

Co s čočkami – aneb optická lavice pro období finanční krize

Leoš Dvořák

KDF MFF K Praha

Abstrakt

Příspěvek popisuje, jak si z elektrikařských lišt a čoček vyrobit jednoduchou a velmi levnou optickou lavici. Vhodným světelným zdrojem, který umožňuje demonstrovat zobrazení spojkou prakticky bez zatemnění, je obrazec vytvořený z malých vysokosvitivých LED. Na této optické lavici lze ale také demonstrovat princip Galileiho a Keplerova dalekohledu i další experimenty.

Úvod

V posledním zhruba roce nabízí společnost Meopta školám resp. učitelům fyziky zdarma čočky a hranoly. Jde o optické prvky, které byly vyřazeny při kontrole, protože nesplňují přísné požadavky na zamontování do vysoce kvalitních optických přístrojů. Pro použití ve školách či v různých kroužcích fyziky však vyhovují více než dobře.

Díky Meoptě jsme tedy, co se čoček týče, v takřka ideální situaci: máme zdroj „optického skla“, který je levný (cena je dána prakticky jen náklady na dopravu) a perspektivní (čočky nejsou nabízeny jen nyní a nárazově, ale lze počítat s tím, že budou pro školy k dispozici i v příštích letech). Za to už stojí zato snažit se co nejvíce zatraktivnit a oživit výuku geometrické optiky – třeba to v budoucnu někteří z vašich žáků zamíří do Meopty jako mladí perspektivní pracovníci. To by asi pro přerovské výrobce optických přístrojů byla ta pravá odměna...

Čočky tedy máme. Co s nimi ve výuce, aby nezůstaly ležet ve skříni? Lze je samozřejmě využít pro řadu pokusů „z volné ruky“: spojkou zobrazit okno nebo krajinu za ním, vlákno žárovky apod. Náměty lze najít v řadě zdrojů, článků a učebnic. (Příspěvek [1] připomíná některé z těchto pokusů, navíc líčí i to, jak dále popsaná optická lavice vlastně spatřila světlo světa.) Chceme-li ale demonstrovat jen trochu složitější jevy nebo provádět byť jednoduchá měření, s rukama a vlastními prsty už většinou nevystačíme. Hodilo by se něco jako optická lavice. Ovšem z čeho a jak udělat optickou lavici, aby si zachovala jednu z hlavních předností dodávaných čoček – velice nízkou cenu? Jinými slovy, jak udělat optickou lavici skoro zadarmo?

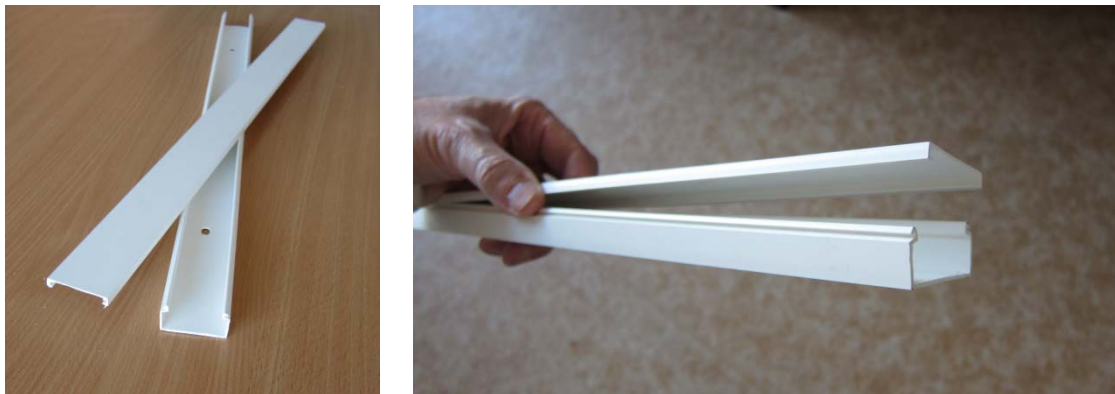
Z čeho stavět: chvála elektrikařských lišt a tavného lepidla

Myšlenka využít pro jednoduchou optickou lavici elektrikařskou lištu vznikla už před řadou let. Realizovala se v diplomové práci, kterou vedl autor těchto řádek. Uchycení čoček však tehdy bylo řešeno poměrně pracně: čočka mezi dvěma kartony byla obšívána reznou nití, opravdu spíše cvičení v trpělivosti než co jiného. Zde si ukážeme technologii mnohem rychlejší, která je „objevem“ letošního roku (blíže viz [1]). Na dílně v Náchodě ji s dobrými výsledky vyzkoušelo na šedesát účastníků, lze ji tedy považovat za ověřenou. Co potřebujeme?

Elektrikařské lišty

Přesnější název je *plastové elektroinstalační lišty*, označované též jako „plastové lišty vkládací“. Pod tímto názvem je můžeme dohledat na internetu. Lišty lze nakoupit

v prodejnách s elektroinstalačními potřebami. Jsou k dispozici v řadě různých rozměrů. Pro jednoduchou optickou lavici se osvědčily lišty obdélníkového průřezu 40 x 20 mm, viz obr. 1. (Poznámka k ceně: při objednání přes internet byly v září 2010 k dispozici za cenu těsně pod 20 Kč za metr. Jiné cenové nabídky se pohybovaly poněkud výše, až asi do 30 Kč za metr.) Lze ale užít i lišty profilů např. 40 x 40 mm i větších.



Obr. 1. Plastové elektroinstalační lišty průřezu 40 x 20 mm.

Spodní část lišty bude základem naší optické lavice. Z vrchní části, která se dá odklopit, nařežeme kousky nesoucí jednotlivé optické prvky (čochy, clony, matnice, zdroje světla). Lze je pak „zaklapnout“ na spodek elektrikářské lišty a pohodlně je po něm posunovat. Nevypadnou, ani když celou optickou lavici otočíme vzhůru nohama.

Důležité upozornění:

Profily „zoubků“ jimiž vršek listy zaklapne na spodek, nejsou pro všechny lišty stejné! (Zatím jsme objevili tři různé druhy profilů, viz obr. 2.) Elektrikářům to nevadí, ti prostě zakrytují lištu příslušným vrškem. Nám ale tato odlišnost vadit může. „Nosič“ čochy z vršku jednoho typu lišty obecně nejde nasadit na spodek druhého typu lišty. Při stavbě optických lavic z lišt s tím musíme počítat (a raději předem nakoupit větší množství lišt jednoho typu než pak být překvapeni nekompatibilitou spodků a vršků).



Obr. 2. Různé profily elektroinstalačních lišt.

Tavné lepidlo a tavná pistole

Lepidlo do „tavných pistolí“, jak se ukázalo, drží velmi dobře nejen na skle, ale kupodivu i na i na plastu elektrikářských lišt.

Podmínkou, aby lepidlo spolehlivě „chytalo“, je nechat ho dostatečně nahřát. Tavnou pistolí proto musíme nechat zapnutou několik minut, až lepidlo téměř volně vytéká. Pokud bychom se snažili „napatlat“ nedostatečně zahřáté lepidlo na sklo či plast, nebude držet.

Poznámka:

Není vyloučeno, že některá tavná lepidla by byla pro lepení skla a plastů méně vhodná. Pokud byste plánovali výrobu optických lavic se svými žáky, vyzkoušejte předem, že vámi zakoupené lepidlo spolehlivě lepí sklo na plast a dřevo.

Tavných pistolí je na trhu celá řada, v cenách od stokoruny (i méně) po mnoho set korun po pistole, které nabízejí regulaci teploty. Na dílně jsme používali ty z nejlevnějších.

Pistolová páječka

Pistolová páječka je potřeba jednak na nahřátí vršku lišty, když jej chceme ohnout, jednak na pájení přívodů LED a rezistorů. K pájení samozřejmě potřebujeme cín a případně kalafunu. Je asi zbytečné připomínat, že pokud necháte pájet větší skupinku lidí, například vaše žáky, je potřeba mít náhradní smyčky k páječce za ty, které se přepálí.

