

Výroba dalekohledu

Cíl výuky: Žák si vyrobí funkční model Keplerova dalekohledu.

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

Určení: Pro učitele se základními znalostmi o dalekohledech.

Počet hodin výuky: 2

Předpokl. znalosti: Lom světla, zobrazování spojnými čočkami.

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.

ČSP-9-1-01: Žák provádí jednoduché práce s technickými materiály a dodržuje technologickou kázeň.

ČSP-9-1-05: Žák dodržuje obecné zásady bezpečnosti a hygieny při práci i zásady bezpečnosti a ochrany při práci s nástroji a nářadím; poskytne první pomoc při úrazu.

ČSP-9-2-01: Žák sestaví podle návodu, náčrtu, plánu, jednoduchého programu daný model.

ČSP-9-2-03: Žák provádí montáž, demontáž a údržbu jednoduchých předmětů a zařízení.

Učivo: Zobrazení lomem tenkou spojkou (kvalitativně). Jednoduché pracovní operace a postupy. Sestavování modelů, tvorba konstrukčních prvků, montáž a demontáž.

Úvod: Tento metodický materiál je koncipován více jako manuál sestávající z užitečných rad a doporučení na výrobu Keplerova dalekohledu, než jako průvodce vedením hodiny. Je sepsán tak, aby učitel mohl dávat žákům pokyny, podle kterých budou dalekohled stavět. Pro samostatnější práci žáků lze využít pracovní list, který je k dispozici ke stažení (Příloha A) jako textový dokument, aby si ho učitelé případně mohli doupřipravovat podle svých potřeb.

Podle časových možností a schopností svých žáků si učitel musí rozmyslet, které části žákům připraví (například 3D tisk částí dalekohledu nebo řezání plastových trubek pilkou na železo), a které je nechá dělat samostatně. Něco je také potřeba udělat ještě před samotnou hodinou, jako třeba začernění několika dílů sprejem. To může učitel zvládnout sám nebo to udělat s žáky v předstihu před samotnou výrobou dalekohledu. Ochotný školník by také mohl zastat spoustu přípravné práce, na kterou si učitel sám netroufá. Učitelé výtvarné výchovy mohou také pomoci, a kromě načernění sprejem by také mohli dalekohled s žáky obarvit a vtisknout tak jejich výrobku individuální nádech.

V tomto metodickém materiálu jsou uvedeny odkazy na internetové obchody, kde lze koupit potřebné součástky na výrobu, aby se učitelům usnadnilo pořízení pomůcek, které by jinak museli sami hledat a vyzkoušet. V tom je největší potíž

s čočkami. Dříve bylo možné (například podle textu [1]) si v oční optice čočku nejen koupit, ale také nechat zbrousit na patřičný rozměr. To se dnes bohužel již obecně nedělá, je proto potřeba si rozměrově vhodnou čočku opatřit rovnou, bez dodatečné možnosti úpravy. Dodejme, že uvedené odkazy mají skutečně pouze usnadnit shánění součástí a nejsou míněny jako reklama nebo doporučení konkrétního prodejce.

Metodický materiál je koncipován tak, že se žáci s výukou dalekohledů na hodině dosud nesetkali. Pokud ovšem ano, může učitel mnoho částí přeskóčit nebo je využít pouze k opakování potřebných znalostí. Samozřejmě je vhodné, když tato aktivita navazuje na předchozí metodický materiál Základní principy fungování dalekohledů. Záměrem je vejít se do obvyklé dvouhodinovky laboratorních prací, ale podle zájmu a časových možností může učitel s žáky pracovat i jindy a klidně delší dobu, například v rámci projektového dne nebo školního kurzu.

Zde uvedený návod je inspirován návodem prezentovaným Peterem Kodyšem na setkání Elixíru do škol v listopadu 2023. S obdobnými návody se lze setkat v literatuře i jinde, např. [1].

Motivace: K této aktivitě bude žáky lákat především to, že si z výuky odnesou funkční (ačkoliv jednoduchý) Keplerův dalekohled. Pokud se žáci předtím o dalekohledech vůbec neučili a toto má být jejich první setkání s nimi, můžeme jim promítnout atraktivní obrázky pozorování vesmírných těles dalekohledem, viz Přílohu B. V takovém případě je však nutné zdůraznit, že tak detailní obrázky v našem dalekohledu neuvidíme. Náš výtvar je určený spíše pro pozorování Měsíce, některých planet a samozřejmě také pro pozemské pozorování. Dalekohled lze využít jistě i pro pozorování dvojhvězd a dalších zajímavých objektů, ale to vyžaduje značnou pečlivost a úsilí při jeho výrobě. Pro většinu žáků však bude dostatečné, že si s minimálními náklady sestaví přístroj schopný základního astronomického pozorování.

Připomenutí potřebných znalostí: Dalekohledy musí obsahovat optické prvky, které zvětšují. Žáci vědí, že zvětšený obraz vytváří spojka a duté kulové zrcadlo. V této aktivitě budeme vytvářet Keplerův dalekohled, který je složen ze dvou spojných čoček. Připomeneme proto jen krátce, jak čočky zobrazují. Pro výsledné vlastnosti obrazu jsou důležité ohnisková vzdálenost a vzdálenost pozorovaného předmětu. Přehled všech situací je uveden v Tabulce 1. Na úrovni ZŠ však žáci přesně vztahy znát nemusí.

Využíváme obvyklého značení, kdy a značí vzdálenost předmětu od čočky, a' vzdálenost obrazu od čočky a f ohniskovou vzdálenost čočky. 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.

