

Základní principy fungování dalekohledů

Cíl výuky: Žák chápe pojem zvětšení dalekohledu, zopakuje si a procvičí poznatky o kulových zrcadlech a čočkách.

Žák se seznámí s nejběžnějšími typy čočkových a zrcadlových dalekohledů a s tím, jaké typy se používají ve vesmírných dalekohledech jako Hubbleův vesmírný teleskop a Teleskop Jamesa Webba.

Úroveň žáků: 2. stupeň ZŠ a odpovídající ročníky víceletých gymnázií.

Určení: Pro učitele se základními znalostmi o dalekohledech.

Počet hodin výuky: 2 až 3

Předpokl. znalosti: Odraz a lom světla: Zobrazování kulovými zrcadly a čočkami, vlastnosti obrazu (zvětšený, převrácený), typy čoček, chod význačných paprsků.

Zařazení do RVP: F-9-6-05: Žák využívá zákon o přímočarém šíření světla ve stejnorodém optickém prostředí a zákon odrazu světla při řešení problémů a úloh.

F-9-6-06: Žák rozhodne ze znalosti rychlosti světla ve dvou různých prostředích, zda se světlo bude lámat ke kolmici, či od kolmice, a využívá této skutečnosti při analýze průchodu světla čočkami.

Učivo: Zobrazení odrazem na rovinném, dutém a vypuklém zrcadle (kvalitativně); zobrazení lomem tenkou spojkou a rozptylkou (kvalitativně).

Motivace: Žáky k zájmu o dalekohledy motivujeme promítnutím atraktivních obrázků vesmírných těles, ale také fotkami pozorování zvířat v přírodě, viz Přílohu A: Obrázky k motivaci. K pořízení takových obrázků používáme dalekohledy, a proto si o nich řekneme více.

Připomenutí potřebných znalostí: Dalekohledy musí obsahovat optické prvky, které zvětšují. Žáci vědí, že zvětšený obraz vytváří duté kulové zrcadlo a spojka. Tuto skutečnost jim připomeňme, ačkoliv vzápětí uvidí, že při pozorování dalekohledem chceme předmět naopak nejprve zmenšovat. Pro výsledné vlastnosti obrazu jsou důležité ohnisková vzdálenost a vzdálenost pozorovaného předmětu. Přehled všech situací je uveden v Tabulkách 1 a 2. Na úrovni ZŠ však žáci přesné vztahy znát nemusí.

Využíváme obvyklého značení, kdy a značí vzdálenost předmětu od zrcadla (respektive čočky), a' vzdálenost obrazu od zrcadla (čočky), f ohniskovou vzdálenost zrcadla (čočky) a r představuje poloměr zrcadla. Všimněte si, že jelikož pro kulové zrcadlo platí $r = 2f$, jsou tabulky pro oba optické prvky totožné. Dodržujeme obvyklou znaménkovou konvenci, kdy vzdálenost obrazu před zrcadlem má kladné znaménko, stejně tak vzdálenost obrazu za spojnou čočkou. Proto jsou v případě vzniku zdánlivého obrazu (v posledním řádku) vzdálenosti a' záporné.

První postřeh: (*Tato část není povinná, pokud jste informace z předchozích tabulek s žáky nerozebírali.*) Žákům promítneme Tabulky 1, 2 (pokud uvedené

Vzdálenost předmětu	Vzdálenost obrazu	Vlastnosti obrazu		
$\infty > a > r$	$r > a' > f$	zmenšený	převrácený	skutečný
$a = r$	$a' = r$	stejně vysoký	převrácený	skutečný
$r > a > f$	$a' > r$	zvětšený	převrácený	skutečný
$a = f$	$a' \rightarrow \infty$	—	—	—
$f > a > 0$	$0 > a' > -\infty$	zvětšený	vzpřímený	zdánlivý

Tabulka 1: Zobrazení předmětu kulovým zrcadlem. V situaci, kdy je předmět v ohnisku, obraz nevzniká, proto v tabulce vlastnosti obrazu chybí.

Vzdálenost předmětu	Vzdálenost obrazu	Vlastnosti obrazu		
$\infty > a > 2f$	$2f > a' > f$	zmenšený	převrácený	skutečný
$a = 2f$	$a' = 2f$	stejně vysoký	převrácený	skutečný
$2f > a > f$	$a' > 2f$	zvětšený	převrácený	skutečný
$a = f$	$a' \rightarrow \infty$	—	—	—
$f > a > 0$	$0 > a' > -\infty$	zvětšený	vzpřímený	zdánlivý

Tabulka 2: Zobrazení předmětu spojnou čočkou. V situaci, kdy je předmět v ohnisku, obraz nevzniká, proto v tabulce vlastnosti obrazu chybí.

informace nemají zapsány v sešitech). Upozorníme je, že obvyklé pozorovací dalekohledy mají ohniskové vzdálenosti maximálně jeden až dva metry. Dvojnásobek ohniskové vzdálenosti jsou tedy maximálně čtyři metry, ale planety, hvězdy i divoká zvířata se od nás typicky nacházejí ve vzdálenostech mnohem větších. Proto nás pro dalekohledy zajímá pouze situace z prvního řádku tabulky, kdy vzniká obraz zmenšený, převrácený a skutečný. Žákům je potřeba zdůraznit obzvláště to, že zrcadlo ani spojka v dalekohledu obraz nezvětšují, naopak jej zmenšují. Tento zdánlivý rozpor s původní představou lze žákům snadno osvětlit na příkladu. Srnka na poli musí být vidět celá v dalekohledu, proto je potřeba získat zmenšený obraz. Podobně je tomu tak i s Měsícem a dalšími nebeskými objekty, které mají rozměry řádově mnohem větší.