LED jako zdroj světla

Jako zdroj světla se osvědčil obrazec vytvořený ze svítivých diod (LED). Obrazec promítnutý spojkou na stěnu je vidět, aniž by bylo nutno třídu zvlášť zatemňovat.

Můžeme použít LED o nejběžnějším průměru 5 mm; ještě vhodnější jsou však menší, o průměru 3 mm, viz obr. 3. (Lze je dát blíž k sobě, což potřebujeme. Svítící obrazec by měl být blízko optické osy čočky.)



Obr. 3. LED průměru 3 mm, rezistor a vrtáček \varnothing 2,9 mm pro otvory pro LED.

Důležité je, vybrat LED, které jsou „vysokosvítivé“, tedy mají vysokou svítivost (udává se v milikandelách, mcd). Nepotřebujeme ovšem typy s velmi vysokým výkonem, tedy například s příkonem 1 W a více, které užíval ve svém příspěvku na Veletrhu nápadů 15 Vašek Piskač, viz [2]. Ty jsou také větší a je třeba je chladit. Pro naši optickou lavici postačí LED, které mají jmenovitý proud 20 mA, tedy příkon okolo 40 mW.

Vysokosvítivé LED bývají označovány jako „superbright“ nebo „ultra-bright“. V nabídce prodejců elektronických součástek je vhodné najít u LED přímo údaj svítivosti v milikandelách. Nejlevnější bývají LED barvy červené nebo oranžové. V našem případě jsme užívali LED označovaných v internetovém katalogu [3] jako „LED 3MM RED

3000/30°“ (jde o obecné označení, není uváděn ani výrobce). Cena s DPH na podzim 2010 byla 2,70 Kč za kus; při odběru od 100 kusů je už jen 2,16 Kč za kus. Cena zelené resp. modrozelené LED („LED 3MM BLUEGREEN 8000/35°“, tedy se svítivostí 8000 mcd) už byla asi dvakrát vyšší.

Poznámka 1:

Nespoléhejte se jen na to, že v katalogu je u dané LED uvedeno „vysokosvítivá“. V minulosti se občas tento termín objevoval i u LED, které měly svítivost jen pár desítek mcd.

Poznámka 2:

Vysoké svítivosti výrobci obvykle dosahují zúžením úhlu, do něhož LED vyzařují. Údaj ve stupních uvedený u LED a *vydělený dvěma* (!) určuje, při jaké odchylce od osy diody (tedy od směru, v němž dioda vyzařuje nejvíce) poklesne svítivost na polovinu. Je-li tedy u LED uvedeno 3000/30°, je svítivost ve směru osy 3000 mcd (tedy 3 kandely), ve směru o 15° od hlavní osy už jen 1500 mcd. (Výrobci uváděný úhel 30° znamená, že v tomto rozsahu úhlů je svítivost nadpoloviční. A větší číslo lépe vypadá. ☺)

Při projektu tvorby optické lavice se tedy žáci mohou v praxi poučit i vztahu svítivosti a světelného toku a o fotometrických jednotkách vůbec.

Je však třeba si uvědomit, že použití vysokosvítivých LED s úzkým vyzařovacím úhlem pro nás znamená určité omezení. Pokud svítící obrazec uděláme příliš velký, pak většina světla z LED na kraji mine čočku, kterou budeme obrazec promítat třeba na zeď. (Takové LED tedy nebudou svítit na čočku, ale, lidově řečeno, „pánubohu do oken“.) To je důvod, proč svítící obrazec udělat dostatečně malý.

Poznámka 3:

Pro řadu lidí už je to samozřejmé, ale raději na to upozorníme: LED musíme k baterii připojit se sériově zapojeným rezistorem, který omezí proud na vhodnou velikost. (Typicky zmíněných 20 mA; malé LED mívají uváděný jako maximální proud 30 mA, ten opravdu není radno překračovat. O něco menší proud, např. 15 mA nevadí, jen trochu zmenšíme svítivost.) Napájíme-li LED z ploché baterie o napětí 4,5 V, vyhoví v sérii rezistor s odporem 120 Ω. S žáky přitom můžeme zopakovat jednoduchou aplikaci Ohmova zákona: na LED je napětí necelé 2 V, na sériový rezistor zbývá asi 2,5 V, což děleno 120 Ω dá právě asi 20 mA. Každá LED bude mít v sérii vlastní rezistor; pak mohou být některé z nich i jiných barev. (Na zelených LED je o něco vyšší napětí, kdybychom paralelně spojili samotnou červenou a zelenou LED a pouštěli do nich proud, svítily by jen červená.)

Další drobnosti

Hodit se budou **dřevěné lišty** různých průřezů (čtvercových nebo obdélníkových). Budeme je dávat pod čočky menších průměrů, aby střed čoček byl stejně vysoko nad lištou, tedy aby čočky byly na společné optické ose. Lišty lze koupit v prodejnách pro modeláře i jinde; v nouzi je nahradíme kouskem dřívka, které na vhodný rozměr upravíme dlátkem, nožem či pilníkem.

Na stínítka či clonky se budou hodit **papírové čtvrtky**. Na stínítka běžné bílé, na clonky je lépe užít čtvrtky černé. Stínítka i clonky lze na kousky vršku elektrikařských lišt připevnit pomocí ohnutých **kancelářských sponek**, které k plastovým vrškům lišt prostě přilepíme tavným lepidlem.

Drobné nářadí typu nůžky, řezáky či kleštičky asi nemá cenu připomínat. Navrtání děr do plastového vršku lišty pro umístění LED se však hodí **vrtačka**, ať už stojanová (s tou se pracuje nejpohodlněji) nebo ruční. U ruční vrtačky pozor, abychom se nezranili, kdyby vrták sklouzl – je lepší vrtat do delšího kusu lišty a až pak jej odříznout na potřebnou délku; pokud vrtáme do malého kousku vršku lišty, je lépe si jej přidržovat kleštičkami, než v těsném okolí vrtáku riskovat vlastní prsty. Protože LED mají průměr asi 3 mm, je vhodný **vrtáček** o téže průměru, nebo ještě lépe o trochu menší, **2,9 mm**. LED pak půjde do otvoru nasunout opravdu těsně a dobře v něm drží. V nouzi by vrtání děr mohlo nahradit jejich „propalování“ hřebíkem nahřátým třeba nad sporákem a drženým přes kousek papíru v kleštích.

Pro řezání elektrikářských lišt se osvědčila **pilka na železo**. Nejpohodlnější je upnout lištu do svěráku, jde však prostě přidržet si lištu přes hranu stolu. Pokud budeme optické lavice vyrábět ve třídě, je samozřejmě třeba mít nějaké **kartony** na ochranu stolů.

Vlastní výroba optické lavice

13. Z elektrikářské lišty uřízneme pilkou na železo kus vhodné délky. Na dílně jsme vyráběli optické lavice dlouhé půl metru, aby si je účastníci mohli snadno odvézt. Není ale problém mít lavici o délce $\frac{3}{4}$ metru nebo metr i delší. (Delší samotná lišta se trochu prohýbá, což nevádí při položení na stůl. Pokud bychom chtěli mít mimo stůl třeba dvoumetrovou optickou lavici, museli bychom lištu přišroubovat například na rovnou silnější dřevěnou lištu.) Lišta se lépe řeže s nasazenou vrchní částí. Ve svěráku se řeže pohodlněji, ale stačí lištu podržet na okraji stolu, viz obr. 4.