Čočkové dalekohledy: Každý dalekohled se skládá z optických prvků, které se nazývají objektiv a okulár. Objektiv se nachází nejbližší pozorovanému předmětu, okulár zase nejbližší oku. V případě čočkového dalekohledu neboli refraktoru (anglicky refract - lámat světlo) jsou oba tyto členy tvořeny čočkami se společným ohniskem. Objektiv je vždy tvořen spojnou čočkou. Obzvlášť u objektivu se ohnisková vzdálenost vyjadřuje nejen v milimetrech, ale také v dioptriích. Jde o jednotku optické mohutnosti, značí se φ a počítá se jako převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti čočky $\varphi = \frac{1}{f}$. Spojky mají optickou mohutnost vždy kladnou,

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

rozptylky zápornou. Dioptrie někteří žáci mohou znát z brýlí. V Tabulce 2 je pro lepší představu uveden přepočet několika vybraných hodnot.

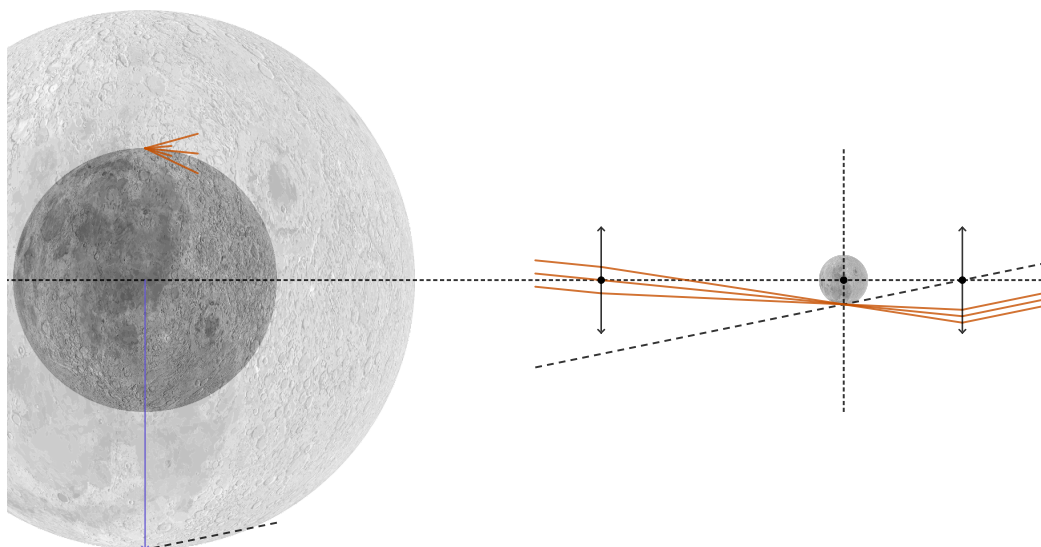
Ohnisková vzdálenost f [mm]	Ohnisková vzdálenost f [m]	Optická mohutnost φ [D]
1 000 mm	1 m	1 D
500 mm	0,5 m	2 D
250 mm	0,25 m	4 D
200 mm	0,2 m	5 D
100 mm	0,1 m	10 D

Tabulka 2: Přepočet vybraných ohniskových vzdáleností čočky z milimetrů na dioptrie podle vztahu $\varphi = \frac{1}{f}$, kde ohnisková vzdálenost f je v metrech.

Podle typu použitého okuláru rozlišujeme Galileův a Keplerův dalekohled. V prvním případě je v okuláru použita rozptylka, díky níž vzniká vzpřímený obraz pozorovaného objektu. V druhém případě je okulárem spojná čočka. Obraz Keplerova dalekohledu je potom sice převrácený, ale při pozorování astronomických objektů pro nás vzpřímenost obrazu není podstatná. Astronom to musí mít na paměti pouze při pohybu dalekohledu, neboť s ním musí posouvat zdánlivě opačným směrem, než by intuitivně očekával podle obrazu v dalekohledu.

Princip Keplerova dalekohledu: Na Obrázku 1 je zachycena část animace, kterou lze promítnout žákům k vysvětlení chodu světelných paprsků v Keplerově dalekohledu. Ten je znázorněn v pravé části obrázku dvěma svislými úsečkami, které jako obvykle znázorňují spojky (objektiv a okulár). Velikostně však neodpovídají skutečnosti, okulár bývá vždy menší než objektiv. Sytě vybarvený Měsíc vlevo znázorňuje pozorovaný předmět a prázdný prostor uprostřed představuje velkou vzdálenost mezi předmětem a pozorovatelem. V ohniskové rovině objektivu reprezentované čárkovanou svislou úsečkou vzniká skutečný obraz předmětu, který dále pozorujeme okulárem jako lupou. Okem pak vidíme zdánlivý zvětšený obraz. Šikmá čárkovaná čára ukazuje, odkud zdánlivě přichází světlo k pozorovateli do oka.

Parametry dalekohledu: (Z této části by si žáci měli odnést zejména pojmy zvětšení dalekohledu a průměr objektivu. Přitom si mají uvědomit důležitost průměru objektivu oproti samotnému zvětšení. Ostatní pojmy jsou vhodné spíše jako



Obrázek 1: Náhled appletu chodu světelných paprsků v Keplerově dalekohledu. Paprsky jdoucí od krajního bodu předmětu se nám ve veliké 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. Šikmá přerušovaná čára znázorňuje, odkud zdánlivě přichází světlo do okuláru. Tento zdánlivý obraz je zvětšený oproti pozorovanému předmětu. Applet je k dispozici online [2]. Zobrazený náhled neobsahuje ovládací prvky appletu.

rozšíření pro zájemce. To samé platí pro značky uvedených fyzikálních veličin.) Základními parametry každého dalekohledu jsou průměr objektivu a zvětšení. Ačkoliv by se zvětšení mohlo zdát jako nejpodstatnější, pro astronomy je mnohem důležitější **průměr objektivu** D . Důvodem je, že široký objektiv dokáže zachytit více světla, které nám soustředí do oka, a díky tomu vidíme i slabší objekty. **Zvětšení** dalekohledu se vypočítá jako poměr ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru $\gamma = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okulár}}}$. (Vztah není zcela přesný, ale pro praktické použití je naprosto dostačující.) Zvětšující dalekohled tedy potřebuje několikanásobně větší ohniskovou vzdálenost objektivu proti okuláru. Jelikož předmětové ohnisko okuláru splývá s obrazovým ohniskem objektivu, je **délka dalekohledu** součtem ohniskových vzdáleností těchto optických prvků.

