch som umiestnil dve optické sklá - obidve ploské na jednej strane, a na druhej strane jedno sklo vypuklé a druhé duté. Keď som priblížil oko k plosko-dutému sklu, videl som predmety dostatočne veľké a veľmi blízko, zdali sa byť 3-krát bližšie a 10-krát väčšie ako pri pohľade voľným okom. Potom som skonštruoval nový presnejší ďalekohľad, ktorý zväčšoval predmety viac ako 60-krát. Pracoval som ďalej neľutujúc času ani prostriedky, a podarilo sa mi zhotoviť prístroj natoľko dokonalý, že pri pohľade cez prístroj sa predmety zdali byť takmer 1000-násobne väčšie a viac ako 30-krát bližšie, ako sú viditeľné voľným okom. Je zbytočné zdôrazňovať, aké sú tieto prístroje užitočné na mori aj na pevnine. Nechal som však veci pozemské a obrátil som sa k veciam nebeským [5].“

### 3.19 OPTICKÁ „ČIERNA SKRINKA“



V predchádzajúcich pokusoch ste sa oboznámili s určitými pravidlami správania sa svetla. Takže už viete, ako nasmerovať svetelný lúč, aby prechádzal nejakým bodom a dostal sa do iného. Poviete si, to predsa závisí od toho, či je v ceste lúča zrkadlo alebo hranol. Skúsme sa však opýtať opačne. Vedeli by ste nájsť také zariadenie, ktoré by usmernilo svetelné lúče tak, aby vychádzajúce z jedného bodu prešli vždy tým druhým?

#### REALIZÁCIA:

Možností je hneď niekoľko. Pokiaľ máte na škole kvalitne vybavené laboratórium s množstvom optických pomôcok a dostatok času, najjednoduchšie by asi bolo, zobrať každú z nich a overiť, ako sa správa v danom optickom prostredí. Skôr, ako sa pustíte do merania, porozmýšľajte trochu. Možností, ako nasmerovať dané zariadenie, využitím ktorého sa svetelný lúč dostane vždy z bodu napr. P do bodu P' je hneď niekoľko, napríklad:

- 1) zariadenie sa môže nachádzať medzi bodmi,
- 2) body budú mimo zariadenia,
- 3) body môžu byť vo vnútri zariadenia.

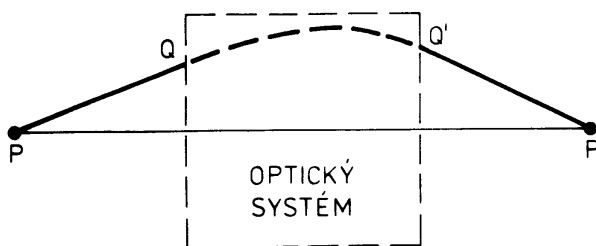
Keďže nevieme, čo to je za zariadenie, nazvime ho „čierna skrinka“. A teraz si vezmeme potrebné pomôcky, postavme na optickú lavicu zdroj svetla, určíme bod P, z ktorého budú vychádzať svetelné lúče, postavme tienidlo, zvolme si bod P', do ktorého majú smerovať a poďme hľadať čiernu skrinku.

Tak čo, podarilo sa vám ju nájsť? K akým záverom ste došli?

#### VYSVETLENIE:

Rozoberme si každý bod zvlášť:

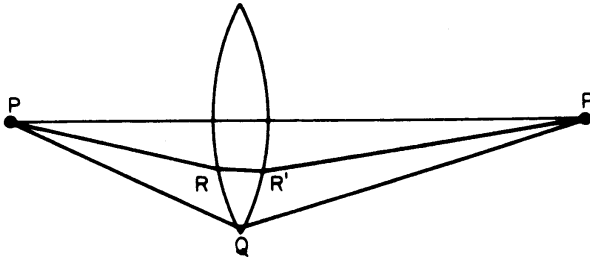
- 1) Chceme, aby všetko svetlo, ktoré vychádza z jedného bodu P sa po prechode čiernou skrinkou



sústredilo v bode P' (obr. 3.33). Čiže svetlo môže ísť z P do P' po priamke. Ale ako zabezpečiť, aby išlo po priamke, ale aj to, aby vychádzajúce z bodu P a smerujúce do bodu Q prišlo do P'? Ak ide svetlo vždy po dráhe s najkratším časom, nebude chcieť ísť po ostatných dráhach. Spôsob, akým svetlo pôjde po viacerých susedných dráhach je ten, že ich časy sa budú rovnať. Ako teda zariadiť, aby

Obr. 3.33. Optická „čierna skrinka“

časy pre ľubovoľné dráhy boli rovnaké? Vieme, že sklom prechádza svetlo pomalšie ako vzduchom. Takže to, čo svetlo stratí na čase vzduchom, malo by získať pri prechode neznámym zariadením, napríklad sklom. Aké však má byť to sklo, aby časy pre ľubovoľné dráhy boli rovnaké? V strede by asi malo byť najhrubšie, pretože priama dráha medzi P a P' je najkratšia a vzdialujúc od stredu by sa malo stenčovať. Ale také zariadenie mi predsa poznáme. Veď je to spojná šošovka (obr. 3.34).



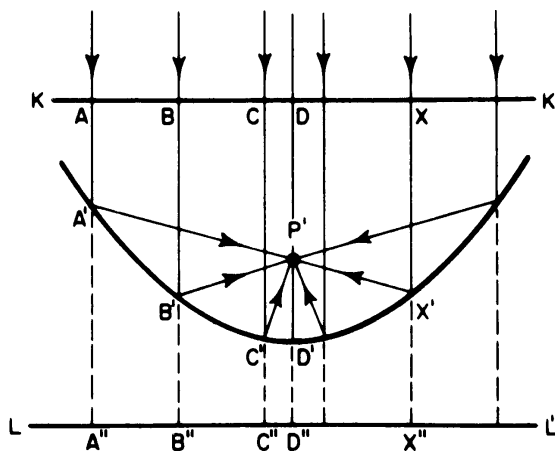
**Obr. 3.34** Spojná šošovka

nie je jeho dráha až taká dlhá ako dráha lúča PQP', ale je dlhšia, ako PP'. Preto nepotrebujeme kompenzovať toľko času ako pri lúči letiacom po priamke PP', ale predsa niečo len kompenzovať vzhľadom na dráhu PQP'.

Dráha PQR' je dlhšia ako dráha PP', a preto by jej na vzduchu prislúchal aj dlhší čas. Ak vložíme do dráhy svetla kúsok skla potrebnej hrúbky, vykompenzuje sa čas, o ktorý sa svetlo letiace pod nejakým uhlom oneskorí. Takto čas potrebný pre svetlo letiace po priamke PP' je taký istý, ako čas potrebný pre svetlo letiace po dráhe PQR'. Podobne, ak si vezmeme lúč letiaci po dráhe PRR'P', ktorý je čiastočne odklonený,

2) Jedným zo spôsobov, ako dostať svetlo z bodu P do bodu P' pomocou zariadenia, ktoré mu nestojí v ceste, je použitím rovinného zrkadla. (To sme robili, keď sme sa pokúšali z bodu A dostať do bodu B po odraze od zrkadla.) Ale poznáme aj nejaký iný spôsob? Ako sa dá ešte zabezpečiť, aby všetky lúče vychádzajúce z jedného bodu sa dostali do iného bodu?

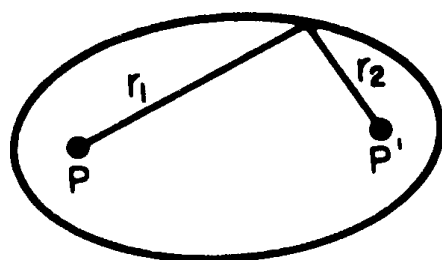
S tým istým problémom sa stretávajú aj astronómovia pri zachytávaní svetla hviezd. Keďže hviezda je vzdialená miliardy kilometrov, rôzne lúče, ktoré prileteli na rovinu KK' na lúče kolmú, majú rovnaké časy doletu (obr. 3.35). Ako má teda vyzeráť zrkadlo, aby lúče po odraze od neho pokračovali v ceste do P' a dorazili tam za rovnaký čas? Zase si zoberieme na pomoc geometriu. Treba nájsť takú



**Obr. 3.35.** Parabolické zrkadlo [7]

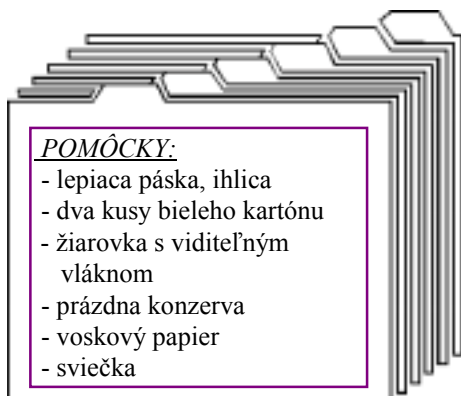
krivku, pre ktorú súčet vzdialeností  $|XX'| + |X'P'|$  bude konštanta bez ohľadu na to, kde si zvolíme bod X. Skúsme predĺžiť priamku XX' až po rovinu LL'. Ak nájdeme takú krivku, pre ktorú platí, že  $|A'A''| = |A'P'|$ ,  $|B'B''| = |B'P'|$ ,  $|C'C''| = |C'P'|$  atď., tak úlohu sme vyriešili, pretože  $|AA'| + |A'P'| = |AA'| + |A'A''|$ , čo je konštanta. Hľadaná krivka je teda množina všetkých bodov, ktoré majú od daného bodu P' a priamky LL' rovnakú vzdialenosť. Táto krivka nie je nič iné ako parabola, čiže zrkadlo má tvar paraboly.

3) Chceme nájsť také zariadenie, aby v jeho vnútri svetelný lúč vyslaný z bodu P vždy prešiel cez bod P'. To ale znamená, že nech by svetlo letelo z bodu P do bodu P' po akejkoľvek dráhe, všetky časy odpovedajúce rôznym dráham musia byť rovnaké. Ak svetlo bude letieť cez vzduch, čas bude priamoúmerný dráhe. Takže ak má byť rovnaký čas pre rôzne dráhy, musia mať dráhy rovnakú dĺžku. Ak sa bude svetlo odrážať od zrkadla, musí platiť, že súčet vzdialeností bodov P a P' od zrkadla musí byť stále rovnaký. Množina bodov, pre ktorú platí, že súčet vzdialeností od daných dvoch bodov je konštantný, je krivka nazývaná elipsa. Takže ak body P a P' sú ohniská elipsy, ktorej tvar má naše zrkadlo, môžeme si byť istí, že svetelný lúč vychádzajúci z jedného bodu sa po odraze od zrkadla dostane vždy do toho bodu druhého (obr. 3.36).



*Obr. 3.36. Eliptické zrkadlo*

### 3.20 UROBTE SI CAMERU OBSCURU



Viete, ako to funguje v oku? Obraz vytvorený na sietnici je obrátený. To, že nevidíme veci dole hlavou, za to môže mozog. Ten si totiž interpretuje prevrátený obraz vytvorený na sietnici ako priamy. A či je obraz na sietnici naozaj prevrátený? Poďme sa o tom spolu presvedčiť.

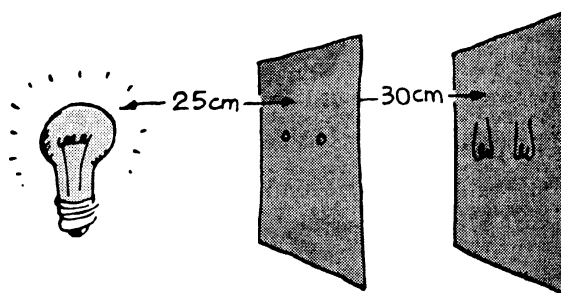
#### REALIZÁCIA:

Do jedného z kartónov urobte pomocou ihlice dieru. Zažnite lampu a umiestnite ju do vzdialenosti asi 25 cm od kartónu. Za prvý kartón položte druhý asi do vzdialenosti 30 cm. Malým posúvaním druhého kartónu nájdete miesto, v ktorom sa objaví obraz žiarivaceho vlákna žiarovky.

Ak do prvého kartónu urobíte viacero dier, na druhom kartóne sa objaví rovnaký počet obrazov (obr. 3.37).

#### VYSVETLENIE:

Na tienidle sa vytvorí skutočný a prevrátený obraz vlákna žiarovky. Malý otvor v kartóne slúži ako spojná šošovka, takže máme dojem, že obraz vlákna žiarovky je väčší ako vlákno samotné.

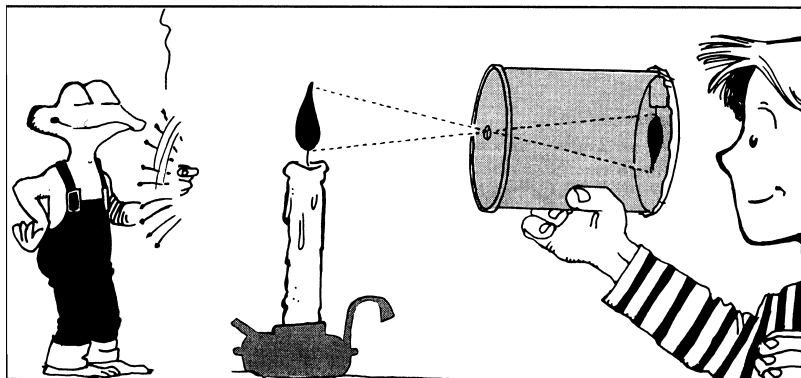


*Obr. 3.37 Obraz vlákna žiarovky na tienidle [33]*

A teraz môžeme pristúpiť k zhotoveniu camery obscury.

#### REALIZÁCIA:

Veźmite prázdnu plechovku a na jej dne urobte malú dierku s priemerom asi 2 mm. Zoberte voskový alebo pazovaci papier a pripevnite ho lepiacou páskou na otvor konzervy. Zapáľte sviečku. Opatrne ju postavte pred dierku. Už to vidíte? Na papieri sa ako na obrazovke ukázal prevrátený obraz plameňa sviečky (obr. 3.38).



**Obr. 3.38. Camera obscura [33]**

**VYSVETLENIE:**

Camera obscura funguje ako fotografický prístroj. Tak, ako sa na filme zachytí obraz sledovaného predmetu, tak sa na tienidle – obrazovke vytvorí obraz sledovaného predmetu.

Podobne môžete zobrazovať aj iné predmety, musia však byť dostatočne kontrastné. Aby sa vám podarilo odstrániť nadmerné svetlo, ktoré by mohlo pôsobiť rušivo a brániť jasnému videniu obrazov, prikryte si hlavu tmavou látkou, ako to kedysi robili tí, čo fotografovali. Veľmi dobre môže poslúžiť aj prázdna škatuľa na tenisové loptičky s viečkom z umelej hmoty ako obrazovka.