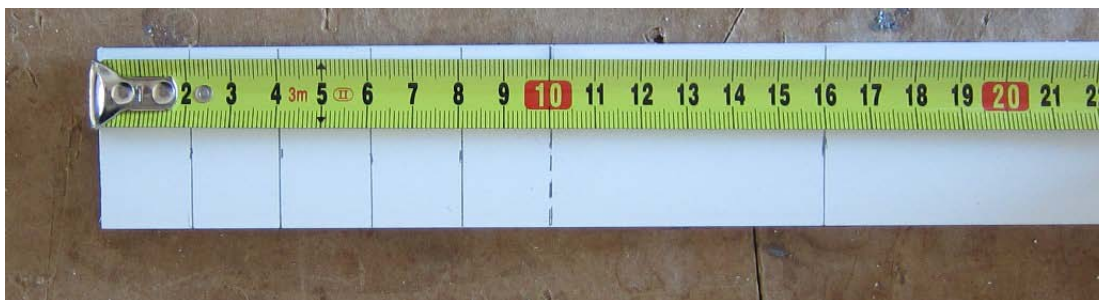
Obr. 4. Plastové lišty se dobře řezou pilkou na železo.

Otřepy, které při řezání vzniknou, srazíme pilníčkem nebo prostě seřízíme kapesním nožem, jak to naznačuje obr. 5.



Obr. 5. Otřepy vzniklé při řezání jdou lehce seříznout nožem.

14. Z vrchní části lišty nařežeme kousky, které ponесou optické prvky (čočky, matnice, clonky). Pro lištu průřezu 40x20 mm se osvědčily kousky šířky 2 cm. (Příliš široké kousky mají větší tření a musíme je po liště posunovat větší silou.)
Pro připevnění LED vyhoví kousek vršku lišty dlouhý asi 8 cm.



Obr. 6. Z vrchní části lišty budou „nosiče“ čoček a další prvky.

15. Přilepení čočky na „nosič“:

Necháme rozehtát tavnou pistoli (v níž už je tyčka tavného lepidla). Rozehtávání trvá několik minut. Když lepidlo po stlačení „spouště“ tavné pistole dostatečně volně vytéká (spoušť se musí stlačit dost velkou silou), můžeme přistoupit k lepení. Osvědčilo se nasadit („přicvaknout“) kousek vršku lišty, který ponесе čočku, na spodní část lišty. Naneseme tavné lepidlo jak na plast, k němuž budeme čočku lepit, tak na část obruby čočky. Obě části pak k sobě přitiskneme, přidáme ještě trochu lepidla po obou stranách, přesvědčíme se, že rovina čočky je kolmo na lištu optické lavice (že čočka není křivě, „nekácí se“ apod.) ... a držíme. Držíme trpělivě, dokud tavné lepidlo neztuhne.



Obr. 7. Čočka přilepená na plastový „nosič“.

Důležité je, dát okolo spodního okraje čočky opravdu dostatek tavného lepidla. Lepidlo ale samozřejmě nesmí téci přes okraj plastového dílu, k němuž čočku lepíme. Příliš velké množství horkého lepidla také může způsobit, že se plast prohne; čočka je pak o něco níže.

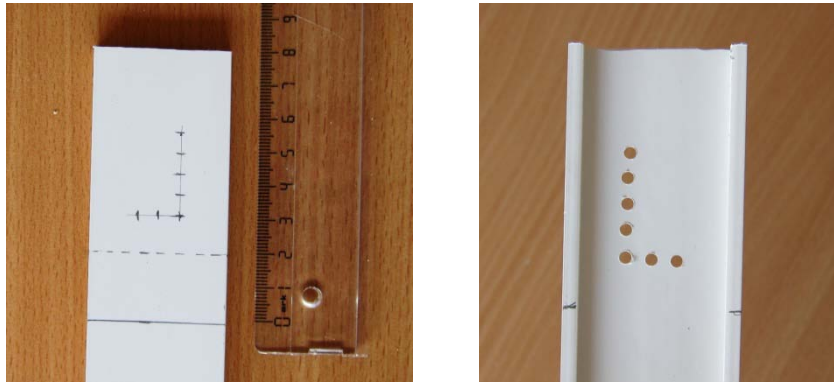
U čoček menších průměrů nejdříve nalepíme na plastový „nosič“ kousek dřevěné lišty vhodné tloušťky; na lištu pak přilepíme čočku, viz obr. 7. (Dřevěná lišta také omezí prohýbání plastu zmíněné výše.)

16. Výroba zdroje světla z LED – vrtání děr pro LED:

Před vrtáním děr je lépe nechat si vrchní díl lišty poněkud delší, abychom ho mohli při vrtání pohodlně držet dál od vrtačky. (To je rozumné zejména pokud vrtáme ruční vrtačkou – kdyby náhodou vrták sklouzl, není dobře mít prsty příliš blízko.)

Na vrchní díl lišty si nejprve tužkou nakreslíme vhodný obrazec a v něm body, kde budou LED. Kousek délky 2 cm necháme volný, ten v následujícím kroku ohneme.

Jako obrazec se osvědčuje třeba číslice 1, písmeno L, apod. Pozor: kreslíme-li na vrchní stranu lišty, musíme požadovaný tvar nakreslit zrcadlově obráceně. Svítící strana diod totiž bude prostrčena na druhou stranu. Chceme-li, abychom při pohledu „zepředu“ na LED viděli požadovaný obrazec, musí být ze „zadní strany“ nakreslen zrcadlově, viz obr. 8.



Obr. 8. Nakreslení obrazce z LED. (Zrcadlově převráceně, protože svítící LED budeme pozorovat z druhé strany, jak ukazuje fotografie vpravo).

Jak už bylo řečeno, svítivé diody by neměly být příliš vzdáleny od optické osy. Máme-li tedy k dispozici například čočky o průměru 6 cm, měl by být „střed“ obrazce 3 cm nad ohybem a LED by neměly příliš přesahovat nahoru a dolů. Z toho vyplývá, že vhodná vzdálenost diod je asi 8 mm i méně. Na číslici 1 stačí 5 diod, na písmeno L je lépe použít 7 diod; výška číslice či písmena pak nepřesahuje asi 3,5 cm a šířka 1 až 2 cm. Fotografie v tomto příspěvku ukazují zdroj, kde vzdálenost LED je 6 mm.

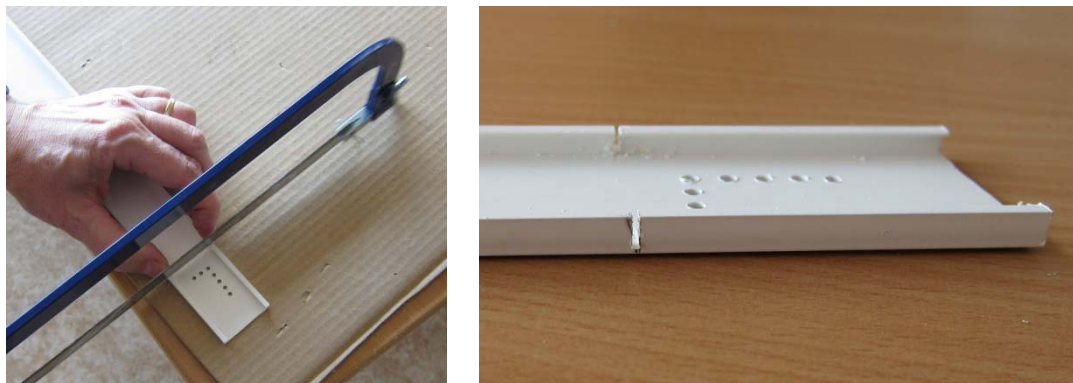
Otvory pro LED vyvrtáme vrtáčkem průměru 2,9 mm (nemáme-li jej, tak 3 mm).