Provedení (či připomenutí) pokusu: Při výuce čoček žáci často pracují s lupou jako s jednoduchým případem spojky. Následující pokusy lze provádět demonstračně či nechat žáky pracovat samostatně. K dalšímu výkladu není nutné provádět oba pokusy. Pokud jste již s lupou pracovali, stačí experimenty žákům pouze připomenout.

1. V učebně lupou promítneme obraz okna či vnějšího světlého okolí školy na stěnu učebny. Pozorujeme obraz zmenšený, převrácený a skutečný (zachytili jsme jej na zeď). Při provedení pokusu musíme být s lupou relativně blízko stínítka (zdi), aby vznikl ostrý obraz.
2. Venku za slunného počasí promítneme lupou Slunce na papír. Žáci musí být nejprve upozorněni, že do Slunce nikdy nekoukají a už vůbec ne skrz lupu, která sluneční paprsky koncentruje. Sílu těchto paprsků lze demonstrovat tak, že s nimi zapálíme papír. Vhodné je mít na papíru místa s černou

barvou, která neodráží světlo. Na tato místa soustředíme lupou sluneční paprsky, až dojde k vznícení. Promítnutí obrazu Slunce děláme podobně. Používáme obvykle bílý papír (odráží světlo). Oproti předchozí situaci, kdy jsme se snažili koncentrovat paprsky do jediného bodu, stačí nyní oddálit lupu od papíru o několik centimetrů. Obraz Slunce je zmenšený a skutečný (zachytili jsme jej na papíru).

Druhý postřeh: Slunce ani venkovní předměty jsme lupou nezvětšovali, nýbrž zmenšovali. Takové Slunce má v průměru přibližně 1 400 000 km, kdežto jeho obraz na papíru maximálně pár centimetrů. Žákům je potřeba zdůraznit (jako v prvním postřehu), že spojka nemá v dalekohledu za úkol obraz zvětšit, ale naopak zmenšit. Stejně tak je tomu i u kulového dutého zrcadla. Tomuto prvnímu členu dalekohledu se říká objektiv, neboť je nejbližší k pozorovanému objektu.

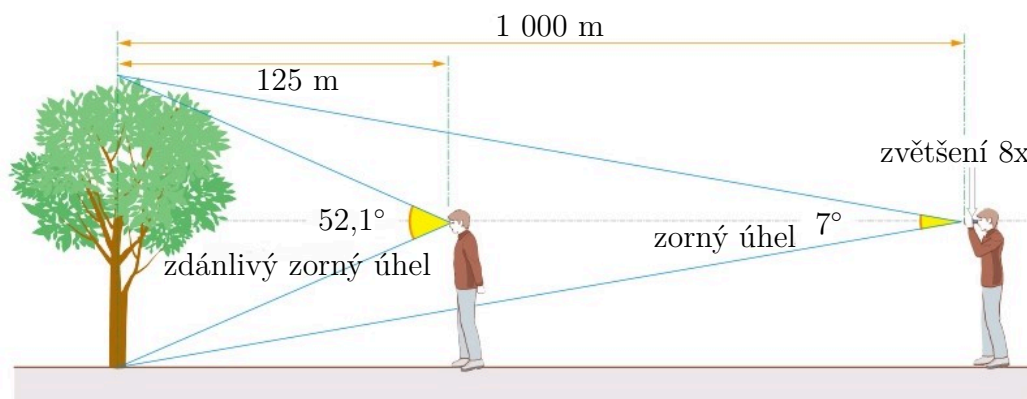
Zavedení nového pojmu: Zorný úhel je takový úhel, který svírají paprsky odražené od okrajů předmětu, když nám vstupují do oka. Pro lepší názornost si to ukážeme pokusem. Žáci pracují ve dvojicích. Jeden z nich dá dlaně k sobě, pak je rozevře tak, že se dotýkají pouze zápěstí, prsty jsou natažené (vytváříme tvar písmene V). Vzniklou mezerou mezi dlaněmi koukají žáci na libovolný předmět. Natažené prsty směřují k okraji předmětu, viz Obrázek 1. Míra rozevření dlaní od sebe určuje velikost zorného úhlu. Druhý žák zorný úhel odměřuje úhloměrem (stačí přibližná hodnota). V pozorování a měření se žáci střídají. Cílem je změřit a zapsat si do sešitu zorné úhly nejprve pro dva stejně blízké předměty, jeden malý a druhý velký. Potom pro dva zhruba stejně vzdálené předměty, opět jeden malý a druhý velký (tentokrát opravdu velký, aby se naměřené hodnoty trochu lišily).



Obrázek 1: Přibližné měření zorného úhlu předmětu.

Závěr z experimentu: Pokud je předmět daleko, nebo je blízko ale velmi malý, tak jej pořádně nevidíme, zorný úhel je malý. Pozorujeme-li předmět z kratší

vzdálenosti, zorný úhel se zvětší. Předmět vidíme lépe, detaily na něm jsou zřetelnější. Demonstračně to lze při shrnutí ukázat žákům ještě jednou, když se k nim s libovolnou pomůckou blížíme a zorný úhel se přitom zvětšuje. To si žáci mohou opět ověřit dlaněmi u sebe a nataženými prsty. Zvětšit zorný úhel lze buďto zvětšením předmětu (to není prakticky možné) nebo přiblížením se do kratší vzdálenosti. Pozorovat skrz dalekohled je tedy vlastně totéž, jako bychom předmět pozorovali z bližší vzdálenosti, viz Obrázek 2. Když se v běžné řeči uvádí, že dalekohled zvětšuje, myslí se tím právě zvětšení úhlové (zorného úhlu), nikoliv příčné (ve velikosti).

