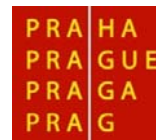




STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY

110 00 Praha 1, Panská 856/3,

☎ 221 002 111, 📠 221 002 666, www.panska.cz, e-mail: sekretariat@panska.cz



OPTICKÉ PŘÍSTROJE

MATURITNÍ PRÁCE ZE ZKUŠEBNÍHO PŘEDMĚTU

filmová a televizní praxe

Autor: **Marek Pála, Tomáš Novotný**

Studijní obor: **26-46-M/001**

Obrazová a zvuková technika

Školní rok: **2010/2011**

Třída: **4. D**

ANOTACE:

Cílem práce je shrnout základní vlastnosti optických přístrojů a vysvětlit princip a vývoj dalekohledů. Součástí je i model Newtonova zrcadlového dalekohledu, sestavený z běžně dostupných materiálů.

ANNOTATION:

The document is aimed at summarizing of the basic optical device features and explaining of the principle and development of binocular. Part of it is also the model of Newton miracle binocular put together from commonly accessible parts.

1. Úvod

K této práci nás hlavně inspirovaly výrobky starších absolventů SPŠST Panská a návštěva hvězdárské stanice v Praze na Petříně. Také nás inspirovaly fyzikální experimenty Mgr. Jaroslava Reichla, které doplňovaly probíranou látku v hodinách fyziky. Skutečností, že optika a samotný Newtonův dalekohled a jeho principy činnosti velmi úzce souvisí s naším odborným zaměřením, přispěli také nemalou mírou k výběru tématu.

Hlavním tématem naší maturitní práce je věda optika a s ní spojený vynálezce Isaac Newton. V této maturitní práci se seznámíme se základy optiky, optickými přístroji, životem Isaaca Newtona a jeho, námi obdivovaným, zrcadlovým dalekohledem. Dalekohled jsme se rozhodli zkonstruovat z běžně dostupných dílů, aby práce sloužila jako učební pomůcka pro studenty a také jako návod pro zájemce o výrobu vlastního zrcadlového dalekohledu.

Naše maturitní práce obsahuje odborný text, stručný životopis Isaaca Newtona a dokumentaci pracovního postupu při výrobě zrcadlového dalekohledu. Dokumentace pracovního postupu obsahuje parametry zrcadel a čočky, které jsou ověřeny výpočty, fotografie pořízené během výroby a fotografie nafocené přes samotný okulár dalekohledu.

2. Základy optiky a optické přístroje

2.1. Optika a její dělení

Optika se zabývá zkoumáním podstaty světla a zákonitostí světelných jevů, které vznikají při šíření světla a při vzájemném působení světla a látky. Do optiky lze též zahrnout i účinky světelného záření zkoumané v chemii, biologii, lékařství, psychologii a dalších vědeckých disciplínách. Optika patří spolu s mechanikou k nejstarším oborům fyziky. Souvisí to s tím, že člověk získává zrakem více než 80 % informací o světě. Optika umožnila proniknout i do oblastí lidským okem nedostupných. A to jak do oblasti mikrosvěta pomocí mikroskopu, tak do astronomie a kosmologie pomocí dalekohledů a teleskopů. Prudký rozvoj optiky přinesl vynález a využití laseru, optika se uplatňuje i v elektronických zařízeních - tzv. optoelektronika. Základní vlastnosti světla a zákony popisující jeho šíření určují i různý přístup k výkladu světelných jevů a použití různých metod k jejich zkoumání.

2.1.1. Dělení optiky

Optiku lze rozdělit na jednotlivé podobory podle toho, jaké optické jevy a děje studuje.

Dělí se na:

- geometrickou optiku
- svazkovou optiku
- fotometrii
- radiometrii

- vlnovou optiku
- kvantovou optiku

Geometrická optika je nejstarší částí optiky a vychází z předpokladu, že když jsou rozměry předmětů, skrze něž nebo okolo nichž, se světlo šíří, mnohem větší než je jeho vlnová délka, je vlnová povaha světla jen slabě rozeznatelná. Chování světla může být popsáno proto pomocí paprsků splňujících geometrické zákony. Zákony geometrické optiky lze odvodit z Fermatova principu. Fermatův princip říká, že světlo se šíří z jednoho bodu do druhého po takové dráze, že doba potřebná k uražení této dráhy je extrémní. Z toho plynou tři základní zákony geometrické optiky:

- V homogením a izotropním prostředí se světlo šíří rovnoběžně přímočaře ve tvaru světelných paprsků.
- Světelné svazky se šíří vzájemně na sobě nezávisle.
- Na rozhraní dvou homogeních a izotropních prostředí se světelné paprsky řídí zákonem lomu (také Snellův zákon) a zákonem odrazu.

Geometrická optika umožnila konstrukci různých optických systémů, např. dalekohledů.

Svazková optika popisuje formu šíření prostorově lokalizovaného světla, jež se zároveň šíří prostorem bez úhlové divergence. Typickými představiteli těchto vln jsou hermiteovské-gaussovske svazky, laguerreovské-gaussovske svazky a besselovské svazky.

Fotometrie je část optiky, která zkoumá světlo z hlediska jeho působení na lidský zrakový orgán. Veličiny, které charakterizují toto působení na lidské oko, se označují jako fotometrické veličiny. Mezi fotometrické veličiny řadíme např. svítivost zdroje, světelný tok, světelnou energii nebo osvětlení. Fotometrie se zaměřuje pouze na viditelné světlo. Podobné metody jako fotometrie se používají pro studium celého elektromagnetického spektra v radiometrii.