Mezní hodnoty zvětšení dalekohledu jsou určeny průměrem objektivu, což jen podtrhuje jeho důležitost. **Maximální možné zvětšení** lze odhadnout jako dvojnásobek průměru objektivu v milimetrech $\gamma_{\text{max}} = 2D$. Teoreticky sice lze dosáhnout i většího zvětšení, ale v důsledku ohybových jevů při průchodu světla dalekohledem klesá rozlišení obrazu. Nedokážeme tedy zachytit více detailů, přestože máme větší zvětšení. V takovém případě se hovoří o prázdném zvětšení. Existuje také **minimální zvětšení**, které je dáno jako poměr průměru objektivu a průměru zornice oka přizpůsobenému tmě. To se odhaduje mezi dvěma až šesti milimetry, tedy i minimální zvětšení se pohybuje mezi $\frac{D}{2}$ a $\frac{D}{6}$.

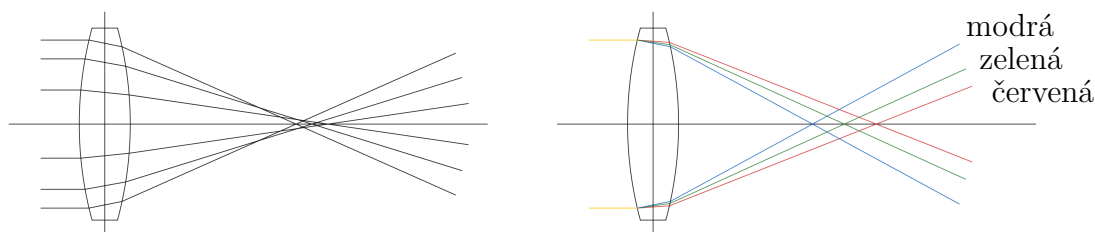
Dále je užitečné znát i **zorné pole** dalekohledu, které vyjadřuje (ve stupních) jak velkou část oblohy nebo krajiny lze pozorovat. Určíme jej jako poměr zorného pole okuláru a zvětšení dalekohledu. Pro představu, zdánlivý průměr Měsíce je asi půl stupně, tedy $30'$. V případě menšího zorného pole by se Měsíc do dalekohledu nevešel celý.

Světelnost dalekohledu určuje, kolik světla od pozorovaného objektu projde dalekohledem do okuláru. Pro tuto hodnotu se obvykle používá značení f/k , kde clonové číslo k vyjadřuje poměr mezi ohniskovou vzdáleností a průměrem objektivu $k = \frac{f_{\text{objektiv}}}{D}$. Zlomek f/k tedy určuje, jak velká část světla projde dalekohledem. Například světelnost $f/4$ znamená, že soustava propustí čtvrtinu dopadajícího světla. Vyšší světelnost (např. $f/4$ až $f/6$) je vhodná i pro astronomické fotografování, protože umožňuje zachytit více světla a tím zlepšit kvalitu snímků. Naopak nižší světelnost (např. $f/8$ a více) je vhodnější pro vizuální pozorování.

Různé parametry dalekohledu pro zvolenou konfiguraci lze dopočítat kalkulačkou na stránkách [3]. Stačí zadat alespoň průměr objektivu. Pro zobrazení dalších informací musíte vložit více údajů, jako jsou ohniskové vzdálenosti nebo zorné pole okuláru.

Bezpečnostní upozornění: Vzhledem k tomu, že dalekohledy koncentrují velké množství světla, nikdy se s nimi nesmíme přímo dívat na Slunce. Totéž platí i pro samostatné čočky, ne jen pro sestavený dalekohled. Než dá učitel žákům do rukou pomůcky, je potřeba to několikrát zdůraznit.

Clony: Umístěním clon do dalekohledu zvýšíme kontrast obrazu a potlačíme optické vady objektivu. Důsledkem je snížení světelnosti, jelikož clony omezují množství světla procházejícího dalekohledem. První clona se obvykle umístí hned za objektiv, čímž dojde k odstínění paprsků z okrajových částí čočky. Ty jsou zatíženy například kulovou (sférickou) vadou, což znamená, že paprsky dále od středu čočky se lámou více, viz Obrázek 2. To způsobuje rozostření obrazu. U těchto okrajových paprsků je také výraznější barevná (chromatická) vada. Lom světla totiž závisí na vlnové délce, tedy jeho barvě. Přitom světlo kratší vlnové délky (modré, fialové) se láme více než světlo s delší vlnovou délkou (červené), viz Obrázek 2. Předměty ve vzniklém obrazu pak mívají barevné okraje.



Obrázek 2: Znázornění kulové vady (nalevo) a barevné vady (napravo). Paprsky u okrajů čočky se lámou více než paprsky blízko optické osy. Modré paprsky se lámou více než červené, přičemž efekt je nejvýraznější dále od optické osy.

Další clony, umístěné v tubusu dále od objektivu, mají vliv na potlačení světelných odrazů od tubusu dalekohledu. Od něj se totiž světlo rozptýlí do všech směrů, což má za následek zhoršení kontrastu obrazu pozorovaného objektu. Tyto nežádoucí paprsky mohou pocházet od okolních světelných zdrojů (například pouliční osvětlení), na které dalekohledem přímo nemíříme, ale odrazy od stěn tubusu mohou přivést jejich světlo do okuláru. Zároveň se od stěn tubusu odráží i světlo pozorovaného předmětu, což může narušit detaily a jasnost obrazu. Potlačení těchto nežádoucích odrazů lze dosáhnout rozmístěním clon v dalekohledu

nebo nastříkáním vnitřku tubusu matnou černou barvou.