---

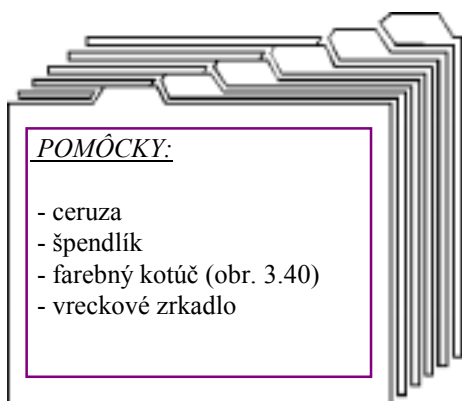
**Historická poznámka:**

*Okolo roku 900 vynašli islamskí učitelia systém zobrazovania pomocou camery obscury. A tým aj základný optický princíp fotografie.*

*Tmavá komora (po latinsky camera obscura) slúžila arabským astronómom na pozorovanie ročnej dráhy Slnka po oblohe. Kamera pozostávala z uzavretej skrinky z vnútra natretej načierno, v ktorej sa nachádzala matnica, tvoriaca niekedy zadnú stranu skrinky. V protiľahlej stene skrinky oproti matnici bol malý otvor. Lúče prechádzajúce otvorom vytvorili na matnici zmenšený prevrátený obraz predmetu. Týmto zariadením pozorovali Arabi aj zatmenia Slnka a slnečné škvrny. Počas jasných nocí sa dal camerou obscurou pozorovať aj povrch Mesiaca.*



### 3.21 MÁ BIELA FARBA FARBY?



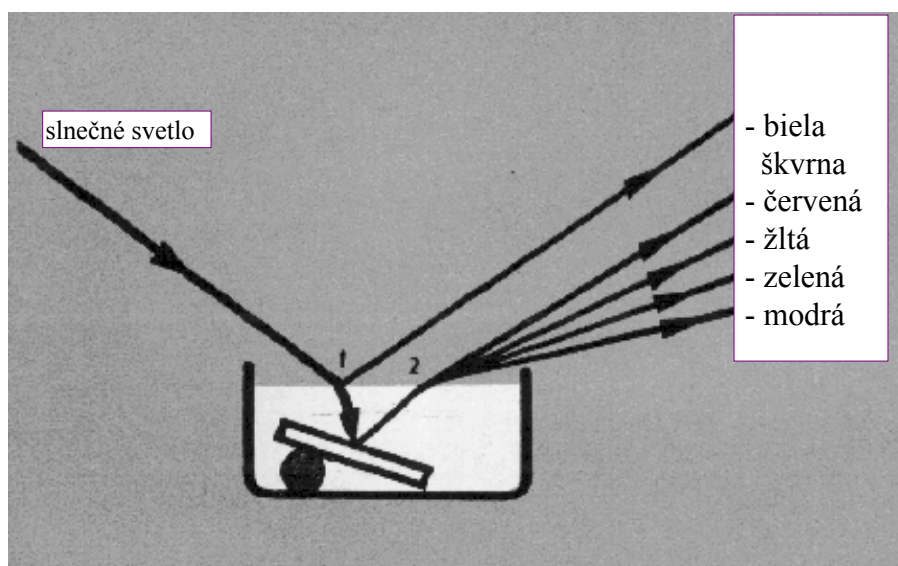
Či má biela farba farby? Smiešna otázka, však. Pre nás je biela čistá, to znamená, že nemá farbu. V skutočnosti nie je toto tvrdenie celkom pravdivé, ako to budeme môcť konštatovať po nasledujúcich experimentoch.

#### REALIZÁCIA:

Požičajte si od mamičky nejakú plochú nádobu, nalejte do nej asi tak 4 cm vody. Na dno položte štvorhranné vreckové zrkadlo a nádobu postavte na podlahu do slnečného svetla. Zrkadlo niečím podložte, aby ste ho mohli nakláňať. Zrazu sa na stene objaví farebne olemovaná škvrna, ktorá sa bude pri nakláňaní zrkadla kĺzať po stene zrkadla stále nižšie a nižšie, až sa objavia ďalšie a ďalšie farby; nakoniec bude svetelný obraz na stene hrať všetkými dúhovými farbami. Čo sa vlastne stalo?

#### VYSVETLENIE:

Svetelné lúče sa odrážajú od vodnej hladiny, ale aj od povrchu zrkadla (obr.3.39). Svetlo odrazené od povrchu vody vytvorí na stene bielu svetelnú škvŕnu, zatiaľ čo svetlo odrazené od zrkadla bude mať na stene hore červený a dole modrý okraj.



**Obr. 3.39. Realizácia experimentu**

Zvlášť pestrý a jasný obraz dostanete, keď sa vám podarí premietnuť farebný obraz na stenu v najtemnejšom kúte izby.

Pozorovaný jav sa nazýva rozklad (*disperzia*) svetla. Dokazuje, že svetlo, ktoré vnímame ako biele, je súborom jednofarebných svetiel, z ktorých každé charakterizuje istá vlnová dĺžka.

Tento istý jav vzniká, keď vidíte dúhu. Kvapky dažďa reagujú ako vodná hladina po lome a odraze svetla od zrkadla. Rozkladajú biele svetlo slnka na jeho základné farby.

S disperziou svetla súvisia aj *halové javy*. Môžete ich pozorovať okolo Slnka alebo Mesiaca a niekedy i okolo jasnejších hviezd, keď sú na oblohe vo veľkej výške (8 až 10 km) závojovité mraky nazývané ciry (cirrus, cirrostratus, cirrocumulus). Tieto mraky sa totiž skladajú z drobných ľadových kryštálikov a sú tak riedke, že ich ako mraky vôbec nevidíme. Svetlo prechádza medzi ľadovými kryštálikmi, odráža sa a láme a vytvára okolo žiariacich nebeských telies farebné kruhové prstence, nazývané halá (halo = žiara). Vnútoraná časť kruhu je sfarbená červeno, vonkajšia modro-fialovo.

Tieto optické javy bývajú predzvesťou daždivého počasia, pretože po závojovitých oblakoch prichádzajú hustejšie mraky.

---

#### **Historická poznámka:**

*S disperziou svetla sa spája meno sira Isaaca Newtona (1643-1727). Jeho historický pokus spočíval v tom, že v zatemnenej miestnosti nechal dopadať na hranol veľmi úzky svetelný zväzok vymedzený malým otvorom v okennom závese. Dopadajúci lúč sa v hranole lámal a na opačnej strane miestnosti vznikol na stene predĺžený obraz otvoru s postupne sa meniacimi farbami, ktoré nazval spektrom. Zakrývajúc otvor červeným sklom, Newton pozoroval na stene iba červenú stopu, zakrývajúc modrým sklom - modrú atď. Tým ukázal, že hranol nesfarbuje biele svetlo, ako sa predpokladalo, ale že ho rozkladá na farebné zložky.*

*Druhým závažným poznatkom, ku ktorému Newton dospel, bolo, že lúče odlišnej farby majú odlišný uhol lomu. Najviac sa lámal fialový lúč a najmenej červený.*

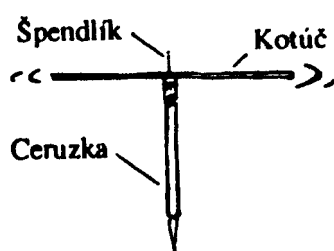
V tomto pokuse sa nám podarilo rozložiť bielu farbu na viacero farieb. Mohli by sme urobiť aj opačný úkon, teda vyrobiť bielu z kombinácie rôznych farieb?

#### **REALIZÁCIA:**

Zaobstarajte si biely kartón, farebné ceruzky, ceruzku s gumou a špendlík. Z kartónu vystrihnite kruh s priemerom asi 10 cm. Nakreslite čiaru prechádzajúcu stredom kruhu a pomocou uhlomerov narysujte 18 úsekov, z ktorých každý bude mať dvadsaťstupňový uhol. Potom vymaľujte každý úsek použijúc šesť farieb v nasledujúcom poradí: červená, oranžová, žltá, zelená, modrá a fialová (obr. 3.40). V takomto poradí budete kresliť trikrát, kým nebudú všetky úseky zafarbené. Dôležité je, aby farby kotúča boli čisté a dosť sýte.



**Obr. 3.40. Zafarbený kotúč**



Špendlík prepichnete cez prostriedok kotúča z kartónu, potom ho zapichnete do gumy na ceruzke, ako to vidíte na obrázku č. 3.41. Roztočte veľmi rýchlo kotúč a pozorujte, čo sa stane s farbami. Farba kotúča sa zmenila na takmer bielu. Kam sa strácajú farby?

**Obr. 3.41. Hotová pomôcka**

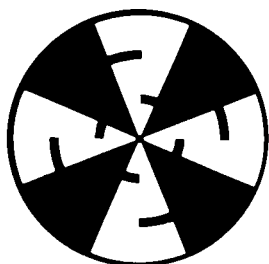
VYSVETLENIE:

Pokus sa najlepšie uskutočňuje v dobre osvetlenej miestnosti alebo vonku na dennom svetle. Ak sa bude kotúč točiť dostatočne rýchlo, farby sa zmiešavajú a dostávajú šedastý odtieň. Spomenuté farby vstupujú do kombinácie bielej, teda farba kotúča sa zmení na takmer bielu.

A nakoniec ešte jeden zaujímavý experiment:

REALIZÁCIA:

Teraz si zostrojte čiernobiely kotúč, ako ho vidíte na obrázku č. 3.42. Urobte to isté ako v predchádzajúcom pokuse. Roztočte kotúč! Prečo sa objavujú farebné kružnice?



**Obr. 3.42. Pri rotácii kotúča sa na jednom z tmavých prstencov zjaví farby. Keď sa zmení smer rotácie disku, farby sa zjaví na druhom prstenci [7].**

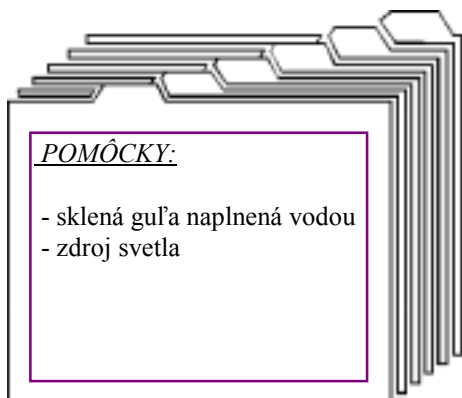
VYSVETLENIE:

Pri rotácii kotúča sú zmeny čiernej a bielej plochy rovnaké pre akýkoľvek polomer. Rozdiel je iba v pozadí pre dva druhy prúžkov. A predsa, jeden z kruhov sa javí sfarbený jednou farbou a druhý inou.

Ako vieme zo skúsenosti, musí na naše oči pôsobiť určité množstvo svetla, aby sme ho pozorovali. Ostáva ešte zodpovedať otázku, či je toto množstvo rôznofarebného svetla rovnaké. Pokusy nás presvedčajú, že rovnaké nie je. Môže sa stať, že jednu farbu už oko zaznamenáva, zatiaľ čo druhú ešte nevníma.

Farby prstencov závisia od rýchlosti otáčania, od intenzity osvetlenia a do určitej miery aj od toho, kto sa pozerá a ako sústredene sa pozerá. „Prečo tieto farby vidieť, to zatiaľ ešte nikto nevie, ale je jasné, že dochádza k skladaniu informácii na veľmi elementárnej úrovni, najpravdepodobnejšie v samotnom oku [7].“

### 3.22 UROBTE SI DÚHU



Každý z vás už určite videl dúhu. Tento pekny žiarivý oblúk môžeme pozorovať na oblohe ak prší a súčasne svieti Slnko. Ale čo tak si dúhu vyrobiť? Prečo by sme mali čakať na dážď? Dá sa to vôbec?

#### REALIZÁCIA:

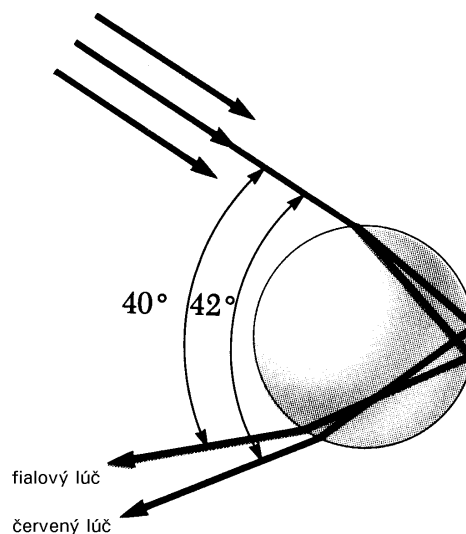
Vezmite sklenú guľu a naplňte ju vodou. Otočte sa chrbtom k Slnku, zoberte sklenú guľu do rúk, vyzdvihnite ju trochu nad seba a skúste ňou trochu pohybovať smerom dole a hore, prípadne do bokov dovedty, pokiaľ sa vám neobjavia farby. Snažte sa, aby na ňu dopadal rovnobežný zväzok slnečného svetla. Pri vhodnom uhle dopadu slnečných lúčov na sklenú guľu s vodou objavíte niečo pozoruhodné. Chce to len trochu trpezlivosti. Tak čo, podarilo sa vám to?

#### VYSVETLENIE:

Pri vhodnom dopade slnečného svetla na sklenú guľu s vodou vznikne dúha. Dúhu môžete pozorovať v prírode stojac chrbtom k Slnku, ak sa pozeráte na mrak pozostávajúci z vodných kvapiek a výška Slnka nad horizontom neprevyšuje  $42^\circ$ . Dúha predstavuje časť oblúka podstavy kužeľa, vrcholom ktorého je oko pozorovateľa, pričom os kužeľa prechádza Slnkom a okom. Stred kužeľa je obyčajne pod úrovňou horizontu, v dôsledku čoho dúha nie je polkružnica. K polkružnici sa približuje, ak sa Slnko blíži k svojmu západu.

Lomom svetla na vodnej kvapke sa biely slnečný lúč rozkladá na spektrálne farby. Z kvapky už teda vystupujú farebné a mierne rozbíhavé lúče. Uhol medzi dopadajúcim a vychádzajúcim lúčom je približne  $42^\circ$  (pre červenú zložku je to asi  $42^\circ$ , pre fialovú  $40^\circ$ ) (obr. 3.43). Uhlová šírka dúhy je  $2^\circ$  a v tomto intervale ležia „všetky farby dúhy“. Každá farba v oku pozorovateľa pozostáva z inej kvapky nachádzajúcej sa v daný moment pod zodpovedajúcim uhlom.

Nad hlavnou dúhou je možné niekedy vidieť ešte druhú dúhu, menej jasnú. Hovoríme jej vedľajšia alebo sekundárna dúha. Jej farby sú v opačnom poradí ako u prvej dúhy. Vzniká ako dôsledok tých istých javov lomu



**Obr. 3.43. Vznik dúhy[34]**

a odrazu svetla v kvapkách vody, no na rozdiel od hlavnej dúhy, ktorá je výsledkom dvoch lomov a jedného odrazu, sekundárna dúha vzniká pri dvojitom lome a tiež pri dvojitom odraze svetla. Vďaka dvom odrazom svetla vo vnútri kvapky je v druhej dúhe obrátené poradie farieb a tiež farby sú menej jasné. Sekundárna dúha pochádza od tých vodných kvapiek, ktoré sa od osi kužeľa nachádzajú pod uhlom asi  $52^\circ$  (pre červené lúče asi  $50^\circ$ , pre fialové asi  $53,5^\circ$ ).

Na dúhe je snáď asi najpozoruhodnejšie to, že každému pozorovateľovi príroda ukazuje jeho „individuálnu“ dúhu vznikajúcu v „jeho“ miliónoch kvapkách.

V našom prípade mrak predstavuje sklená nádoba s vodou. Pri vhodnom uhle dopadu slnečného svetla na nádobu s vodou ( $42^\circ$  a  $52^\circ$ ) vzniká na základe lomov a odrazov svetla dúha.