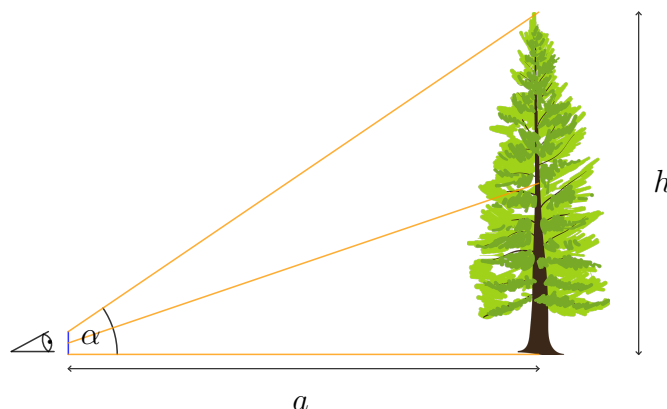


Obrázek 2: Je-li na dalekohledu uvedeno osminásobné zvětšení, znamená to, že se nám předmět jeví, jako bychom jej pozorovali z osmkrát kratší vzdálenosti [1]. Vzdálenosti na obrázku nejsou ve vzájemném měřítku.

Otázka: V případě čoček a zrcadel jsme (v předchozích hodinách) kreslili význačné paprsky jdoucí od daného předmětu a zjišťovali jsme s nimi polohu a vlastnosti výsledného obrazu. Nyní bychom chtěli udělat totéž pro předmět ve velké vzdálenosti a ukázat, jak se zobrazí v dalekohledu. Jak ale něco takového znázornit, když to v odpovídající velikosti není možné na papír nakreslit? Čočky a zrcadlo jsou malé (řádově centimetry) a vzdálenosti předmětů (a jejich rozměry) jsou v řádu metrů až tisíců kilometrů. Proto chceme dále žákům ukázat, že paprsky ze vzdáleného předmětu se pozorovateli jeví jako rovnoběžné. Takové paprsky se vždy odráží (lámou) do ohniskové roviny, speciálně když jsou rovnoběžné s optickou osou, tak přímo do ohniska. Je na místě zdůraznit žákům, že paprsky nejsou rovnoběžné doopravdy (to by nemohly vycházet ze zobrazovaného bodu), pouze se nám tak jeví, a dobře se nám pak s nimi pracuje.

O rovnoběžnosti paprsků od vzdáleného předmětu se lze přesvědčit výpočtem nebo přiloženou animací, viz Přílohu B: GeoGebra – Paprsky od vzdáleného předmětu (dostupná také online [2]). V appletu se nastavuje výška předmětu a vzdálenost od pozorovatele. Všechny rozměry jsou v metrech. Modrá úsečka nalevo představuje zornici oka, která je průměrně asi 8 mm. Úvodní nastavení znázorněné na Obrázku 3 tedy neodpovídá realitě, neboť strom by byl příliš malý (asi 12 cm). Proto v appletu nejprve vhodně zvětšíme výšku předmětu, například na 1 metr. Dále oddalujeme předmět od oka a pozorujeme, kdy se nám již dopadající paprsky zdají rovnoběžné. Například nastavení 1 metr výšky předmětu a vzdálenost 100 metrů by pro žáky mělo být představitelné i z běžné zkušenosti. V takovém případě vychází zorný úhel asi 34' (přibližně půl stupně).

Z Obrázku 3 také vidíme souvislost mezi zorným úhlem α , výškou h předmětu a jeho vzdáleností a od pozorovatele. Pokud žáci neprobírali goniometrické funkce, nemusí matematický vztah $\tan \alpha = \frac{h}{a}$ znát. Postačí, když pochopí, že zorný úhel závisí na poměru výšky předmětu a jeho vzdálenosti od pozorovatele. Čím větší poměr $\frac{h}{a}$, tím větší zorný úhel. Závislost však (kvůli funkci tangens) není lineární.



Obrázek 3: Souvislost zorného úhlu α , výšky h předmětu a vzdálenosti a od pozorovatele, viz applet [2].

Příklady vhodných výpočtů: Ukažme několik situací, kdy se dalekohledy k pozorování běžně využívají, a že v těchto případech lze hovořit o rovnoběžnosti paprsků od vzdálených předmětů. Vycházíme z uvedené situace v animaci, kdy již poměr $\frac{1}{100}$ vedl na zdánlivě rovnoběžný svazek paprsků. Výpočty nemusíme ukazovat všechny, případně lze vymyslet řadu obdobných příkladů. Grafické znázornění uvedených situací je na Obrázku 4.

