

Virtuální zobrazení vzdálených objektů dlouhofokálními spojkami a konkávními zrcadly

Zdeněk Rail, David Vápenka
Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. - Toptec
Sobotecká 1660, 51101 Turnov
e-mail : rail@ipp.cas.cz, vapenka@ipp.cas.cz

Dlouhofokální spojky a konkávní zrcadla mohou sloužit jako optické prvky, úhlově zvětšující rozměry vzdálených objektů podobně jako dalekohledy. Tyto jejich vlastnosti mohly být pravděpodobně používány pozorovateli dávno před objevem dalekohledu. Naše práce přináší optickou analýzu a výsledky astronomických pozorování soustavou dlouhofokální pozitivní čočky a lidského oka.

The Virtual Imaging of the Distant Objects by Longfocal Positive Lenses and Concave Mirrors

The longfocal positive lenses and concave mirrors can serve as optical elements increasing the angular dimensions of the distant objects similarly to telescope.

These properties could be probably used by ancient observers before the discovery of telescope.

Our paper brings optical analysis and results of visual astronomical observations with the longfocal positive lens.

1. Úvod

Nejstarším optickým zobrazovacím přístrojem je dírková komora - camera obscura. Už v dávné minulosti si lidé zjistili, že malý otvor, kterým do zatemněné místnosti vstupuje světlo, vytváří na stínítku reálný obraz vnějších objektů. Díky omezenému množství světelné energie, procházející otvorem, tento jednoduchý přístroj dobře zobrazuje jen silně osvětlené předměty. Čím je otvor komory menší, tím je obraz kontrastnější, ale zároveň tmavší a hůře viditelný. Měřitko obrazu roste se vzdáleností stínítka od otvoru. Studium dírkové komory a experimenty s čočkami dovedly na přelomu 10. a 11. století arabského učenca Ibn al-Haythama (latinsky Alhazen) k položení základních principů geometrické optiky. [1],

Lepší reálné obrazy vytvářejí spojné čočky a konkávní zrcadla, které soustřeďují do obrazu mnohem více světla než dírková komora. Nejstarší čočky, staré 5000 let, pocházejí z Mezopotámie. Byly také objeveny Sirem Arthurem Evansem při archeologických vykopávkách v Knossosu, Heinrichem Schliemannem v Tróji. Významné nálezy pocházejí z Egypta a Číny. Čočky byly broušeny z průhledných krystalů, jako jsou křišťál, topaz a odrůdy berylu. Používaly se jako zvětšovací skla, kulturní předměty a ozdoby nebo se vsazovaly do očí soch. Kvalita optických ploch byla různá. Některé však byly velmi dobře vyleštěny. Čočky, vyřezané z ledu a ohlazené dlaněmi, byly používány severskými národy k rozdělávání ohně. [1], [2], [3], [4]

Ve starověku byla vyráběna i zrcadla. Ta byla broušena a leštěna nejprve z černého sopečného skla obsidiánu, později i kovová, z mědi, bronzu nebo i ze stříbra a zlata. Nejstarší obsidiánová zrcadla jsou až 8000 let stará. Od 1. století našeho letopočtu byla vyráběna i ze skla, které mělo zadní plochou potaženou odraznou kovovou vrstvou. Vhodnou kinematikou pohybu nástroje a zrcadla při broušení - bylo možné vytvořit konvexní nebo konkávní tvar plochy. [1], [2], [3], [4]

Před mnoha lety byla vyráběna dlouhofokální konkávní zrcadla k pozorování sluneční fotosféry podle návrhu RNDr Ivana Šolce ve VOD AVČR v Turnově. Standartně se jednalo o sférická zrcadla o průměru cca 35 mm a ohniskové vzdálenosti 3430 mm. Byla vybroušena ze skla - floatu a napařena odraznou hliníkovou vrstvou s ochrannými vrstvami. Zrcadla byla ukládána do dřevěné objímky o tvaru půlkoule, která je kryla a zároveň umožňovala jejich nastavení.