---

**Historická poznámka:**

*Tento pokus urobil veľmi dávno učenec René Descartes, ktorý žil v 17. storočí. Doteraz nie je historikom vyjasnená otázka, či Descartes objavil zákon lomu nezávisle od Snella alebo použil jeho výsledky. Je však jasné, že na svoje výskumy využil zákon lomu svetla. Správne predpokladal, že dúha vzniká lomom svetla na vodných kvapkách a urobil veľmi podrobné výpočty. Takto dokázal, že farba je vlastnosťou samotného svetla.*

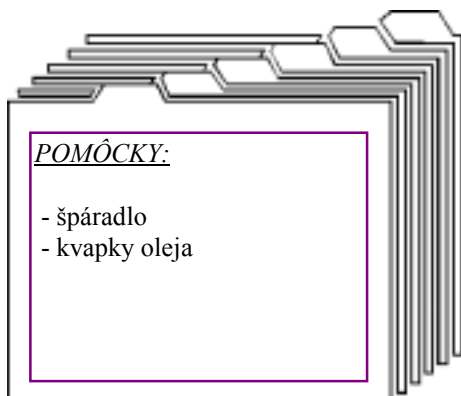
Ak sa vám nechce v peknom slnečnom počasí hľadať doma dúhu, nič si z toho nerobte. Skúste trochu pomôcť Slniečku a vyjdite si do parku. Ak je v ňom práve striekajúca fontána, tak si dúhu môžete nájsť aj sami. Stačí sa len postaviť medzi Slnko a fontánu a nájsť ten správny uhol pohľadu. Našli ste ju?

---

**Poznámka:**

Rozmýšľali ste už niekedy nad tým, prečo nie je možné prejsť popod dúhu?

### 3.23 FARBY NA VODE



Naniesť farby na papier, to nie je žiaden problém. Stačí len zobrať štetec, vodové farby, potrieť papier vodou, dotknúť sa jeho povrchu pripraveným štetcom a sledovať, ako sa farby rozplývajú na papieri. Ale ako sa nanášajú farby na vodu?

#### REALIZÁCIA:

Do plytkého taniera nalejte vodu. Špičku špáradla namočte do oleja a potom sa ňou dotknite vodnej hladiny. Pozrite sa zo šikmej strany. Už to vidíte?

#### VYSVETLENIE:

Nepatrné množstvo oleja, ktoré sa na hladinu dostalo, sa rozprestrie po vodnej hladine na veľmi tenkej vrstve. Keď sa pozrieme na hladinu šikmo zo strany, bude olejová škvrna hrať červenou, zelenou alebo modrou farbou. Keď budete pohybovať hlavou, farby sa budú meniť.

Svetlo dopadajúce na olejovú vrstvu sa odráža ako od povrchu, tak aj od rozhrania voda-olej. Do oka nám dopadajú dva svetelné zväzky. Zväzok odrazený od hladiny olejovej vrstvy sa dostane k oku kratšou cestou ako zväzok odrazený od spodnej olejovej vrstvy. Zväzky sa na sietnici oka stretávajú a vzájomne skladajú (*interferujú*). Pri skladaní sa môžu rušiť alebo zosilňovať. Výsledok interferencie závisí len od sklonu svetelného zväzku k rovine olejovej vrstvy (či dráhový rozdiel je alebo nie je násobkom vlnovej dĺžky). Preto sa nám javí tá istá tenká vrstva rôzne sfarbená, keď sa na ňu pozeráme pod rôznym uhlom.

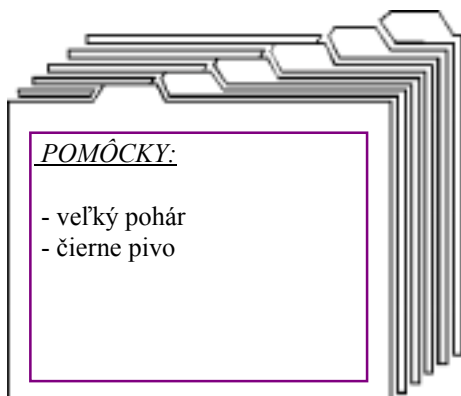
A teraz namočte špáradlo do oleja znovu a ešte raz sa ním dotknite stredu olejovej škvryny na hladine. Prečo sa rozbehli v mieste dotyku k okrajom kruhy v dúhových farbách?

#### VYSVETLENIE:

Keď kvapnete do stredu druhú kvapku, rozprestrie sa od stredu po prvej olejovej vrstve, takže smerom k okrajom sa neustále mení hrúbka vrstvy. Svetelné lúče prechádzajú olejovými vrstvami rôznej hrúbky, majú teda rôzne dlhú cestu. Výsledok interferencie závisí len od hrúbky olejovej vrstvy. Preto sa objavujú iné a iné farby. Rovnako farebné kruhy označujú rovnako hrubé vrstvy oleja.

Pozorované javy súvisia s interferenciou svetla na tenkých (planparalelných) vrstvách. Príkladom týchto javov sú aj pestrofarebné mydlové bubliny, krídla vážok a chrobákov. Všetky tieto tenké vrstvy hrajú rôznymi farbami v závislosti od toho, pod akým uhlom sa na ne pozeráme.

### 3.24 PREČO JE NA ČIERNOM PIVE BIELA PENA?



Prečo sa tvorí pena na pive, to sa dozviete na hodinách chémie. Ale prečo sa tvorí biela pena na čiernom pive, keď je celé čierne? To by ste sa zase mali dozvedieť na hodinách fyziky. Ak chcete, nemusíte čakať na to, kým príde tá hodina, ale môžeme si to vysvetliť hneď teraz. Chcete? Tak poďme na to.

#### REALIZÁCIA:

Poproste otecka, aby vám kúpil čierne pivo. Nie preto, aby ste ho vypili, ale preto, aby ste si na ňom niečo overili. Zoberte veľký pohár a nalejte doň pivo tak, aby penilo. Dajte však pri tom pozor, aby vám pena z pohára nevytiekla na mamičkin obrus. Akej farby je pena? Žeby bielej? Ale prečo, keď pivo je celé čierne?

#### VYSVETLENIE:

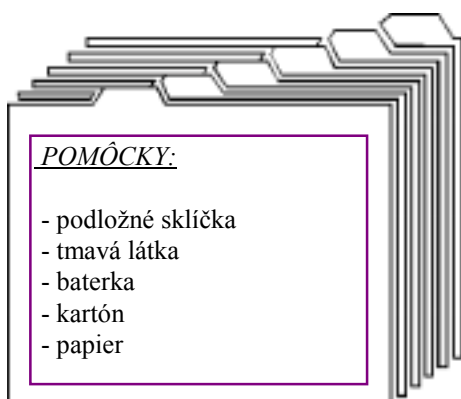
Pena na pive je zložená z veľkého množstva malých bubliniek. Bublínky sú rôznej veľkosti a hrúbky. Ak je hrúbka bubliny dostatočne malá, dôjde k interferencii svetelných vln, ktoré na ňu dopadajú. Každá bublinka odráža svetlo inej farby v závislosti od svojej hrúbky. Keďže bubliniek je veľmi veľa a každá z nich odráža inú farbu spektra, odrazené lúče navzájom interferujú a my v konečnom dôsledku vidíme bielu farbu peny.

To isté, ale v trochu väčšom, môžete pozorovať aj vo vani alebo pri umývaní riadu. Keď sa pozeráme na niektoré väčšie bublinky vidíte, že odrážajú určité farby. Môže sa stať, že pre červenú farbu dostaneme zosilnený obraz, ale pre modrú, ktorá má inú vlnovú dĺžku, dostaneme zoslabený obraz, takže vidíme jasne červený obraz. Ak sa hrúbka zmení, čiže ak sa pozrieme na miesto, kde je bublinka hrubšia, môže to byť naopak, červená sa zoslabí, ale modrá nie, takže obraz je jasne alebo modrý alebo zelený alebo žltý alebo iný.

Preto aj pri pohľade na tenké filmy vidíme farby, ktoré sa menia, ak sa na ne pozeráme z rôznych uhlov. Pretože fázové rozdiely dopadajúcich vln sú pre rôzne uhly iné, budú sa aj odrazené lúče po interferencii javiť v rôznych farbách.

Pri rôznych uhloch môžete vidieť rôzne farby aj na olejových filmoch a mydlových bublinách.

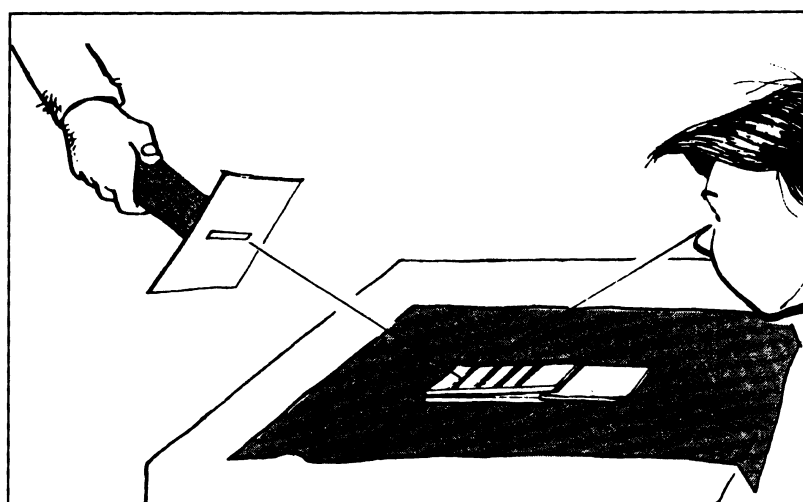
### 3.25 PRUHOVANÉ SKLÍČKO



Každý z vás určite pozná zebra. Je pruhovaná, lebo sa taká narodila. Ale len vodne, lebo po tme je celá čierna. Verili by ste však, že aj sklíčko môže byť pruhované? Nie síce ako zebra, ani nie od stvorenia. Tiež nie na slnečnom svetle ani za úplnej tmy, ale len za určitých podmienok. Poďme sa o tom spolu presvedčiť.

#### REALIZÁCIA:

Stôl prikryte látkou. Položte na ňu dve sklíčka tak, že jedno položíte na druhé. Na jednom okraji vložte medzi sklíčka kúsok kartónu alebo viac papierov položených na seba tak, aby medzi sklíčkami vznikol vzduchový klin. Do iného kartónu urobte štrbinu veľkú 3 mm x 4 cm. Kartón upevnite pred baterku. Poproste spolužiaka, aby vám baterku podržal pred sklenenou doštičkou. Zatemnite miestnosť a postavte sa oproti baterke. Spolužiak nech namieri baterkou na sklíčka a zapne ju. Už to vidíte? Na sklenenej doštičke sa objavili svetelné pásiky, ktorých intenzita sa so zväčšujúcou vzdialenosťou od miesta dopadu lúčov baterky znižuje (obr. 3.44). Ak bude spolužiak baterku odďaľovať a približovať, počet horizontálnych pruhov sa zmení. Obrazec sa tiež zmení, ak zmeníte sklon doštičiek. Ako to všetko vysvetliť?



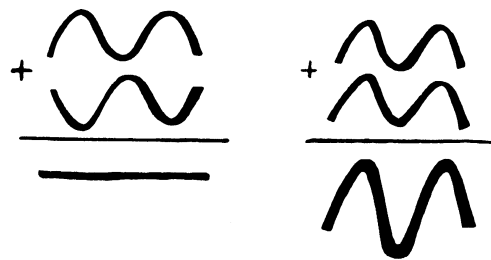
Obr. 3.44. „Pruhované sklíčko“ [33]



VYSVETLENIE:

Každý pruh svetla na sklíčku je obrazom štrbiny. Svetelné lúče dopadajúce na sklíčka sú odrážané sklenenými doštičkami, ktoré tvoria vrch a spodok vzduchového klinu. Tieto lúče majú rozličný smer. Ak sa však navzájom stretnú dve svetelné vlny, môže dôjsť k ich vzájomnému pôsobeniu. Vlny sa môžu skladať, čiže interferovať. Či v danom mieste uvidíme svetlý pásik alebo nie, závisí od fázového rozdielu medzi skladajúcimi sa vlnami a ten zase závisí od ich dráhového rozdielu. Pri rovnakej fáze vlnení sa vlnenia zosilňujú. Rovnaký výsledok vznikne aj vtedy, ak jedno vlnenie predbieha druhé o celistvý počet vlnových dĺžok. Keď sa však dráhový rozdiel vlnení líši o nepárny násobok polovice vlnovej dĺžky, vlnenia sa rušia.

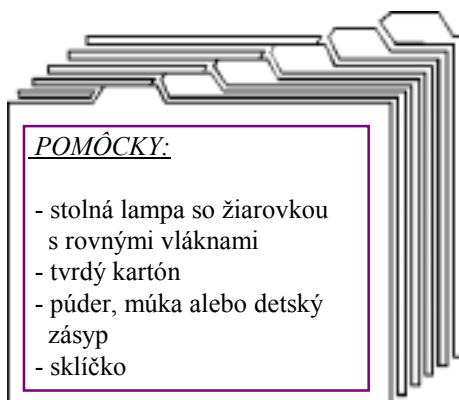
A ako si to môžete vy mladší predstaviť? Keď si svetelné lúče predstavíme ako vlny, ktoré sa navzájom skladajú, tak maximum vznikne vtedy, keď sa v jednom bode stretnú tie isté časti vln, napríklad kopčeky. Vtedy na sklíčku uvidíme svetlý pásik. A keď sa stretne kopček s jamkou, vtedy na sklíčku neuvidíte nič (obr. 3.45). Svetelné vlny sa vtedy navzájom vrušia. A keďže svetlo odrazom na intenzite stráca, tak sa aj intenzita pásikov postupne znižuje.



*Obr. 3.45. Skladajúce sa vlnky*

Pri interferencii na klíne sú interferenčným obrazom pásiky rovnakej hrúbky rovnobežné s hranou klína. Rôznym pásikom však zodpovedá rôzna hrúbka vzduchového klína. Interferenčný obraz možno pozorovať iba v úzkej časti klína, pričom klin musí mať veľmi malý uhol, lebo v opačnom prípade je možné, že interferenčný obraz nevznikne.

### 3.26 ODKIAĽ SA BERÚ DÚHOVÉ PRSTENCE?



Interferenčné javy dokazujú vlnovú povahu svetla. Teraz si povieme o ďalšom fyzikálnom jave, ktorý potvrdzuje vlnovú povahu svetla.

#### REALIZÁCIA:

Do tvrdého nepriesvitného kartónu veľkosti školského zošitu vyrežte otvor s priemerom niekoľko milimetrov. Na malé sklíčko nasypete trochu detského zásypu, púdro alebo múky, odfúknite zvyšok, aby na skle ostala iba nepatrná vrstva.

Kartón s otvorom zoberte do ľavej ruky, poprášenej sklíčko do pravej. Sklíčko priložte tesne k oku, kartón držte vo vzdialenosti 10 až 15 cm od sklíčka a pozerajte sa otvorom na vlákno žiarovky. Odkiaľ sa zobral ten farebný kruh, žiariaci po celom povrchu dúhovými farbami?

#### VYSVETLENIE:

Medzi zrnčkami prášku sú veľmi úzke medzery, ktorými prechádza biele svetlo. To sa však za prekážkami nešíri priamočiario, ale postupuje v iných smeroch. Skladá sa a výsledkom sú dúhové farby. Pretože sú medzery medzi jednotlivými zrnčkami prášku nepravidelné, sú i dúhové farby zmiešané bez ladu a skladu.