1. Myslivec pozoruje jelena ze vzdálenosti zhruba 120 metrů, výška jelena je přibližně 120 cm = 1,2 m. Poměr výšky a vzdálenosti je

$$\frac{h}{a} = \frac{1,2 \text{ m}}{120 \text{ m}} = 0,01.$$

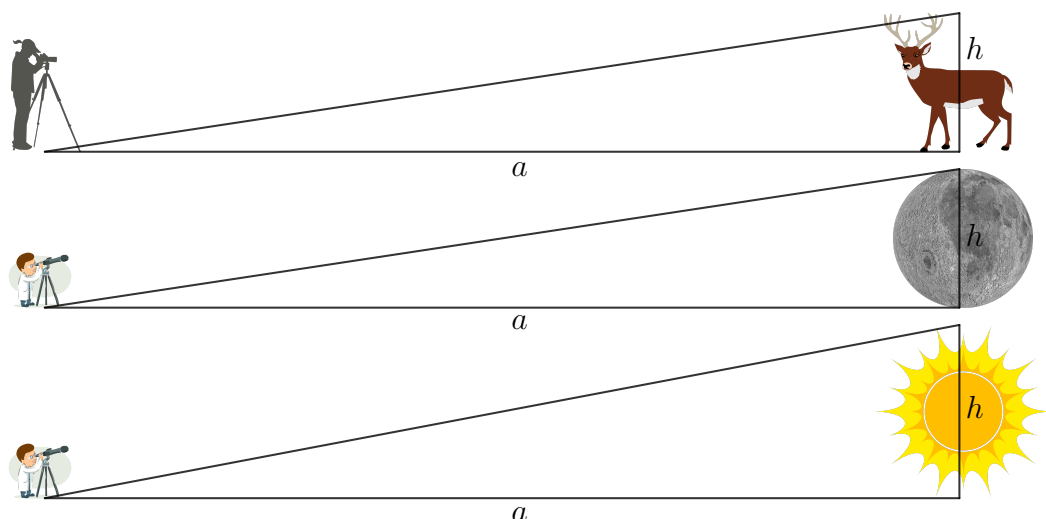
2. Vzdálenost Země a Měsíce je asi 384 400 km, průměr Měsíce 3 474 km. V tomto případě tak máme

$$\frac{h}{a} = \frac{3\,474 \text{ km}}{384\,400 \text{ km}} \doteq 0,009 \doteq 0,01.$$

3. Vzdálenost Země a Slunce je asi 150 000 000 km (přibližně 370x větší než v případě Měsíce), průměr Slunce 1 400 000 km (asi 400x větší než Měsíce). Dostáváme tak hodnotu poměru

$$\frac{h}{a} = \frac{1\,400\,000 \text{ km}}{150\,000\,000 \text{ km}} \doteq 0,009 \doteq 0,01.$$

Všechny výše uvedené příklady mají přibližně stejnou hodnotu poměru 0,01, protože jsme si ukázali, že v takovém případě jsou paprsky aspoň zdánlivě rovnoběžné. Čím menší je hodnota poměru, tím spíše lze paprsky považovat za rovnoběžné. Nižšího poměru dosáhneme pro objekty menší (oproti Slunci to jsou



Obrázek 4: Náskres motivačních úloh. Souvislost výšky h předmětu a vzdálenosti a od pozorovatele.

všechny objekty Sluneční soustavy), jelikož se zmenší hodnota čitatele. Zároveň v případě vzdálenějších objektů roste hodnota jmenovatele, proto hodnota poměru klesá.

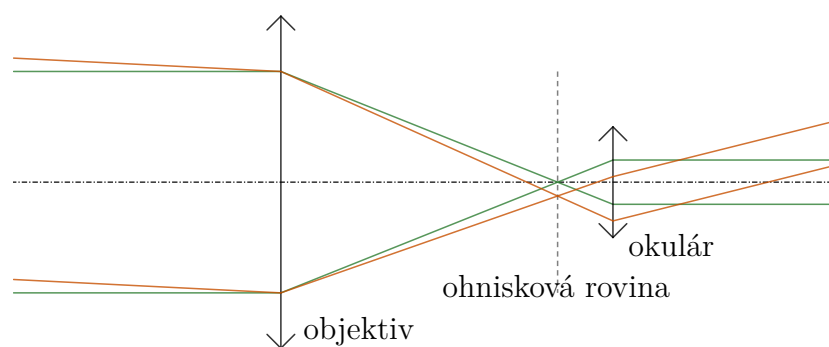
Závěr diskuze: Světelné paprsky od vzdálených předmětů lze považovat za rovnoběžné.

Základní části dalekohledu: Dále pro nás bude výhodné uvažovat dalekohled jako celek, ne se zaměřovat na jednotlivé části. Dalekohled se skládá z objektivu a okuláru. Jak již bylo zmíněno, objektiv se nachází blíže pozorovanému objektu. Je-li objektivem spojná čočka, hovoříme o čočkovém dalekohledu, neboli refraktoru (z angl. refract - lámat). V případě, že objektiv tvoří duté zrcadlo, jedná se o zrcadlový dalekohled, neboli reflektor (z angl. reflect - odrážet).

Druhou podstatnou částí dalekohledu je okulár, což je optický člen nejbližší oku. Ten je tvořen vždy čočkou, respektive soustavou čoček (pro zlepšení optických vlastností). Pro jednoduchost si zobrazování dalekohledem budeme vysvětlovat na příkladu Keplerova dalekohledu, jehož objektiv i okulár tvoří spojně čočky. Blíže se s jednotlivými typy dalekohledů seznámíme na konci metodiky. (*Zrcadlové dalekohledy pro úvodní seznámení nejsou vhodné, neboť je v nich kromě objektivu a okuláru ještě sekundární zrcadlo jako další optický člen. Všechny uvedené principy však pro ně platí stejně.*)