Radiometrie je část optiky, která se zabývá měřením elektromagnetického záření, včetně světla. Radiometrie se zabývá absolutními veličinami, zatímco fotometrie studuje obdobné veličiny, avšak z hlediska jejich působení na lidské oko. Fyzikální veličiny měřené v radiometrii se označují jako radiometrické veličiny (popř. energetické veličiny). Radiometrie našla důležité uplatnění v astronomii a dalších oborech lidské činnosti.

Vlnová optika respektuje vlnový charakter světla, je však přiblížením (platným pro mnohé optické jevy), v němž je světlo popsáno pomocí skalární funkce. Při popisu lze použít Huygensův princip. Vlnová optika studuje jevy, které souvisí s vlnovým charakterem záření, jako např. interference, disperze a polarizace.

Kvantová optika zohledňuje skutečnost, že v oblasti světla existují významné jevy, jež nejsou popsitelné klasickou fyzikou a je pro ně třeba použít přístup kvantové fyziky (obvykle kvantovou elektrodynamiku). Mezi jevy, které ukazují na kvantový charakter záření, lze zařadit např. fotoelektrický jev.

2.2. Optické zobrazení a optické přístroje

Světlo je elektromagnetické vlnění vlnových délek z intervalu 390 nm – 760 nm. Na tyto vlnové délky je citlivé oko. Šíří se v optickém prostředí. Ve vakuu se šíří rychlostí o velikosti $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, v látkovém prostředí je velikost rychlosti světla menší. Od zdroje se šíří v kulových vlnoplochách dle Huygensova principu. Ve velké vzdálenosti od zdroje lze považovat kulové plochy za rovinné.

Světelný paprsek je přímka kolmá na vlnoplochu, udává směr šíření světla ve stejnorodém optickém prostředí. Ve stejnorodém optickém prostředí se světlo šíří rovnoběžně přímočaře.

Zdroje světla lze rozdělit na: – přirozený: slunce, oheň, hvězdy,.....;
– umělé: žárovka, zářivka, výbojka, laser,.....;

Optické zobrazení je zobrazení předmětů vytvářením obrazů na základě zákonů optiky. Pomocí optické soustavy získáváme obrazy tím, že ke každému předmětu přiřadíme obraz vytvořený zobrazovací soustavou, která je zobrazuje na základě zákonu odrazu nebo zákonu lomu.

Zobrazovací optická soustava je soubor optických prostředí ohraničených optickými plochami, kterými je realizováno optické zobrazení. Je to souhrn rozhraní, na nichž se mění odrazem nebo lomem směr paprsků vycházejících z předmětu.

Předmět je zobrazovaný objekt, z jehož jednotlivých bodů vycházejí svazky jednotlivých paprsků, které vstupují do zobrazovací soustavy.

Obraz je objekt tvořený množinou bodů, v nichž se skutečně nebo zdánlivě protínají paprsky vycházející z jednotlivých bodů zobrazovaného předmětu, pošle danou optickou soustavou.

Skutečný (reálný) obraz – vzniká, pokud optická soustava vytváří sbíhavý svazek paprsků (paprsky se za soustavou protínají) a tento obraz lze zobrazit na stínítku.

Neskutečný (zdánlivý) obraz – optická soustava vytváří rozbíhavý svazek paprsků, které se zdánlivě protínají před soustavou a zde vytvářejí neskutečný obraz, který nelze zobrazit na stínítku.

Předmětový prostor – prostor před optickou soustavou (většinou vlevo), ve kterém se nachází předmět.

Obrazový prostor – prostor za optickou soustavou (většinou vpravo), v němž může ležet obraz předmětu.

Optické zobrazování je založeno na jednoduchých obecných principech paprskové optiky:

- **rovnoběžné přímočaré šíření světla** – světlo se šíří rovnoběžně přímočaře v homogenním optickém prostředí, šíří se v rovnoběžných, rozbíhavých nebo sbíhavých svazcích světelných paprsků.
- **zákon odrazu** – odraz světla nastane, když světelný paprsek dopadá na rozhraní optických prostředí a do druhého z nich všechno nebo část světla nemůže proniknout.

Světlo dopadá na rozhraní optických prostředí pod úhlem dopadu α , který paprsek svírá (dle dohody) s kolmicí dopadu k , vztyčenou v místě dopadu O na rozhraní optických prostředí. V případě, že rozhraní není tvořeno rovinnou plochou, uvažujeme o kolmici na tečnou rovinu, v místě dopadu světelného paprsku. Paprsek dopadajícího světla a kolmice dopadu leží v rovině, kterou nazýváme rovina dopadu. Odražené světlo se šíří od rozhraní ve směru určeném odraženým paprskem, ten svírá s kolmicí dopadu úhel odrazu α' . **Velikost úhlu odrazu α' se rovná velikosti úhlu dopadu α . Odražený paprsek leží v rovině dopadu.** Zobrazování odrazem docílíme například pomocí zrcadel.

3. Optické přístroje

Z optických přístrojů se zaměříme na popis zejména dalekohledu, neboť jeho konstrukce je tématem naší práce.