To, čo pozorujeme, spôsobil ohyb (*difrakcia*) svetla. Ohybové javy - to sú také javy, pri ktorých neplatí zákon priamočiareho šírenia svetla, a pri ktorých dochádza k „ohybu“ svetelných lúčov okolo prekážok a ich interferencii.

Difrakčný obraz vznikol na sietnici oka (ako tienidlo), ale my ho vidíme v tej rovine, v ktorej sa nachádza pozorovaný svetelný zdroj.

V spektrách vytvorených ohybovou prekážkou je červené svetlo viac odchýlené ako fialové; na rozdiel od spektier vytvorených hranolom, kde je to naopak.

---

#### Historická poznámka:

*Ohyb svetla prvý pozoroval a opísal Francesco Grimaldy (1618-1663). Tento jav nazval difrakcia (lat. diffractus znamená zlomený).*

Ak budete meniť vzdialenosť kartónu od sklíčka a upravovať šírku štrbiny, podarí sa vám vidieť i sýtejšie farby. Čím je prášok na sklíčku jemnejší, tým krajší je dúhový kruh.

Vyskúšajte si teraz predchádzajúci pokus s malou obmenou:

#### REALIZÁCIA:

Miesto prášku na sklíčko dýchnite. Usadia sa na ňom kvapôčky pary. Pozrite sa teraz na vlákno žiarovky. Už to vidíte?

Alebo sa pozrite na pouličnú lampu z tmavej izby cez zarosené alebo jemne zamrznuté okno rovnomerne pokryté ľadovými obrazcami, poprípade, keď je vonku hmla. Uvidíte to isté. Ak pôjdete na večernú prechádzku, vonku panuje nejaké zimné ročné obdobie a vy máte na hlave vlnenú čiapku, skúste si ju stiahnuť trochu na oči a pozrieť sa cez jej okraj do lampy. Objavíte opäť niečo zaujímavé.

#### VYSVETLENIE:

Aj teraz vytvorí svetlo prechádzajúce či už medzerami medzi kvapôčkami vodnej pary okolo otvoru v kartóne alebo cez zarosené či jemne zamrznuté okno, prípadne okolo veľmi jemných vlákien okraju čiapky prstene z dúhových farieb.

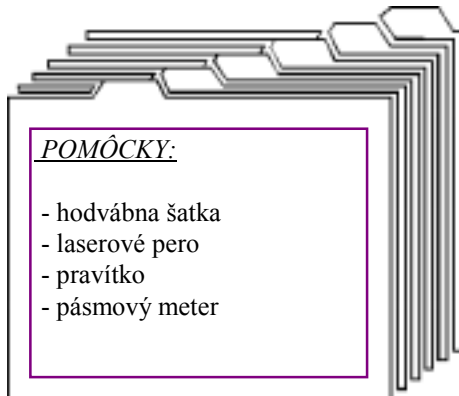
Ohybové javy môžete pozorovať aj v atmosfére, v tenkých vodných oblakoch, zložených z drobných rovnorodých vodných kvapiek. Pred Slnkom alebo Mesiacom, podobne ako okolo pouličných lúčok, sa často objavujú malé kruhy (vence) nazývané tiež *aureoly*. Svetelný kruh tesne priliehajúci ku kotúču Slnka a Mesiaca (alebo umelých svetelných zdrojov) má modrastú farbu, ktorá na vonkajšom okraji prechádza do farby červenkastej.

Malé kruhy vznikajú ohybom svetla na drobných vodných kvapôčkach, ktoré vytvárajú akoby mriežku. Okolo každého bodu svietiaceho telesa sa vytvára difrakčné spektrum alebo niekoľko spektier prstencového tvaru. Spektrá sa navzájom prekládajú, pričom ich farby sa skladajú, a tak vytvárajú modrastý odtieň. Spektrá, ktoré vznikajú okolo bodov na okraji svietiacich kotúčov, vytvárajú okolo vonkajšej časti malých kruhov obrubu červenkastej farby.

Na záver si ešte otestujte svoje oči:

Pozrite sa do svetelného zdroja cez čistý vzduch. Vidíte okolo neho dúhovo sfarbené prstence? Ak nie, potom je všetko v poriadku. Ale ak áno, potom by ste mali čo najskôr navštíviť lekára, pretože práve tento jav považujú lekári za príznak zakalenia priehľadných prostredí oka (začiatok šedého zákalu očnej šošovky). Prečo? Pretože na ohybovom jave prechádzajúceho svetla sa podieľa každá drobná nepriehľadná čiastočka očného prostredia.

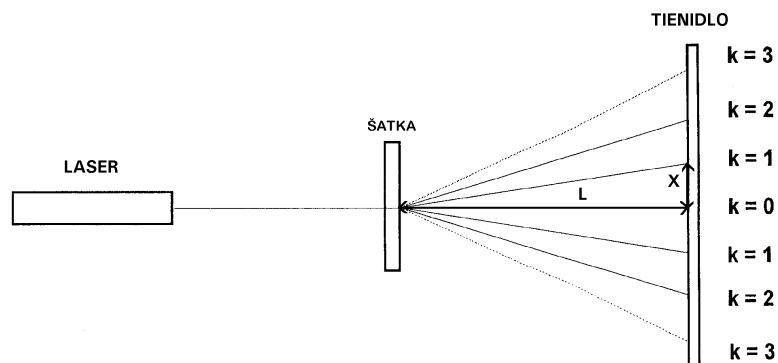
### 3.27 KOĽKO VLÁKIEN MÁ ŠATKA?



Ako je možné, že svetlo niekedy prenikne aj za nepriehľadný predmet? Väčšina z vás by povedala, že predmet má malé otvory, svetlo svieti cez ne, a tak sa dostane na druhú stranu. Nie ste ďaleko od pravdy, ale ako je to v skutočnosti, to sa dozvieme za chvíľu.

#### REALIZÁCIA:

Postavte sa pred bielu stenu a zasviette na ňu laserovým perom. Na stene sa objaví bod. Poproste teraz spolužiaka, aby vám na chvíľu podržal hodvábnu šatku. Postavte ho na tri metre od bielej steny. Stena vám posluží ako tienidlo. A teraz sa postavte pred šatku a namierte laserovým perom na ňu. Zhasnite svetlo v miestnosti a zapnite pero. Na stene sa neobjavil iba jeden bod, ale hneď niekoľko bodov. Svetelný lúč sa po prechode šatkou akosi rozdelil (obr. 3.46). Ako je to možné?



**Obr. 3.46. Objavila sa aj vám na stene bodkovaná mriežka?**

#### VYSVETLENIE:

Hodvábná šatka sa skladá z množstva tenkých vlákien. Svetlo z lasera dopadá na nepriehľadnú šatku, v ktorej sú veľmi malé otvory. Môžeme predpokladať, že v otvoroch dier sú rovnomerne husto umiestnené nové zdroje svetla, ktoré sa správajú tak, ako keby tam nepriehľadná šatka nebola. V skutočnosti však v otvoroch žiadne zdroje nie sú. Napriek tomu dostaneme na tienidle zaujímavý obrazec. Miesto jednej bodky sa objaví na tienidle niekoľko pravidelne na mriežke rozložených bodiek – obrazov zdroja. Prečo? Svetlo nielenže bude prechádzať priamo cez neviditeľné otvory v šatke, ale niektoré lúče sa budú šíriť pod nejakým uhlom v závislosti od vzdialenosti medzi otvormi, pričom sa navzájom skladajú - interferujú. Výsledkom je takzvaný difrakčný obrazec na tienidle, ktorý vzniká v dôsledku rozloženia intenzity svetla.

Svetelné body na tienidle odpovedajú maximám jednotlivých rádov, pričom interferenčné maximá majú tvar zdroja. Najvýraznejšie je hlavné maximum. S rastúcim rádom difrakcie  $k$  klesá intenzita hlavných maxím. Hlavné difrakčné maximá budú pozorovateľné v smeroch, pre ktoré je dráhový rozdiel interferujúcich zväzkov od dvoch susedných otvorov šatky rovný celočíselnému násobku vlnovej dĺžky svetla. Maximum nultého rádu vznikne v smere dopadajúceho lúča. Maximá prvého rádu ( $k = 1$ ) budú body po obidvoch stranách maxima nultého rádu v smere zvislom aj vodorovnom, a vzniknú vtedy, keď sa rozdiel príslušných optických dráh interferujúcich vln rovná práve vlnovej dĺžke svetla.

Miesto vlákien šatky sa v praxi používa ploché priesvitné a bezfarebné sklo, do ktorého sa spravia zárezy, pričom každý zárez rozptyľuje svetlo trochu inak ako zvyšné sklo. Keď sa potom na sklo zasvieti, každý zárez predstavuje nejaký zdroj. Keď budú zárezy veľmi blízko seba (ale nie bližšie ako je vlnová dĺžka svetla), budeme pozorovať difrakčný obrazec. Takéto zariadenie sa nazýva difrakčná mriežka. Často býva v takejto mriežke na jednom milimetri aj niekoľko sto rovnomerne rozložených zárezov.

Účinok takejto mriežky sa dá veľmi dobre vidieť aj pomocou projektora, ktorý na tienidlo vrhá úzky vertikálny pásik svetla (obraz nejakej štrbiny). Ak do cesty takéhoto lúča vložíme difrakčnú mriežku so zárezmi otočenými vertikálne, uvidíme, že pásik svetla na tienidle ostane, ale navyše po každej strane sa objaví ďalšia svetelná farebná stopa. Ak by sme to robili iba s monochromatickým svetlom (svetlom jednej farby), na tienidle by sa objavil iba systém čiar rovnakej farby, ktorých intenzita by sa menila v závislosti od polohy.

Z polohy difrakčných obrazcov môžeme určiť vzdialenosť zárezov na mriežke alebo vlákien na šatke, avšak musíme poznať vlnovú dĺžku dopadajúceho svetla. Bez toho, aby sme sa na mriežku pozreli, môžeme na základe rozdielov v intenzite medzi jednotlivými obrazcami zistiť tvar rýh tvoriacich mriežku.

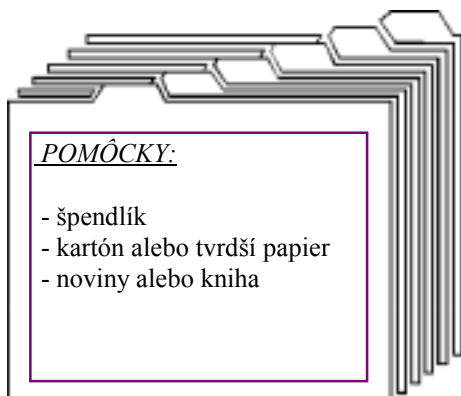
A koľko vlákien má naša šatka? To už si môžete vypočítať aj sami, ak využijete svoje vedomosti z geometrie a optiky, pričom vieme, že pre dostatočne malé uhly do  $5^\circ$  tangens uhla je približne rovný sínusu uhla,  $L$  je vzdialenosť šatky od tienidla,  $X$  je vzdialenosť pozorovaných maxím a  $k$  udáva rád maxima. Potom pre vzdialenosť stredov dvoch najbližších vlákien šatky  $d$  platí:  $d = (kL\lambda)/X$ , kde  $\lambda$  je vlnová dĺžka použitého svetla. Stačí už len zistiť rozmer šatky a tajomstvo šatky bude odhalené.

---

**Poznámka:**

„Nikomu sa zatiaľ nepodarilo uspokojivo definovať rozdiel medzi difrakciou a interferenciou. Je to len otázka konvencie, nie je medzi nimi nijaký dôležitý význam. Môžeme ich rozlíšiť tak, že ak interferuje iba niekoľko zdrojov, napríklad dva, výsledok nazývame interferenciou, ale keď je zdrojov veľa, častejšie sa používa výraz difrakcia“ [7].

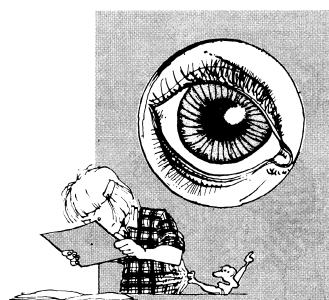
### 3.28 DIERKA LUPOU



Vedeli ste, že aj malá dierka môže poslúžiť ako lupa? Že tomu neveríte? Tak si to vyskúšajte!

#### REALIZÁCIA:

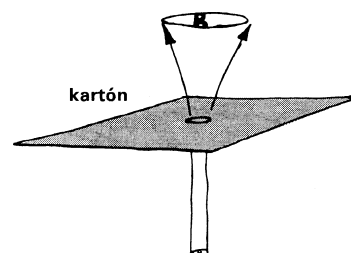
Do kartónu urobte malú dierku s priemerom asi 1 milimeter. Položte ho na noviny alebo na otvorenú knihu. Skloňte sa a pozorujte písmená cez dierku. Vezmite kartón do ruky a pomaly ho približujte k očiam (obr. 3.47). Postrehli ste niečo nezvyčajné? Písmená sa o čosi zväčšili. Prečo?



Obr. 3.47. Aj vám sa zväčšili písmenká?

#### VYSVETLENIE:

Keď svetlo prechádza malými otvormi a okolo malých prekážok, dochádza k difrakcii, čiže ohybu svetelného lúča (obr. 3.84). V našom prípade sa odkláňajú lúče odrazené od novín a smerujúce do oka. Výsledkom je zväčšený obrázok alebo písmenká v novinách.



Podobný efekt môžete pozorovať aj za iných podmienok:

Obr. 3.48. Ohyb - difrakcia [33]

#### REALIZÁCIA:

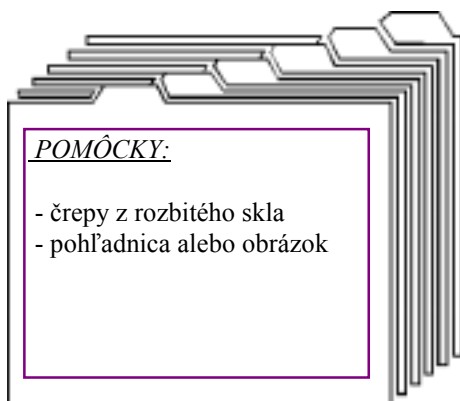
Nájdete si ostré svetlo. Napríklad veľmi vzdialenú pouličnú lampu alebo odraz slnka na zaoblenom nárazníku auta. Dajte si dva prsty pred jedno oko tak, aby ste videli cez štrbinu medzi nimi. Teraz štrbinu opatrne zmeňujte. Čo sa to deje? Obráz lampy, ktorý bol pred chvíľou malou bodkou sa začal predlžovať a dokonca sa rozťahol do plnej čiary. Prečo?

#### VYSVETLENIE:

Prsty, ktoré boli veľmi blízko seba spôsobili, že svetlo, ktoré malo prechádzať po priamke sa ohlo, rozšírilo sa na celý uhol, takže vchádza do oka z rôznych smerov.

Ak budete veľmi pozorní, možno uvidíte aj vedľajšie maximá a navyše celý obraz bude sfarbený.

### 3.29 TAJOMSTVO ZMIZNUTEJ POHĽADNICE



Počuli ste už niečo o polarizovanom svetle? Ak nie, o chvíľu sa o ňom niečo dozvieme.