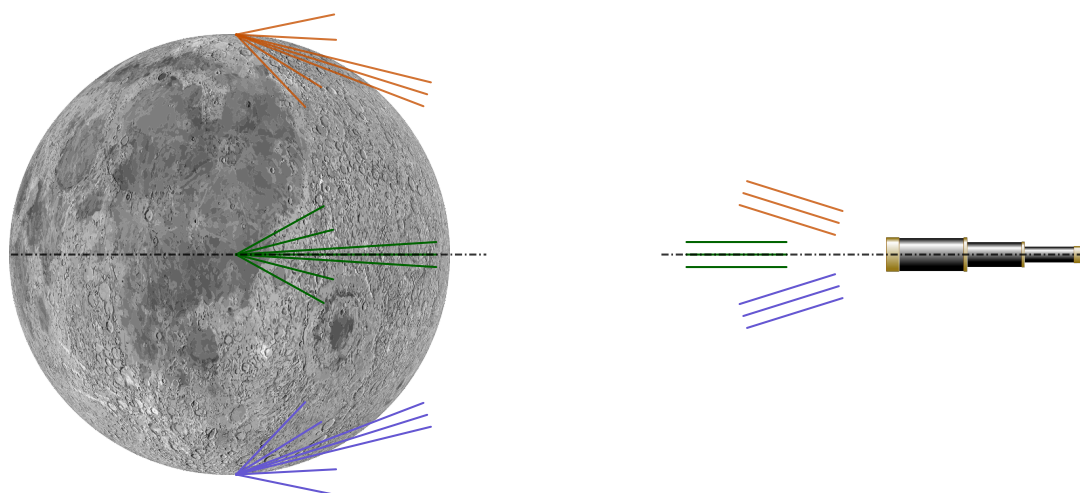
Jak rovnoběžné paprsky vytváří obraz: Nyní již máme dostatek znalostí k tomu, abychom dokázali porozumět vytvoření obrazu objektivem. Připomeňme, že paprsky od vzdálených předmětů lze považovat za rovnoběžné. O nich víme, že pokud jsou rovnoběžné s optickou osou, tak se lámou do ohniska. Pokud je však svazek rovnoběžných paprsků vůči optické ose skloněný, lámou se paprsky do ohniskové roviny. Ta je kolmá k optické ose a prochází obrazovým ohniskem objektivu. Schematické znázornění této situace je na Obrázku 5.

Na první pohled nemusí být jasné, proč by měly být dopadající paprsky skloněné. Uvažujme tedy situaci, kdy namíříme spojnou čočku dalekohledu na vzdálený



Obrázek 5: Schéma chodu paprsků v Keplerově dalekohledu, jak bývá obvykle znázorňováno ve většině publikací.

předmět, v našem případě to bude Měsíc, a to tak, že optická osa prochází středem Měsíce, viz Obrázek 6. Měřítko obrázku samozřejmě neodpovídá skutečnosti. Měsíc je oproti dalekohledu buď moc malý, nebo dalekohled příliš velký.



Obrázek 6: Každý bod předmětu slouží jako zdroj světla, které se z něj šíří do všech směrů. Paprsky, které z velké vzdálenosti přichází do optické soustavy, se jeví jako rovnoběžné. Barva paprsků slouží pouze pro přehlednost, nemá fyzikální význam. Prázdný prostor uprostřed představuje velkou vzdálenost mezi Měsícem a pozorovatelem na Zemi.

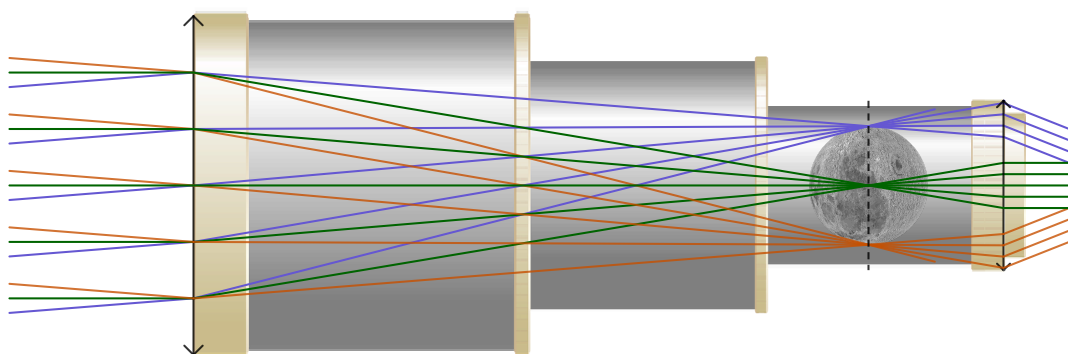
Od každého bodu Měsíce se světelné paprsky odrážejí do všech směrů. Zaměřme se například na centrální část Měsíce a na jeho severní a jižní okraj. Barevné rozlišení paprsků v Obrázku 6 slouží pouze pro lepší orientaci a nemá žádný fyzikální význam. Ze středu jde jeden paprsek přímo po optické ose až do čočky objektivu. Všechny ostatní paprsky vycházející ze stejného bodu, které do čočky doputují, se díky velké vzdálenosti jeví jako navzájem rovnoběžné. Dostáváme tak svazek paprsků zdánlivě rovnoběžný s optickou osou, který se po průchodu spojkou láme do ohniska. To je shodné se stejně barevnými (zelenými) paprsky

v Obrázku 5.

Paprsky od horního okraje Měsíce na objektiv určitě dopadají šikmo, ale i ty se nám díky veliké vzdálenosti jeví jako rovnoběžné. Rozdíl oproti předchozí situaci je pouze v úhlu, pod kterým na čočku dopadají. V případě paprsků jdoucích od spodního okraje je situace obdobná.