Počet výrobků: Sestavení dalekohledu podle níže popsaného návodu dokáže sice provést i jediný žák, ale pohodlnější by byla práce alespoň ve dvojicích. Z toho důvodu je potřeba rozmyslet, zda si ve skupince žáci vyrobí dalekohled jediný, nebo si ho odnese každý z nich. Od toho se dále odvíjí množství kupovaných součástek.

Nákup: Peníze na pořízení materiálu lze brát ze zdrojů školy, vybrat od žáků nebo jako kombinace obojího. Celková cena za jeden výtvar činí orientačně dva tisíce korun. Seznam součástek, které je potřeba obstarat na výrobu jednoho dalekohledu, je následující:

- Čočka na objektiv s ohniskovou vzdáleností 2 D a průměrem 50 mm [4]
- Okulár s ohniskovou vzdáleností 25 mm [5]
- PVC trubka délky 500 mm a vnitřním průměrem 69 mm (vnější 75 mm) [6]
- PVC trubka délky 500 mm a vnitřním průměrem 36,5 mm (vnější 40 mm) [7]
- Délkové měřidlo (pravítko, metr)
- Pilka na železo
- Brusný papír
- Vrtáčka s vrtákem o průměru 2 mm
- Vrutky 3x12 mm (univerzální, 3 kusy)
- Vytisknuté 3D části, viz dále
- Jehla a pevná nit (*volitelné*)
- Matná černá barva ve spreji (*volitelné*)
- Fotografický stativ (*volitelné*)
- Adaptér pro montáž mobilního telefonu na okulár (*volitelné*) [8]

Uvedené rozměry a ohniskové vzdálenosti jsou zde uvedeny pro dále popsanou výrobu dalekohledu s konkrétními parametry. Bylo by však možné si mnohé z nich upravit podle svých možností. Objektiv může mít optickou mohutnost 1 až 4 D, průměr může být 50 až 60 mm. Okulárů lze koupit víc i pro náš dalekohled a měnit je, abychom získali různá zvětšení. Vhodné rozmezí ohniskových vzdáleností okuláru je tak 10 až 50 mm. U odpadních PVC trubek se v obchodech většinou udává vnější průměr, ačkoliv v dalekohledu je pro nás rozhodující ten vnitřní. Místo pilky na železo lze použít cokoliv jiného, čím lze zkrátit trubek na danou délku. Pokud má váš dalekohled jiné rozměry, můžete potřebovat více vrutů kvůli upevnění dalších clon.

Vytisknutí 3D dílů: Je potřeba vytisknout části z Přílohy 3D díly (ke stažení) a to ideálně černou barvou. Není-li vhodný filament k dispozici, měly by se alespoň clony nastříkat matnou černou barvou. Místo 3D tisku ve škole mohou být tyto části vytištěny za menší obnos externí firmou. Seznam vytištěných částí je:



Obrázek 3: Součástky potřebné pro výrobu Keplerova dalekohledu.

- Rosnice (*objektiv.stl*)
- Držák objektivu (*objektiv.stl*)
- Plochá clona (*clona.stl*)
- Clony s okrajem (2 až 3 kusy) (*clona.stl*)
- Uchycení okulárové trubky v tubusu dalekohledu (*nastavec-na-dalekohled.stl*)
- Držák okuláru (v okulárovém tubusu) (*okular.stl*)
- Uchycení ke stativu (*volitelné*) (*stativ.stl*)

Příprava tubusů: Na silnější trubce si změříme od strany bez hrdla zhruba 450 mm a na užší trubce stejným způsobem asi 250 mm. Fixem můžeme tuto vzdálenost vyznačit po celém obvodu trubky. Pomocí pilky na železo odřízneme část trubky s hrdlem na vyznačeném místě. Snažíme se přitom o kolmý řez, jelikož na konce trubek budeme nasazovat 3D vytištěné díly. Hrany řezu zjemníme brusným papírem, aby nedošlo k poranění. Širší trubka slouží jako tubus dalekohledu, užší jako okulárový výtah.

Tubusy je možné nastříkat zevnitř matnou černou barvou pro snížení odrazů a zlepšení kontrastu obrazu. Musí se to ale udělat dostatečně s předstihem, aby barva zaschla.

Zkušební sestavení dalekohledu: Na jeden konec tubusu umístíme držák trubky okuláru, na druhý konec držák objektivu. Do něj umístíme zakoupený objektiv a nasadíme rosnici, která nedovolí objektivu vypadnout. Přesto ale budme opatrní, části dalekohledu zatím nejsou pevně zafixované.

Podobně na menší trubku nasadíme držák okuláru, do něj vložíme samotný okulár a celý díl zasuneme do hlavního tubusu. Vyzkoušíme, zda vše pasuje, trubka okuláru se může rozumně volně pohybovat, zkrátka že nic by nemělo být příliš těsné, ani příliš volné. Dalekohled ještě není dokončený, ale zhruba takto bude vypadat výsledný produkt.



Obrázek 4: 3D vytištěné části k sestavení dalekohledu. Vlevo jsou části objektivu: odshora rosnice, držák objektivu a plochá clona za objektiv. Uprostřed jsou clony určené do hlavního tubusu. Vpravo jsou části příslušející okulárovému tubusu: nahoře jeho držák v hlavním tubusu a dole držák samotného okuláru. Žlutě je vytištěno uchycení dalekohledu, které lze přišroubovat k fotografickému stativu.

V tuto chvíli je vhodné vyzkoušet dalekohled zaostřit na vzdálený objekt (stačí objekt na druhé straně třídy). Při práci s žáky ve třídě je znovu upozorníme, že se dalekohledem nikdy nekoukáme do Slunce, neboť hrozí vážné a trvalé poškození zraku. Pro jistotu žáky při této činnosti kontrolujeme. Ostření provádíme zasouváním a vysouváním okulárového tubusu. Pokud se nedaří získat ostrý obraz, podle potřeby zkrátíme hlavní nebo okulárový tubus a znovu vše vyzkoušíme.