Při ohniskové vzdálenosti 3430 mm vytvářela reálný obraz sluneční fotosféry o průměru 30 mm. Bylo možné s nimi rozlišit sluneční skvrny o průměru cca 0.1 mm, což odpovídá rozlišovací schopnosti 6". Byly prováděny pokusy se zrcadly o ohniskové vzdálenosti 6860 mm a 13 600 mm, poskytující průměr obrazu Slunce 60mm a 120 mm a vyšší rozlišovací schopnost.

S nimi je možné pozorovat jen ráno nebo večer velmi krátce po východu nebo před západem, kdy Slunce není vysoko nad obzorem. Jak camera obscura, tak spojné čočky a konkávní zrcadla ve výše uvedené konfiguraci vytvářejí reálný obraz objektů, zachytitelný na světlém stínítku. [5]

Hlavní funkcí dalekohledu je vytvářet zvětšený virtuální obraz vzdálených objektů a soustřeďovat do něho světelnou energii. Vždy se skládá minimálně ze dvou členů, objektivu a okuláru. Lze jej sestavit jak z čoček, tak ze zrcadel nebo z jejich kombinace.

V odborné literatuře bylo vynalezení dalekohledu mnohokrát rozebíráno. První oficiální zmínka o přístroji, který „zobrazuje vzdálené předměty tak, jako by byly na dosah ruky“, se objevila na podzim roku 1608 v Holandsku. Brýlař Johann Lippershey z Middleburgu prý pozoroval děti, jak si hrají s čočkami a skládají je za sebe. Když se o to pokusil sám, zjistil, že vhodné čočky v určité vzdálenosti od sebe, zvětšují úhlové rozměry pozorovaných objektů.

Dne 2.10.1608 Lippershey podal patentovou přihlášku na dalekohled. Během její vyřizování, podal 18.10.1608 patentovou přihlášku na stejný přístroj další optik, Jacob Metius z Alkmaaru. Oběma bylo zdvořile poděkováno, Metius obdržel menší finanční obnos na jeho další zdokonalení, ale autorství vynálezu dalekohledu nebylo přiznáno nikomu z nich. Navíc se objevilo svědectví od německého astronoma Simona Maria o tom, že mu jakýsi holandský obchodník nabízel již dřív na trzích v Kolíně nad Rýnem stejný přístroj. Dodnes se spekuluje o tom, že to mohl být soused Johanna Lippersheye, Zacharias Janssen, který vynalezl mikroskop. [6] Dalekohled byl prezentován před princem Mauricem Nassauským, vládcem Spojených provincií nizozemských. Během předvádění byla přítomna řada zahraničních diplomatů, kteří o něm podali zprávy do svých zemí. Galileo Galilei získal o dalekohledu první informaci od svého žáka a přítele Badovera, žijícího v Paříži, na konci jara 1609.

Dohady o vynálezu dalekohledu vedly tehdejší učence k otázce, kdo byl vlastně jeho autorem a zda jeho princip nebyl znám před podáním patentů v Holandsku. Velice záhy byl objeven reálný návod na jeho sestavení v knize Přírodní magie, poprvé vydané v roce 1558 od filozofa Giambattisty della Porta. Autor v něm napsal, že vhodnou kombinací čoček lze sestavit přístroj, který bude přibližovat vzdálené objekty. Později se řada učenců zmiňovala o tom, že dalekohled byl znám a používán mnohem dříve, avšak jen velice úzkou skupinou zasvěcených. [6], [15], [16]

Na základě della Portova návodu si několik lidí přístroje vyrobilo ještě před koncem 16. století. Postupně byla studována i díla mnohem starších autorů, včetně římských básníků, v jejichž verších vytušili existenci starověkých optických přístrojů. Ty měly být užívány k včasnému varování obyvatel před příchodem cizích dobytelských armád do jejich měst. V básních Vergilia badatelé našli zmínky o zrcadlových přístrojích v Římě a ve španělském městě La Coruna. [6]