Zjištění: Od každého bodu vzdáleného předmětu do objektivu přichází jiný svazek paprsků, které se nám jeví rovnoběžné. Rozdíl mezi těmito svazky je v úhlu, který svírají s optickou osou. Čím je bod předmětu vzdálenější od optické osy, tím je větší úhel mezi svazkem rovnoběžných paprsků a optickou osou. Různě skloněné paprsky tedy představují různé body předmětu.

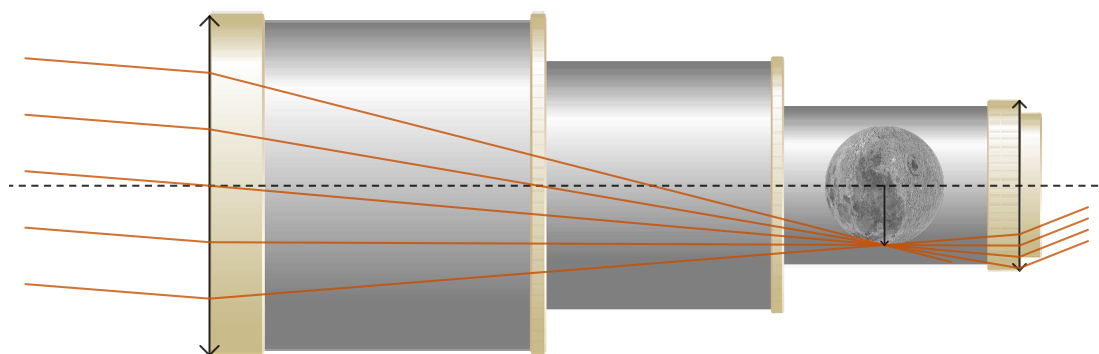
Jak rovnoběžné paprsky vytváří obraz (pokračování): Nyní se podívejme, jak doopravdy vzniká obraz vzdáleného bodu. Nahlédneme proto dovnitř do dalekohledu. Zaměřujeme se zatím na obraz, který vytváří objektiv. K okuláru se vrátíme později. Známe ohniskovou vzdálenost čočky, proto i polohu ohniska na optické ose. Dále již víme, že kolmo na optickou osu prochází ohnisková rovina (v dvojrozměrném zobrazení pouze přímka). V ohniskové rovině se v jednotlivých bodech protínají různě skloněné svazky rovnoběžných paprsků. Výsledné zobrazení je na Obrázku 7. Přesně podle teorie (viz Tabulka 2) vzniká obraz zmenšený, skutečný a převrácený.



Obrázek 7: Vznik obrazu velmi vzdáleného předmětu (Měsíce) spojnou čočkou. Obraz je dle předpokladu (a Tabulky 2) zmenšený, skutečný a převrácený. Barvy paprsků odpovídají barvám v Obrázku 6, fyzikální význam konkrétní barevné rozlišení opět nemá. Jde pouze o znázornění směrů přicházejících paprsků.

Okulár v Keplerově dalekohledu: Objektiv tedy vytvořil zmenšený reálný obraz. Abychom jej viděli detailněji, potřebujeme jej zvětšit. K takovému účelu se běžně využívá lupa a přesně tuto funkci má právě okulár Keplerova dalekohledu. Je umístěn tak, aby obrazové ohnisko objektivu splývalo s předmětovým ohniskem okuláru. Tímto nastavením dosáhneme toho, že okulárem (jako lupou) pozorujeme obraz objektivu v ohniskové rovině. Z tohoto rozložení lze snadno usoudit, jak se budou chovat paprsky po průchodu okulárem. Situace je zřejmě přesně opačná

než v případě objektivu. Paprsky vycházejí z jednoho bodu (obraz objektivu) v ohniskové rovině, takže po průchodu okulárem musí znovu vytvořit svazek rovnoběžných paprsků. Rozdíl je však v úhlu, který paprsky s optickou osou svírají.



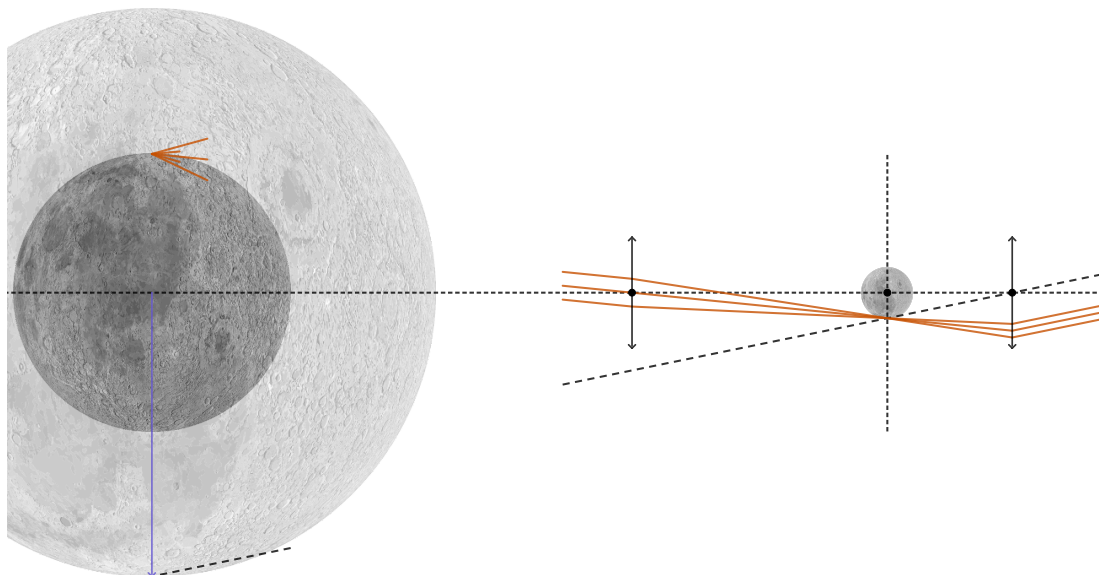
Obrázek 8: Schéma zobrazení vzdáleného objektu v Keplerově dalekohledu. Šipkou je obvykle znázorňován obraz předmětu objektivem.

