

Modely zrcadlových dalekohledů

Filip Hložek

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Představíme dva jednoduché 2D modely zrcadlových dalekohledů, které lze využít k demonstračním pokusům na magnetické tabuli. Tyto modely lze snadno vyrobit s pomocí 3D tisku a několika dalších pomůcek.

Úvod

Dalekohledy jsou atraktivním tématem pro žáky, přitom na ně ve výuce často není prostor (jsou probírány jako rozšiřující učivo). Dvojměrné modely čočkových dalekohledů existují v několika školních experimentálních optických sadách, zrcadlové ale v podstatě nenajdete. Přitom největší dalekohledy světa (Hubble Space Telescope, Very Large Telescope, budoucí Extremely Large Telescope a další) jsou právě zrcadlové.

Zde uvedené náměty na začlenění dalekohledů do výuky můžete použít jako demonstrační experiment, samostatné práce žáků nebo jako dlouhodobý projekt. Jsou vhodné pro žáky na 2. stupni ZŠ, na střední škole a v odpovídajících ročnících gymnázií. Práce s modely otevírá prostor k diskusi se žáky o dalších typech dalekohledů a optických vadách.

Typy dalekohledů

Dalekohledy můžeme dělit do tří skupin: čočkové (refraktory), zrcadlové (reflektory) nebo čočkovo-zrcadlové (katadioptrické). Zde popisované modely jsou reflektory – Newtonův a Cassegrainův, které jsou často používány astronomy amatéry. Podívejme se, jaké části tyto teleskopy obsahují (viz [1], kde je popsáno mnoho dalších typů dalekohledů, jak čočkových tak zrcadlových):

Newtonův dalekohled: Nejjednodušší reflektor tvořený dvěma zrcadly obsahuje parabolické primární zrcadlo a rovinné sekundární zrcadlo, které je vzhledem k optické ose otočeno o úhel 45° a paprsky jsou tak vedeny do boku tubusu. Aby byl zástin primárního zrcadla co nejmenší, měli bychom půdorys sekundáru vyříznout eliptický.

Cassegrainův dalekohled: Primární zrcadlo je opět parabolické, sekundární je však vypuklé hyperbolické. Paprsky se od sekundáru odrážejí zpět k primáru. Proto je v parabolickém zrcadle otvor, kterým paprsky projdou do sekundárního ohniska. Největším dalekohledem tohoto typu je Haleův teleskop v Palomaru v Kalifornii. (Ve skutečnosti funguje ve třech možných konfiguracích – Newton, Cassegrain a Coudé, ale v konfiguraci Cassegrain se používá nejčastěji.)

Optické vady zrcadel

Astronom se u modelů musí vypořádat s mnoha optickými vadami. V těchto modelech lze pozorovat zejména dvě (pro rozsáhlý přehled vad dalekohledů odkazujeme opět na [1]):

Kulová vada: V případě kulového zrcadla klesá ohnisková vzdálenost paprsků s rostoucí vzdáleností od optické osy. Paprsky rovnoběžné s optickou osou se tedy neodrážejí do jednoho bodu. U parabolických zrcadel se tato vada nevyskytuje.

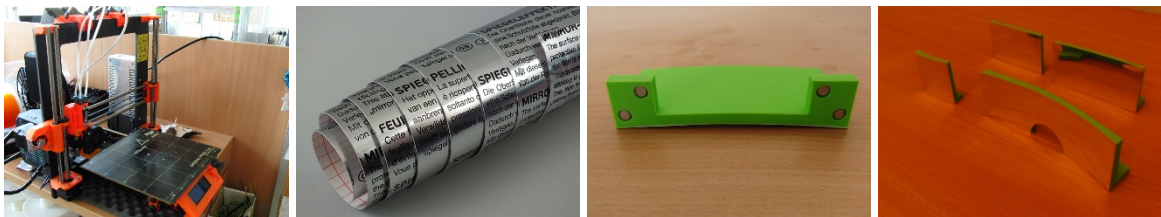
Koma: Vzniká, když svazek paprsků dopadá na paraboloid zešikma (mimoosový svazek). Obrazem bodu je pak protáhlá ploška připomínající tvarem kometu (odtud název). Jde o nejvýraznější vadu Newtonova i Cassegrainova dalekohledu.