#### REALIZÁCIA:

Položte väčší črep na stôl alebo na zem a postavte sa tak, aby sa od skla odrážalo svetlo jasnej oblohy, aby sa jeho povrch výrazne trblietal. Potom položte pod sklo pohľadnicu a postavte sa na pôvodné miesto. Ako je možné, že pohľadnicu nevidíte, keď sklo je priehľadné?

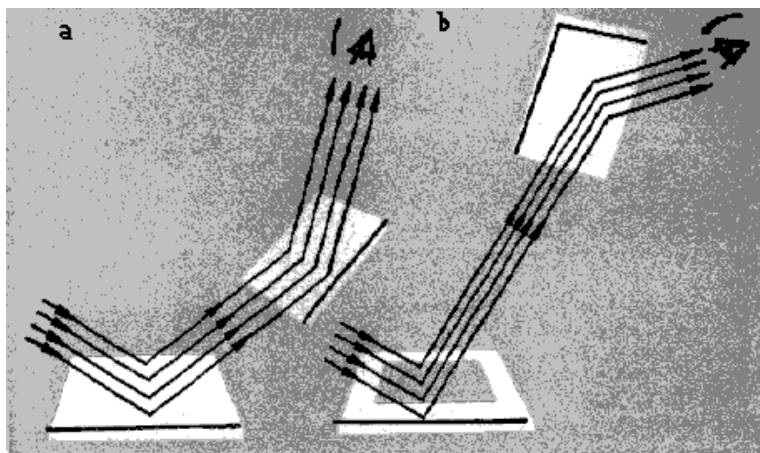
#### VYSVETLENIE:

Ak sa sklo trblieta, potlačí a prekryje odrazené svetlo slabšie svetlo, ktoré vychádza z pohľadnice. To vlastne už poznáte. Keď sa trblieta sklo vo výklade, nevidíte do vnútra. Vo dne nevidíte hviezdy, aj keď svietia rovnako ako v noci. Rozptyl slnečného svetla vo vzduchu spôsobuje, že obloha je cez deň veľmi jasná. Za jej jasom nevidíme hviezdy, pretože svietia z veľkej vzdialenosti a o mnoho slabšie. Kozmonauti sa pohybujú v priestore, kde nie je vzduch. Preto vidia oblohu vo dne i v noci vždy tmavú a na nej hviezdy.

Z oblohy nemôžete svetlo odkúzliť, ale zo skla ležiaceho na pohľadnici áno.

#### REALIZÁCIA:

Zoberte do ruky druhý črep a podržte ho tak, aby ste v ňom trblietanie dobre videli (obr. 3.49). Teraz ním pomaly pootočte o  $90^\circ$ , ale tak, aby ste v ňom stále videli druhý črep na pohľadnici. Kam zmizlo trblietanie, a ako to, že pohľadnicu vidíme?

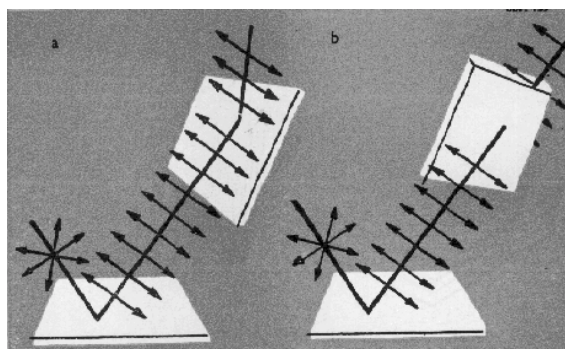


Obr. 3.49. „Odkúžlenie“ trblietania

VYSVETLENIE:

Pri otáčaní bude trblietanie slabnúť a pohľadnicu uvidíte stále lepšie a lepšie až po určitú polohu. Otáčaním skla naspäť do pôvodnej polohy trblietanie zasa zosilnie a pohľadnica bude pozvoľna miznúť.

Na sklo, ktorým je prikrytá pohľadnica, dopadá slnečné svetlo, avšak do vašich očí sa dostane len svetlo odrazené. Vo svetle, ktoré dopadá na črep s pohľadnicou, kmitajú svetelné vlny v smere kolmom na smer ich šírenia, teda vo všetkých smeroch. (Svetlo je priečne vlnenie.) Vo svetle odrazenom od sklenenej dosky však kmity prebiehajú už iba v jednom smere - kolmo na rovinu dopadu (obr. 3.50a).



**Obr. 3.50. K vysvetleniu experimentu**

Ak podržíme druhú sklenenú platňu tak, aby bola rovnobežná s týmito kmitmi, svetlo sa od nej odráža, dopadá do vašich očí a vy vidíte iba trblietanie a pohľadnicu nie. Ak pootočíte sklo, ktoré máte v ruke o  $90^{\circ}$ , svetlo vniká do skla, prechádza ním a neodráža sa vám do očí (obr. 3.50b). Preto trblietanie nevidíte.

Trblietavé svetlo má tú vlastnosť, že sa od skla, ktoré držíte, raz odrazí, inokedy (v pootočenej polohe) však nie. Svetlo s touto vlastnosťou nazývame *polarizované* (od latinského slova *polus*, čo znamená pól).

Polarizované svetlo je všade tam, kde vidíme zrkadlenie, odraz svetla (s výnimkou svetla odrazeného od povrchu kovov).

Zrkadlenie mizne najviac (odrazené svetlo je najviac polarizované), keď lúč svetla dopadajúci na zrkadliacu sklenenú dosku zvierá s kolmicou na túto dosku uhol  $55^{\circ}$  až  $56^{\circ}$ .

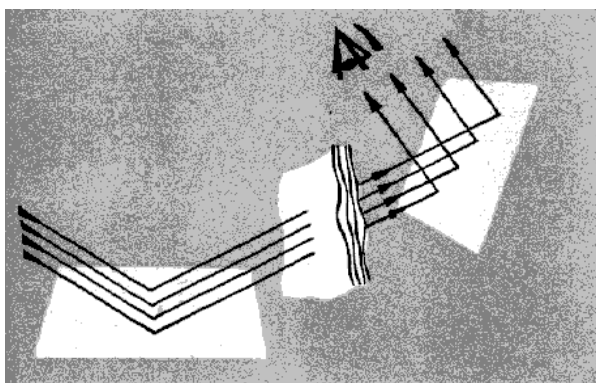
Pri fotografovaní spôsobí niekedy slnečné trblietanie problémy. Trblietanie sa v týchto prípadoch odstráni (odfiltruje) z prirodzeného obrazu predmetu polarizačným filtrom, ktorý v jednej polohe trblietanie prepúšťa, v polohe pootočenej o  $90^{\circ}$  však nie.



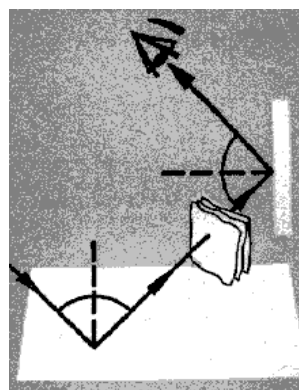
Máte po ruke celofán? A chcete vidieť ešte niečo zaujímavé? Tak poďme na to.

**REALIZÁCIA:**

Postavte sa ešte raz k črepu s pohľadnicou tak, aby ste videli lesk čo najväčší. Do jednej ruky vezmite črepinu skla (nie zrkadla!), podržte ju pred okom tak, aby ste v nej videli lesklý povrch črepu ako v zrkadle. Do druhej ruky si vezmite štyri až osemkrát zložený zväzok bezfarebného celofánu a postavte ho odrazenému svetlu do cesty. Čo vidíte?



**Obr. 3.51. Objavili sa vám na celofáne farby?**  
(Predchádzajúce obrázky boli použité z [12].)



**Obr. 3.52. K experimentu**

**VYSVETLENIE:**

Celofán bude hrať dúhovými farbami, zvlášť keď ním pritom budete pohybovať (obr. 3.51). Môžete ho nahradiť celuloidom alebo úžitkovými predmetmi z plexiskla (trojuholníkmi, táckami pod poháre a pod.). Keď budete nimi trochu pohybovať alebo otáčať, budú sa pohybovať a meniť aj farby. Zafarbenie bude najväčšie vtedy, keď podržíte sklenený črep v ruke tak, aby svetelný lúč dopadal z miesta zrkadlenia na povrch predmetu, ktorý držíte v ruke pod uhlom asi  $56^\circ$  (obr. 3.52).

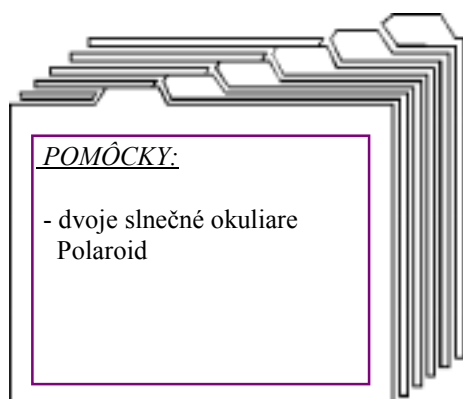
Lahko si môžete týmto spôsobom overiť, že aj svetlo modrej oblohy je polarizované.

---

**Historická poznámka:**

Keď sa v roku 1808 francúzsky učenec Etienne Louis Malus (1775-1812) pozeral cez kryštál islandského vápenca na slnkom ožiarené okná Luxemburského paláca, objavil polarizáciu svetla dvojlomom. Zistil, že pri otáčaní kryštálu menia oba obrazy okien svoj jas, a že dokonca pri určitej polohe kryštálu jeden z obrazov vymizne. Z toho usúdil, že svetlo odrážané od okien nemôže byť prirodzené. Tak bola objavená polarizácia pri odraze a tiež polarizácia oboch lúčov pri dvojlome.

### 3.30 MÁTE PRAVÉ „POLAROIDKY“?



#### REALIZÁCIA:

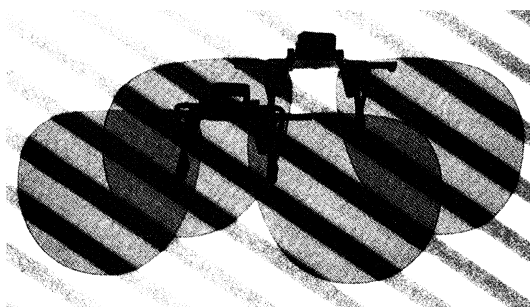
Vezmite dvoje okuliarov a preložte jedny cez druhé (obr. 3.53a). Všimnite si, aká je intenzita svetla, ktoré prechádza cez jedno zo skiel okuliarov a cez navzájom sa prekrývajúce sklá. Teraz jedny okuliare otočte z vertikálnej polohy do horizontálnej (obr. 3.53b). Zmenilo sa niečo? Ak áno, tak potom je všetko v poriadku. Ak nie, tak potom by som vám radil zmeniť predavača, pretože nemáte v rukách pravé Polaroidky.

#### VYSVETLENIE:

Prvé okuliare nám poslúžili ako polarizátor a druhé ako analyzátor. Keďže svetlo je priečne vlnenie, ktorého vektor intenzity elektrického poľa kmitá vo všetkých smeroch, polarizátor prepustí ďalej iba to svetlo, ktorého vektor kmitá iba v jednom smere. Svetlo sa čiastočne pohltí. (Pri kolmom dopade svetla sa pohltí asi 50 %.) Otáčanie polarizátora okolo osi dopadajúceho svetla nespôsobí žiadne zmeny intenzity svetla. Ak však použijeme aj druhé okuliare, pri pomalom otáčaní okolo osi dopadajúceho svetla zistíme, že intenzita svetla sa mení. Keď budú smery, v ktorých okuliare prepúšťajú kmitý priečneho vlnenia navzájom kolmé, cez okuliare prenikne najmenej svetla alebo vôbec žiadne svetlo neprenikne.

Niekedy sa môže stať, že už pri otáčaní prvých okuliarov nastáva zmena intenzity svetla. Vtedy je už ale svetlo vychádzajúce zo zdroja polarizované. Prírodné svetlo je nepolarizované. Modré rozptýlené svetlo oblohy je však z časti polarizované. Polarizácia svetla oblohy je pri pohľade z rôznych strán rôzna.

Trh s predavačmi slnečných okuliarov sa v poslednom čase natoľko rozmohol, že človek už pomaly ani nevie, aké okuliare si má kúpiť. Každý predavač tvrdí, že tie jeho sú najlepšie. Nenechajte sa však nachytať na nekvalitných výrobkoch a radšej si všetko overte. Ak ste sa rozhodli pre kúpu okuliarov značky Polaroid, využite nasledujúci návod na overenie ich pravosti a kvality.

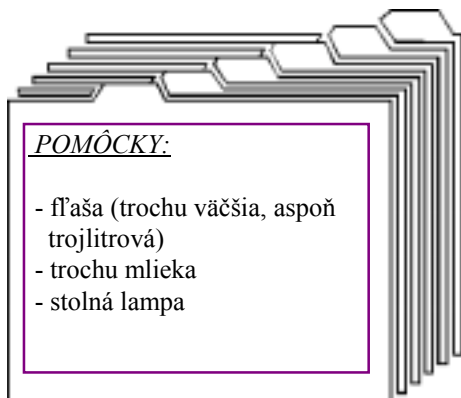


Obr. 3.53.a) Polaroidky [37]



Obr. 3.53.b) Skrížená poloha Polaroidiek

### 3.31 PREČO JE OBLOHA MODRÁ



Môže mať to isté teleso rôzne farebné odtiene? Môže, ak je osvetľované rôznymi svetelnými zdrojmi. Farba telies vzniká tým, že telesá rôzne pohlcujú farebné zložky dopadajúceho svetla. A prečo je obloha práve modrá? To si objasníme v nasledujúcom experimente.

#### REALIZÁCIA:

Nalejte večer do fľaše vodu a potom ju presviet'te stolnou lampou. (Pokusy s mliečnou vodou môžete robiť i vo dne, ak postavíte fľašu na zarávaniny do cesty slnečným lúčom prechádzajúcim oknom do miestnosti.) Pridajte do vody kávovú lyžičku mlieka, rozmiešajte, a potom sa zo strany (teda zo smeru kolmého na lúče) pozrite na mliečnu vodu. Čo vidíte?

#### VYSVETLENIE:

Mlieko zriedené vodou je slabučko sfarbené do modra, podobne ako obloha. A ešte zaujímavejšie je, že modrú farbu zriedeného mlieka spôsobuje ten istý úkaz, ktorý zafarbuje oblohu do modra.

Kalné látky, ako silne zriedené mlieko, hmla, dym a pod. prepúšťajú červené a odrážajú modré svetlo. Tento jav sa vysvetľuje *rozptylom (difúziou)* svetla na nepatrných čistočkách látky. Rozptyl - to je vlastne odchyľovanie od pôvodného smeru do všetkých možných smerov. Každý rozptyl svetla je ohyb na veľmi malých zhlukoch molekúl, ktoré bývajú menšie, ako je vlnová dĺžka svetla.