3.1. Dalekohled

Dalekohledy v astronomii patří mezi nejčastěji používané optické přístroje. První dalekohled byl vynalezen v roce 1608 v Holandsku. Krátce na to se o tomto vynálezu dozvěděl italský učenec Galileo Galilei a v roce 1609 sestrojil podle návodu první astronomický dalekohled, s nímž učinil své první objevy. Od té doby se objevila celá řada nejrůznějších více či méně úspěšných konstrukcí. Všechny spojuje základní funkce, které má dalekohled klasicky plnit; - má soustředit do oka pozorovatele více světla, než prosté oko pozorovatele; - má přibližovat vzdálené předměty, tj. umožnit je pozorovat pod větším zorným úhlem, než pod jakým jsou vidět prostým okem; - má zvětšit rozlišovací schopnost oka pozorovatele.

3.1.1. Princip činnosti dalekohledu

Podle použitého typu okuláru lze rozlišit dva základní typy dalekohledu: Galileův a Keplerův.

Jak již z úvodu vyplynulo historicky starší je **Galileův dalekohled**. Jeho objektiv je tvořen spojkou a jeho okulár rozptylkou. Obrazové ohnisko objektivu a předmětové ohnisko okuláru jsou totožné (předmětové a obrazové ohnisko rozptylky jsou vzájemně prohozena, tzn. předmětové ohnisko se nachází vpravo od čočky). Proto je konstrukční vzdálenost Galileova dalekohledu menší než Keplerova. Objektiv láme dopadající rovnoběžný svazek tak, aby vytvořil výškově a stranově převrácený obraz ve své ohniskové rovině. Dříve než je obraz vytvořen jej ale zachytí okulár, který paprsky láme tak, že vycházejí rovnoběžně (okulár v podstatě „promítá“ zdánlivý obraz vytvořený objektivem v předmětovém ohnisku okuláru do nekonečna). U tohoto typu dalekohledu je obraz výškově i stranově správně orientován. Objektiv sice vytváří obraz výškově a stranově převrácený, ale okulár jej rovněž převrací. Resp. přesněji – objektiv, okulár a oční čočka tvoří jeden společný optický systém, který promítá pozorovaný obraz na sítnici. Pro četné optické nedostatky se Galileovy dalekohledy používají jen zřídka. Mezi nejčastější nedostatky patří poměrně malá obrazová pole, nerovnoměrný jas obrazu v zorném poli (k okrajům jas klesá), neexistence reálné obrazové roviny, kam by bylo možné umístit např. záměrný kříž, ...

S většinou z těchto vad se nesetkáváme (resp. se setkáváme v mnohem menším měřítku) u druhého typu dalekohledu – **Keplerova dalekohledu**. U něj je objektiv i okulár tvořen spojnou čočkou. Na objektiv dopadá rovnoběžný svazek světla ze vzdáleného objektu (např. hvězdy). V souladu se zobrazovací rovnicí je za objektivem vytvořen jeho výškově a stranově převrácený obraz. Pro hvězdu, která je z tohoto pohledu prakticky v nekonečnu, je obraz vytvořen v ohniskové rovině objektivu. Pozorovatel pak pozoruje okulárem tento obraz. V tomto případě okulár plní stejnou funkci, jakou plní lupa – zvětší pozorovaný obraz vytvořený objektivem. Vstupuje-li do takovéto soustavy rovnoběžný svazek paprsků, bude i vystupující svazek rovnoběžný. Jde o tzv. **afokální soustavu**. Pozorovaný předmět se nám dále jeví v nekonečnu, je ale zvětšený a výškově i stranově převrácený.