Aktivity s modely Newtonova a Cassegrainova dalekohledu

Vytvoření modelu

Už samotné vytvoření modelu může být zajímavou aktivitou pro žáky. Prvky k vytištění na 3D tiskárně naleznete připravené na stránce [2], nicméně zručnější žáci jsou schopni takové modely zrcadel připravit v grafickém programu sami (například v rámci kroužku nebo semináře).

Postup výroby je znázorněn na obrázku 1. Stažené nebo vytvořené modely vytisknete na 3D tiskárně. Na přední část modelu přilepíte odrazivou fólii. V předpřipravených modelech jsou ve spodní části otvory, kam lze vlepít neodymové magnety (nejlépe vteřinovým lepidlem). To umožňuje demonstrační použití na magnetické tabuli. Pokud chcete nechat žáky pracovat s optickými prvky položenými na lavici, jsou magnety zbytečné.

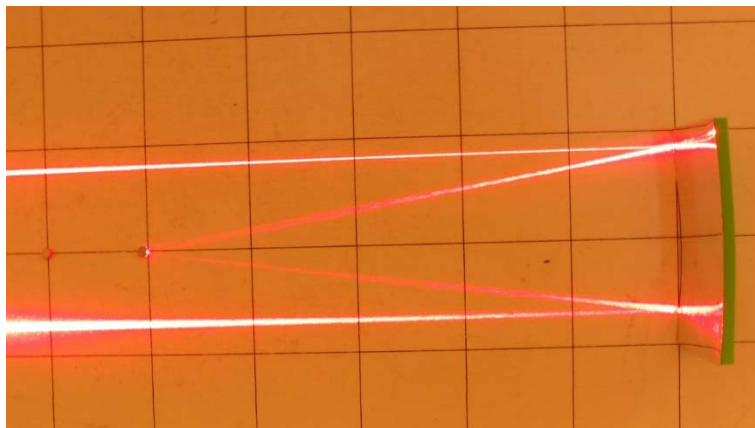


Obr. 1. Schematicky znázorněný postup výroby modelu.

Na stránce [1] jsou k dispozici také nákresy obou dalekohledů. Ty umožňují snadné umístění zrcadel na vyznačená místa. Nákres vytiskněte na papír ve formátu A3. Při samostatné práci žáků je ovšem lepší nechat je pracovat bez nákresu, aby mohli sami přijít na vhodné uspořádání zrcadel.

Určení ohniskové vzdálenosti zrcadel

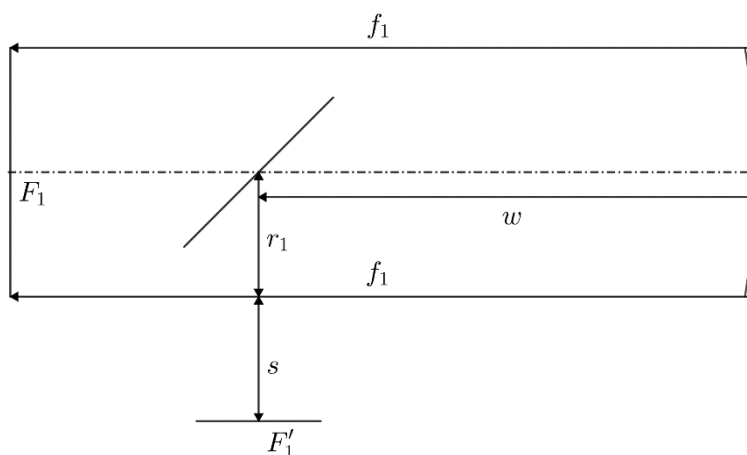
Takováto úloha se dělá běžně v rámci hodiny nebo laboratorní práce. Je příhodné využít k tomu právě tyto modely zrcadel. Nalepením zrcadlové fólie se totiž může změnit ohnisková vzdálenost, kterou by „zrcadlo“ (samotná plocha modelu) mělo mít bez ní. Na obrázku 2 vidíte situaci, kdy se původně navržená $f=30$ cm zmenšila u modelu parabolického zrcadla na 25 cm. Na ohniskových vzdálenostech pak závisí rozmístění komponent dalekohledu. Místo k položení zrcadel mohou žáci určit „od oka“ nebo s využitím geometrických vztahů (viz dále).



