

**23. ročník, úloha VI. E ... kapička** (8 bodů; průměr 5,67; řešilo 6 studentů)

V této úloze budeme zkoumat kapičku vody jakožto optickou čočku. Nanesete-li kapičku vody na nějakou tenkou skleněnou nebo průhlednou umělohmotnou destičku, dostanete improvizovanou lupu – spojnou čočku. Zkoumejte ohniskovou vzdálenost a maximální zvětšení „kapkové lupy“ v závislosti na jejích rozměrech a porovnejte s teorií. Všimněte si různých zobrazovacích vad kapky. Speciálně prozkoumejte, co se děje, když naši lupu přiblížíme např. k barevnému displeji počítače.

*Nad zmoklým mobilem meditoval Marek Scholz.*

Kapičky jsme nanášeli na podložní sklíčko pro mikroskopování, a to injekční stříkačkou s jehlou. Menší kapičky byly vytvořeny nanesením z hrotu špejle. Zdroj světla v nekonečnu libovolná spojná čočka zobrazí do svého ohniska. Vzdálenost kapky a obrazu vytvořeného na stínítku odpovídá obrazové ohniskové vzdálenosti  $f$  kapky. Za zdroj v nekonečnu lze považovat např. Slunce. Nám však postačila obyčejná žárovka ve výšce 2 metry, neboť i tato vzdálenost je mnohem větší, než pozorované obrazové vzdálenosti (vzpomeň na zobrazovací rovnici).

Rozměry kapek byly určeny z digitální fotografie. Kapky nanesené na okraj podložního sklíčka byly nejdříve vyfoceny svrchu, přičemž na sklíčko vedle kapek byl přilepen kousek milimetrového papíru. Rovněž bylo sklíčko s kapkami vyfoceno z boku, kde nám jako srovnávací míra poslouží tloušťka skla 1 mm. V prohlížeči obrázků potom byly odměřeny rozměry kapek – průměr  $d$  a výška  $h$ . Kapku předpokládáme přibližně ve tvaru kulového vrchlíku, což fotografie potvrzují. Ohnisková vzdálenost byla odměřena šuplerou následujícím způsobem. Na jednu čelist šuplery jsme lepidlem připevnili podložní sklíčko, na druhou čelist pak stínítko – čtvereček tuhé čtvrtky. Šupleru jsme posouvali dokud nebylo na čtvrtce co nejlépe zaostřeno vlákno žárovky, a tato vzdálenost byla zaznamenána. Je obtížné rozhodnout, kdy je obraz nejostřejší, a proto bylo trochu zbytečné měřit vzdálenosti šuplerou. Bohatě bychom si vystačili jednoduchým posouváním sklíčka po pravítku či trojúhelníku. Při měření je dobré neotálet, protože se kapka vypařuje.

Poloměr křivosti  $R$  pak vypočteme pomocí Pythagorovy věty, a sice

$$R = \frac{\frac{1}{4}d^2 + h^2}{2h}. \quad (1)$$

Takzvaná rovnice výrobců čoček<sup>1</sup> umožňuje pomocí poloměrů křivosti  $R_1, R_2$  ohraničujících kulových ploch určit ohniskovou vzdálenost čočky ve vzduchu,

$$\frac{1}{f} = \frac{(n-1)^2 h + n(R_2 - R_1)}{nR_1R_2}, \quad (2)$$

kde  $n$  značí index lomu materiálu čočky. V našem případě je jedna stěna kapky rovinná, tudíž  $R_2 = \infty$ . Potom se rovnice (2) zjednodušuje až na

$$f = \frac{R}{n-1}. \quad (3)$$

Ještě si musíme uvědomit, že světlo prochází skrz sklíčko indexu lomu  $n_s$  a tím se posouvá obraz o  $b(1 - 1/n_s) \approx 0,3$  mm, a toto posunutí od naměřených vzdáleností odečíst.

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce a v grafu. Z naměřených rozměrů je vypočten podle (1) poloměr křivosti kapky. S použitím indexu lomu vody  $n = 1,33$  je dle (3) určena