Obrázek 5: Zkušební sestavení hlavního tubusu a okulárové trubky.



Obrázek 6: Rozložený okulár.

Umístění clon: Polohu clon určíme geometrickou metodou, bude nám proto stačit jen tužka, pravítko s ryskou a papír (ideálně A4, může být i čtverečkový). Cílem je, abychom viděli světlo přímo z pozorovaných předmětů. Naopak vnitřní stěny tubusu, od kterých se světlo odráží, vidět nechceme.

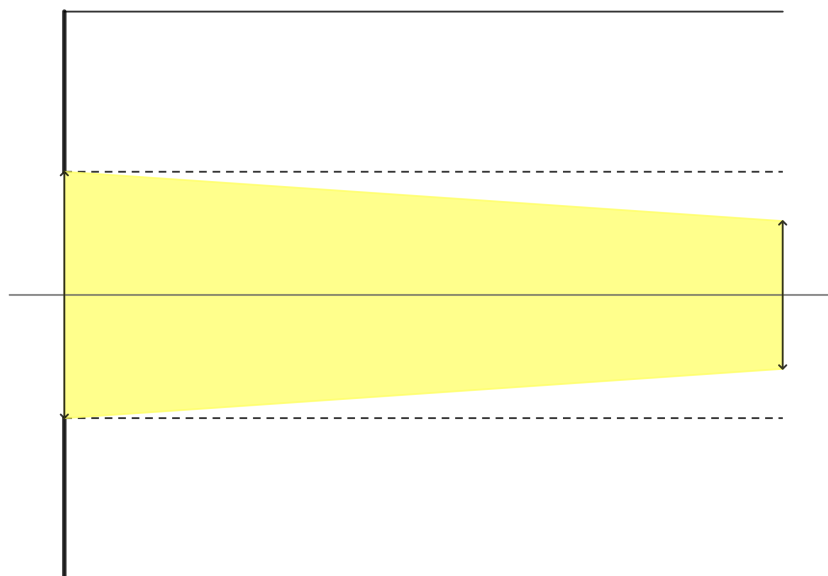
Napřed si sepíšeme potřebné rozměry, se kterými budeme při rýsování pracovat. V seznamu jsou v závorkách uvedeny délky pro naši konkrétní sestavu dalekohledu. Některé rozměry pravděpodobně již známe (díky nákupu součástek), jiné jako například otvor okuláru, případně i vnitřní průměr tubusu, si musíme změřit sami. Otvorem okuláru myslíme tu část, do které od objektivu vstupuje světlo. Vzdálenost mezi objektivem a okulárem počítáme jako součet ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru (jde tedy o délku dalekohledu). Potřebné rozměry tak jsou:

- Vnitřní průměr tubusu (69 mm)
- Průměr otvoru clony (30 mm)
- Průměr otvoru okuláru (18 mm)
- Vzdálenost mezi objektivem a okulárem (525 mm)

Papír chceme využít ideálně celý. V našem případě při použití nelinkovaného papíru formátu A4 zvětšíme svislé rozměry v poměru 3 : 1 a vodorovné naopak zmenšíme v poměru 1 : 2. Rýsované rozměry zde uvádíme v centimetrech, protože v těchto jednotkách jsou žáci obvykle zvyklí rýsovat.

Papír si položíme na šířku. V levé části si narýsujeme svislou úsečku představující vnitřní průměr tubusu. Vzhledem k zvolenému měřítku bude tato úsečka dlouhá $3 \cdot 6,9 \text{ cm} = 20,7 \text{ cm}$. Najdeme si její střed a narýsujeme kolmici přes celý papír. Ta bude představovat osu dalekohledu. Na ní si ve vzdálenosti $26,25 \text{ cm} = 52,5 : 2 \text{ cm}$ vyznačíme polohu okuláru. Poloviny milimetru není samozřejmě nutné hledat zcela přesně, postačí přibližná poloha.

Symetricky vzhledem k ose dalekohledu dorýsujeme napravo úsečku odpovídající průměru otvoru okuláru ($3 \cdot 1,8 \text{ cm} = 5,4 \text{ cm}$) a nalevo průměr otvoru clony ($3 \cdot 3 \text{ cm} = 9 \text{ cm}$). Do obrázku si dokreslíme vnitřní stěny tubusu (dvě úsečky rovnoběžné s optickou osou) a dále si vyznačíme vzdálenosti, kam dosáhnou clony dalekohledu. Jde o dvě rovnoběžky vzdálené od optické osy $3 \cdot 1,5 \text{ cm} = 4,5 \text{ cm}$, viz Obrázek 7. Do obrázku můžeme narýsovat i průměr objektivu, ale vzhledem k tomu, že jej chceme hned na začátku zakrýt clonou, není to pro uvedenou metodu podstatné. Světelné paprsky, které procházejí první clonou a dopadají přímo do otvoru okuláru, jsou pro pozorování žádoucí. Vše ostatní chceme odclonit.



Obrázek 7: Znázornění kuželu světla, které prochází tubusem do čočky okuláru přímo, bez odrazů.

Označíme si krajní body otvoru okuláru A a B jako na Obrázku 8. V něm lze sledovat i popsany postup hledání poloh pro clony. Dále si označíme levé krajní body tubusu jako C_1 a C'_1 . Z krajního bodu B můžeme vidět celou první clonu až po bod C_1 . Další body (na tubusu) už pozorovat nechceme. Proto si spojíme body C_1 a B a na úsečce vymezující polohu clon najdeme jejich průsečík P_2 . Sem je potřeba umístit druhou clonu.