Obr. 2. Určení ohniskové vzdálenosti parabolického zrcátka. Nalepení odrazivé fólie zkrátilo původně navrženou ohniskovou vzdálenost z 30 cm na 25 cm.

Geometrické vztahy

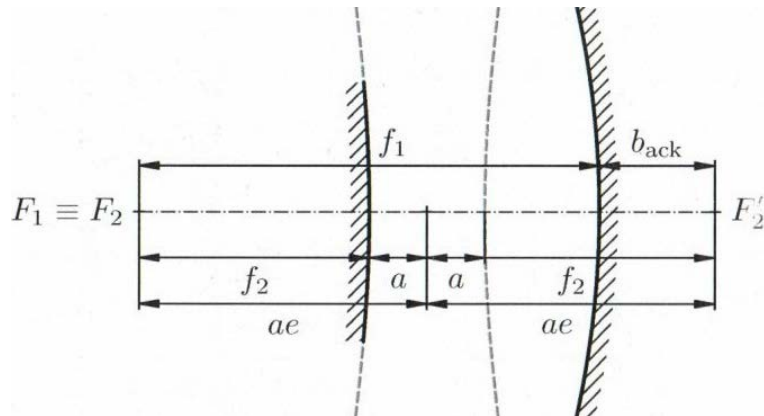
Z nákresu Newtonova dalekohledu, viz obrázek 3, lze jednoduše odvodit rozložení ohniskové vzdálenosti f_1 na součet vzdálenosti primáru a sekundáru w , poloměru tubusu r_1 (myšlena poloviční šířka vytištěného zrcadla) a vzdálenosti s výsledného ohniska od okraje tubusu: $w + r_1 + s = f_1$. Tento vztah mohou žáci odvodit sami, nebo jim může být vysvětlen a diskutován.



Obr. 3. Schéma Newtonova dalekohledu včetně vyznačených vzdáleností.

Ze známých parametrů žáci dopočítají pozici, kam umístit sekundární zrcadlo. Například zrcadlo na obrázku 2 má parametry $f_1 = 25$ cm, $r_1 = 5$ cm. Vzdálenost ohniska od okraje „tubusu“ (který v modelu samozřejmě není) lze určit libovolně. Tak kupříkladu pro hodnotu $s = 5$ cm vychází, že sekundár je potřeba umístit do vzdálenosti 15 cm od primárního zrcadla. Alternativně mohou žáci měnit vzdálenost obou zrcadel a sledovat, jak se při tom mění hodnota s , a tedy poloha výsledného ohniska.

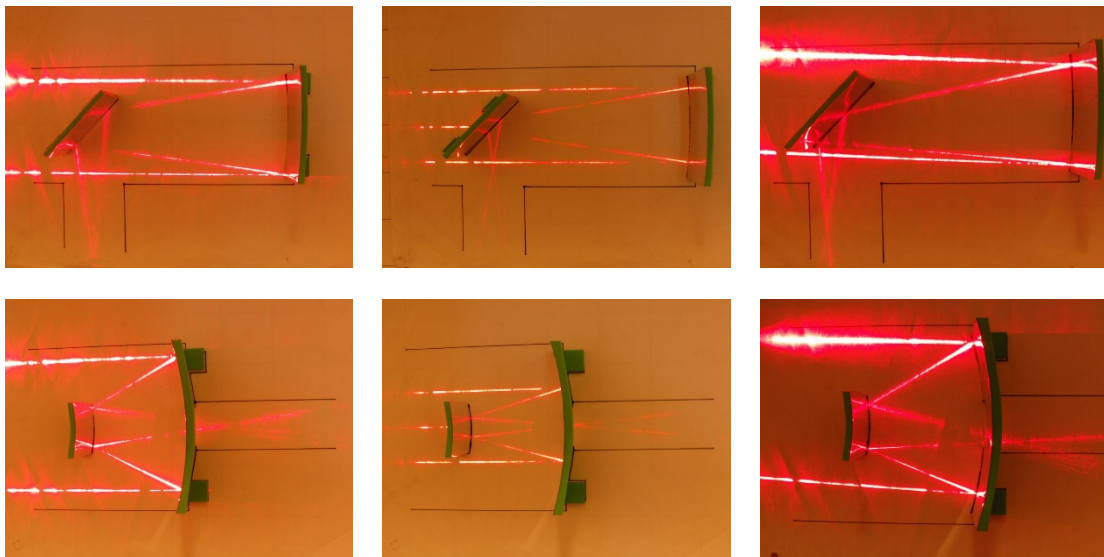
Díky tomu, že v Cassegrainově dalekohledu splývá primární a sekundární ohnisko, stačí k přesnému umístění obou zrcadel znát jejich ohniskové vzdálenosti, viz obrázek 4. Úplný soupis vztahů mezi parametry komponent Cassegrainova dalekohledu najdete v [1].