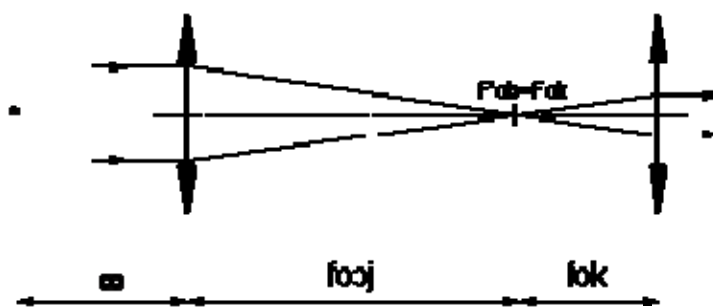


Schéma Keplerova dalekohledu

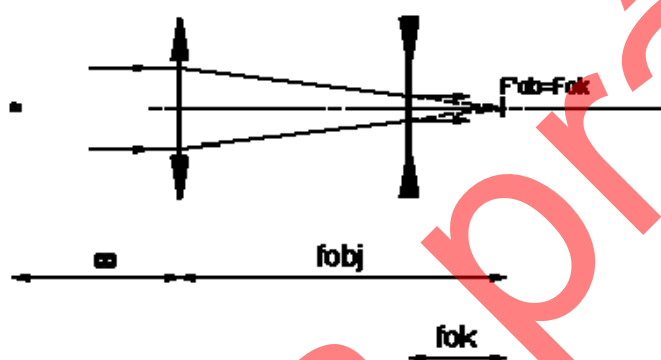


Schéma Galileova dalekohledu

Základním parametrem každého dalekohledu je **relativní otvor** jeho objektivu. Pro objekt nacházející se ve výrazně větší vzdálenosti ve srovnání s parametry dalekohledu (tj. v nekonečnu) to je poměr průměru objektivu k jeho ohniskové vzdálenosti. Obvykle se setkáváme i s vyjádřením tohoto parametru coby zlomku ohniskové vzdálenosti (např. pětina f). Čím je jeho hodnota větší, tím je daný objektiv světlejší, tzn. obraz pozorovaného objektu je v obrazové rovině objektivu jasnější. Při dvojnásobné ohniskové vzdálenosti je zobrazen pozorovaný objekt v obrazové rovině objektivu na čtyřnásobku plochy, tzn. jeho jasnost se zmenší na čtvrtinu. Stejně tak zkrátíme-li ohniskovou vzdálenost při stejném průměru objektivu na polovinu, bude zobrazení objektu menší, ale čtyřikrát jasnější. Velmi často je relativní otvor objektivu dalekohledu zaměňován se **světelností** objektivu. Světelnost na rozdíl od relativního otvoru závisí i na celé řadě dalších faktorů (počtu jednotlivých aktivních optických ploch, ztrátách světla absorpcí uvnitř čoček a odrazech na optických rozhraních a další). Přesný výpočet světelnosti je proto poměrně náročný. O to větší má význam při fotografování.

Bez ohledu na to, zda se jedná o Galileův či Keplerův dalekohled je jednou z jeho základních i nejnámějších vlastností **zvětšení**. Pro zvětšení Γ platí:

$$\Gamma = \frac{D_{vs}}{D_{vy}} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}, \text{ kde}$$

D_{vs} ... průměr vstupní pupily (zpravidla průměr objektivu)

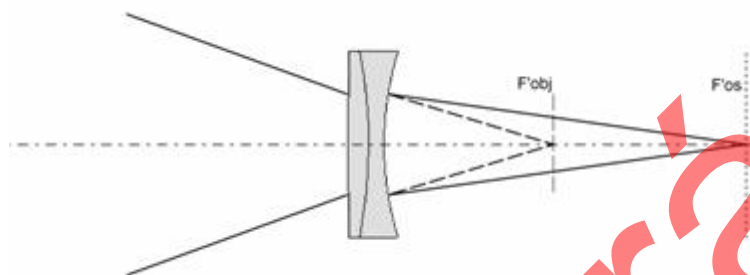
D_{vy} ... průměr výstupní pupily (tj. průměr vystupujícího rovnoběžného svazku)

f_{ob} ... ohnisková vzdálenost objektivu

f_{ok} ... ohnisková vzdálenost okuláru (bez znaménka).

3.1.4.5. Čočka Barlow

Výsledné zvětšení dalekohledu lze zvýšit využitím tzv. čočky Barlow. Jde o čočku se zápornou ohniskovou vzdáleností, která se umísťuje před ohniskovou rovinu objektivu (tj. mezi tuto rovinu a objektiv). Na vzdálenosti čočky Barlow od ohniskové roviny objektivu pak záleží prodloužení výsledné ohniskové vzdálenosti objektivu. Čím je blíže k objektivu, tím je výsledná ohnisková vzdálenost větší. Tím je ovšem větší i potřebná vzdálenost mezi vlastní čočkou Barlow a následným okulárem.



Čočka Barlow

Jedna z jejich charakteristik je tzv. koeficient prodloužení. Tento parametr udává, kolikrát se ohnisková vzdálenost při použití čočky Barlow prodlouží oproti původnímu stavu. Je-li např. tento koeficient 2 znamená to, že výsledná ohnisková vzdálenost objektivu při použití této čočky je 2 krát větší než bez ní. Koeficient prodloužení lze měnit změnou vzdálenosti Barlow čočky od okuláru. Podobně jako okuláry se i čočky Barlow vyrábějí v rozměrech pro vložení do okulárového výtahu (tj. 1.25", popř. 2"). V nejčastější konfiguraci se vkládá okulár do vlastního tubusku čočky Barlow. Vyšroubováním čočky Barlow z jejího uložení a vešroubováním přímo do tubusku okuláru se zkrátí vzdálenost Barlow čočky od okuláru a tím se i sníží koeficient prodloužení. Je-li výrobcem např. udáván koeficient prodloužení 2x vešroubováním přímo do okuláru získáme čočku Barlow s koeficientem prodloužení zpravidla mezi 1,25 – 1,5x. Naopak, pokud vsuneme do tubusku čočky Barlow nástavec a vlastní okulár až do něj, lze dosáhnout zvýšení koeficientu prodloužení. Nadměrné zvyšování tohoto koeficientu je ale doprovázeno řadou nepříjemných důsledků (pokles kvality obrazu, vinětace okrajových paprsků, ...).

Jednoduchá čočka Barlow je vyráběna zpravidla jako achromatická (tmelený dublet). Dokonalejší varianty jsou apochromatické (tříčočková, popř. čtyřčočková soustava). V poslední době se začínají vyrábět i tmelené dublety z nízkodisperzních skel. Použití čočky Barlow umožňuje využít pro shodné zvětšení dalekohledu okulár s větší ohniskovou vzdáleností. To je výhoda zejména u konstrukcí, u nichž je v tomto případě malá vzdálenost výstupní pupily (např. Plössl). Čočka Barlow totiž prakticky vzdálenost výstupní pupily vlastního okuláru neovlivní.

Čočka Barlow umožňuje využít každý okulár ke dvěma různým zvětšením. Dvěma vhodně vybranými okuláry je tak možné pokrýt za pomoci čočky Barlow čtyři různá zvětšení. To umožňuje pokrýt nároky na většinu základních pozorování. Aplikace čočky Barlow přináší ale i určité nevýhody. Méně kvalitní čočka Barlow způsobuje zhoršení kvality pozorovaného obrazu. Zhoršení obrazu může být tak výrazné, že pozorování přes takovou soustavu je prakticky nemožné. Zhoršení jakosti pozorovaného obrazu přes kvalitní čočku Barlow je ale naproti tomu prakticky nepozorovatelné. Pokud tedy chceme čočku Barlow využívat, rozhodně je nutné dát přednost výrobkům renomovaných výrobců než levným neznačkovým variantám.