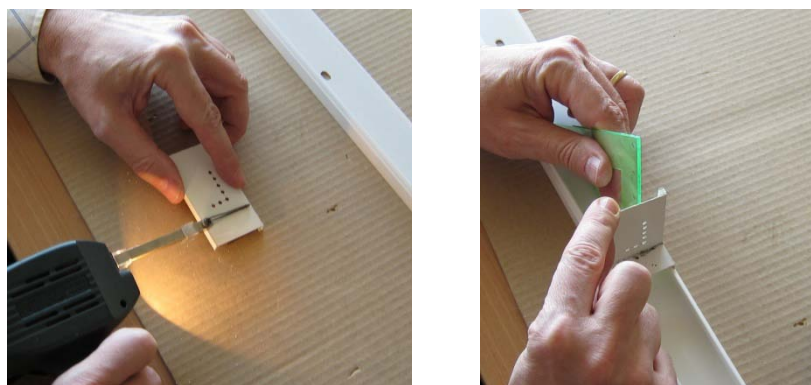
Obr. 9. Vrtání otvorů pro LED.

17. Výroba zdroje světla z LED – ohýbání plastového dílu:

Na našem kousku vrchní lišty délky s vyvrtanými otvory máme vyznačen budoucí ohyb. Na spodní straně v daném místě nařizneme boční okraje, tak, jak to ukazuje obr. 10. Bez nařiznutí okrajů by lišta nešla ohnout. Pak na horní straně v naznačeném místě lištu nahřejeme smyčkou pistolové páječky. (K plastu lehce přiložíme boční stranu smyčky a přejedeme s ní tam a zpět, aby se nahřála celá „čára“, podél které chceme plast ohnout, viz obr. 11.) Okamžitě plast ohneme a držíme, až vychladne.

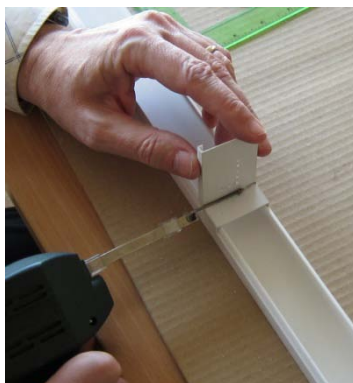


Obr. 10. Naříznutí bočních částí plastového dílu, aby šel ohnout.



Obr. 11. Ohýbání plastového dílu pro zdroj světla s LED.

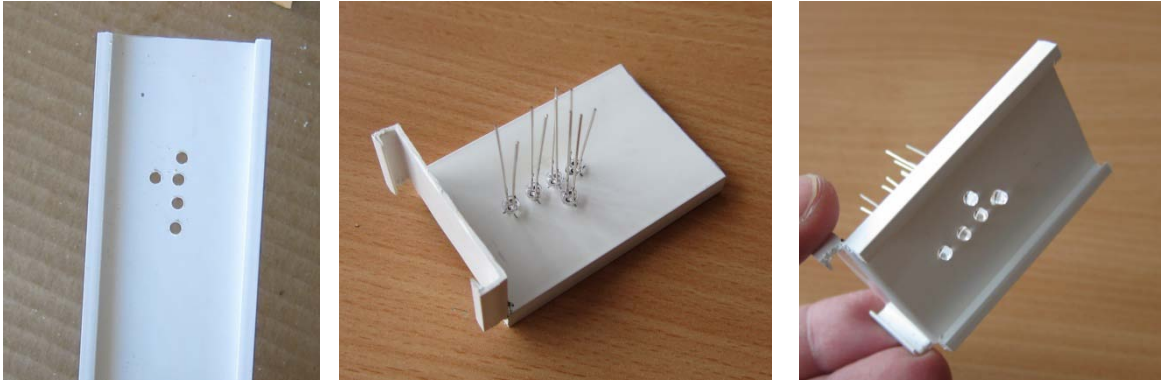
Osvědčilo se kratší část ohýbaného dílu hned po nahřátí „nacvaknout“ na dolní část lišty a trojúhelníkem kontrolovat, zda je plast ohnut do pravého úhlu. Většinou je třeba ohnout díl o něco více, po vychladnutí obvykle „dopruží“ o kousek zpět. Pokud se nám nepodařilo ohnout díl přesně do pravého úhlu, nahřejeme ihned plast znovu v místě ohnutí (stačí lehce přejet hrotem páječky, jak to ukazuje obr. 12) a úhel upravíme.



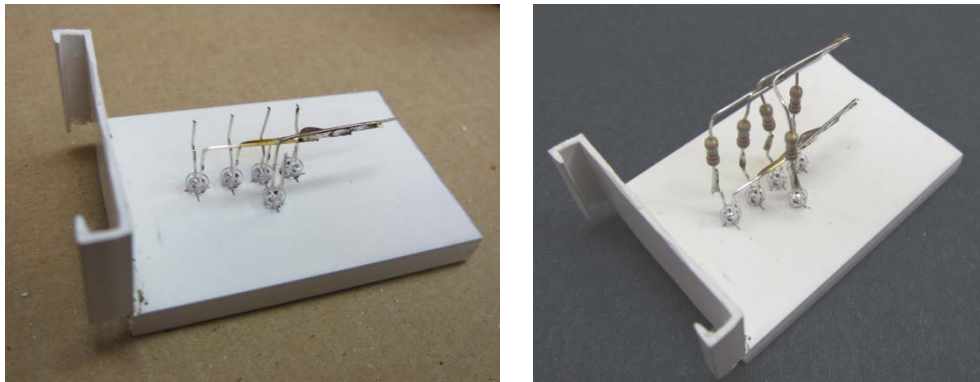
Obr. 12. Kolmost ohnutého dílu lze upravit po lehkém nahřátí hrotem páječky.

18. Výroba zdroje světla z LED – propojení diod:

Svítivé diody zastrkáme do připravených otvorů, jedny jejich přívody spojíme (spájíme dohromady), k druhému přívody připájíme vždy rezistor o odporu $120\ \Omega$, druhé konce rezistorů pak spájíme dohromady. Postup ukazují obr. 13 a 14.



Obr. 13. LED prostrčíme vyvrtanými otvory.



Obr. 14. Pak spojíme a spájíme jejich stejné póly (např. katody), ke druhému pólu každé LED připojíme rezistor 120Ω a jejich konce spájíme dohromady.

Pozor na polaritu! Všechny LED musí být připojeny se stejnou polaritou, jinak by nemohly svítit všechny naráz. Polaritu buď můžeme kontrolovat nějakou zkušičkou, nebo pomocí baterie se sériově zapojeným rezistorem 120Ω (nikoli bez tohoto rezistoru!). Nebo můžeme využít toho, že přívody LED mají různou délku – delší bývá anoda, tedy přívod připojovaný na kladný pól. Takže spojíme dohromady třeba všechny kratší přívody (katody, k těm pak budeme připojovat minus pól baterie); k delším přívodům pak napájíme rezistory. Před pájením můžeme přívody LED i rezistorů samozřejmě zkrátit.

19. Držáky matnic (stínítek) a clonek:

V kleštičkách (a v prstech) ohneme dvě kancelářské sponky asi 5-7 mm od kraje. (Do delší části pak půjde zasunout papír či čtvrtka.) Kratší ohnutou část pak přilepíme tavným lepidlem na kousek vršku elektrikařské lišty. Dvě takto přilepené sponky kousek od sebe budou držet stínítko či clonku dostatečně pevně.

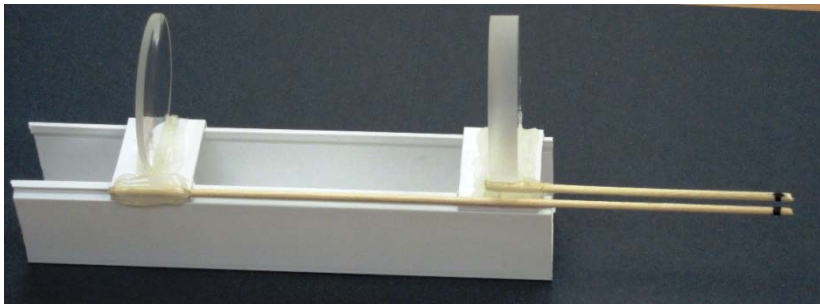


Obr. 15. Držák papírových stínítek a clonek.