Della Porta píše i o „magickém zrcadle“ na ostrově Pharos u Alexandrie. Tam byl postaven maják, který byl zařazen mezi sedm divů starověkého světa. V jeho vrchní části byl umístěn zrcadlový přístroj, umožňující zpozorovat připlouvající lodě mnohem dříve, než mohly být spatřeny pouhým okem. Zrcadlo nebo možná optická soustava dalekohledu sloužila prý ve dne k pozorování připlouvajících lodí, v noci fungovala jako kondenzor světla z ohně, který byl viditelný na velkou vzdálenost. Podle svědků bylo kovové a mělo průměr 7 kubitů, což odpovídá přibližně třem metrům. Byla u něho trvalá hlídka. Zrcadlo zničil v první polovině 12. století řecký kapitán poté, co opil stráž. Svědectví o přístroji na Pharosu a jeho osudu podalo několik arabských učenců a také rabín Benjamín z Tudely, který v polovině dvanáctého století podnikl cestu ze Španělska až do Indie. Zpátky cestoval přes Mezopotámii, Palestinu, Egypt a severní pobřeží Afriky. Ve svých zápiscích se též zmiňoval i o majáku na Pharosu a jeho zrcadlu, tehdy však už bylo zničeno. Zápisky z jeho cesty byly přeloženy do latiny a v Evropě publikovány ve druhé polovině 16. století. [7], [8], [9], [10]

Jedním z nejvýznamnějších středověkých učenců byl františkán Roger Bacon, zakladatel moderního pojetí výzkumné práce, který žil ve 13. století. Tento mnich, kritik scholastiky, se zabýval přírodními vědami včetně optiky. Zkoumal vlastnosti čoček, zobrazení a lomu světla. Ve své práci, „Dopisy o tajných pracech umění a přírody“, popisuje funkci čoček takto: „Vhodné čočky mohou předměty, držené v ruce, značně oddálit a naopak, velmi vzdálené předměty přiblížit, jako by byly na dosah ruky.“ Dále se zmiňuje o optickém přístroji, použitém Juliem Caesarem k pozorování vojsk při dobývání Galie a ke sledování anglického břehu Lamanšského průlivu. Roger Bacon za své radikální názory vězněn a jeho práce mohly být uveřejněny až v polovině 15. století. [11], [12], [13]

Na konci Baconova života se v Evropě začaly čočky používat ke korekci zraku. [1], [14]

Naše práce vychází ze závěrů Rogera Bacona o virtuálním zobrazení vzdálených objektů pomocí jednoduché čočky.

2. Virtuální zobrazení pomocí dlouhofokální čočky nebo zrcadla

Přiložíme-li si k oku dlouhofokální čočku o ohniskové vzdálenosti několika metrů, uvidíme ostrý obraz vzdálených předmětů. Pro zdravé oko nebude malá optická mohutnost čočky (0,1 - 0,2 Dioptrie) podstatně zhoršovat zrak. Akomodační svaly jsou schopny upravit tvar oční čočky tak, aby na sítnici oka vznikl ostrý obraz. Vzdalujeme-li čočku od oka, úhlové rozměry pozorovaných objektů se začnou zvětšovat a obraz bude stále ostrý. Pokud se dostaneme s okem do poloviny vzdálenosti čočky od její ohniskové plochy, pozorovaný objekt bude dvakrát úhlově zvětšen. Čím blíže se s okem přibližujeme k ohniskové ploše čočky, tím větší úhlové zvětšení obrazu získáváme. Pokud se s okem přiblížíme příliš blízko k ohniskové ploše čočky, akomodační svaly již nebudou schopny vytvarovat oční čočku a obraz se stane neostrým. Zdravé oko dokáže ostře vidět obraz při