3.1.4.6. Přehled nejčastějších konstrukcí okulárů

(údaje jsou vztaženy ke klasické konstrukci daného typu okuláru)

Typ okuláru	Zorné pole ve °	Vzdálenost pupily v mm	Mezní relativní apertura v $\frac{f}{D}$	Poznámka
Jednoduchá čočka	10	0.9	1:35	Bikonvexní čočka použitá Keplerem
Huyghenian	40	0.3	1:12	
Ramsden	35	0.4	1:10	Achromatický Ramsden
Kellner	45	0.45	1:6	
Kellner inverzní	50	0.4	1:5	
Plössl	45	0.4-0.7	1:4-1:6	
Symetrický	45	0.7	1:4	
Abé ortoskop.	30	0.8	1:6	
König. ortoskop.	60	0.7	1:5	Modifikovaný Plösslův okulár
Zeiss. ortoskop.	45	0.8	1:5	
Wide ortoskop.	50	0.5	1:4	
Erfle I	60	0.3	1:5	
Erfle II	70	0.6	1:5	
Erfle III	55	0.32	1:5	nesklenuté obrazové pole
Bertele	70	0.8	1:5	navržen pro vojenské aplikace
TeleVue Panoptic	68	0.7	1:4	
Nagler I	82	1.2	1:4.5	
Nagler II	82	1.0	1:4.5	
Nagler IV	82	0.9-1.2	1:4	
Nagler VI	82	1.0-4.0	1:4	
Meade UW	84	1.5	1:4	
William Optics SWAN	72	0.8	1:4.5	
William Optics UWAN	82	1.0-4.0	1:4	
Vixen LV	52	20	1:4.5	
Vixen LVW	65	20	1:4	

4. Isaac Newton

Vzhledem k tomu, že jsme si vybrali pro naši práci konstrukci Newtonova zrcadlového dalekohledu, bylo by dobré si autora tohoto typu dalekohledu připomenout.

4.1. Životopis

Isaac Newton se narodil ve vesnici Woolsthorpe nedaleko Granthamu (asi 200 km severně od Londýna) v roce 1643. Do svých 11 let navštěvoval vesnickou školu a od roku 1654 pak pokračoval ve studiu na King's school v Granthamu. Po čtyřech letech školu opustil a vrátil se zpět do vesnice, kde pomáhal matce žít své dva mladší sourozence. V roce 1661 začal studovat univerzitu v Cambridgi. Newton byl géniem v experimentování i matematice, a právě tato kombinace mu umožnila založit koperníkovský systém a novou mechaniku. Jeho metoda byla jednoduchost sama: „na základě pohybových jevů prozkoumat přírodní síly a pak použít těchto sil k vysvětlení dalších jevů“. Newtonova genialita ho vedla při výběru zkoumaných jevů a vytvoření nového a základního matematického prostředku - matematické analýzy (současně objevené Gottfriedem Leibnizem) - což mu umožnilo provádět přesné výpočty s odvozenými silami. Výsledkem byla kniha *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Matematické základy přírodní filosofie)*, která byla vydána v r. 1687. Zde byla obsažena nová fyzika, použitelná stejně dobře pro pozemská i nebeská tělesa. Newtonova analýza sil dala za pravdu Koperníkovi, Keplerovi a Galileovi. Descartesova teorie byla zcela poražena. Newtonovy tři pohybové zákony a jeho princip univerzální gravitace stačily k vysvětlení zákonitostí pohybu těles ve vesmíru, ale pouze, jak věřil Newton, s pomocí Boha. Gravitace, jak nejednou řekl, byla přímou akcí Boha, stejně jako všechny síly řádu a vitality. Absolutní prostor měl pro Newtona zásadní význam, protože prostor byl „sídlem Boha“ a sídlo Boha musí být základním souřadným systémem. A navíc Newtonova analýza vzájemných poruch pohybů planet způsobených jejich vlastními gravitačními poli předpovídala úplné zhroucení slunečního systému, pokud by Bůh nezasahoval a neuváděl vše opět do pořádku.

4.1.1. Objevy

Newton učinil z fyziky moderní, ucelenou, deduktivní vědu na úrovni, která se dnes nazývá klasická fyzika.

V mechanice

V mechanice především dokázal, že fyzikální zákony platí nejen na Zemi ale i ve vesmíru. Newtonovým nejznámějším objevem byly jeho tři pohybové zákony:

1. Zákony síly
2. Zákony setrvačnosti
3. Zákony akce a reakce

Dále objevil zákony gravitace (Newtonův gravitační zákon). Klasická mechanika se dodnes opírá o jím zavedené pojmy hmotnosti, setrvačnosti, síly a interakce. Objevil mnoho zákonů speciální povahy týkajících se pohybu planet, pohybu v prostředí s odporujícími silami, rotujících kapalin atd.

V optice

V optice objevil, že bílé světlo je složené a skládá se z barevného spektra (rozklad na optickém hranolu, vysvětlil barvy tenkých vrstev, objevil zobrazovací rovnici, našel slitinu vhodnou ke

konstrukci zrcadel a sestrojil první zrcadlový dalekohled s vlastním uspořádáním primárního a sekundárního zrcadla viz. Newtonův dalekohled). Na těchto objevech nic nemění ani fakt, že řada z nich byla později opravena a doplněna.