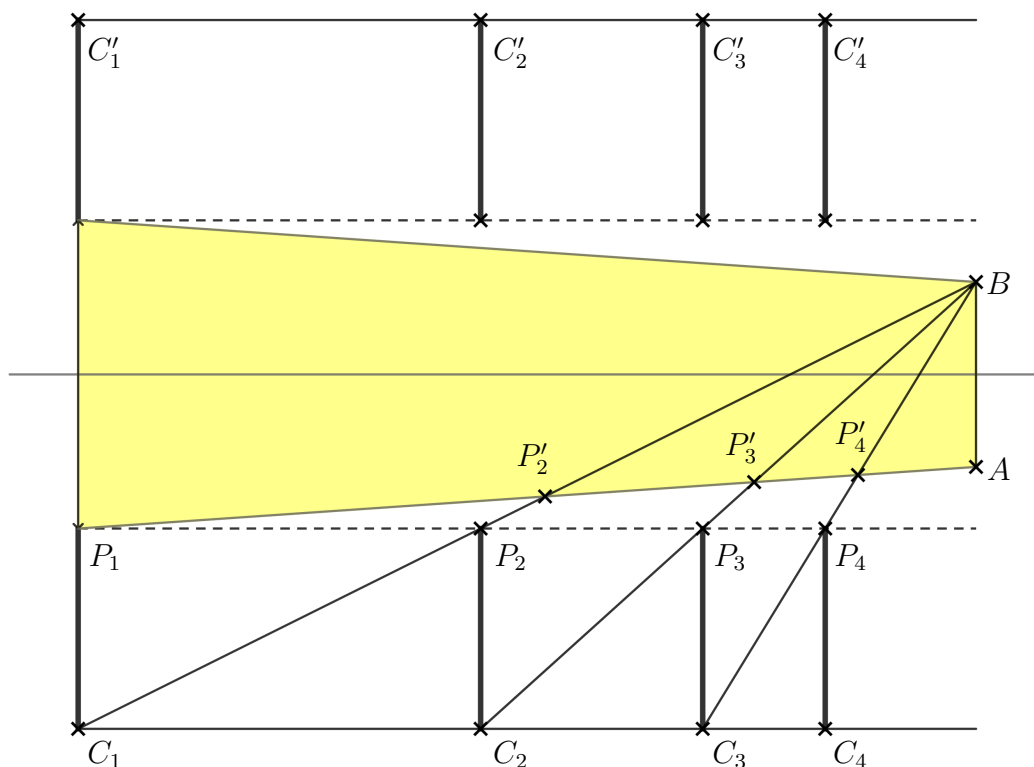
Totéž lze provést i pro bod A , ze kterého bychom pozorovali horní část tubusu, tedy bod C'_1 . Vzhledem k symetrii úlohy budeme popisovat pouze jednu část. Při hledání polohy další clony pokračujeme stejným způsobem, jako v prvním případě. Označíme si krajní bod clony na tubusu C_2 (respektive C'_2 na opačné straně), spojíme s bodem B a na průsečíku této čáry s úsečkou pro clony najdeme další průsečík P_3 .

Takto lze pokračovat teoreticky neomezeně dlouho. Vzdálenost mezi dalšími clonami bude stále menší a menší. Kvůli okulárovému výtahu, který clonami neprojde, jich má smysl umístit pouze omezený počet. Vzhledem k tomu, že délka našeho okulárového tubusu je 250 mm, což ve zvoleném měřítku představuje 12,5 cm, vejde se do tubusu pouze jedna clona.

Nalezené polohy pro clony (v našem případě tedy jen pro první) si vyznačíme na vnější straně tubusu. Vodorovnou vzdálenost z papíru nezapomeneme opět

ve správném poměru zvětšit na vzdálenost skutečnou.

Přesnější určení polohy clon je možné tak, že najdeme průsečík P'_2 úsečky BC_1 s čarou vymezující světelné paprsky dopadající z první clony přímo do okuláru (od jednoho okraje do druhého), viz Obrázek 8. V takovém případě bychom ale potřebovali různě velké clony pro každou polohu.



Obrázek 8: Náčrt k určení polohy clon pro zvolené rozměry vyráběného dalekohledu.

Rozmístění clon lze určit také experimentálně. Pozorujeme přes okulár od objektivu postupně se přibližující clonu, dokud stále ještě nevidíme vnitřní stěnu tubusu. V ten okamžik zastavíme, označíme si místo pro clonu, a postup opakuje s dalším cloněním. Tento postup je více názorný, ale není přesný a vzhledem k manipulaci s clonami uvnitř tubusu může být poměrně náročný. Mladším žákům by se však mohlo povést do tubusu vsunout ruku a s clonou opatrně pohybovat. Dejte však pozor, aby seříznuté hrany trubky byly opravdu dobře obroušené a žáci se neporanili. Namísto ruky lze clonu opatrně posouvat i menší okulárovou trubkou. Dávejte však pozor, aby vlivem přílišné síly tenká clona nepraskla. Po umístění clon je potřeba si pravítkem změřit vzdálenost od kraje tubusu, kterou si pak vyznačíme na vnější straně trubky. Zde budeme clonu následně přivrtávat.

Upevnění clon: Když máme určené polohy clon, musíme je nyní k tubusu dalekohledu přichytit. Clony vkládáme do dalekohledu vyvýšenou hranou směrem k objektivu. Proto do tubusu vyvrtáme díry vždy 5 mm (polovina vyvýšené hrany) od značky clony směrem k objektivu.

Ačkoliv v našem případě vkládáme do dalekohledu pouze jednu clonu (kromě té hned u objektivu), popíšeme obecný postup pro více clon. Jako první umístíme clonu nejbližší okuláru. Proto všechny clony vkládáme do tubusu směrem od objektivu. Ve vytištěných clonách je dírka, aby nebylo potřeba provrtávat i clonu,

kteřá je křehká a pod tlakem vrtáku se může různě ohýbat a utíkat ze své polohy. Na pozici lze clonu umístit užší okulárovou trubicí nebo hubenější rukou. Tou můžeme clonu i vhodně natáčet, aby se díрка clony překrývala s vyvrtanou dírkou v trubce. Pomocí si lze provlečením nitě skrz díru v tubusu a díru v cloně. Opatrným taháním za nit dokážeme díry vyrovnat. Pozici clony pak před samotným vrtáním zajistíme jehlou.