Podobně bychom mohli vytvořit další prvky a doplňky k naší optické lavici.

Malé čočky lze například připevnit na držák ze šroubku M4 a ten pak pomocí dvou maticek upevnit na kousek vrchního dílu elektrikářské lišty. (V tomto případě je vhodné hlavičku šroubku úplně obalit tavným lepidlem nebo z kousku plastu udělat „podložku“, kterou nasadíme na šroubek, přišroubujeme a na ni přilepíme čočku.) Nebo lze takové čočky přilepit na dřevěný „sloupek“ z lišty a ten pak nalepit na kousek vrchní části lišty.

Zajímavým vylepšením je špejle rovnoběžná s optickou osou, přilepená k „nosiči“ čočky. Na špejli můžeme vyznačit polohy ohnisek. Pokud na optické lavici budeme dělat model Galileiho či Keplerova dalekohledu, uvidíme názorně, že polohy ohnisek budou při zaostření splývat.



Obr. 16. Na přilepených špejlích lze vyznačit polohy ohnisek.

Dalším možným vylepšením je nalepit na dolní lištu papírová měřítko (třeba z různých prodejen s nábytkem) a na „nosiče“ čoček nakreslit rysky, abychom mohli odečítat polohu čoček a dalších optických prvků.

Náměty na některé pokusy s optickou lavicí

S optickou lavicí z elektrikářské lišty lze zřejmě dělat naprostou většinu běžných pokusů popsanych v učebnicích a návodech na laboratorní úlohy. Následující soupis námětů je jen stručný a v žádném případě ne vyčerpávající; neklade si též přílišné nároky na exaktnost či podrobnost. Berte jej opravdu jako seznam podnětů pro vaši vlastní inspiraci.

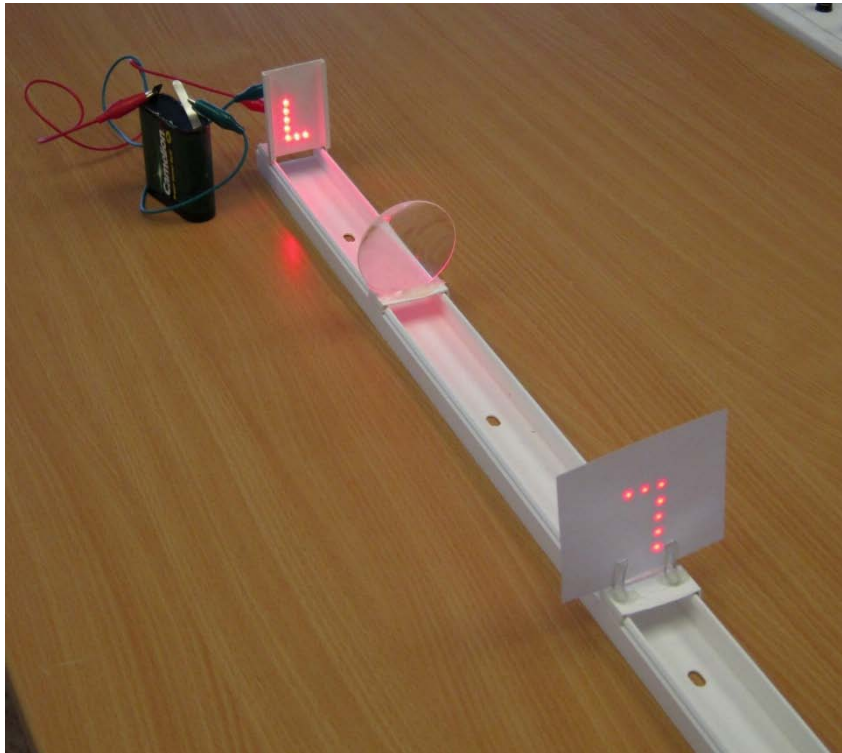
Zobrazení svítícího zdroje spojkou

Pro zobrazení využijeme zdroj z vysokosvitivých LED. Pro vzdálenost zdroje (a) a obrazu (a') platí známá rovnice $1/a + 1/a' = 1/f$. Pro spojkou s ohniskovou vzdáleností $f = 10$ cm nastává nejmenší vzdálenost obrazu a vzoru pro $a = a' = 20$ cm. Tato sestava optických prvků se nám právě ještě vejde na půlmetrovou optickou lavici, ale pro ilustraci zvětšeného a zmenšeného obrazu už moc rezervy nemáme. Vhodnější je proto mít lavici delší, například tři čtvrtě metru až metr.

Poznamenejme, že v čočkách z Meopty lze najít i čočky s kratší ohniskovou vzdáleností. Ty ale většinou mívají menší průměr, bývají tlustší a je-li taková čočka užita sama pro promítání obrazu, vykazuje většinou větší optické vady.

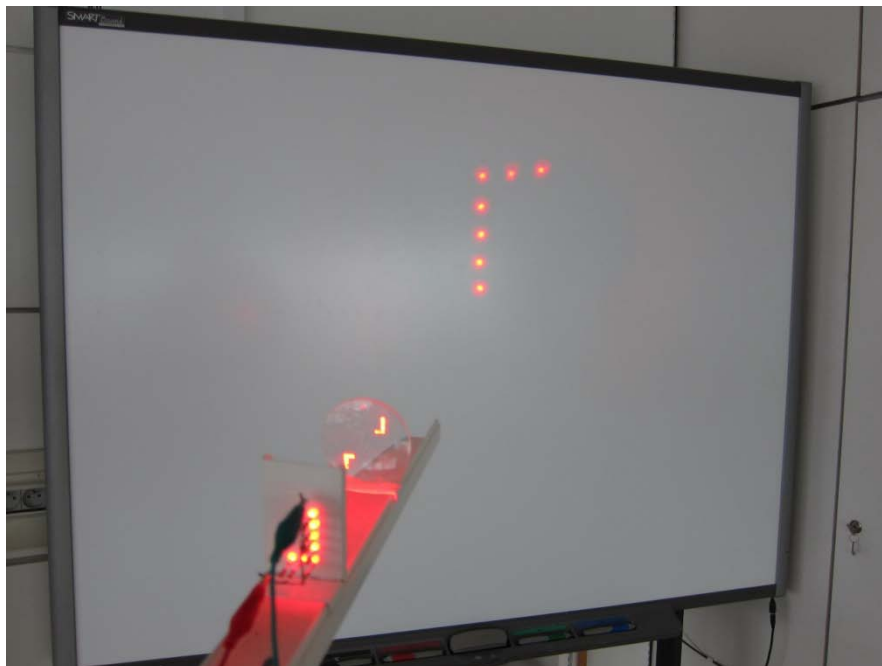
Příklad promítání na stínítko ukazuje obr. 17. Vidíme, že pokud použijeme stínítko z obyčejného papíru, můžeme obraz pozorovat i „zezadu“ a jasně vidět, že předmět a obraz jsou vzájemně středově souměrné. (Pokud pozorujeme obraz na stínítku ve směru „od čočky“, bude samozřejmě navíc ještě převrácený kolem svislé osy.) Rozmyslete si sami, jak to s předmětem a obrazem při pozorování z různých směrů je; v učebnicích je často

zobrazení čočkou kresleno jen při pohledu ze strany, což nemusí dát dobrou představu o reálném pokusu.

