

Zadání I. série



Termín odeslání: 26. října 1998

Milí přátelé!

Vítáme vás v dalším ročníku Fyzikálního korespondenčního semináře. Podrobnější informace o semináři najdete v příloženém letáku. Na tomto místě uvádíme jen několik důležitých věcí.

S první sérií nám, prosím, pošlete na zvláštním papíře vaše jméno, příjmení, datum narození, adresu pro korespondenci, školu, třídu, ročník a kategorii (kat. 1., 2., 3. nebo 4. ročníků). Řešení každé úlohy pište na **zvláštní papír** a všechny papíry podepište.

Na vaše řešení se již dnes těší

Vaši organizátoři

Úloha I. 1 ... srdce

Lidské srdce napumpuje za minutu $q = 5\text{ l}$ krve při tlaku $p \approx 100\text{ mmHg}$. Kolik dní by byla schopna konat stejnou práci standardní autobaterie s účinností $\eta = 50\%$? ($Q = 48\text{ A}\cdot\text{h}$, $U = 12\text{ V}$)

Úloha I. 2 ... brždění na motocyklu

Vzdálenost mezi osou předního a zadního kola motocyklu je $d = 1,4\text{ m}$, jejich poloměr je $r = 0,3\text{ m}$ a koeficient tření mezi pneumatikami a silnicí je $f = 1$. Těžiště motocyklu je uprostřed mezi osami, ve výšce $h = 0,8\text{ m}$ nad zemí. Spočtěte minimální brzdnou vzdálenost pro počáteční rychlost motocyklu $v = 60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, jestliže řidič používá

- jen zadní brzdu
- jen přední brzdu
- obě brzdy

Zamyslete se nad získanými výsledky a zkuste je porovnat s vaší zkušeností.

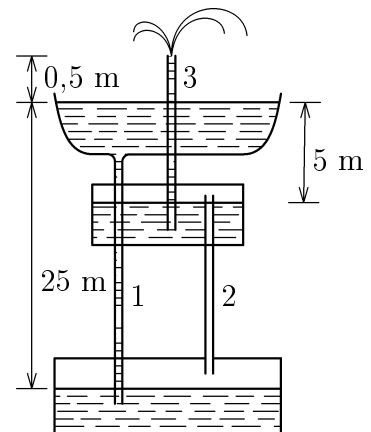
Úloha I. 3 ... fontána

Na obrázku 1 je nakreslen důmyslný systém nádržek. Spočtěte rychlost vody vystřikující z trubky 3. Viskozitu vody zanedbejte.

Úloha I. 4 ... roztržitý výletník

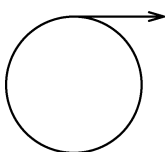
Roztržitý výletník zaparkoval své auto na kopci se sklonem $\alpha = 10^\circ$ a zapomněl jej zabrzdít. Jaké maximální rychlosti auto dosáhne? Parametry auta jsou: hmotnost $m = 1200\text{ kg}$, výkon $P = 55\text{ kW}$, maximální rychlost na rovné silnici $v_{\text{max}} = 140\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Předpokládejte že, odpor automobilu je úměrný druhé mocnině rychlosti.



Obr. 1

Úloha I. P ... planetka



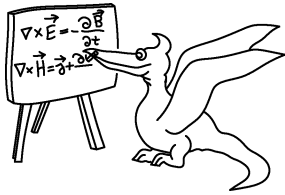
Obr. 2

Mějme ve volném prostoru planetku (pro jednoduchost uvažujme, že planetka je homogenní koule o hmotnosti m a poloměru R), na jejíž povrch připevníme raketový motor. Motor je pro ideální zařízení, které má nulovou hmotnost a bez ohledu na cokoli dokáže vyvíjet určitý tah F . Motor je upevněn k povrchu planetky a nemůže se od něho odpoutat. Upevněn je tak, aby vyvíjený tah měl směr tečný k povrchu — viz obr. 2. Určete, alespoň

kvalitativně, jak se bude planetka pohybovat po uvedení motoru v činnost.

Úloha I. Exp ... var vody

Změřte měrné skupenské teplo vypařování u vody. Předpokládejte, že znáte měrnou tepelnou kapacitu vody a z rychlosti ohřívání spočtete užitečný příkon vařiče. Nespalte se!