V matematice

V matematice položil základy diferenciálního a integrálního počtu (tzv. kalkulus) a také základy diferenciálních rovnic. Nalezl také metodu pro numerické řešení transcendentních rovnic a zobecnil binomickou větu v binomickou řadu. Kolem roku 1665 zobecnil binomickou větu v binomickou řadu. O objevu fluxí (jak nazýval svůj objev diferenciálního počtu) se Newton zmiňuje ve svém deníku 20. května 1665a téhož roku pomocí svého diferenciálního počtu určil obsah plochy ohraničené hyperbolou.

4.1.2. Díla

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica

Kniha (*Matematické principy přírodní filozofie*) je považována za nejdůležitější práci v celé historii moderní vědy, je v ní popsán například zákon gravitace a Newtonovy pohybové zákony, které položily základy klasické mechaniky.

Optika

V roce 1704 vydal spis (*Optics, or a treatise of the reflexions, inflexions and colour of light*), v němž popsal své optické objevy.

Teologie

Newton se zabýval chronologií bible a jeho práce byla vydána po jeho smrti v roce 1728 pod názvem *Chronology of Ancient Kingdoms amended*.

4.2. Newtonův dalekohled

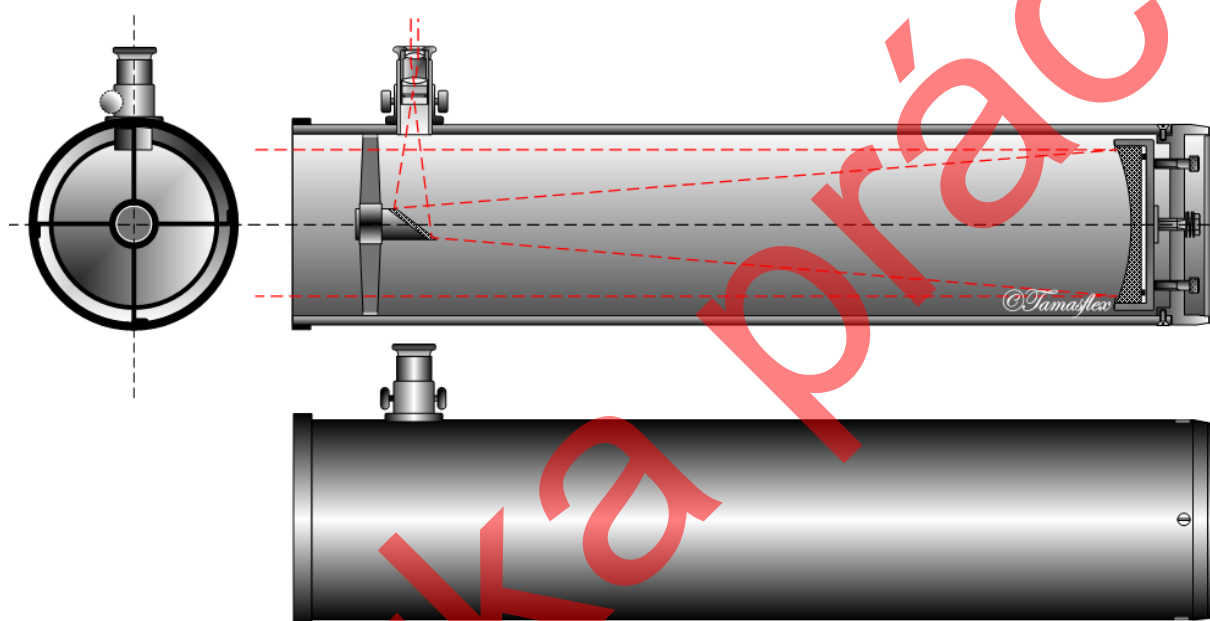
4.2.1. Zrcadlové dalekohledy (reflektory)

Objektivem reflektoru je primární duté zrcadlo kulové, parabolické případně i hyperbolické, jehož plocha určuje světelnost dalekohledu. Světelné paprsky odražené od primárního zrcadla se odrážejí tzv. sekundárním zrcadlem do okuláru, kterým se pozoruje vytvořený obraz. Hlavní výhody reflektorů jsou nepřítomnost barevné vady, snazší výroba velkých zrcadel a výhodnější uspořádání tubusu. Světlo se v nich totiž odráží zrcadly, takže tubus má teoreticky jen poloviční délku a zrcadlo většinou o velké hmotnosti je umístěno na straně pozorovatele, nikoli na vnějším konci tubusu jako objektiv refraktoru. Správně má mít primární zrcadlo parabolický povrch, ale při malé ploše a velké ohniskové vzdálenosti je kulová plocha dostatečnou aproximací, pokud nelpíme na špičkové kvalitě obrazu. Kulová plocha má výhodu z hlediska nižších nároků na vytvoření a tím v praxi i nižších výrobních nákladů.

4.2.2. Newtonův dalekohled

V **Newtonově dalekohledu** se používá rovinné sekundární zrcadlo, které odráží paprsky do okuláru na boku přístroje.