Obr. 4. Schéma Cassegrainova dalekohledu včetně vyznačených vzdáleností. Převzato z [1].

Modelování chodu paprsků

Tuto činnost lze provádět na magnetické tabuli před žáky. Pokud ale máme k dispozici více vytištěných modelů a laserových zdrojů, mohou si žáci zobrazování těchto optických soustav vyzkoušet sami. V obou případech s žáky pozorujeme polohu výsledného ohniska dalekohledu. Nejprve necháme na primární zrcadlo dopadat svazek paprsků rovnoběžný s optickou osou. Poté svazek necháme dopadat šikmo a pozorujeme, kterým směrem se ohnisko posunulo. Zde se hodí probírat vady dalekohledů, např. pro obě soustavy je typická koma (k jejímu znázornění je vhodné namísto laserových paprsků použít plošný zdroj bílého světla).



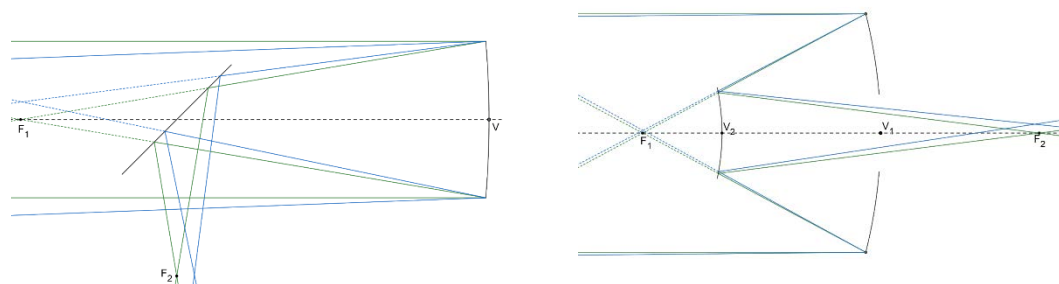
Obr. 5. Znázornění chodu světelných paprsků v Newtonově a Cassegrainově dalekohledu.

Je vhodné s žáky také prodiskutovat, že zrcadlová fólie nemusí zcela přesně kopírovat plochu modelu zrcadla. Paprsky se proto nechovají všude tak, jak bychom čekali. Diskuzi pak lze rozvinout ohledně obtížnosti reálného astronomického pozorování (přesnost, vybroušení odrazivých ploch, seřízení optických prvků dalekohledu apod.).

Geogebra

Využit tento dynamický matematický software na stránkách [3] se pro geometrickou optiku přímo nabízí. Žáci zde mohou měnit sklon svazku dopadajících rovnoběžných paprsků, poloměr křivosti zrcadel nebo polohu jednotlivých komponent. K tomuto účelu se skvěle hodí nástroj posuvník, jehož použití je pro žáky velmi atraktivní a názorné. Snadno a přesně tu lze také předvést vady kulového a parabolického zrcadla.