Seriál na pokračování

Letošní seriál na pokračování bude věnován modernímu výkladu optiky. Pokusíme se vás přesvědčit, že optika nejsou jen obyčejné čočky, ale v posledním století to jsou i lasery, holografie, optické komunikace, chlazení atomů hluboko k absolutní nule...

Ale k tomu všemu se dostaneme teprve postupem doby. Nejdříve se podíváme, co dokáže dnešní optika s prostředky objevenými v minulých stoletích. Náš dnešní pohled bude směřovat především do astronomie. V dalších dílech seriálu se ještě vrátíme k některým dalším optickým aplikacím, které jsou založeny na principech paprskové optiky. Pak si povíme něco o tom, proč lidé vymysleli vlnovou optiku a k čemu je dobrá, podíváme se na to, jak funguje optické vlákno. Samozřejmě nezapomeneme na to, čím si do optického vlákna svítíme — na laser. To už sice spadá do tzv. kvantové optiky, ale nebojte se, i bez znalostí kvantové mechaniky se obejdeme a vše, jak doufám, snadno pochopíte. A když už budeme vědět, jak funguje laser, tak se ještě podíváme na to, jak zařídit, aby laser generoval krátké světelné impulsy, kterými můžeme „fotografovat“ velmi krátké procesy (až 10^{-15} s). A jestli zbyde čas a místo, tak si řekneme, jak funguje metoda na ochlazování atomů, za kterou byla udělena Nobelova cena za fyziku v roce 1997.

Dost bylo řečí, přikročme k vlastnímu výkladu. Ale pěkně od začátku. Základem veškeré optiky je světlo. Vynalezl ho Bůh a to hned první den světa. Bible to popisuje takto: „I řekl Bůh: Budiž světlo! I bylo světlo.“

Historie optických přístrojů začíná vynálezem *brýlí* na konci 13. století. Jako autoři jsou uváděni Roger Bacon a Salvino degli Armati. Asi nejjednodušším zařízením je *camera obscura* Leonarda da Vinciho. Je to prostá dírková komora. Funguje tak, že na určitý bod stínítka mohou dopadnout pouze paprsky přicházející z určitého směru, tj. z otvoru. Čím menší otvor se nám podaří vyrobit, tím slabší a ostřejší obraz vznikne na stínítku. S obskurní kamerou se můžete setkat i volně v přírodě. Například mezírky mezi listy košatého stromu způsobí, že se na zemi pod stromem objeví malá sluníčka. A kdyby zrovna bylo částečné zatmění Slunce, byly by vidět malé měsíčky. Na přelomu 16. a 17. století se objevují jednoduché mikroskopy. Holanďan Leeuwenhoek s tím svým objevil nálevníky a bakterie.

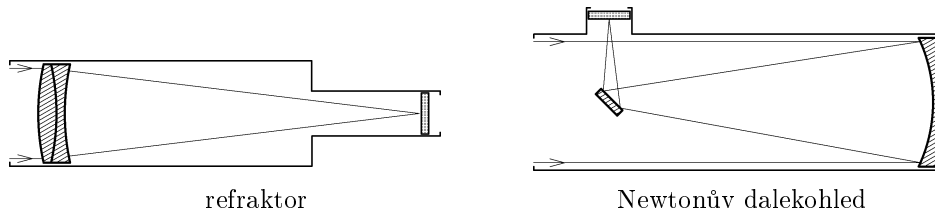
Astronomické dalekohledy. Hlavní částí dalekohledu je *objektiv*, který vytváří obraz předmětu v ohniskové rovině. Obraz sledujeme *okulárem* jako lupou. Objektivy mohou být tvořeny soustavou čoček — takovému dalekohledu pak říkáme *refraktor*, nebo zrcadel — tzv. *reflektor*. Základním parametrem dalekohledu je *průměr objektivu*, neboť tím je určeno, kolik světla je schopen dalekohled soustředit (pro porovnání — lidské oko může mít průměr vstupní pupily až 8 mm).