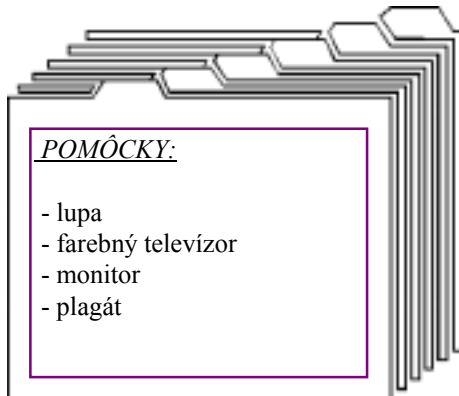
Vo vzduchu sa svetlo odráža a rozptyľuje od najmenších častíc plynu, ktoré vzduch tvoria, od jeho molekúl; v zriedenom mlieku sa odráža od drobných neviditeľných tukových častíc, ktoré sú viditeľné pod mikroskopom asi pri päťdesiatnásobnom zväčšení. Čím sú častice menšie, tým menej rozptyľujú z farieb obsiahnutých v bielej modrú.

Keď sa budete pozerat' cez celofánový papier, zreteľne uvidíte dúhové farby. Svetlo odrazené od nepatrných tukových kvapôčiek obsiahnutých a rozptýlených vo vode je z časti polarizované rovnako ako modré rozptýlené svetlo oblohy. Polarizácia svetla rozptýleného odrazom od tukových kvapôčiek v mliečnej vode je pri pohľade z rôznych strán rôzna, rovnako ako polarizácia oblohy.

Keď sa šíri svetelná vlna nejakým prostredím, pôsobí svetlo na prostredie a prostredie na svetlo. Vzájomné pôsobenie sa prejavuje hlavne tromi spôsobmi: *rozkladom (disperziou)*, *pohlcovaním (absorpciou)* a *rozptylom (difúziou)* svetla.

V rozptýlenom slnečnom svetle prevládajú lúče z krátkovlnnej oblasti viditeľného spektra, pretože modré svetlo, ktorého frekvencia je približne dvakrát vyššia ako frekvencia červeného svetla, sa rozptyľuje oveľa lepšie ako červené svetlo (približne šestnásťkrát intenzívnejšie). Ráno a večer, keď lúče prechádzajú najväčšou dráhou, pozorujeme zore, pretože modré a fialové lúče sa pri prechode atmosférou lepšie absorbujú ako žlté a červené. Dalo by sa povedať, že „svetlo, ktoré prichádza do oka cez hrubú vrstvu vzduchu, stratilo rozptylom veľa zo svojej modrej zložky, takže je žltá-červené [7].“

### 3.32 TAJOMSTVO TELEVÍZNEJ OBRAZOVKY



Už ste si niekedy položili otázku, ako je na televíznej obrazovke zobrazená farba? Ak nie, tak máte teraz možnosť. Pri nasledujúcich pokusoch sa zabavíte a zároveň to aj objavíte.

#### REALIZÁCIA:

Zapnite televízor a s lupou v ruke preskúmajte obrazovku. Nepribližujte sa však veľmi blízko. Určite spozorujete, že obrazovka sa skladá z množstva malých geometrických útvarov. Sú zoskupené do trojíc: červené, modré, zelené. V mieste, kde na obrázku prevláda modrá, najjasnejšie svietia modré body, zelené a červené svietia slabšie. A naopak, na miestach, kde prevláda modrá, sú menej žiarivé body červené a zelené. A ako sa na obrazovke zobrazujú iné farby, napríklad žltá, oranžová, ružová, sivá, fialová alebo hnedá?

#### VYSVETLENIE:

Všetky farby televíznej obrazovky a ich odtiene vznikajú miešaním troch základných farieb: červeného, zeleného a modrého svetla a to zmenou intenzity ich žiarenia. Ak je napríklad intenzita žiarenia červenej a zelenej rovnaká, dostaneme žltú. Zmenou proporcií červenej a zelenej môžeme prejsť cez rôzne odtiene oranžovej. Keď k červenému a zelenému svetlu pridáme modré, výsledkom bude biele svetlo. Ružovú farbu vytvoríme, ak k vzniknutému bielymu svetlu pridáme trochu červeného. Miešaním červeného a žltého svetla, zvýšením jasnosti pozadia, proti ktorému sa na svetlo pozeráme, dostaneme hnedé svetlo. Keď uberieme trochu zelenej, dostaneme farbu čokolády, naopak, ak pridáme zelenú, dostaneme farbu vojenskej uniformy. Takto miešaním červenej, zelenej a modrej s nerovnakou intenzitou žiarenia môžeme získať aj fialovú a iné farby. Tento spôsob miešania farieb sa nazýva aditívny (prídavný).

Ak si vyberiete obrázok, kde sa farba mení, napríklad budete pozorovať skupinu červených bodov dotýkajúcich sa modrých bodov, zbadáte, ako sa mení žiarivosť malých geometrických útvarov rôznych farieb. Celá obrazovka televízora nie je nič iné ako množina bodov, ktoré svietia viac či menej raz na červeno, inokedy na zeleno alebo modro. Body sú umiestnené tak blízko vedľa seba, že oko nie je schopné ich rozlíšiť a vníma ich ako nové farebné impulzy.

Na podobnom princípe funguje aj farebná fotografia. Na vytvorenie farebného obrazu sa musí použiť film s tromi vrstvami. Vrchná vrstva je citlivá na modrú farbu, stredná na zelenú a najspodnejšia na červenú farbu. Farebný negatív obsahuje farbivá žlté, fuchsín a cyanín. Pri premene na farebný pozitív sa opäť použije farebný papier s tromi vrstvami, pričom farbivá vytvoria červenú, zelenú a modrú farbu.

Kamery využívajú tú vlastnosť, že každý farebný obraz sa dá filtermi rozložiť na tri základné farby - červenú, zelenú a modrú. Pri CCD kamere (z anglického Charge-Coupled Devices = obvod s nábojovou väzbou) svetlo prechádza cez objektív kamery a dopadá na mikročip CCD pozostávajúci až zo 400 000 drobných svetlocitlivých snímačov.

Čosi podobné, ako pri miešaní farebných svetiel, funguje aj pri nanášaní maliarskej farby. Poďme sa o tom presvedčiť. Lupu si však môžete nechať doma.

#### REALIZÁCIA:

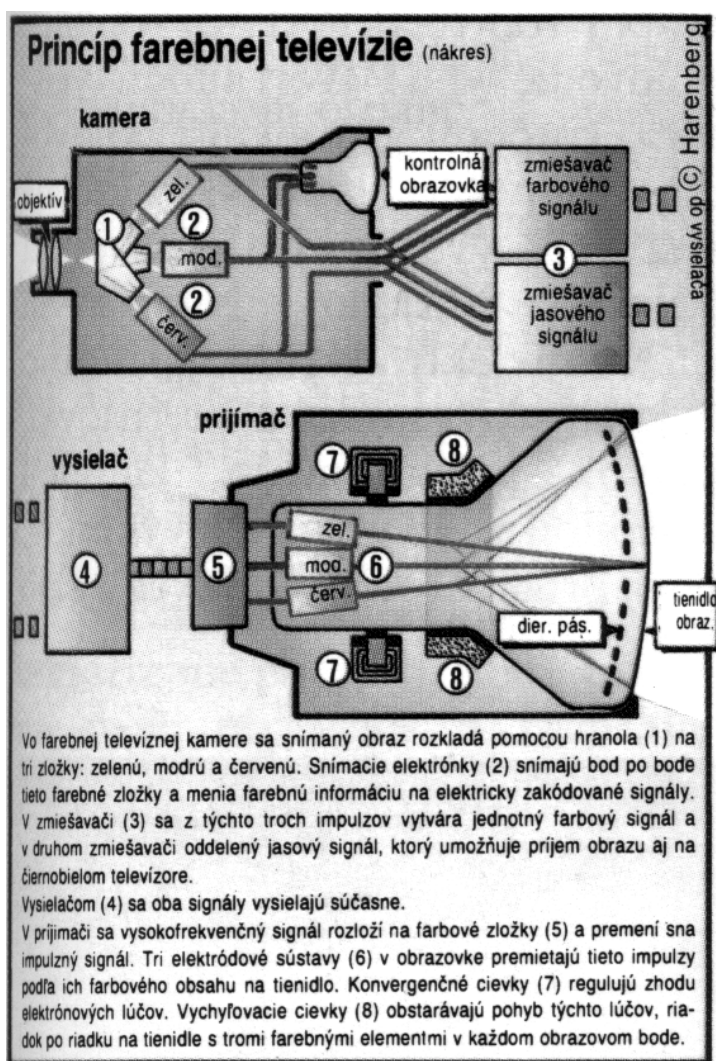
Ak pôjdete po ulici, pristavte sa na chvíľu pri veľkom reklamnom plagáte. Priblížte sa k nemu a pozorne sa pozrite. Že ste videli len malé bodky?

#### VYSVETLENIE:

Skutočne, obraz ako celok síce nevidíte, ale uvidíte, že celý plagát nie je nič iné ako sústava farebných bodiek. A akých? No predsa červenej, žltej, modrej a čiernej, alebo presnejšie purpurovej (modročervenej), žltej, azúrovej (zelenomodrej) a čiernej. Pýtate sa, prečo to nie je tak, ako pri obrazovke? Tu platia trochu iné pravidlá. Ak zmiešate svetlá červenej, zelenej a modrej farby, dostanete biele svetlo. Pri nanášaní farieb nedostaneme z týchto farieb bielu farbu. Ak zmiešame červenú, modrú a žltú, výsledkom bude hnedá farba. Oranžovú farbu zase získate zmiešaním červenej a žltej farby, modrá a červená vám dá dohromady purpurovú.

Maliari miešaním svojich troch základných farieb - purpurovej, azúrovej a žltej pripravujú stovky rozličných odtieňov okrem bielej. Purpurová a žltá im dá červenú farbu. Zmiešaním azúrovej a žltej dostanú zelenú. Fialová im vznikne pri zmiešaní purpurovej a azúrovej. A keď zmiešajú všetky dohromady, dostanú čiernu.

Tlačiarenské stroje pri výrobe farebných časopisov nanášajú na papier tlačiarenské farby a to: žltú, azúrovú, purpurovú a čiernu. Nanášaním týchto farieb dostaneme celú škálu všetkých farieb, ako ich



Obr. 3.54. Vedeli ste, ako funguje televízna obrazovka? [35]

poznáme zo skúsenosti pri prezeraní farebných časopisov. Na kvalitnú tlač sa môže použiť aj viacero farieb, čo sa samozrejme odrazí aj na cene. Tento spôsob miešania farieb voláme subtraktívny (odčítací). Svetlo sa postupne filtruje cez rôzne farebné vrstvy alebo je nimi absorbované a tým sa spektrálne mení.

Ak by ste mali po ruke farebné filtre a položili by ste ich na seba, pozorovali by ste to isté. V prestupujúcom svetle vzniknú spektrálne zmeny zodpovedajúce súčtu jednotlivých účinkov. Každý farebný filter však substrahuje príslušný podiel svetelného spektra.

Vráťme sa opäť k reklamným plagátom. Prečo niekedy bodky vidíme a inokedy nie? Oko je schopné rozlíšiť dva body, keď ich vidí pod zorným uhlom väčším nanajvýš rovným jednej minúte (1 minúta =  $1/60$  stupňa). (Zorný uhol zvierajú svetelné lúče prechádzajúce optickým stredom šošovky oka a okrajmi predmetu.) Ak je zorný uhol menší ako jedna minúta, vnímame dva body ako jeden bod. A aká je najmenšia vzdialenosť, kedy na plagáte ešte rozlíšime dva body vedľa seba? Ak zoberieme do úvahy, že vzdialenosť medzi bodmi na plátne je nanajvýš 1 mm, tak body rozlíšime, ak ich pozorujeme zo vzdialenosti menšej ako 3 metre. Takže ak prechádzate okolo plagátu vo vzdialenosti napríklad 10 metrov, všetky body v okruhu troch milimetrov od nejakého konkrétneho bodu vnímame ako jeden bod. A ktorú farbu spomedzi farieb malých bodov tvoriacich nový bod uvidíte vy? No predsa tú, ktorá je výsledkom ich miešania.

---

#### **Poznámka:**

Pokusy možno realizovať aj inak. Pokiaľ nájdete v školskom laboratóriu farebné filtre a diaprojektor, skúste sa s nimi trocha pohrať a sami objaviť princíp miešania farebných svetiel. Možno objavíte iné tri farby, pomocou ktorých dokážete vyrobiť ostatné farebné svetlá.

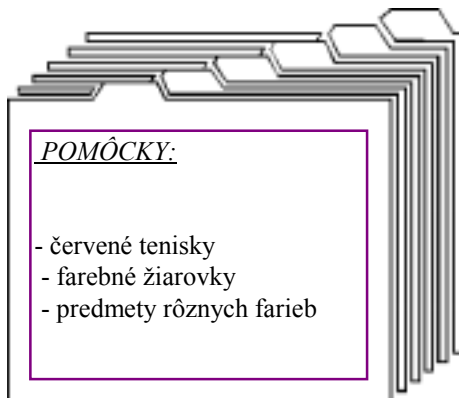
Ak máte doma temperové farby, ktoré už nepotrebuje, skúste si namiešať čo najzaujímavejšiu farbu. Pridávaním ďalších farieb získate nové odtiene. Koľkože farieb potrebujete, aby sa vám podarilo namiešať všetky farebné odtiene? Že ste už minuli všetky „temperky“ a ešte stále ich nemáte všetky? Nič si z toho nerobte. Vedci zistili, že človek je schopný rozlíšiť 150 rôznych farebných odtieňov a viac ako 600 stupňov jasu. Podľa farby, jasu a jej sýtosti (danej stupňom prímеси bieleho svetla) potom v skutočnosti rozlišujeme okolo 600 000 farebných pocitov [24].

---

#### **Historická poznámka:**

*Systém trojfarebnej tlače bol objavený iba náhodou. Roku 1710 kníhtlačiar Le Blon z Frankfurtu nad Mohanom sa pokúšal rozmnožiť farebné obrázky pomocou siedmych farieb slnečného spektra. Pritom zistil, že tri farby – červená, modrá a žltá stačia na vytvorenie všetkých odtieňov zmiešaných farieb. Potom pri farebnej tlači postupne na seba nakladal odťahy troch medených dosiek s príslušnými farbami.*

### 3.33 AKEJ FARBY MÁTE TENISKY?



Ak sa vás niekto opýta, akej farby sú vaše tenisky, dáte mu jednoznačnú odpoveď. Ale ste si naozaj istý, že vaše červené tenisky alebo tričko alebo čokoľvek iné je na 100% červené? Nuž poďme sa o tom presvedčiť.

#### REALIZÁCIA:

Vojdite do zatemnenej miestnosti, v ktorej už máte okrem bežnej žiarovky, ktorá žiari dobiela, pripravené aj iné farebné žiarovky, napríklad modrú. Nie, nemusíte sa vyzúvať. Len si pekne nechajte červené tenisky na nohách, aby ste na ne dobre videli. Zasuňte svetlo, aby ste neboli potme a zatvorte za sebou dvere. Ešte sa nič nedeje, tenisky majú stále svoju farbu. Teraz však zhasnite biele svetlo a zažnite modrú žiarovku. Akej farby sú tenisky teraz? Tak akej farby sú v skutočnosti?