Dalekohled je tvořen tubusem, ve kterém se nachází primární a sekundární zrcadlo. Primární zrcadlo má parabolický tvar a je uloženo ve spodní části tubusu. Přijímá přicházející světlo a odráží ho do svého ohniska, kde je umístěno malé sekundární zrcadlo, které odráží paprsky mimo tubus do okuláru. Optická soustava dvou zrcadel a okulárů způsobuje, že vzniklý obraz je převrácen stranově a pólově. Je proto vhodný pro astronomická pozorování, kde obrazová převrácenost nevadí. Pro pozemské použití lze okulár doplnit hranoly, které upraví obraz do správné polohy.



5. Výroba Newtonova dalekohledu

5.1. Úvod a důležité informace

Jako praktickou část naší práce jsme se rozhodli vyrobit funkční model Newtonova zrcadlového dalekohledu. Jako tubus jsme použili okapovou rouru z tvrdého plastu, dostupnou ve všech obchodech se stavebním materiálem a vybavením pro byty a domy. Roura neboli tubus je 1 m dlouhý a má průměru 10 cm. Zrcadla a čočky nutné pro výrobu dalekohledu jsme zakoupili v Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. v Turnově. Použitý materiál jsme se snažili sehnat co nejlevněji, ale jelikož optika je drahá věda, tak naše náklady na model Newtonova dalekohledu se dostali až na 5 600 Kč. Nejvíce nákladů bylo použito na zrcadla a čočku, které byly dělány na zakázku. Zbýlý materiál se pohyboval v cenovém rozmezí 100 Kč – 500 Kč.

5.2. Výroba a výpočty

5.2.1. Výpočty

Okulár

Čočka (rozptylka) je vyrobena z minerálního skla a má průměr $d = 22$ mm, ohniskovou vzdálenost $f = 70$ mm a tloušťku 5 mm.

Optická mohutnost:

Víme-li, že $f = 70$ mm = 0,07 m tak platí,

$$\varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,07\text{m}} = 14,286 \text{ m}^{-1} = 14,286 \text{ D}$$

Primární zrcadlo

Víme-li, že $r_z = 1,196$ m tak platí,

$$f = \frac{r_z}{2} = \frac{1,196\text{m}}{2} = 0,598\text{m} = 598\text{mm}$$

5.2.2. Výroba

Části dalekohledu jsou podrobně popsány v kapitole 5.1.1.

Použitý materiál a postup výroby

Pro výrobu modelu Newtonova dalekohledu jsme použili:

Silikonové lepidlo na zrcadla ZWALUW

Průhledné lepidlo na plasty PLASTIC

Izolační páska

Elektrikářská izolační páska černé barvy

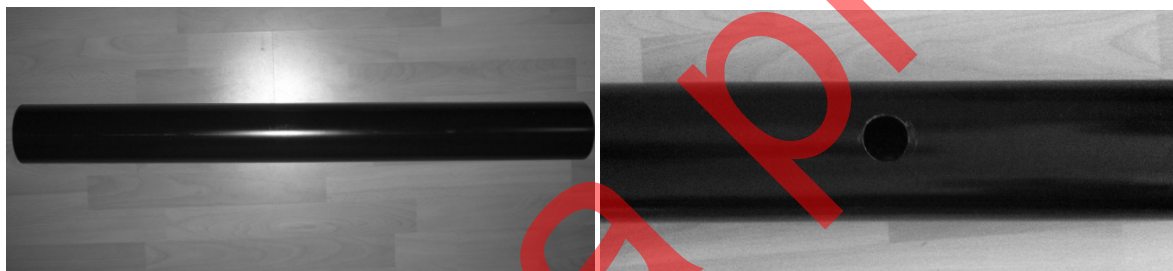
Elektrický šroubovák s nástavcem pro vrtání větších otvorů

Okapovou rouru (tubus) jsme očistili od prachu a odmastili lihem, aby lepidlo na plasty dobře drželo. Dále jsme vyřezali do tubusu otvor pro umístění okulárového výtahu. Otvor jsme vyvrtali 613 mm od okraje, protože ohnisková vzdálenost primárního zrcadla je 598mm a k tomu je nutno připočítat 15 mm tloušťky zrcadla. Po vyvrtání díry následovalo přilepení primárního zrcadla. Pro toto spojení jsme zvolili silikonové lepidlo na zrcadla, u kterého výrobce zaručuje maximální pevnost. Další krok byl okulár zhotovený z instalátérské trubky, ve které je uchycená rozptylná čočka. Zde jsme zvolili obyčejné průhledné lepidlo na plasty, abychom zabránili vadám zobrazení, kdyby se lepidlo nedopatřením dostalo na plochu čočky. Pro uchycení sekundárního zrcadla jsme vybrali kus polystyrénu, jehož výhodou je malá hmotnost, ovšem nastaly problémy s výběrem lepidla, které polystyrén nezničí. Z finančních důvodů jsme polystyrén, který jsme si zařídili do vhodného tvaru

o výšce 50mm, jehož jedna strana je zkosená pod úhlem 45° , oblepili izolační páskou, které již žádné lepidlo neublížilo. Na polystyren jsme nejprve přilepili samotné sekundární zrcadlo a pak teprve bylo na řadě přilepení k tubusu. Zbývali nám tedy už jen kosmetické práce jako zakrytí zadní části primárního zrcadla, oblepení okulárového výtahu elektrikařskou páskou, abychom vytvořili zarážku pro posun okuláru dolu do určité hloubky. Samotná výroba trvala poměrně dlouho, protože lepidlo, kterým jsme lepili primární zrcadlo, muselo schnout alespoň 72 hodin. Zbylé práce byly otázkou několika hodin, maximálně jednoho dne.