minimální vzdálenost 250 - 350 mm od ohniskové plochy. S čočkou o ohniskové vzdálenosti 1 000 mm (+1D) získáme cca 2,5-3 násobní zvětšení. Úhlové zvětšení je dáno poměrem vzdálenosti oka od ohniskové plochy k celkové ohniskové vzdálenosti čočky. Celé toto uspořádání odpovídá zobrazení lupy, kdy předmětová vzdálenost pozorovaného objektu leží v nekonečnu. V případě, že se oko nachází mezi vrcholem čočky a jejím ohniskem, oční čočka částečně nahrazuje i okulárovou rozptylku Galileova dalekohledu. Druhá varianta je založena na poloze oka za ohniskovou plochou objektivu a oko plní funkci okuláru Keplerova dalekohledu. V tomto případě je obraz obrácený. Někteří astronomové, kteří pracovali s velkými dalekohledy, byli překvapeni, jaké detaily na Měsíci a planetách uviděli, když se náhodně podívali do přístroje s ohniskovou vzdáleností několika metrů bez okuláru.

Naším hlavním úkolem bylo zjistit podmínky viditelnosti některých základních objektů na obloze. Využili jsme k tomu sadu plankonvexních čoček o ohniskových vzdálenostech od 1000 mm do cca 30000 mm.

3. Výsledky pozorování

Čočka s ohniskovou vzdáleností 1000 mm a trojnásobným zvětšením značně zlepšuje viditelnost pozorovaných plošných objektů, např. Plejád, Hyád, Jeslíček M44, galaxie M31 v Andromedě nebo mlhovinu v Orionu. Na Měsíci se stářím 3 - 4 dny jsou na hranici viditelnosti v blízkosti terminátoru nerovnosti jeho kraje. Největší krátery – Copernicus, Tycho, Plato jsou viditelné s čočkou o ohniskové vzdálenosti delší než 2000 mm při šestinásobném zvětšení. Zcela zjevné jsou pak v přístroji o ohniskové vzdálenosti 4500mm. S čočkou o této ohniskové vzdálenosti bylo dosaženo 14 -15 násobného zvětšení. Planeta Jupiter se v něm již jeví jako malá kulička, ale bez jakýchkoli detailů. Mnohem lepší výsledky pozorování planet lze získat se singletem o ohniskové vzdálenosti 30 000 mm, kdy se rozliší Jupiter jako rotační elipsoid a u planety Saturn jsou vidět prstence. U planety Venuše, nacházející se poblíž největší východní elongace, je vidět její fáze. Úhlové zvětšení v tomto případě dosahuje hodnoty 70 - 80 krát. Čočky byly upevněny do prizmatu z optické lavice nebo přilepeny oboustrannou lepenkou k dřevěnému hrníčku a k fotografickému stativu. Pozorování oblohy s dlouhofokálním singletem nebo zrcadlem bez adekvátního stativu je velice nepohodlné a namáhavé. Je vhodné při něm využívat terénu. Použití druhého optického členu – okuláru a vytvoření dalekohledu, zvětší prohlížené zorné pole a usnadní pozorování.

Při částečném zatmění Slunce 20. března 2015 byla použita ke zviditelnění zatmění netradiční dírková komora. Místo malého otvoru bylo použito rovinné zrcadlo ze staré promítačky firmy Meopta Přerov o rozměrech cca 100*140 mm. Vzhledem k jeho velikosti byla zvětšena vzdálenost zrcadla od stínítka na 75 m, 100 m a 240 m. Obraz Slunce byl promítán na zeď domu, radnice či věže náhodského zámku. Nejlepší výsledky s těmito rozměry zrcadla byly dosaženy při vzdálenosti stínítka cca 70 m. Při větších vzdálenostech byl obraz větší, ale tmavší.

Tento článek vznikl v rámci projektu č. CZ.1.05/2.1.00/03.0079 Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, který je realizován za podpory Evropského fondu pro regionální rozvoj v programu OP VaVpI a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky

4. Autoři

Zdeněk Rail, prom.fyz., Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov, tel.: 420 487 953 904, e-mail: rail@ipp.cas.cz

Ing. David Vápenka, Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov, tel.: 420 487 953 904, e-mail: vapenka@ipp.cas.cz