#### VYSVETLENIE:

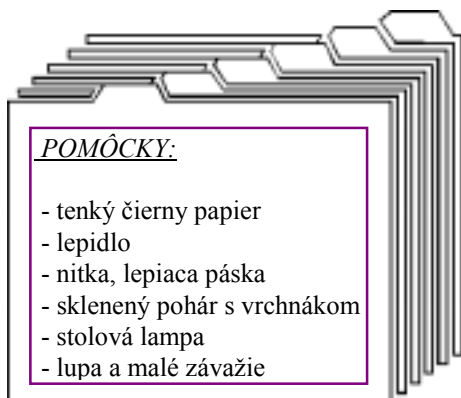
Predmety majú rôzne farby vďaka tomu, že rôznym spôsobom odrážajú svetlo, ktoré na ne dopadá. Niektoré zložky bieleho svetla absorbujú, čiže pohltia, iné sa od nich odrazia. A my vidíme len tie farby, ktoré sa od predmetov odrazia. Práve toto odrazené farebné svetlo vytvára našu predstavu o farbe predmetov.

Červené tenisky sú na dennom svetle červené preto, lebo odrážajú len červené svetlo a svetlo ostatných farieb pohlcujú. V modrom svetle vyzerajú červené tenisky čierne, pretože všetko dopadajúce svetlo absorbujú, čiže neodrážajú nič.

A teraz už pokojne môžete zobrať červený celofán do ruky a tvrdiť, že tráva je čierna. Ak vám to neuveria, nechajte ich, nech sa len na ňu pozrú cez červený celofán. ☺



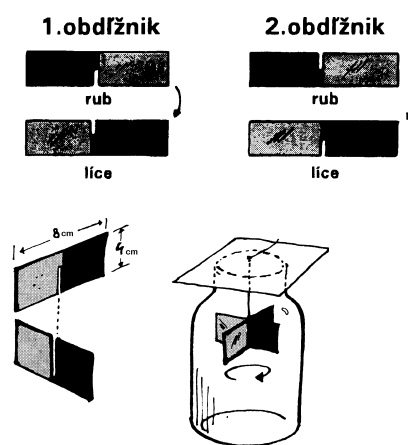
### 3.34 SILA SVETLA



Niektoré pokusy dokazujú, že svetlo má vlnový charakter. Iné zase, že svetlo má časticový charakter. Správa sa ako súbor svetelných kvánt – fotónov. Fotón nie je ani vlnou, ani časticou, má však časticové aj vlnové vlastnosti. Akou silou však dokáže pôsobiť svetlo? Čo si myslíte, má svetlo takú silu, aby dokázalo pohnúť predmetmi? Že nie? Tak poďme si to vyskúšať.

**REALIZÁCIA:**

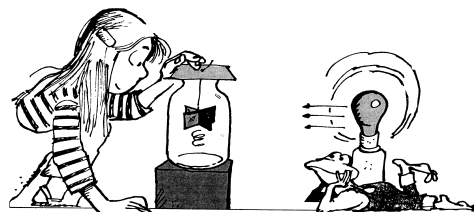
Z tvrdšieho čierneho papiera vystrihnete dva rovnaké obdĺžniky o rozmeroch 8 x 4 centimetrov. Na jednu polovičku z každej strany nalepte alobal (obr. 3.55). Oba kúsky z uprostred nastrihnite, jeden zvrchu a druhý zospodu a spojte ich do kríža. Do vrchnáka zaváraninovej fľaše urobte malú dierku, cez ktorú prevlečiete niť. Na vrchnej strane urobte uzol, aby sa niť nevyvliekla. Na druhú stranu nite pripevnite papierový kríž tak, aby sa mohol voľne otáčať. Nasadíte vrchnák na fľašu. Papierový kríž sa nesmie dotýkať dna. Vezmite teraz stolovú lampu a zasviette ňou na fľašu. Čo sa deje? Ramená kríža sa začnú otáčať. Ale prečo?



Obr. 3.55. Výroba „slnčného mlynu“ [33]

**VYSVETLENIE:**

Svetlo si v tomto prípade môžeme predstaviť ako súbor veľmi malých teliesok – čiastočiek energie, ktoré narážajú na ramená mlynčeka. Ramená tohto svetelného mlynčeka obsahujú z jednej strany hmotu, ktorá odráža svetlo a z druhej strany hmotu, ktorá svetlo pohlcuje. Tak ako u veterného mlyna aj tu je jedna strana náveterná a druhá záveterná. Hmota odrážajúca svetlo pôsobí ako náveterná strana ramena a hmota pohlcujúca svetlo, pôsobí ako záveterná strana. Ak by boli lopatky mlynčeka vo vákuu, svetlo by odovzdalo zrkadliacim plochám dvojnásobne väčší impulz než čiernym plochám.



Obr. 3.56. Podarilo sa vám rozkrútiť svetelný mlyn?

Môže sa stať, že vrtuľka sa bude otáčať opačným smerom, ako ste predpokladali. Je to spôsobené nedostatkom vetrania. V blízkosti čierneho papiera sa vytvorí teplý vzduch skôr ako na druhej strane, kde sa svetlo odráža, pretože molekuly vzduchu sa pred čiernymi plochami zahrejú viac ako pred zrkadliacimi. Rozdiel tlakov spôsobí prúdenie vzduchu a tým aj opačné točenie vrtuľky.

**Historická poznámka:**

Už roku 1747 experimentovali s podobnými mlynčekmi francúzski fyzici Mairan a Dufay. Roku 1873 skonštruoval William Crooker veľmi citlivý radiometer, tzv. svetelný mlynček s lopatkami, ktoré boli na jednej strane začiernené. Vtedy panoval názor, že svetlo dopadajúce na čierne plochy je absorbované silnejšie, väčšmi tlačí na tieto plochy než na zadné svetlé strany lopatiek mlynčeka, a preto sa mlynček krúti. Až v 20. storočí sa ukázalo, že Maxwellov poznatok o tlaku svetelného žiarenia bol síce správny, ale teória svetelného mlynčeka bola nesprávna.

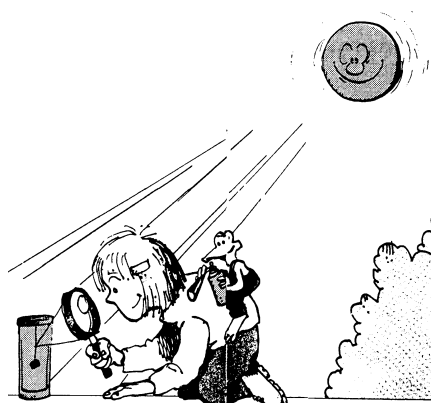
Silu svetelných lúčov si môžeme ukázať aj na inom príklade. Okrem toho, že vie svetlo otáčať niektoré predmety, vie iné rezať. Neveríte?

**REALIZÁCIA:**

Pomocou lepiacej pásky prilepte jeden koniec nitky na veko pohára. Na druhý koniec priviažte nejaké závažie (napríklad kliniec). Veko s nitkou dajte na vrch pohára tak, aby nitka s klincom boli vo vnútri pohára a navyše, aby sa kliniec nedotýkal dna. Vezmite do ruky lupu a držte ju kolmo na svetelné lúče. Nasmerujte ju tak, aby svetelné lúče dopadali presne na napnutú nitku (obr. 3.57). Ak sa vám to nepodarilo, približujte a oddiaľujte lupu od pohára. Sledujte, kedy sa na nitke objaví malá svetelná bodka. Ale čo to? Kliniec spadol na dno pohára, pretože sa nitka prepálila. Ako si to vysvetliť?

**VYSVETLENIE:**

Svietiace lúče sa po prechode lupou sústredia v jednom bode, pretože obe strany šošovky sú vypuklé (konvexné). Lupa je spojnou šošovkou. Je schopná meniť smer na ňu dopadajúcich lúčov. Lúče, ktoré na ňu dopadajú rovnobežne, sústredí do jedného bodu, ktoré sa nazýva ohnisko. Keď budú cez lupu prechádzať teplé slnečné lúče, lupa ich sústredí v ohnisku, kde vznikne veľká teplota, ktorá spôsobí, že niť sa prepáli.



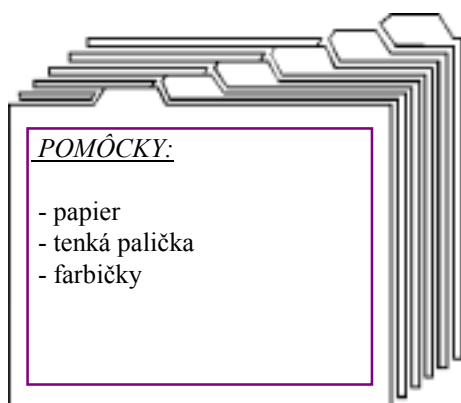
**Obr. 3.57. Podarilo sa vám prepáliť niť? [33]**

A aké ponaučenie pre vás z tohoto pokusu vyplýva? Nikdy sa nepozerajte cez lupu do slnka. Lúče sústredené do jedného bodu by vám totiž mohli spáliť sietnicu tak ľahko, ako prepálili nitku. Taktiež nikdy nenechávajte lupu voľne položenú na slnku. Mohla by totiž spôsobiť požiar.

**Historická poznámka:**

Už okolo roku 640 pred Kristom v Ninive, hlavnom meste Asýrie, používali na vznietenie ohňa, vybrúsené šošovky z krištáľu. Jeden exemplár, nájdený v paláci kráľa Aššurnasirpala, meral 3,5 x 4 cm, bol 0,5 cm hrubý a jeho ohnisková vzdialenosť bola 11,25 cm [35]. Z Mezopotámie sa dostali šošovky na zakladanie ohňa do Grécka.

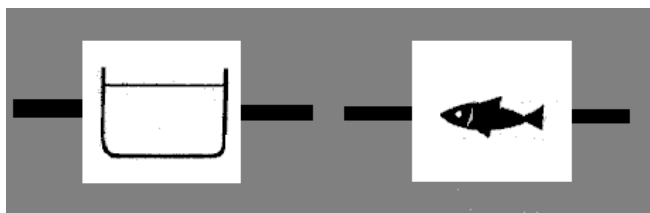
### 3.35 MOŽNO DOSTAŤ DVA OBRÁZKY DO JEDNÉHO?



Nemusíte byť hneď kúzelníci, aby ste vedeli čarovať. Stačí vám iba poznať niektoré z vlastností očí. A hneď budete vedieť vyčarovať aj vy z dvoch obrázkov jeden. A ako nato?

#### REALIZÁCIA:

Na jeden list papiera (na veľkosti nezáleží) nakreslite akvárium. Na druhý, rovnako veľký, namaľujte rybu. Teraz oba obrázky zlepte a paličku upevníte uprostred nich ako os, okolo ktorej sa budú točiť.



**Obr. 3.58. Tak čo, podarilo sa vám dostať rybu do akvária? [12]**

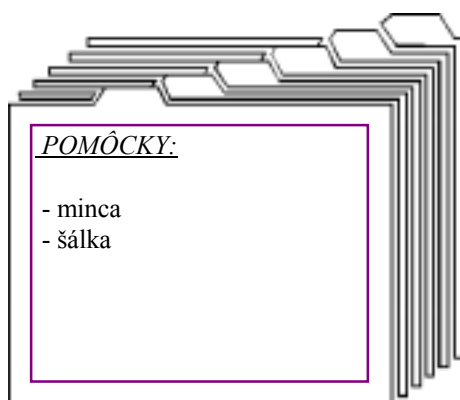
Keď paličkou otáčate pomaly, vidíte najprv jeden a hneď nato druhý obrázok (obr. 3.58). Skúste roztočiť obrázok rýchlejšie, aspoň 20-krát za sekundu. Čo vidíte?

#### VYSVETLENIE:

Keď roztočíte os rýchlejšie, splynú obidva obrázky v jeden a ryba bude plávať v akváriu. To súvisí so zotrvačnosťou oka. Zrakové pocity nevznikajú hneď pri pôsobení podráždenia, ale až po istom čase (priemerne 0,1 sekundy). Aj vymiznutie pocitu trvá dlhšie.

Práve tento jav nám umožňuje vidieť v kine na premietacom plátne pohyb. V skutočnosti kotúč filmu obsahuje sériu nehybných obrázkov oddelených čiernymi čiarami. Keď je obrázok premietnutý na plátno, naše oko ho zachytí počas zlomku sekundy po premietnutí, a to tak, že nevnímame čierny obraz medzi každým obrázkom. Tento jav sa volá *stálosť sietnicových obrázkov*. Keď nám premietajú sériu obrázkov, náš mozog ich zhromažďuje a my ich vnímame ako nepretržitý pohyb. Oko vlastne vidí syntézu jednotlivých plynulo sa meniacich obrazov. Frekvencia, ktorá sa musí zachovať, aby sme vnímali plynulý pohyb je taká, aby stopu predchádzajúceho obrazu čiastočne prekryl nasledujúci obraz, t.j. 24 obrázkov za sekundu. V kine nám premietajú 80 obrázkov za sekundu.

### 3.36 NAČO SÚ NÁM DVE OČI?



Už ste si položili otázku, prečo potrebujeme dve oči? Okrem iného aj preto, aby sme mohli odhadnúť vzdialenosti. Ak chcete vedieť, čo by sa mohlo diať, keby sme mali iba jedno oko, zoberte si misku, šálku a zavolajte kamaráta.

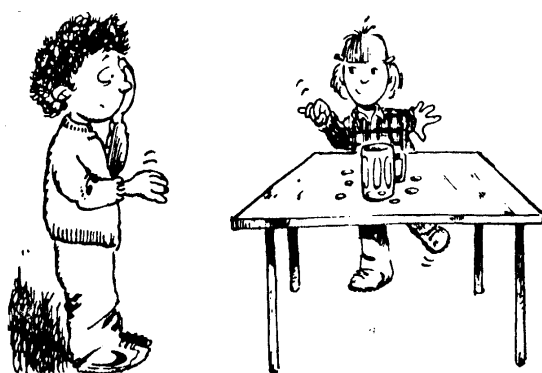
#### REALIZÁCIA:

Položte šálku na stôl a postavte sa od nej do vzdialenosti asi piatich metrov. Zatvorte jedno oko a požiadajte vášho kamaráta, aby držal mincu končekmi prstov neďaleko od stola. Pozerajte iba na šálku a na mincu a hovorte vášmu priateľovi, kam má ísť s rukou, aby minca padla do šálky (obr. 3.59). Keď ju nechá padnúť, uvidíte, v akej vzdialenosti od šálky minca padla. Prečo minca nespadla do šálky?

Alebo iný pokus: zatvorte jedno oko a dajte ľavý ukazovák pred seba. Asi do tej istej vzdialenosti ako je ľavá ruka od očí dajte aj pravú ruku. Ruky nech sú od seba vzdialené aspoň 10 cm. A teraz sa pokúste pravým ukazovákom trafiť do ľavého ukazováka. Že sa vám to nepodarilo?

#### VYSVETLENIE:

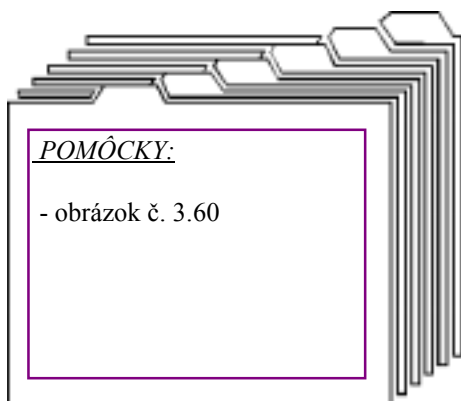
Pretože naše oči sú od seba vzdialené, vidí každé oko veci z trochu iného uhla. Obrazy, ktoré prenáša každé oko do nášho mozgu, sa preto trochu odlišujú jeden od druhého. Porovnávajúc obrazy, náš mozog nám dáva trojrozmerný obraz a pomôže nám tak odhadnúť vzdialenosť. To je to, čo nazývame priestorovým videním. Priestorové videnie zmizne, len čo zavrieme jedno oko - vtedy dostaneme dvojrozmerný obraz (ako na fotografii), pri ktorom je odhadovanie vzdialenosti ťažšie.