Dosud nikdo nevymyslel dalekohled, který by neměl žádnou vadu. Pro konkrétní pozorování se vybere ten nejvýhodnější systém, a proto se můžeme s většinou následujících typů setkat na světových observatořích, hvězdárnách i u astronomů amatérů.

- i) **Refraktor.** První čočkový dalekohled sestrojil holanďan H. Lippershey r. 1608, ale na oblohu se poprvé podíval až o dva roky později Galileo Galilei. Jeho dalekohled měl objektiv tvořený spojkou a okulár rozptylkou. V r. 1610 Johan Kepler navrhnul dalekohled, jehož

okulárem je spojka. Dnes se refraktory konstruují s vícečočkovými objektivy, aby se snížily jejich optické vady (viz níže) a také okuláry jsou podstatně složitější.

- ii) **Gregory.** Zrcadlový dalekohled přišel na svět až r. 1661. Gregoryho přístroj měl jako objektiv parabolické zrcadlo, uprostřed byl vyvrtaný otvor. Pomocné eliptické zrcátko bylo umístěno za ohniskem objektivu a odráželo paprsky zpět do otvoru v hlavním zrcadle.



- iii) **Newton.** Isaac Newton r. 1671 namísto eliptického zrcátka použil rovinné a světlo vyvedl na stranu tubusu. Tento dalekohled je dnes mezi astronomy amatéry velice populární, zvláště v kombinaci s Dobsonovou montáží. Tubus je volně uložen v těžišti na destičkách vyrobených z teflonu, který má velký rozdíl mezi statickým a dynamickým třením.
- iv) **Cassegrain.** Dalšího zkrácení tubusu dalekohledu lze dosáhnout zařazením vypuklého hyperbolického zrcátka, které nejen odráží paprsky do otvoru v hlavním zrcadle, ale navíc prodlužuje ohniskovou vzdálenost.
- v) **Coudé.** Svazek paprsků odrážejících se od hlavního zrcadla dopadá na pomocné vypuklé zrcadlo, od kterého se pomocnými rovinnými zrcadly vyvádí do polární osy montáže. Ohnisko tedy leží stále na stejném místě nezávisle na tom, kam míří dalekohled. To je výhodné zejména ve velkých spektrografech. Tento systém můžete najít například na našem největším dalekohledu — Ondřejovském dvoumetru.
- vi) **Ritchey–Chrétien.** Dalekohled je podobný typu Cassegrain, ale primární i sekundární zrcadlo je hyperbolické. Potlačíme tím sférickou aberaci a komu. Jedná se o moderní systém, který je použit i na Hubblově kosmickém dalekohledu.
- vii) **Schmidt.** Tento systém se používá jako fotografická komora. Objektivem je sférické zrcadlo, jehož optické vady jsou odstraněny korekční deskou. Tato čočka je uprostřed vybroušena jako spojka, na okrajích jako rozptylka a umísťuje se do dvojnásobné ohniskové vzdálenosti od zrcadla. Ohnisková rovina je sférická, fotografický film se tedy musí zdeformovat.
- viii) **Maksutov.** Sférickou aberaci kulového zrcadla lze odstranit též zařazením menisku, jak je tomu u systému Maksutov.

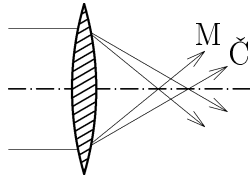


Schmidtova a Maksutovova komora

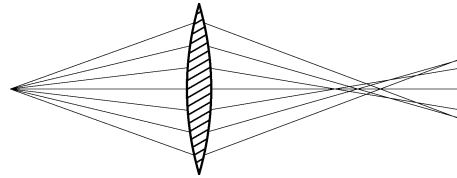
Pokud by Vás zajímalo, jak velké dalekohledy je člověk schopen postavit, vězte, že největší refraktor o průměru objektivu 102 cm mají na Yerkes Observatory, USA. Funguje už více než sto let. Mezi reflektory si primát zatím drží dvojice dalekohledů Keck I a Keck II na sopce Mauna Kea, na Havajských ostrovech. Zrcadla nejsou vyrobená z jednoho kusu, ale ze 36 šestiúhelníkových segmentů, celkový průměr činí 10 m. Velmi důležitou úlohu u nich hraje tzv. *aktivní optika*, což je systém citlivých detektorů a podpěr spojených přes počítač, který zajišťuje dokonalý tvar zrcadla.