Pokud je clona v tubusu volnější a více se viklá, zvolíme rovnou postup s pevnou nití a opatrně se clonu snažíme dostat na správné místo. Tato část může být obtížná na zručnost a trpělivost.

Jakmile umístit správně otočenou clonu na své místo, přichytíme ji vrutem. V případě volnější clony je potřeba dávat pozor, aby se při vrtání clona nepootočila. Tento postup opakujeme pro všechny clony. Pokud jsme využívali k posouvání užší trubicí okuláru, zkrátíme ji ještě nyní na vhodnou délku a konce opět zahladíme brusným papírem.

Závěrečné sestavení a zafixování částí dalekohledu: Nyní pomocí vrutů smontujeme i zbytek dalekohledu. Plochou clonu (nebo clonu s vyvýšeným okrajem) umístit do držáku objektivu a nasadíme na tubus. Z druhé strany vložíme objektiv a nasadíme rosnici. Jakmile jsou díly na svém místě, navrtáme díрку skrz rosnici, držák objektivu a tubus a to vše zafixujeme vrutem. Místo pro navrtání volíme opatrně, abychom nepoškodili objektiv a zároveň jsme nevrtali moc blízko ke kraji držáku. Dírky do tisknutých dílů vždy raději předvrtáváme, aby se nepoškodily. Záleží ale na zručnosti. V případě práce ve třídě může učitel žákům dírky navrtávat sám.

Potom sestavíme okulárový výtah, viz Obrázek 9. Nejprve nasadíme 3D vytištěný držák trubky okuláru na okulárový tubus. Na jeho konec (ten, který patří dovnitř do dalekohledu) navrtáme zevnitř trubky jeden jistící vrut, který zabrání vysunutí okularového tubusu z dalekohledu. Případně lze zavrtat dva vruty proti sobě pro pevnější uchycení. Držák okuláru nasadíme na větší tubus, opět navrtáme a zajistíme vrutem. Na vnější konec menšího tubusu nasadíme držák samotného okuláru. Ten již vrutem nezajišťujeme, abychom umožnili snadné použití a výměnu okuláru.



Obrázek 9: Sestavení okularového výtahu. Na jednu stranu přivrtáme jistící vrut, který zabrání vypadnutí okularového výtahu z dalekohledu. Nasadíme držák trubky okuláru a nakonec držák samotného okuláru.

Vyzkoušení dalekohledu: Nyní už je potřeba dalekohled jen vyzkoušet. Zaostříme objekt na vzdálený předmět postupným vysouváním a zasouváním okularového tubusu. Pokud narazíme na nějaké problémy, postupujeme v návodu v opačném pořadí a opatrně odvrtáváme vruty, dokud se nedostaneme, kam po-

třebujeme. Přitom vždy dáváme pozor, aby se nepoškodily zejména optické prvky dalekohledu.

Stativ: Po chvíli pozorování zjistíme, že držet dalekohled pouze v rukou a snažit se jej udržet v jedné poloze, není moc pohodlné ani praktické. Pořádná montáž často tvoří druhou polovinu ceny dalekohledu. Nám nyní postačí si dalekohled o něco opřít. Způsobů, jak to šikovně udělat, je celá řada. Kolikrát může stačit i pouhé opření dalekohledu o zábradlí. Poloha může být jistým způsobem stabilizována pomocí truhlářských svorek. Lze použít i chodeckou či běžkařskou hůl, u které okem řemene dalekohled provlékneme. Když o něco hůl opřeme, získáme alespoň částečně stabilizovaný dalekohled.

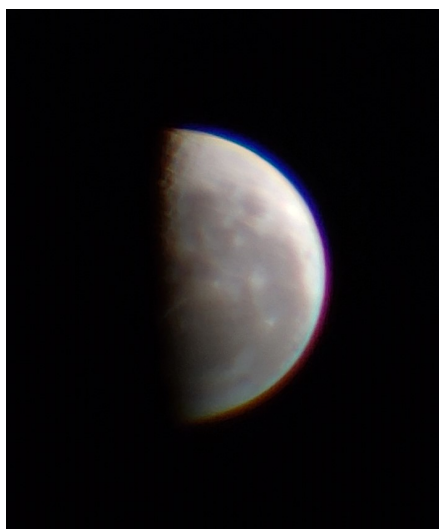
Pokud vlastníme fotografický stativ (trojnožku), můžeme dalekohled připevnit na něj. Mezi vytištěnými díly si lze vytisknout také právě uchycení ke stativu. To má zespodu závit, který lze našroubovat na rychloupínací destičku stativu. Díky jeho tvaru lze toto uchycení na tubus nasadit ještě při sestavování, lze jej ale také nacvaknout na tubus později. Avšak po několika těchto vycvaknutích a nacvaknutích (v závislosti na použitém materiálu při 3D tisku) už nedrží uchycení tubus dalekohledu tak pevně a je potřeba jej zajistit. K tomu postačí pevnější gumička.



Obrázek 10: Sestavený dalekohled umístěný ve stativu

Pozorování dalekohledem: Před použitím seznámíme žáky s ovládáním dalekohledu. Ještě jednou je upozorníme, že se s dalekohledem nikdy nekoukáme do Slunce, jelikož hrozí vážné a trvalé poškození zraku. Zaostřování vzdálených objektů provádíme posouváním okulárového tubusu do polohy, kdy se nám obraz bude jevit ostrý. Na pozemských předmětech si mohou zkusit zkoordinovat pozorování předmětu a pohyb dalekohledem, aby si uvědomili, že se zorné pole posune stejným směrem jako dalekohled (vlivem převráceného obrazu).