Obr. 3.59. Podarilo sa vám trafiť do pohára?

Avšak tak, ako v prípade fotografie, aj tu sú rôzne iné skutočnosti, ako sú vzdialenosti, osvetlenie, porovnávanie vecí, ktorými si pomáhame, ak ide o polohu. Sú to tie činitele, ktorými si pomáhajú ľudia, ktorí prišli o jedno oko. Aj títo ľudia sa môžu naučiť určovať vzdialenosti tak dobre ako ktokoľvek iný. Môžete si to tiež skúsiť. Ak budete tieto testy opakovať niekoľkokrát, zaznamenáte zlepšenie svojich výkonov.

### 3.37 EXISTUJE SLEPÁ ŠKVRNA?

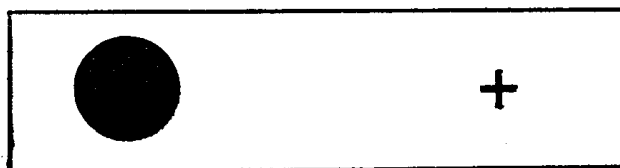


Oko je spojené s mozgom pomocou nervu. Ten sa po príchode do oka rozdeľuje na mnohé nervové zakončenia, ktoré zachytávajú obrazy v každom mieste sietnice. Okrem jedného. Je jeden bod, v ktorom nervové zakončenie chýba – slepá škvrna. Slepú škvrnu bežne nevnímame. O jej existencii sa môžeme presvedčiť tzv. *Mariotovým pokusom*:

REALIZÁCIA: (obr. 3.60)

Pravým okom sa zamerajte na kruh a ľavé zatvorte. Krížik vidíte len nepriamo. Keď budete teraz obrazec postupne vzdiaľovať od seba, v jednej chvíli (asi vo vzdialenosti 30 cm) sa vám krížik stratí. Ako je to možné?

VYSVETLENIE:



**Obr. 3.60. Mariotov pokus na dôkaz slepej škvorny [25]**

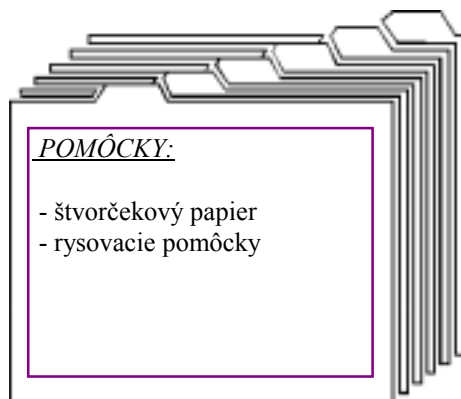
Kruh sa vám zobrazí na mieste zvanom žltá škvrna. V nej sa sústreďuje najviac čapíkov. Vo vzdialenosti asi 30 cm dopadne krížik na slepú škvrnu - miesto výstupu zrakového nervu z oka, kde nie sú svetlocitlivé elementy. Vďaka tomu prestanete krížik vidieť. Keď budete obrazec postupne vzdiaľovať od seba, krížik sa znova objaví.

---

**Historická poznámka:**

„O existencii slepej škvorny sa môžeme presvedčiť napríklad aj tak, že keď zavrieme ľavé oko a pozeráme sa priamo na nejaký predmet, a potom začneme pomaly posúvať prst alebo nejaký iný malý predmet von zo zorného poľa, zrazu ho v určitej polohe nevidíme. Jediné praktické využitie tohto javu, o ktorom vieme, je, že na dvore niektorého francúzskeho kráľa sa stal obľúbený istý fyziológ, ktorý na tento jav kráľa upozornil. Počas nudných porád, ktoré mal kráľ so svojimi radcami, mohol sa zabávať „odsekávaním ich hláv“ tak, že sa pozeral na jedného a sledoval, ako zmizla hlava druhého [7].“

### 3.38 ZOSTROJTE SI JEDNODUCHÝ STEREOSKOPICKÝ OBRÁZOK



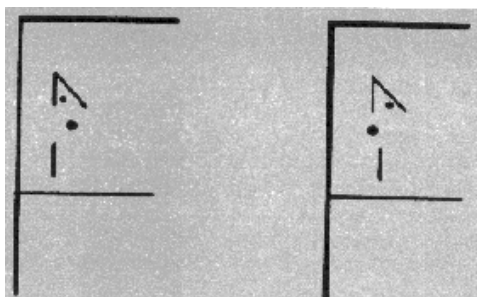
Na to, aby ste si sami nakreslili stereoskopické obrázky, nie je treba veľké maliarske nadanie. Stačí len trošku tvorivosti a fantázie.

#### REALIZÁCIA:

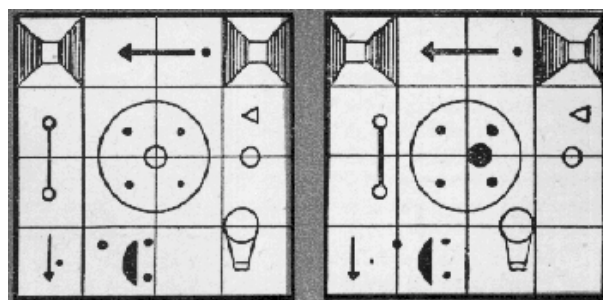
Najprv si narysujte dve hrubšie zvislé priamky rovnobežné s okrajom zošita a vzdialené od seba asi 6 cm. K horným koncom priamok narysujte kolmice. Potom k ľavej priamke urobte niekde bodku a v tej istej vodorovnej polohe nakreslite bodku i k pravej priamke. Jedna bodka však má byť k hrubej zvislej priamke bližšie ako druhá.

Podobne môžete k oboj zvislým priamkam nakresliť i iné jednoduché útvary, ktoré ležia v tej istej vodorovnej vzdialenosti avšak v rôznej vzdialenosti od zvislých priamok (obr. 3.61.)

Dôležité je, aby útvary boli rovnako veľké a aby sa ich vzdialenosti od postranných priamok nelíšili od seba o viac ako 5 mm; inak sa pri stereoskopickom pohľade nebudú prekrývať. A teraz sa už stačí len špeciálne pozerat' a vychutnať si krásu priestoru.



Obr. 3.61. Tvorba stereogramu



Obr. 3.62. Jednoduchý stereogram

(Predchádzajúce obrázky boli použité z [12].)

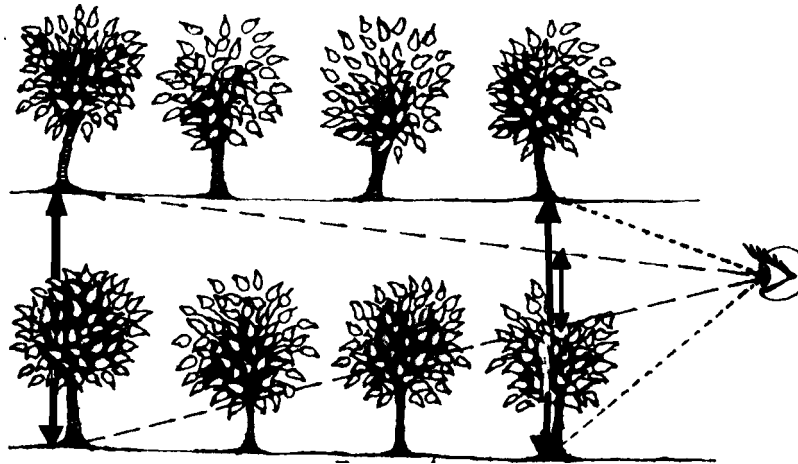
Pozrite sa na nasledujúci obrázok č. 3.62. Vezmite si zošit a postavte ho doprostred medzi obrázky. Potom k nemu priložte nos a pozerajte ľavým okom na ľavý obrázok a pravým okom na pravý obrázok. Usilujte sa, aby vám obidva obrázky splynuli. Už to vidíte? Bodku nevidíte na ploche listu, ale nad ňou. Keby bola pravá bodka trochu ďalej od priamky ako ľavá, zdalo by sa, akoby sa vznášala pod plochou obrazu. Ale o tom až v nasledujúcej kapitole.

### 3.39 VYSKÚŠAJTE SA

A teraz nasleduje sada otázok a odpovedí na ne. Najprv odpovedajte na otázky samostatne, a až potom porovnajte odpoveď uvedenú nižšie s vlastnou odpoveďou. (Tieto otázky môžu poslúžiť učiteľovi na kontrolu nadobudnutých žiackych vedomostí, ale aj ako motivácia do ďalšej činnosti a poznávania.)

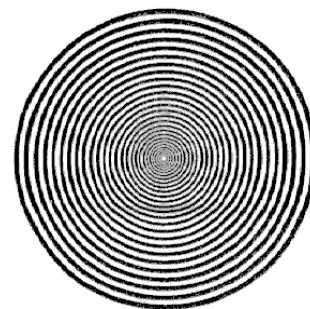
#### OTÁZKY [14]

1. Prečo sa nám zdá, že dva rady stromov, ktoré tvoria alej, sa v diaľke zbiehajú do jedného bodu (obr. 3.63)?



Obr. 3.63. Alej

2. Akú optickú mohutnosť má šošovka ľudského oka?
3. Je známe, že princíp činnosti ľudského oka je podobný princípu niektorých optických prístrojov. Prečo potom bez špeciálnych zariadení nevnímame farebnú chybu oka?
4. Prečo krátkozrakí ľudia prižmurujú oči, ak chcú lepšie vidieť?
5. Prečo sa po zotmení stávame „akoby krátkozrakými“ a pozorované predmety nevidíme ostro?
6. Využite svoje poznatky pri objasnení výroku: „V noci sú všetky mačky čierne.“
7. Pri pohľade na svietiacu reklamu z výbojových trubíc plnených rôznymi plynmi sa nám zdá, že trubice červenej farby sú k nám bližšie ako modrej alebo zelenej. Prečo?
8. Prečo pri pohľade na sústredné kružnice s málo odlišujúcimi sa polomermi máme dojem otáčajúcej sa vrtule (obr. 3.64)?
9. Pozorujte jedným okom nápis na obr. 3.65. Sú všetky



Obr. 3.64. Sústredné kružnice

písmená rovnako čierne? Jedno z písmen sa vám zrejme javí černejšie ako ostatné písmená. Ak otočíte nápis o  $45^\circ$  alebo o  $90^\circ$ , bude sa vám zdať, že najčernejšie je iné písmeno. Ako to vysvetlíte?



Obr. 3.65. K otázke č.9

10. Každé okienko filmového pásu sa premieta na filmové plátno asi 0,04 s. Potom až do projekcie ďalšieho okienka sa objektív asi na 0,02 s zacloní a vtedy je plátno neosvetlené. Prečo divák toto neosvetlenie plátna nepostrehne?
11. Čo by na filmovom plátne videl hmyz, keby sledoval film?
12. Prečo ľudské oko nie je citlivé na ultrafialové žiarenie?
13. Vnemy nášho oka závisia od svetelnej energie. Svetlo pôsobí na bunky sietnice a mozog je usporiadaný tak, aby prijal z oka iba zrakovú informáciu. Prečo však máme dojem, že vidíme ohnivú škvŕnu, ak si prstom pritlačíme zatvorené oči?

## ODPOVEDE

1. Čím je predmet od nás vzdialenejší, tým je uhol, pod ktorým ho vidíme, menší.
2. Pri akomodácii oka sa mení polomer krivosti šošovky ľudského oka. Optická mohutnosť šošovky sa pritom mení v intervale od 20 dioptrií do 30 dioptrií.
3. Pomocou tyčínok získavame čiernobiely obraz, pomocou čapíkov vidíme farebne. Čapíky nie sú dostatočne citlivé, aby pri slabom osvetlení rozlíšili farbu svetla, preto nemôžu zaznamenať ani farebnú chybu oka. Pri slabom osvetlení sa zrenica oka zúži a svetlo prechádza iba otvormi v okolí optickej osi šošovky. Pre tieto svetelné lúče je však farebná chyba zanedbateľná a oko ju nezaznamenáva.
4. Krátkozrakí ľudia preto prižmurujú oči, aby zmiernili niektoré chyby očnej šošovky. Ak sa svetlo vstupujúce do oka obmedzí iba na lúče veľmi blízke optickej osi sústavy, vidí krátkozraký človek vzdialenejšie predmety ostrejšie.
5. Pri menšom osvetlení sa zrenica oka rozšíri a lúče vstupujú do oka nielen stredom, ale aj okrajom šošovky. Lúče prechádzajúce okrajmi šošovky spôsobujú, že predmety zobrazené na sietnici vidíme neostre. „Nočná krátkozrakosť“ teda spôsobuje chyba šošovky.
6. Pri slabom osvetlení sa svetlo prijíma tyčinkami. Keďže tyčinkami získavame čiernobiely obraz, zdajú sa nám v noci všetky predmety sivé alebo čierne.



7. Svetelné lúče rôznych farieb sa v očnej šošovke nelámu rovnako. Lúče modrého svetla sa lámu viac ako lúče červeného svetla. Ak majú vzniknúť na sietnici oka rovnako ostré obrazy dvoch svietiacich trubíc, napr. červenej a modrej, nachádzajúcich sa v rovnakých vzdialenostiach od nášho oka, tak pri pohľade na červenú trubicu sa šošovka zakriví viac ako pri pohľade na modrú trubicu. Šošovka nášho oka je však viac zakrivená pri pohľade na blízke predmety, preto máme dojem, že trubica červenej farby je k nám bližšie ako modrej alebo zelenej farby.
8. Tento jav súvisí s akomodáciou nášho oka. Vráskovec, sval ovládajúci šošovku, sa skladá z množstva vlákien. Pri akomodácii sa tieto vlákna v rýchlom slede jedno za druhým napínajú. V dôsledku toho sa povrch šošovky pri akomodáčnych zmenách rozkmitá. V ďalších okamihoch sa niektoré úseky pozorovaných kružníc zobrazujú ostrejšie ako ostatné, a tak vzniká dojem rotácie týchto úsekov.
9. Je to dôsledok astigmatizmu, chyby oka, ktorá vzniká pri nerovnakom zakrivení rohovky vo vertikálnom a horizontálnom smere.
10. Divák nezbadá neosvetlené filmové plátno preto, lebo podráždenie sietnice na ňu dopadajúcim svetlom nevznikne hneď po prerušení obrazu na plátne. Oko je prispôsobené tak, že ním zachytený zrakový vnem trvá ešte asi 0,1 s, aj keď predmet už nepozorujeme.
11. Skúmaním zraku hmyzu sa zistilo, že svetelné impulzy by museli mať frekvenciu až 300 Hz, aby ich hmyz vnímal ako súvislé, neprerušované svetlo. Preto by hmyz na filmovom plátne pozoroval len jednotlivé od seba oddelené obrázky.
12. Sietnica ľudského oka je veľmi citlivá na ultrafialové žiarenie. Toto žiarenie však zachytáva šošovka, takže sa už na sietnicu nedostane.
13. Tlak na oči aktivizuje receptory sietnice. Vzruchy, ktoré z nich vystupujú, však mozog registruje vždy ako svetlo a my máme dojem, že vidíme ohnivú škvrnu.