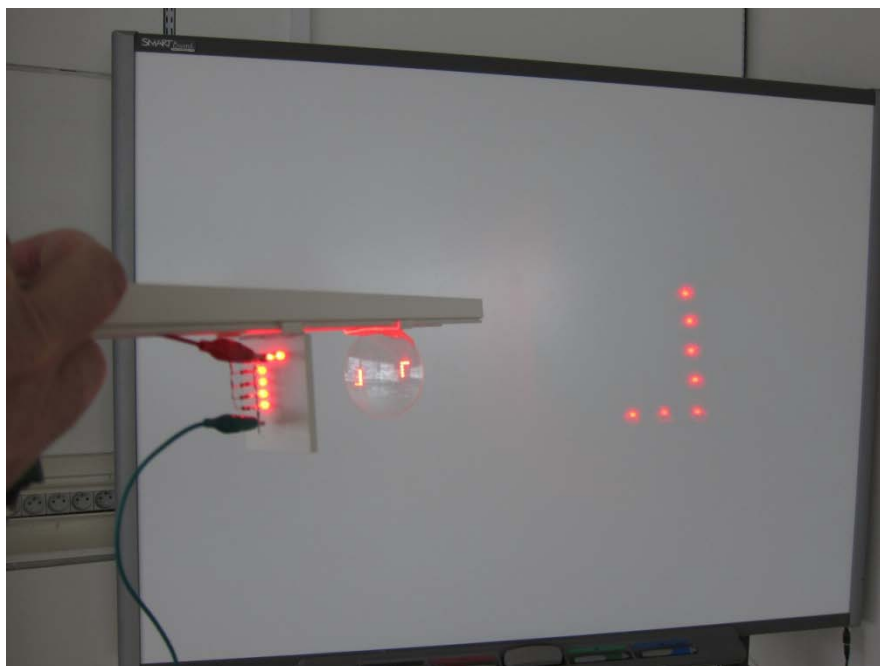


Obr. 17. Optická lavice vcelku: promítání zdroje z LED na papírové stínítko.

K docela efektním pokusům patří **promítání zdroje z LED na zeď**. Při tomto pokusu lze lavici držet i v ruce, jak to ukazuje obr. 18. Lavici přitom můžeme klidně otočit vzhůru nohama a pozorovat, jak se otáčí promítnutý obrázek – viz obr. 19.



Obr. 18. Optická lavice umožňuje promítat obraz na zeď...



Obr. 19. ... a lze ji otočit i vzhůru nohama.

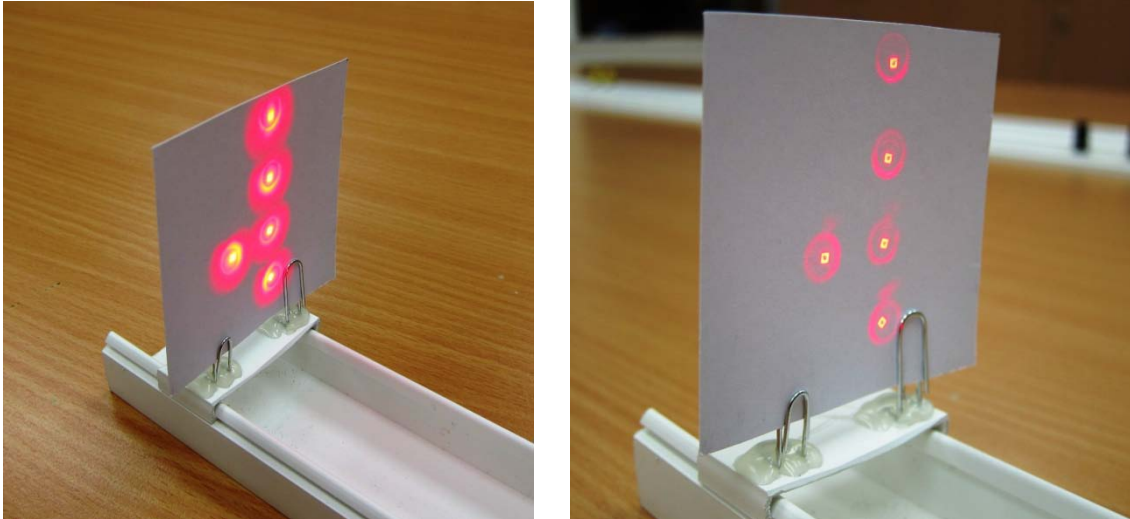
Pokud není místnost jasně osvětlena sluncem, nemusí se většinou ani nijak zvlášť zatemňovat. Při pokusu je vidět, že můžeme na zeď zaostřit buď vnější část LED, nebo její vnitřní strukturu. Pro tento pokus se hodí spíše spojka o delší ohniskové vzdálenosti (30 cm a více). Z jednoduchého geometrického náčrtku, jakých je v učebnicích spousty, je vidět, že zvětšení při promítání na 3 m vzdálenou zeď je asi 10x (přesněji: 9x). Promítnutý obrázek tedy bude mít velikost asi 30 cm, při dvakrát větší vzdálenosti zdi pak 60 cm. S čočkou o ohniskové vzdálenosti 10 cm je promítnutý obraz více než třikrát větší, ovšem promítnuté obrazy LED jsou méně jasné.

Při promítání svítícího zdroje na stínítko či zeď lze samozřejmě realizovat další související demonstrace či měření:

Zmenšení otvorové vady clonou

Pro tuto demonstraci je vhodnější silnější čočka o vyšší optické mohutnosti. Při zobrazení celou čočkou bývá obraz jakoby rozostřený i při nejlepším možném zaostření – tak, jak to ukazuje levá část obr. 20. (Dobře to bývá vidět při promítání na stínítko, zejména když máme skutečný zmenšený obraz.) Pokud těsně před nebo těsně za čočku umístíme clonku, obraz bude výrazně ostřejší. S clonkami s otvory různých průměrů lze demonstrovat, že menší otvor dá ostřejší, ale méně jasný obraz. V této souvislosti samozřejmě můžeme diskutovat funkci clony u fotoaparátu.

Lze také ukázat, že pro to, aby obrázek byl ostřejší, je třeba, aby střed otvoru byl na optické ose. Pokud je otvor výrazně mimo optickou osu, je otvorová vada opět jasně viditelná. Naopak lze ale takto demonstrovat (raději ale s méně tlustou čočkou), že obraz zdroje vytváří každá část čočky – prakticky tedy třeba i jen „střípek čočky“ kus od optické osy.



Obr. 20. Při zobrazení bez clony (vlevo) je obraz jasný, ale ne zcela zaostřený. Při zobrazení s clonou (vpravo) je obraz méně jasný, ale podstatně ostřejší. (V daném případě je zaostřeno na vnitřní strukturu LED.)

Měření ohniskové vzdálenosti spojky

Zde asi není co dodávat, v učebnicích optiky je popsáno více metod, v zásadě vždy vycházejících z čočkové rovnice. Pro tato měření by bylo dobré opatřit optickou lavici měřítkem.

Pokud svítí slunce, neměli bychom asi zapomenout na nejjednodušší měření, současně demonstrující, proč se ohnisku říká ohnisko. Zde se výhodně uplatní možnost vyměňovat stínítka: použijeme obyčejný papír, abychom zbytečně nepálili čtvrtku. Současně je vhodné žáky upozornit, že se Slunce nezobrazí přesně do jednoho bodu. Dobře je to vidět zejména s čočkami o delší ohniskové vzdálenosti, obraz Slunce přitom můžeme pozorovat skrz papír. Žákům to můžeme předložit jako problém. Pokud budou argumentovat otvorovou vadou, lze ukázat, že ani s clonou s menším otvorem nedostaneme jako obraz Slunce přesný bod. (Clonu ostatně můžeme potřebovat, aby nám stínítka nezačala hned hořet či doutnat.) Zde se otvírá možnost diskutovat úhlový průměr Slunce, resp. z jeho známé vzdálenosti, 150 milionů kilometrů, určit jeho skutečný průměr. Pro toto měření by bylo vhodné použít delší optickou lavici a čočku o menší optické mohutnosti, např. 1 D nebo méně. Čočky o tak malých optických mohutnostech v dodávkách z Meopty nejsou, takže buď musíme koupit takovouto spojku třeba v prodejnách typu Oční optika, nebo použít kombinaci spojky a rozptylky. (Takovouto kombinaci bychom mohli ostatně nalepit na společný „nosič“ z vršku elektrikařské lišty. Ovšem pak už by vlastně nešlo o tenkou čočku.)