Na Obrázku 9 je zachycena část animace, kterou lze promítnout žákům. Applet je k dispozici jako soubor ke stažení (viz Přílohu C: GeoGebra – Chod paprsků v Keplerově dalekohledu) i online [3]. Sytě vybarvený Měsíc vlevo znázorňuje pozorovaný předmět. Od něj se šíří světelné paprsky do všech směrů, v appletu jsou však vyznačeny pouze některé mířící směrem ke Keplerovu dalekohledu. Ten je v pravé části znázorněn pouze schematicky dvěma symboly pro spojky, které představují objektiv a okulár. Pro účely appletu jsou raději větší, než by byly ve skutečnosti. Prázdný prostor uprostřed mezi předmětem a dalekohledem představuje velkou vzdálenost mezi objekty. Vodorovná úsečka je optická osa, svislá úsečka mezi čočkami je ohnisková rovina. V té vzniká zmenšený obraz objektivu. Ten dále pozorujeme okulárem jako lupou. Jak je vidět na obrázku, získáme po průchodu čočkou okuláru opět rovnoběžný svazek paprsků, který nám pak čočka v oku změní na sbíhavý, abychom mohli daný předmět pozorovat. Rozdíl mezi dopadajícím a vystupujícím svazkem rovnoběžných paprsků je v úhlu, který svírá s optickou osou. Vybereme-li si paprsky z krajního bodu předmětu (tak jako na Obrázku 9), jde o zorný úhel, pod kterým předmět zdánlivě pozorujeme.

Ke zvětšení dochází v případě, že je ohnisková vzdálenost okuláru kratší než ohnisková vzdálenost objektivu. Žáci na základní škole nemusí znát vztah pro zvětšení $\gamma = \frac{\text{tg } \tau'}{\text{tg } \tau} \doteq \frac{f_1}{f_2}$, kde γ je úhlové zvětšení, τ je zorný úhel, τ' zvětšený zorný úhel a f_1 , f_2 jsou po řadě ohniskové vzdálenosti objektivu a okuláru. Lze jim ale říci, že poměr ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru udává zvětšení dalekohledu.

Šikmá čárkovaná úsečka na Obrázku 9 má stejný sklon jako vybraný svazek rovnoběžných paprsků, prochází středem okuláru, a proto i krajním bodem zmenšeného obrazu objektivu (paprsek jdoucí středem čočky prochází nezměněn).

Tato čára znázorňuje výsledné úhlové zvětšení dalekohledu. Jak jsme říkali dříve, zvětšíme-li zorný úhel, je to totéž, jako bychom předmět pozorovali z větší blízkosti. Když nyní protáhneme tuto úsečku až k zobrazovanému předmětu, vidíme, že se nám skutečně jeví větší, než ve skutečnosti je. Dodejme ještě, že obraz dalekohledu (okuláru) je zvětšený, převrácený a zdánlivý (pozorujeme jej okem).



Obrázek 9: Náhled appletu chodu světelných paprsků v Keplerově dalekohledu. K dispozici online [3]. Zobrazený náhled neobsahuje ovládací prvky appletu. Paprsky jdoucí od krajního bodu se nám ve velké vzdálenosti jeví jako rovnoběžné. Tyto paprsky se protínají v jediném bodě na ohniskové rovině, kde vzniká reálný obraz. Po průchodu okulárem získáme opět rovnoběžný svazek paprsků, který jde do našeho oka. Přerušovaná čára znázorňuje pozorovaný zdánlivý obraz okuláru, který je zvětšený oproti pozorovanému předmětu.

Typy dalekohledů: (*Tato část nemusí být probrána celá, jde pouze o soupis základních typů dalekohledů. Vhodné by však bylo zmínit alespoň Cassegrainův dalekohled na konci této části vzhledem k jeho širokému využití v profesionálních astronomických zařízeních.*) Již víme, že hlavními optickými částmi dalekohledu jsou objektiv a okulár. Podle typu objektivu rozlišujeme dalekohledy čočkové (refraktory) a zrcadlové (reflektory). Pro pozemská pozorování nebo pro pozorování jasnějších objektů na noční obloze jsou vhodné čočkové dalekohledy. Jsou lehčí a nevyžadují takovou údržbu jako dalekohledy zrcadlové, které se musí pravidelně seřizovat. Výhodou reflektorů v astronomii je ale to, že je můžeme postavit velké. Obrovská zrcadla velkých observatoří se skládají z mnoha dílčích segmentů. Vyrobit něco podobného v případě čoček prakticky nejde, kvůli požadavkům na vnitřní čistotu skla a hmotnost.

Galileův dalekohled je složený ze dvou čoček. Objektivem je spojka, okulárem rozptylka. Díky tomu je velmi krátký, lze jej využít například jako divadelní kukátko. Jeho význam je však spíše historický, neboť Galilei svým vynálezem otevřel dveře k dalšímu rozvoji optických přístrojů a astronomických objevů.