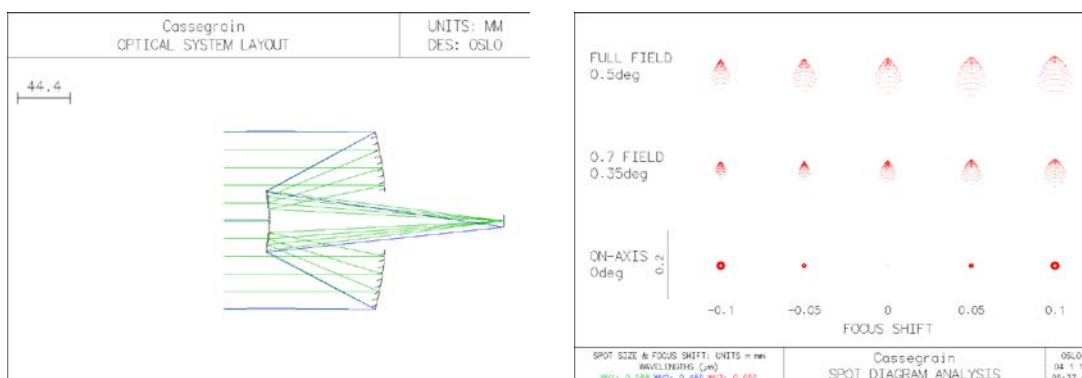
K vyznačení chodu světelných paprsků ale stačí i obyčejná tužka a pravítka. Rýsování tečen a osových souměrností nicméně může zabrat hodně času, a to i žákům na vyšším stupni gymnázií. Praktická aplikace rýsování však může být pro žáky dobrou motivací v hodinách matematiky.



Obr. 6. Schéma zobrazení Newtonova i Cassegrainova dalekohledu s vyznačenými ohnisky a vrcholy zrcadel. Svazek rovnoběžných paprsků přicházející pod úhlem 0° je vyznačen zeleně, a pod úhlem $0,5^\circ$ modře (standardní značení v programu OSLO).

OSLO EDU

Jedná se o pokročilý program určený k modelování a analýze optických systémů. Svou náročností je vhodný spíše na seminář. Umožňuje modelovat chod paprsků a analyzovat výsledný obraz. Například z rozptylového diagramu na obrázku 7 vidíme, že mimo osu se výrazně projevuje koma. Podobný obrázek bychom dostali i v případě Newtonova dalekohledu. Program je volně dostupný na stránkách [4].



Obr. 7. Vlevo: Schéma zobrazení Cassegrainova dalekohledu pomocí programu OSLO EDU. Svazek rovnoběžných paprsků přicházející pod úhlem 0° je vyznačen zeleně, a pod úhlem $0,5^\circ$ modře. Vpravo: Rozptylový diagram Cassegrainova dalekohledu.

Závěr

Možností použití dvojrozměrných modelů zrcadlových dalekohledů je celá řada. Nemusí se jednat jen o kreslení chodu světelných paprsků na tabuli. Kromě fyzikálních experimentů, kdy si žáci hrají se zrcadly a snaží se je vůči sobě vhodně umístit, se nabízí propojení s matematikou a informatikou. Celou práci vytvoření modelů zrcadel, znázornění chodu světelných paprsků a analýzu zobrazování dalekohledů, lze pojmut jako menší školní projekt. Ve výuce se můžete zabývat i jinými modely reflektorů a přiblížit tak žákům práci vědců na současných (i budoucích) astronomických observatořích.

Podrobnější text o tvorbě modelů najdete v diplomové práci [5], kde je mimo jiné detailněji rozepsán výpočet parametrů zrcadel (ohnisková vzdálenost, průměr zrcadla) pro oba uvedené typy dalekohledů. Součástí práce jsou také dvě úlohy s těmito modely dalekohledů, které se používají v Praktiku školních pokusů při výuce budoucích učitelů na Katedře didaktiky fyziky.

Literatura

- [1] Brož M., Wolf M.: *Astronomická měření*. MatfyzPress, Praha 2017. ISBN 978-80-7378-354-9.
- [2] *Optická sada*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/optickasada>
- [3] *Geogebra*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: <http://geogebra.org>
- [4] *OSLO EDU*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: <http://lambdares.com/edu>
- [5] Hložek, F.: *Pokusy z geometrické optiky pro výuku na základní a střední škole*, Diplomová práce obhájená na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, 2019.