Optické vady. Při každém průchodu světla optickým rozhraním je část světla pohlcena a část odražena. Abychom tyto ztráty světla minimalizovali, snažíme se konstruovat astronomický dalekohled s co nejmenším počtem optických členů. Je to trochu v protikladu s požadavkem na ideální obraz bez optických vad, obecně totiž platí, že ke korekci každé optické vady potřebujeme jedno optické rozhraní. Zde je stručný výčet optických vad, které jsou nápadné, zvláště když pozorujete hvězdné nebe.

- i) **Chromatická aberace.** Příčinou chromatické aberace (česky: barevné vady) je závislost indexu lomu světla na vlnové délce (nepřímá úměra). Při zobrazování bodového zdroje bílého světla jednoduchým čočkovým objektivem dostaneme v ohniskové rovině neostrý, na okrajích zabarvený obraz. Řešením je buď použití zrcadlového objektivu anebo *achromátu*, který tvoří spojka z korunového skla a rozptylka z flintového skla, které má větší index lomu. Rozptylka musí mít větší ohniskovou vzdálenost než spojka, aby výsledná soustava byla spojná.

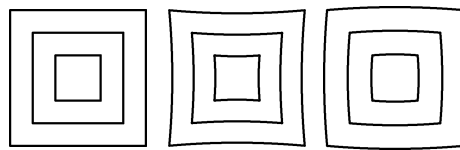


Barevná vada



Otvorová vada

- ii) **Sférická aberace.** Též otvorová chyba — je způsobena kulovým tvarem čoček nebo zrcadel. Paprsky procházející spojnou čočkou dále od optické osy se lámou více než paprsky blízko optické osy (paraxiální). U rozptylky je tomu opačně, a proto můžeme sférickou a zároveň chromatickou aberaci korigovat vhodnou kombinací spojky a rozptylky. U zrcadel lze tuto chybu napravit přechodem od sférické plochy k parabolické anebo použitím korekční čočky (Schmidtův dalekohled) a menisku (Maksutovův dalekohled).
- iii) **Koma.** Při komě se bodový zdroj mimo optické osy zobrazí ve tvaru komety s jasným jádrem a širokým vějířem směřujícím od středu zorného pole. Objektiv s potlačenou komou se nazývá *aplanát*.
- iv) **Astigmatismus.** Astigmatické svazky nevytvářejí nikde bodové ohnisko. Obrazem bodového zdroje je krátká úsečka (v rovinách zvaných fokály) nebo neostrý kroužek (mezi fokálami). Astigmatismus a koma se vyskytují i u parabolických zrcadel.
- v) **Sklenutí.** Tato vada spočívá v tom, že rovina kolmá na optickou osu se zobrazí jako část křivé plochy (viz Schmidtova komora). Při pozorování obrazu okulárem tedy nelze zaostřit obraz v celém zorném poli.
- vi) **Distorze.** Při zkreslení zorného pole se správně zobrazují jednotlivé body, jejich konfigurace je však narušena. Na obrázku je vidět, že čtvercová síť se může zobrazit ve tvaru *podušky* nebo *soudku*.



Úloha I. S ... dalekohledy a čočky

a) Kolikrát slabší hvězdy bude schopen zaznamenat dalekohled VLT, který se staví na La Silla, Chile, než lidské oko? Je vybaven čtyřmi zrcadly, každé má průměr 8 m, expoziční doba pořizovaných snímků je 1000 s. Lidské oko shromažďuje světlo po dobu asi 0,2 s.

b) Vymyslete jednoduchou metodu, kterou rozlišíte spojky od rozptylek s velkými ohniskovými vzdálenostmi (> 20 m), tj. že spojky nefungují jako lupa. Jediné pomůcky, které máte, jsou vaše oči, ruce, mozek a okolní zdi. (Nápověda: sežeňte třeba brýlovou spojku a rozptylku a experimentujte.)

Jan Hradil & Miroslav Brož

Naše adresa: FYKOS, KTF MFF UK

V Holešovičkách 2, 180 00 Praha

<http://www.mff.cuni.cz/iso/news/fks>