Keplerův dalekohled je rovněž složený ze dvou čoček, ale v tomto případě jsou obě čočky spojné. Využívá se pro většinu dostupných dalekohledů. Používá se hojně mezi amatérskými astronomy, ale i pro pozemská pozorování. Jak jsme

ukázali v předchozích odstavcích, Keplerův dalekohled vytváří obraz převrácený, což na noční obloze nevadí, ale orientaci v krajině to může znesnadnit. Soustavou hranolů, jakou obsahuje triedr, však lze obraz znovu napřímít. Dalekohledu se tím zároveň zkrátí délka, což opět usnadňuje manipulaci.

Newtonův dalekohled je nejjednodušší reflektor. Objektívem je obvykle duté kulové zrcadlo, v lepším případě parabolické, abychom potlačili kulovou vadu. Od něj se paprsky odráží na druhé rovinné zrcadlo, které je vzhledem k optické ose skloněno o 45° . Zrcadla v reflektoru se běžně označují jako primární (duté zrcadlo, na které světlo dopadá jako první) a sekundární (v tomto případě rovinné, od kterého se světlo odráží dál do okuláru). Rovinné zrcadlo má eliptický tvar, aby co nejméně stínilo paprskům přicházejícím do dalekohledu. Paprsky od něj odražené jsou pak vyvedeny ven z boku tubusu, kde je umístěn okulár. Newtonův dalekohled se běžně využívá mezi amatérskými astronomy i na hvězdárnách.

Cassegrainův dalekohled se v různých podobách používá téměř při všech profesionálních pozorováních. Primární zrcadlo je dutého parabolického tvaru, sekundární je vypuklé hyperbolické. Jeho úkolem je jednak prodloužit ohniskovou vzdálenost dalekohledu (kvůli vypuklému tvaru není svazek paprsků tolik sbíhavý), jednak vyvést odražené světlo mimo tubus dalekohledu. Paprsky se ale tentokrát odráží zpět k primárnímu zrcadlu. Proto v něm musí být v patřičném místě zhotoven otvor. Výroba takového zrcadla zvyšuje výrobní náklady. To je jeden z důvodů, proč se amatérské dalekohledy typu Cassegrain prodávají za desítky tisíc korun. Oproti tomu Newtonův dalekohled lze pořídit do deseti tisíc.

Výše popsaná konfigurace se v praxi sama nepoužívá, ale využívají se různé odvozené systémy založené na Cassegrainově dalekohledu. Mezi čistě zrcadlové systémy patří například **Ritchey-Chrétienův dalekohled**, který se od původní konstrukce odlišuje tím, že obě zrcadla jsou hyperbolická. Tím dochází k eliminaci některých optických vad, konkrétně komy. Tento typ se nachází mimo jiné například v Hubblově vesmírném teleskopu. V největších současných dalekohledech se používá **Paul-Bakerův** třízrcadlový systém, obsahující opět parabolické primární zrcadlo, vypuklé kulové sekundární zrcadlo a duté kulové terciární zrcadlo. Kromě komy a kulové vady je schopný eliminovat také astigmatismus. Najdeme jej v připravovaném Extrémně velkém dalekohledu (ELT) a také ve Vesmírném dalekohledu Jamesa Webba (JWST).

V amatérských dalekohledech se Cassegrainův systém zrcadel kombinuje s korekčními čočkami, obvykle umístěnými v přední části tubusu. To pomáhá redukovat aberace a zkrátit rozměry dalekohledu. Nejprodávanějšími typy jsou **Schmidt-Cassegrain**, jehož primární zrcadlo je sférické. Korekční Schmidtova deska je vybroušena právě tak, aby odstranila kulovou vadu tohoto zrcadla. V případě **Maksutov-Cassegrainova dalekohledu** je korekce aberací dosažena tlustou čočkou, díky čemuž mívají tyto dalekohledy často dlouhou ohniskovou vzdálenost.

Shrnutí: Dalekohledy pozorované předměty nezvětšují, ale naopak zmenšují. Zvětšuje se pouze zorný úhel, což znamená, že předměty vidíme ze zdánlivě menší vzdálenosti, a proto se nám jeví větší. Světelné paprsky od vzdálených objektů dopadají do dalekohledu téměř rovnoběžně. Odráží se nebo lámou do ohniskové roviny, kde vzniká skutečný obraz. Ten pak pozorujeme okulárem jako lupou. Dalekohledy jsou čočkové a zrcadlové, přičemž čočkové se používají především pro pozemské pozorování, naopak pro vědecké pozorování noční oblohy se využívají

veliké zrcadlové dalekohledy, nejčastěji Cassegrainova typu.

Možné rozšíření: Na úrovni střední školy lze s žáky projít nebo jim zadat úlohu: Obraz Slunce vytvořený pomocí Keplerova dalekohledu [4].

Literatura

1. MOTEJL, Miloš. *ABC - binokulární dalekohledy* [online]. [cit. 2024-12-27]. Dostupné z: <https://www.dalekohledy-mikroskopy.cz/advisor/jak-vybrat-dalekohledy-vyber-dalekohledu-spravny-dalekohled>.
2. HLOŽEK, Filip. *GeoGebra - Paprsky od vzdálených předmětů* [online]. [cit. 2025-01-12]. Dostupné z: <https://www.geogebra.org/m/z3xntyby>.
3. HLOŽEK, Filip. *GeoGebra - Chod paprsků v Keplerově dalekohledu* [online]. [cit. 2025-01-25]. Dostupné z: <https://www.geogebra.org/m/xkgs9y7v>.
4. *Sbírka řešených úloh - Obraz Slunce vytvořený pomocí Keplerova dalekohledu* [online]. [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <http://reseneulohy.cz/1741/obraz-slunce-vytvoreny-pomoci-keplerova-dalekohledu>.