Dalekohled s námi zvolenou konfigurací (průměr objektivu i s clonou je 30 mm, ohniskové vzdálenosti objektivu a okuláru jsou 500 a 25 mm) je vhodný pro základní pozorování. Zcela jistě se bude dobře pozorovat Měsíc, jeho krátery a pohoří. Lze pozorovat také planety jako Mars, Jupiter nebo Saturn, ale zaměřit je však bez pořádného stativu může být velmi obtížné.



Obrázek 11: Fotka Měsíce pozorovaného sestaveným dalekohledem. Rozmazaný obraz je způsobený fotoaparátem mobilního telefonu a následným přiblížením obrázku, ne zobrazovacími vlastnostmi dalekohledu. Na viditelných krajích Měsíce je zřetelná barevná vada.

Pro výše uvedené případy máme optimální zvětšení. Pokud použijeme jiný okulár, dosáhneme odlišných výsledků. Okulár s kratší ohniskovou vzdáleností, například 10 mm, poskytne větší zvětšení a lze tak spatřit více detailů na Měsíci, případně i na planetách. Jenže slabé objekty budou vidět hůře. Jak jsme uvedli, zvětšení není v astronomii často to nejpodstatnější. Obvykle se i při pozorování začíná s okulem s nejdelší ohniskovou vzdáleností. Využijeme-li okulár s ohniskovou vzdáleností 40 nebo 50 mm, neuvidíme sice tolik detailů, ale díky menšímu zvětšení se bude obraz méně chvět, obzvláště když dalekohled držíme jen v ruce nebo ho máme někde opřený. Zároveň získáme jasnější obraz, takže je možné pozorovat na obloze i některé slabší objekty jako například Velkou mlhovinu v Orionu.

Další aktivity s dalekohledem: S takto vyrobeným dalekohledem lze pozorovat samozřejmě i bližší předměty než vzdálené planety. Žáci mohou sledovat pozemské předměty a zkoumat vliv použitých okulárů na zvětšení a světlost obrazu. V dalekohledu se dají zaostřit i předměty bližší, přímo ve třídě. V této situaci mohou žáci zkoumat při stejném okuláru, jak musí změnit polohu okulárového tubusu pro předměty bližší a vzdálenější.

Možná vylepšení: Pokud je příležitost, čas a zájem, můžete se snažit o další zdokonalení vyrobeného Keplerova dalekohledu. Výroba stativu, který by ještě více usnadnil manipulaci s dalekohledem, by vystačila na další laboratorní práci. Tuto část je lepší nechat pro zájemce na doma. Většina návodů na výrobu si obvykle vystačí s dřevěnými prkénky a trámky.

Ještě lepšího obrazu lze dosáhnout, pokud umístíte clony i do okulárového tubusu. Vzhledem k pohybu tubusu v držáku je však není tak snadné uchytit, aby vruty nebránily pohybu okulárového výtahu. Jak bylo uvedeno výše, lze si vytisknout clony různých průměrů a umístit je do přesnějších poloh.

Pokud jste tak ještě neučinili, lze si s žáky dalekohled zvenku ozdobit, ideálně voděodolnými barvami, které vydrží i nepříznivé počasí při pozorování. V rámci

mezipředmětové spolupráce lze požádat o pomoc (a vyučovací hodiny) učitele výtvarné výchovy.

Shrnutí: Keplerův dalekohled je čočkový dalekohled (refraktor), který používá jako objektiv i okulár spojné čočky. Získáme s ním zdánlivý, převrácený a zvětšený obraz vzdáleného objektu. Mezi podstatné parametry dalekohledu patří průměr objektivu a ohniskové vzdálenosti objektivu a okuláru. Ty se obvykle udávají v milimetrech, případně v dioptriích. Z dalších parametrů nás často zajímá také zvětšení nebo světelnost. Délka konstrukce dalekohledu odpovídá součtu ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru. S popsáním návodem lze získat dalekohled vhodný k prvotnímu seznámení se s noční oblohou a základům nočního pozorování. Okuláry s delší ohniskovou vzdáleností sice méně zvětšují, ale zato umožní vidět i slabší objekty, jelikož nám do oka propustí více světla. Kromě získaných znalostí a dovedností si žáci z výuky odnášejí i vlastní vyrobený dalekohled.

Literatura

1. ŠVANDA, M. *Po stopách Galilea - Postavte si dalekohled*. Český organizační výbor pro přípravu Mezinárodního roku astronomie 2009, 2009. ISBN 978-80-254-4736-9.
2. HLOŽEK, Filip. *GeoGebra - Chod paprsků v Keplerově dalekohledu* [online]. [cit. 2025-01-25]. Dostupné z: <https://www.geogebra.org/m/xkgs9y7v>.
3. *Astronomická kalkulačka* [online]. [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: <http://www.astrokalkulacka.cz/>.
4. *Foto-eshop.cz - Astronomický snímek dne* [online]. [cit. 2025-08-22]. Dostupné z: <https://www.foto-eshop.cz/58mm-close-up-Sada-4-makro-cocek-1-2-4-10-d1154.htm>.
5. *Astro.cz - Astronomický snímek dne* [online]. [cit. 2025-08-22]. Dostupné z: <https://www.foto-eshop.cz/Okular-Super-Plossl-25mm-d2495.htm>.
6. *Obi.cz - Marley Odpadní trubka HTEM s hrdlem DN 75, 500 mm* [online]. [cit. 2025-08-22]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/ht-odtokove-trubky/marley-odpadni-trubka-htem-s-hrdlem-dn-75-500-mm/p/7416514>.
7. *Obi.cz - Marley Odpadní trubka HTEM s hrdlem DN 40, 500 mm* [online]. [cit. 2025-08-22]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/ht-odtokove-trubky/marley-odpadni-trubka-htem-s-hrdlem-dn-40-500-mm/p/7416415>.
8. *Foto-eshop.cz - Držák mobilu pro dalekohledy* [online]. [cit. 2025-08-22]. Dostupné z: <https://www.foto-eshop.cz/Drzak-mobilu-pro-dalekohledy-a-teleskopy-d4477.htm>.