5. Literatura:

- [1] The History of the Telescope, Henry C.King, Dover Publications, Inc, Mineola, New York, 2005
- [2] <http://ancientcinema.atanomie.net/index.php/stories/77-ancient-optical-lenses>
- [3] <http://www.ancient-wisdom.co.uk/optics.htm>
- [4] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/380186.stm>
- [5] Pondělní přednášky a školení RNDr Šolce, VOD AV ČR Turnov
- [6] Galileo's Glassworks, The Telescope and the Mirror, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2008
<http://m.friendfeed-media.com/bcf509721c0dc439d194cccb225b8901d8b1abaf>
- [7] https://www.google.cz/?gws_rd=ssl#q=benjamin+of+tudela%2C+mirror+of+alexandria
- [8] The Itinerary of Benjamin of Tudela, Digitized from Marcus Nathan Adler's The Itinerary of Benjamin of Tudela: Critical Text and Commentary, New York: Phillip Feldheim, Inc., 1907
<https://depts.washington.edu/silkroad/texts/tudela.html>
- [9] Lighthouse of Alexandria,
<http://www.historyembaled.org/ancient-egypt/lighthouse-of-alexandria.htm>
- [10] The Pharos of Alexandria, the first Lighthouse of the World, Michael Lahanas
<http://www.mlahanas.de/Greeks/Pharos.htm>
- [11] Encyklopedie fyziky, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1506-roger-bacon>
- [12] Roger Bacon, <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Bacon.html>
- [13] Mysterius Britain and Ireland, Roger Bacon,
<http://www.mysteriousbritain.co.uk/occult/roger-bacon.html>
- [14] The Invention of Spectacles, http://www.college-optometrists.org/en/college/museum/online_exhibitions/spectacles/invention.cfm
- [15] Ancient Technology, <http://ancient-skyscraper.com/224801.html>
- [16] Did the Ancients Invent the Telescope, Larry Brian Radka,
<http://www.goldenageproject.org.uk/images/download/telescopes.pdf>



Obrázek 1. Fotografie obrazu Slunce při zatmění 20.3.2015, realizované rovinným zrcadlem 100*100 mm. Vzdálenost obrazu je 75 m.



Obrázek 2. Fotografie obrazu Slunce při zatmění 20.3.2015, realizované rovinným zrcadlem 100*100 mm. Vzdálenost obrazu je 100 m.



Obrázek 3. Fotografie obrazu Slunce při zatmění 20.3.2015, realizované rovinným zrcadlem 100*100 mm. Vzdálenost obrazu je 240m.



Obrázky 4 a 5. Dvě verze Šolcova zrcátka, vyrobená ve VOD AV ČR, dnes ÚFP AV ČR v.v.i.- Toptec v Turnově.

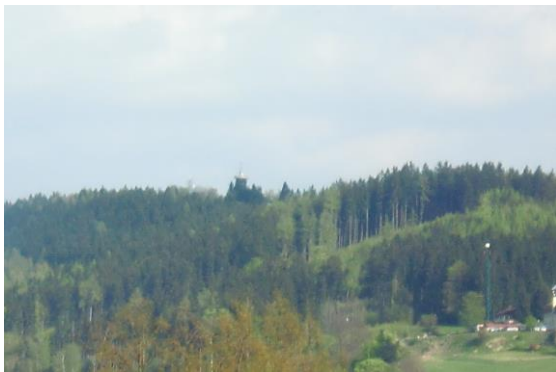
8



Obrázky 6 a 7. Uchycení čoček o ohniskových vzdálenostech 5000 a 30 000 mm na fotografický stativ pomocí oboustranné lepenky.



Obrázky 8 a 9. Porovnání úhlového zvětšení plankonvexní čočky o průměru 180 mm a ohniskové vzdálenosti $f = 2080$ mm na objektu, vzdáleném cca 40 m. Zvětšení cca 5 krát





Obrázky 10 až 17. Posloupnost obrázků dobrošovské chaty s rozhlednou se vzrůstajícím zvětšením. U předposledního obrázku bylo dosaženo přibližně 70 - 80 násobného zvětšení. Na posledním obrázku je vidět paraboloidická anténa o přibližných rozměrech 20'', což odpovídá přibližně délce dlouhé poloosy prstence Saturnu.