Kombinace dvou čoček

Lze ukázat, že dvě spojky blízko sebe fungují jako spojka o vyšší optické mohutnosti, přičemž výsledná optická mohutnost je prakticky součtem optických mohutností obou čoček. (Alespoň pokud je vzdálenost čoček mnohem menší, než jsou jejich ohniskové vzdálenosti.) Naopak u kombinace spojky s rozptylkou se velikosti jejich optických mohutností odčítají. Z toho vychází i jedna z metod pro určení ohniskové vzdálenosti rozptylky.

Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky

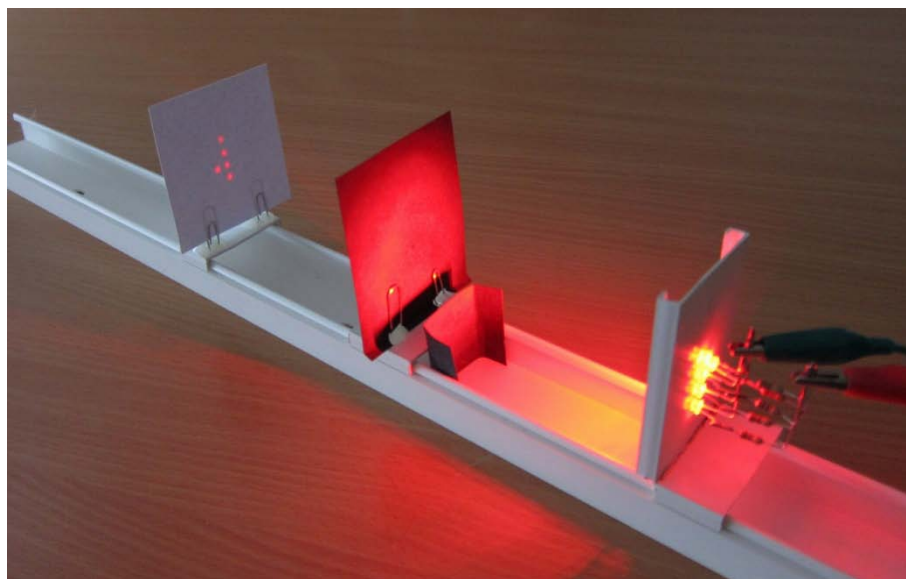
Pro změření ohniskové vzdálenosti rozptylky ji lze samozřejmě zkombinovat se spojkou o známé vyšší optické mohutnosti, změřit ohniskovou vzdálenost této kombinace a vzít rozdíl těchto hodnot.

Máme-li ale k dispozici svazek rovnoběžných nebo skoro rovnoběžných paprsků, třeba přímé sluneční světlo, lze proměřit, jak se svazek po průchodu rozptylkou rozbíhá, a z toho pak přímo určit ohniskovou vzdálenost rozptylky. Blíže je toto měření popsáno v [1]. Nítkami či delšími špejlemi těsně kolem rozptylky by šlo přímo názorně vyznačit, kde je v tomto případě zdánlivý obraz zdroje.

Demonstrace principu dírkové komory

Pro demonstraci nepotřebujeme žádnou čočku, jen clonku s velmi malým otvorem. Clonka by měla být neprůsvitná, použijeme proto černý papír; na papír by šlo též nalepit kus alobalu nebo staniolu. Otvor můžeme propíchnout tlustším špendlíkem a případně opatrně zvětšit třeba hrotem zahrocené špejle.

Obraz zdroje z LED pak otvorem promítáme na stínítko. Stínítko musí být dostatečně blízko, aby jas obrazu nebyl příliš slabý. (Promítat na zeď by šlo jen v zatemněné místnosti.) Lze ukázat, že větší otvor dá jasnější ale méně ostrý obrázek.



Obr. 21. Zobrazení otvorem demonstruje princip dírkové komory.

Poznamenejme, že clonka s otvorem nesmí být příliš blízko zdroje s LED (blíže než asi 5-10 cm), aby se světlo ze svítivých diod vzdálenějších od optické osy „strefilo“ do otvoru. Na clonce je ostatně vidět, jak je jednotlivými LED nasvícena. „Technická poznámka“: Aby obraz nerušilo světlo procházející pod nosičem clonky, můžeme ho zastínit kouskem tmavého papíru, jak to ukazuje obr. 21.

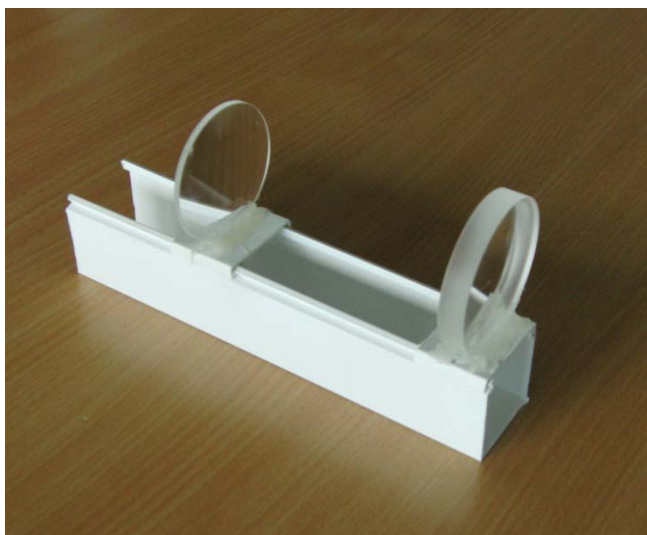
Galileiho dalekohled

Půjde spíše o model dalekohledu, protože nebudeme odstiňovat okolní světlo a dosáhneme nejvýše asi trojnásobného či čtyřnásobného zvětšení.

Pro objektiv potřebujeme poměrně „slabou“ spojku, tedy spojku s delší ohniskovou vzdáleností. Z čoček, které byly k dispozici z Meopty, měly nejslabší spojky optickou mohutnost asi 2,5 dioptrie (těch ale nebylo mnoho), další měly asi 3 až 3,5 D.

Pro okulár, který budeme přikládat přímo k oku, potřebujeme rozptylku o vyšší optické mohutnosti. Zkušenost ukázala, že dobře fungují rozptylky o optické mohutnosti asi 10 D (přesněji řečeno -10 D). U silnějších rozptylek už více vadily optické vady. (Je dobré si uvědomit, že u skutečných dalekohledů nejsou objektiv a okulár jednoduchými čočkami, ale kombinacemi čoček, které výrazně zmenšují optické vady. Nemůžeme tedy od našich modelů dalekohledů chtít stejně perfektní zobrazení, jako poskytují třeba profesionální triedry.)

Úhlové zvětšení je dáno poměrem ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru. (Pro Keplerův dalekohled to najdeme třeba v SŠ učebnici fyziky [4], pro Galileiho dalekohled je to obdobné.) Pro spojku s ohniskovou vzdáleností asi 30 cm a rozptylku s ohniskovou vzdáleností asi 10 cm bude tedy zvětšení trojnásobné. Při zaostření „na nekonečno“ ohniska objektivu a okuláru splývají (budou tedy 10 cm za rozptylkou, tudíž někde v naší hlavě, což nám samozřejmě nijak nevadí ☺), takže vzdálenost obou čoček bude 20 cm. Takovýto model dalekohledu můžeme postavit i na kratší kousek elektrikářské lišty, jak ukazuje obr. 22. (Jde o „starší model“ postavený na liště s průřezem 4 x 4 cm.)



Obr. 22. Model Galileiho dalekohledu.

Keplerův dalekohled

Opět půjde o model. Objektiv může zůstat stejný, okulárem bude „silnější“ spojka. Opět vyhoví spojka s mohutností okolo 10 D. Zvětšení bude stejné jako u Galileiho dalekohledu, pozorovaný obraz bude ovšem převrácený. Vzdálenost čoček objektivu a okuláru bude nyní součtem obou ohniskových vzdáleností, tedy asi 40 cm. Náš model Keplerova dalekohledu se tedy vejde na půlmetrovou optickou lavici.