<sup>1</sup>) Petr Malý: Optika, Karolinum, 2008

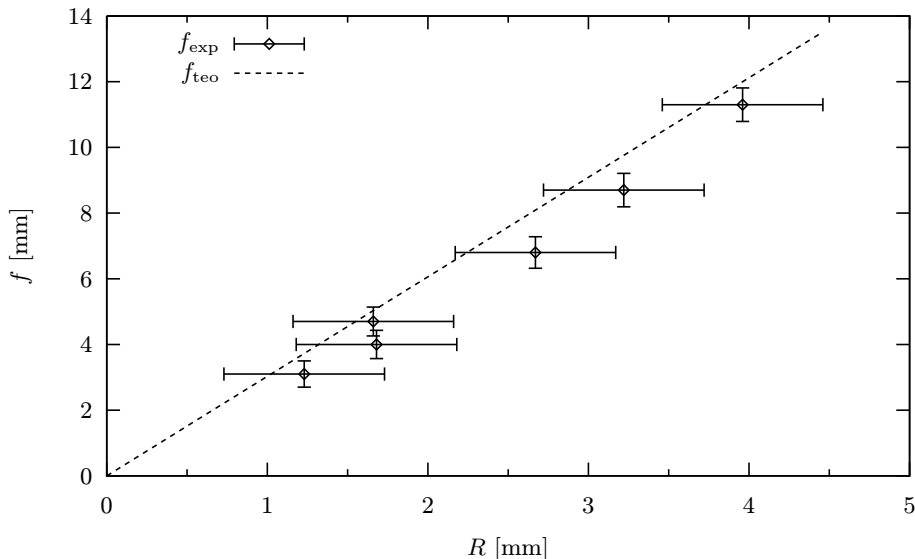
teoretická předpověď ohniskové vzdálenosti, kterou porovnáváme s měřením (v tabulce značeno po řadě indexy *teo* a *exp*). Chyba teoretické předpovědi vychází z odhadu nepřesnosti určení *d* a *h*, které odhadujeme po řadě na 0,4 mm a 0,1 mm, nepřesnost měření ohniskové vzdálenosti je odhadnuta na 0,5 mm.

Je patrné, že větší kapky mají menší poloměr křivosti a větší ohniskovou vzdálenost, což vede k menšímu zvětšení. Naměřené ohniskové vzdálenosti jsou systematicky menší než ty vypočtené, ovšem v rámci chyby se shodují.

Tabulka výsledků měření

číslo měření	<i>d</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>R</i> [mm]	<i>f</i> <sub>teo</sub> [mm]	<i>f</i> <sub>exp</sub> [mm]
1	2,04	0,55	1,2 ± 0,4	3,7 ± 1,2	3,1 ± 0,5
2	2,73	0,70	1,7 ± 0,4	5,1 ± 1,3	4,0 ± 0,5
3	2,63	0,65	1,7 ± 0,4	5,0 ± 1,3	4,7 ± 0,5
4	4,04	0,92	2,7 ± 0,5	8,1 ± 1,5	6,8 ± 0,5
5	4,70	1,02	3,2 ± 0,5	9,8 ± 1,6	8,7 ± 0,5
6	5,97	1,36	4,0 ± 0,5	12,0 ± 1,5	11,3 ± 0,5

Zvětšení kapky jakožto lupy jsme zkoušeli určit pozorováním dvou blízkých měřítek, přičemž jedno pozorujeme přes lupu a druhé jen okem. Pro pozorování byla použita kapka číslo 6. Maximální prakticky použitelné zvětšení bylo určeno jako čtyřnásobné, přestože teoreticky by mohlo dosahovat až hodnoty *d/f*, kde *d* = 25 cm je konvenční zraková vzdálenost. Při snaze o další zvětšení již začaly dominovat zobrazovací vady a obraz se stal nečitelným.



Obr. 1. Výsledný graf závislosti ohniskové vzdálenosti na poloměru kapičky

Kulatý povrch čočky, byť by byl dokonalý, nezajistí ostré zobrazení, protože okrajovým částem čočky odpovídá jiná ohnisková vzdálenost, než jejímu středu. Tím méně bude obraz ostrý pro naši kapku. Zvláště u větších kapek se projeví zploštění v důsledku vlastní tíže, což vede ještě k většímu rozdílu ohniskových vzdáleností středu a okrajů. Rozdílné poloměry křivosti

na různých místech kapky a její nepravidelný tvar se projeví tím, že předmět, např. Slunce nebo vlákno žárovky, nelze zcela zaostřit, kolem nejsvětější skvrny je ještě světlý „obláček“ a obraz jeví různé deformity. Deformaci obrazu lze nejlépe sledovat pozorováním pravidelného rastru skrz kapku, např. milimetrového papíru. Okrajové části kapky jsou zpravidla zakřivenější a více zvětšují, což se projeví rozestupováním linek rastru při okraji kapky. Hovoříme potom o poduškovitém zkreslení. Zobrazujeme-li na stínítko Slunce, které svítí pod určitým úhlem k optické ose kapky, obraz připomíná tvarem kometu a hovoříme pak o vadě s názvem koma. Barevná vada se u kapkové čočky tolik neprojeví, protože dříve jmenované vady jsou daleko silnější.

Kapička na barevném dipleji notebooku nebo mobilního telefonu umožňuje pozorovat barevné složení pixelu. Vedle sebe jsou červená, zelená a modrá políčka. Různých barev je dosaženo změnou intenzity jednotlivých barevných políček. V bílém pixelu svítí všechna barevná políčka, v žlutém pixelu pouze červená a zelená, ve fialovém jen červená a modrá. Zvědavci si jistě všimli rozdílného rozložení barevných elementů v LCD a CRT monitoru počítače.

Došlá řešení nás potěšila svou vysokou úrovní a nápaditostí, vámi získané výsledky byly pěkné. *Dominika Kalasová* dokonce experimentální úlohu pojednala jako vědeckou práci.

*Marek Scholz*

[mara@fykos.mff.cuni.cz](mailto:mara@fykos.mff.cuni.cz)

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky

UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.