5.3. Fotografická dokumentace

Fotografická dokumentace vznikala v průběhu práce a doplňuje tak postup výroby a názorně ukazuje jednotlivé materiály, které byly použity.

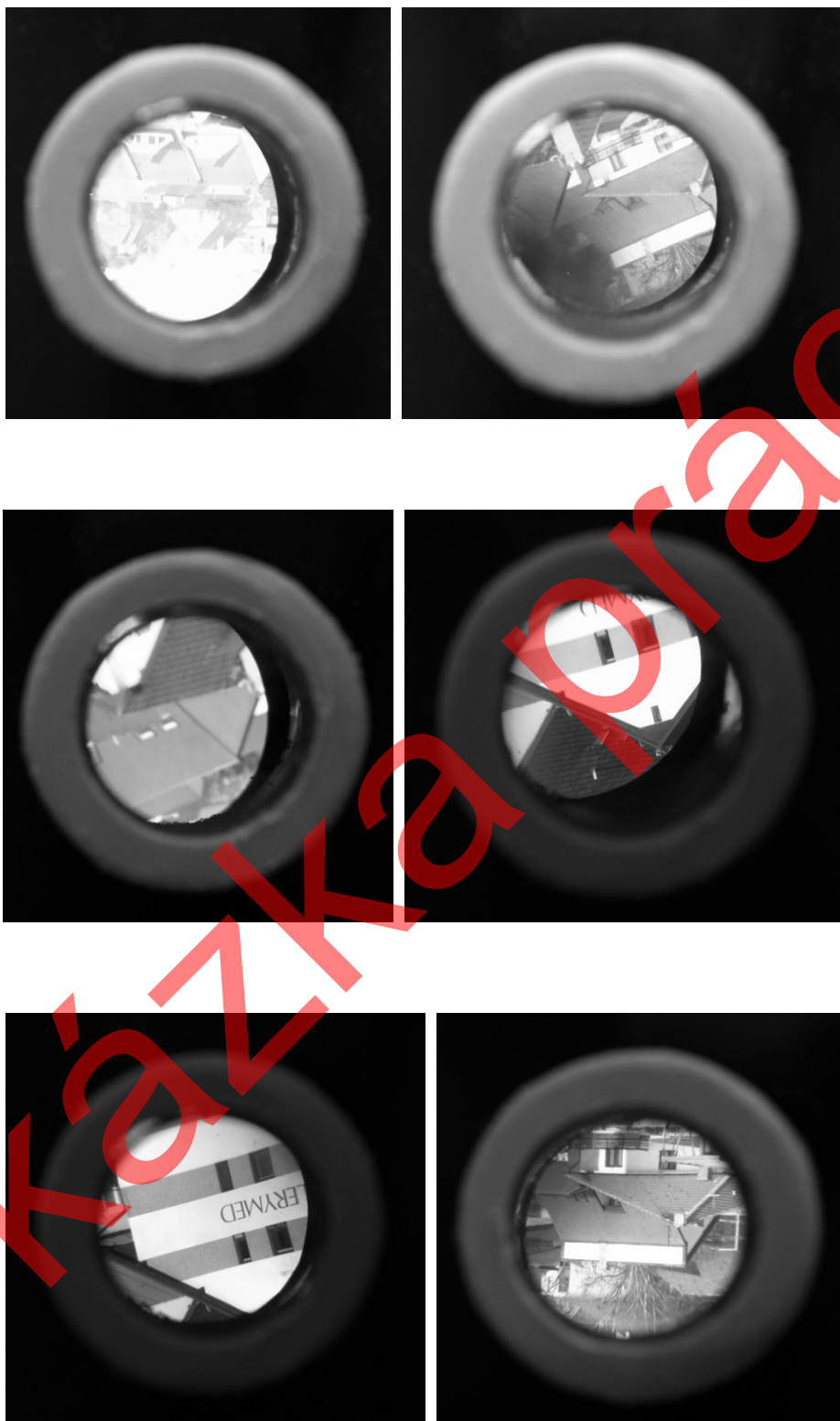


Tubus



Tubus

Fotky pořízené skrze okulár



5.4. Závěr

Optika je věda s bohatou historií a je jisté, že se bude rozvíjet i v budoucnu. Optické přístroje usnadňují práci v nemocnicích, výzkumných ústavech, ale hlavně na astronomických a vesmírných observatořích. Proto je potřeba se o optiku zajímat a přispívat svými nápady k vývoji této vědy. Náš úkol, sestavit optický přístroj, je splněn.

Vyrobený Newtonův zrcadlový dalekohled je sestaven z tvrdého plastu, tudíž jeho částí s největší hmotností je primární zrcadlo. Oproti profesionálním dalekohledům má ten náš výrazně menší hmotnost a menší rozměry. Bylo by možné sestavit větší dalekohled, ale zrcadla a čočka by byly velmi drahé. Dalekohled také nemá žádný podstavec, ale to také závisí na hmotnosti. Je zbytečné sestavovat stojan pro dalekohled, který unese každý člověk, proto jsme stojan nesestavili.

Jedinou nevýhodou našeho dalekohledu je kratší okulár, který nutí pozorovatele dívat se do okuláru z několika centimetrů. Chyba vznikla špatným výpočtem a byla objevena až po přilepení rozptylné čočky, takže nebylo cesty zpět.

Výroba dalekohledu a sepsání tohoto textu nám zabralo dosti času, a proto doufáme, že bude sloužit studentům k lepšímu porozumění tohoto tématu.