Promítání obrazu Slunce dalekohledem

Našimi modely dalekohledů se samozřejmě nikdy nebudeme dívat do Slunce! (Zde je přirozené připomenout žákům, že Galileo Galilei při pozorování slunečních skvrn nakonec oslepl.) Ale obrázek Slunce přesto můžeme získat – a demonstrovat tak, že dalekohled nemusí vytvářet jen zdánlivý, ale i skutečný obraz. Astronomové, i amatérští, to

samozřejmě dávno znají a používají. Pro nás a pro žáky může být výzvou a zajímavým problémem rozmyslet si, jak může kombinace objektivu a okuláru vytvořit skutečný obraz, do jaké vzdálenosti umístit čočky, do jaké vzdálenosti stínítko, atd. Spíše než sluneční skvrny (kterých je v současných letech málo) asi zobrazíme například okraj mraků částečně zastiňujících Slunce, ale i tak jde o zajímavou ukázkou.

Pozorování malých předmětů spojkou – lupa

Zde opět není moc co dodávat. Potřebujeme co nejsilnější spojku; v praxi opět vyhoví spojky s optickou mohutností kolem 10 D. Malé předměty (např. kousky látky, novinového papíru apod.) můžeme přichytit přímo na stínítko; jinak asi optická lavice nenabízí o moc více než při běžném pozorování lupou drženou v ruce.

Model mikroskopu

Tohle už je větší výzva! Jak objektiv, tak okulár budou spojky s krátkou ohniskovou vzdáleností. (Pro okulár, opět s ohledem na optické vady, je vhodná spojka s optickou mohutností kolem 10 D, pro objektiv můžeme zkusit použít spojku o něco silnější.) Pro příslušné vzorce i názorné zobrazení chodu paprsků můžeme opět odkázat na středoškolskou učebnici [4] (nebo prakticky na libovolnou učebnici, v níž jsou partie z geometrické optiky).

V praxi je demonstrace modelu mikroskopu poněkud obtížnější, než modelů dalekohledů. Malý předmět, který chceme pozorovat, umístíme na stínítko do bodu odpovídajícího optické ose. Okulár dáme k oku a zkoušíme zaostřovat... Vyplatí se předem nastavit vzdálenost objektivu od okuláru a stínítka s předmětem od objektivu na hodnoty určené výpočtem z příslušných vzorců. Jinak jen metodou pokusu a omylu přesouváme jednotlivé prvky sem a tam a vidíme maximálně neostře obrázky jako lupou. (Nepřibližujte objektiv a okulár blízko k sobě, to by pak fungovaly spíše jako jediná čočka, tedy jako lupa. Tou lze sice také malé předměty pozorovat, ale nejde o demonstraci principu mikroskopu. V mikroskopu jsou objektiv a okulár vzdáleny více, než je součet jejich ohniskových vzdáleností.)

Když je nakonec zvětšený obraz vidět, je ostrý většinou jen ve středu zorného pole. Obraz je též značně citlivý na přesné zaostření. A platí podobná poznámka jako u dalekohledů: neočekávejte bůhvíjaká zvětšení a obraz stejných kvalit, jako u profesionálních (ani levných) mikroskopů. Jde opravdu jen o demonstraci principu.

Další možnosti

Jedním z dalších námětů by mohl být třeba „optický telefon“: LED na optické ose užitá jako vysílač. Proud do LED modulujeme signálem; buď zesíleným signálem třeba z MP3 přehrávače nebo z mikrofону, viz třeba [5] nebo starší konstrukci [6]. Ostatně optický telefon byl popsán už před více než 40 lety v časopise Amatérské rádio pod názvem „Laser chudého amatéra“ [7]. Tehdy ovšem byla zdrojem nikoli LED ale žárovka. (Žárovka ovšem „nevysílá“ dobře signály vyšších frekvencí, viz [8].)

Spojná čočka vytvoří z vyslaného světla přibližně rovnoběžný svazek. Na přijímací straně podobně spojnou čočkou soustředíme světlo do ohniska, do něhož umístíme fototranzistor. Ten můžeme zapojit přímo do mikrofonního vstupu zvukové karty počítače nebo jeho signál zesílit jednoduchým zesilovačem – viz výše zmíněné odkazy na literaturu.

Dalším možností a nápadům se samozřejmě meze nekladou...

Závěr

Optická lavice, kterou jsme zde popsali, je opravdu finančně velice nenáročná. Jestliže máme čočky zadarmo (jak je tomu díky Meoptě Přerov), pak nejnákladnější položku představují LED pro zdroje. Nakoupíme-li je ve větším počtu, pak i s rezistory vyjdou na méně než tři koruny za kus. Součástky na zdroj s pěti svítivými diodami pak stojí necelých patnáct korun. Půl metru elektrikařské lišty stojí pětikorunu, chceme-li lištu metrovou, musíme jako grandí přidat dalších pět korun. ☺ Něco stojí tavné lepidlo; něco kousek čtvrtky a pár kancelářských sponek. Celkové náklady se ale vejdu do pětadvaceti až třiceti korun. Čili zhruba tolik, kolik stojí jedna plochá baterie potřebná k napájení LED... Ani výroba deseti či patnácti optických lavic pro třídu by tedy nebyla z finančního hlediska likvidační. Takže daná optická lavice se opravdu hodí do období finanční krize – a ostatně i po ní následující rozpočtové odpovědnosti.

Samozřejmě, kdybychom počítali náklady na práci, stoupne cena naší lavice zhruba o řád. Ale odměnou při stavbě optické lavice může být nám i našim žákům něco jiného: Možnost „pohrát si“, vyzkoušet si „nové technologie“ (resp. jinou aplikaci technologií už běžných), zamyslet se nad tím, jaká fyzika a jak se zde uplatňuje. A případně lavici či její prvky doplňovat, upravovat a vylepšovat. (Ze semináře s budoucími učiteli fyziky například vzešel nápad nechat některou z LED ve zdroji blikat. Nebo například figurka panáčka z LED by mohla kráčet, tak jako je to na některých semaforech na přechodech v zahraničí.)

Přeji vám mnoho radosti při tvorbě, vylepšování a používání naší optické lavice.

Literatura

- [1] Dvořák L.: *Další nápady z Malé Hraštic: co s čočkami*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 15. Ed.: L. Drozd. Prometheus, Praha (v tisku).
- [2] Piskač V.: *Barevné čelovky a příliš mnoho mikrofonů*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 15. Ed.: L. Drozd. Prometheus, Praha (v tisku).
- [3] GM Elecronic maloobchod. Online <http://www.gme.cz/cz/> (cit. 14. 11. 2010).
- [4] Lepil O.: *Fyzika pro gymnázia. Optika*. Prometheus, Praha 2003
- [5] Polák Z.: *Náměty na pokusy s infračerveným zářením*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 15. Ed.: L. Drozd. Prometheus, Praha (v tisku).
- [6] Dvořák L.: *Pár věcí z tábora II – Tentokrát o světle*. In.: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 4. ZČU, Plzeň, 1999, s. 35-38. Dostupné online na http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_04/04_04_Dvorak.html (cit. 14.11.2010)
- [7] *Světelný telefon*. Amatérské rádio č. 8, 1964, s. 220-225.
Laser chudého amatéra. Amatérské rádio č. 9, 1964, s. 249-254.
(Pozn.: Ač je to zvláštní, ani u jednoho z obou článků není uveden autor.)
- [8] Dvořák L., Koupil J.: *Netradiční komunikační technologie a jednoduché měření jejich parametrů*. In: Sborník konference DIDFYZ 2004, „Informačno-komunikačné technologie vo vyučovaní fyziky“, Račkova dolina, SR, Ed.: Ľ. Zelenický. FVP UKF Nitra, 2005, s.297-302.