



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

STRUČNÉ DEJINY OPTICKÝCH PŘÍSTROJŮ

BRIEF HISTORY OF OPTICAL INSTRUMENTS

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT

TERM PROJECT

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MATEJ KARAS

BRNO 2020

Abstrakt

Cielom tejto práce je poskytnúť čitateľovi základný prehľad optických prístrojov, ich princípov, väd a použítí. Súčasťou práce je edukatívna aplikácia, ktorá umožňuje prácu s optickou sústavou, resp. manipuláciu s šošovkami a sledovanie lúčov ako cez danú optickú sústavu prechádzajú.

Kľúčové slová

Lupa, Mikroskop, Ďalekohľad, Teleskop, Šošovky, Optické prístroje

Obsah

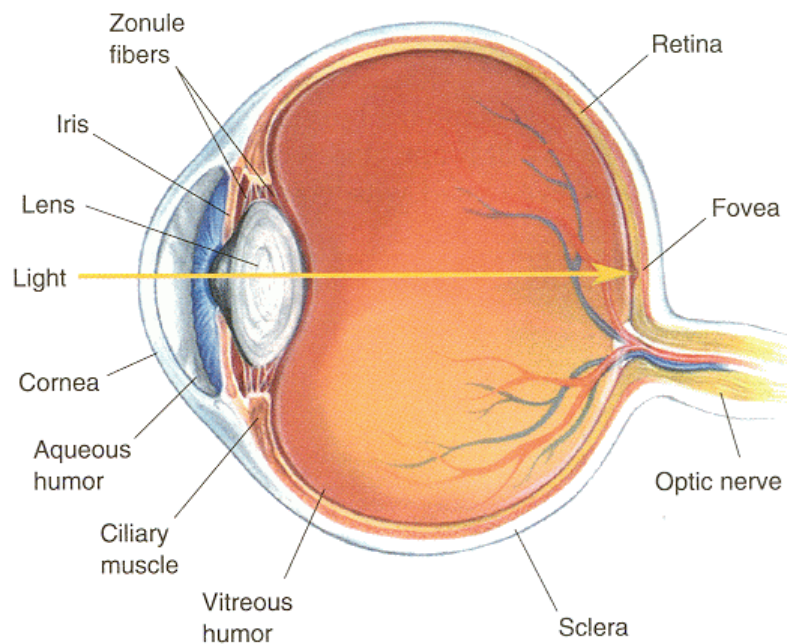
1	Úvod	4
2	Počiatky optických prístrojov	4
3	Lupa	6
4	Mikroskop	7
	4.1 Vybrané druhy mikroskopov	8
5	Ďalekohľad, teleskop	8
6	Implementácia	10
7	Záver	11
	Literatúra	12

1 Úvod

Cielom tejto práce je poskytnúť čitateľovi stručný prehľad dejinami vzniku a vývoja optických prístrojov a následné pochopenie ich princípom a fungovaní. Keďže daná problematika je veľmi rozsiahla, text sa bude zameriavať len na vybrané optické prístroje – lupa, mikroskop, ďalekohľad a teleskop. Pre lepšie pochopenie tejto problematiky je vhodné vyhľadať literatúru, ktorá sa ňou dopodrobna zaoberá, pretože táto práca je len veľmi stručný prehľad. [10]

2 Počiatky optických prístrojov

Jedny z prvých optických prístrojov boli vyvinuté aby sme mohli ľudským okom zachytiť niektoré prvky predmetu, ktoré by normálne nemuseli byť viditeľné. [1] Už len samotné ľudské oko je jedna optická sústava. Jej hlavné časti sú rohovka, dúhovka a samozrejme, šošovka. Dúhovkou, resp. jej sťahovaním a rozťahovaním (teda upravovaním priemeru zrenice) umožňujeme regulovať, koľko svetla cez zrenicu, resp. danú optickú sústavu prechádza. [8]



Obr. 1: Na obrázku je zobrazená skladba ľudského oka.

V 30 rokoch po Kristovi, popísal Rímsky filozof **Lucius Seneca** o zväčšujúcich účinkoch kvapalín. [10] V 60 rokoch, prehlásil Grécky matematik **Hero of Alexandria**, že svetlo putuje najkratšou cestou a popísal zákon lomu. Okolo roku 120 napísal Rímsky matematik **Ptolemy** 5 kníh zaoberajúcich sa optikou popísal aproximáciu Snellovho zákona pre malé uhly – pomer uhlu dopadajúceho svetla voči uhlu svetla refraktovaného je konštantný.

Okolo roku 1250 sa anglický filozof **Roger Bacon** zapodieval experimentovaním so šošovkami a zrkadlami. Popísal princípy odrazu a refrakcie lúčov a taktiež prehlásil, že svetlo má konečnú rýchlosť – popísal dúhu, že je len svetlo odrazené od dažďových kvapiek. Taktiež je považovaný, za vynálezcu lupy.



Obr. 2: Galileo Galilei s jeho teleskopom.

Galileo Galilei postavil zariadenie, ktoré dokázalo približovať až 30-krát, v tej dobe najsilnejšie zariadenie, ktoré následne umožnilo skúmanie oblohy a následné objasnenie Kopernikovského systému usporiadania planét. Avšak, Galilea nemôžeme považovať za vynálezcu teleskopu. Ten bol z Nemecka – **Hans Lippershey**, ktorým sa Galileo inšpiroval.

Johannes Kepler bol jeden z mála ktorý akceptoval Kopernikov heliocentrický model. Za jeho život, bližšie popísal pohyb planét a najmä, korektne vysvetlil ľudský zrak a popísal funkcie zrenice, rohovky a sietnice. Taktiež upravil optickú sústavu Galileovho teleskopu – použil konkávne šošovky.

Willebrord van Royen Snell experimentálne prišiel na zákon refrakcie, z ktorý neskôr popísal **Rene Descartes** pomocou sínusu, do formy akej ho poznáme dnes (rovnica 1). Snellov zákon, resp. zákon refrakcie, popisuje vzťah uhlu dopadajúceho svetla a refrakcie, teda pomer sínusu uhla dopadu a uhla refrakcie je rovnaký, ako pomer rýchlostí svetla v danom médiu.

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Neskôr **Robert Hooke** skúmal a popísal interferenciu na tenkej vrstve, a jeho teória neskôr priniesla rozmach o teórii svetla. Napísal knihu *Micrographia*, ktorá sa stala prvým vedeckým best-sellerom a inšpirovala širokú verejnosť k nahliadnutiu do novej vedy – mikroskopie. Na svoj výskum samozrejme používal mikroskop, ktorého vynálezcom je považovaný **Zacharias Janssen**.

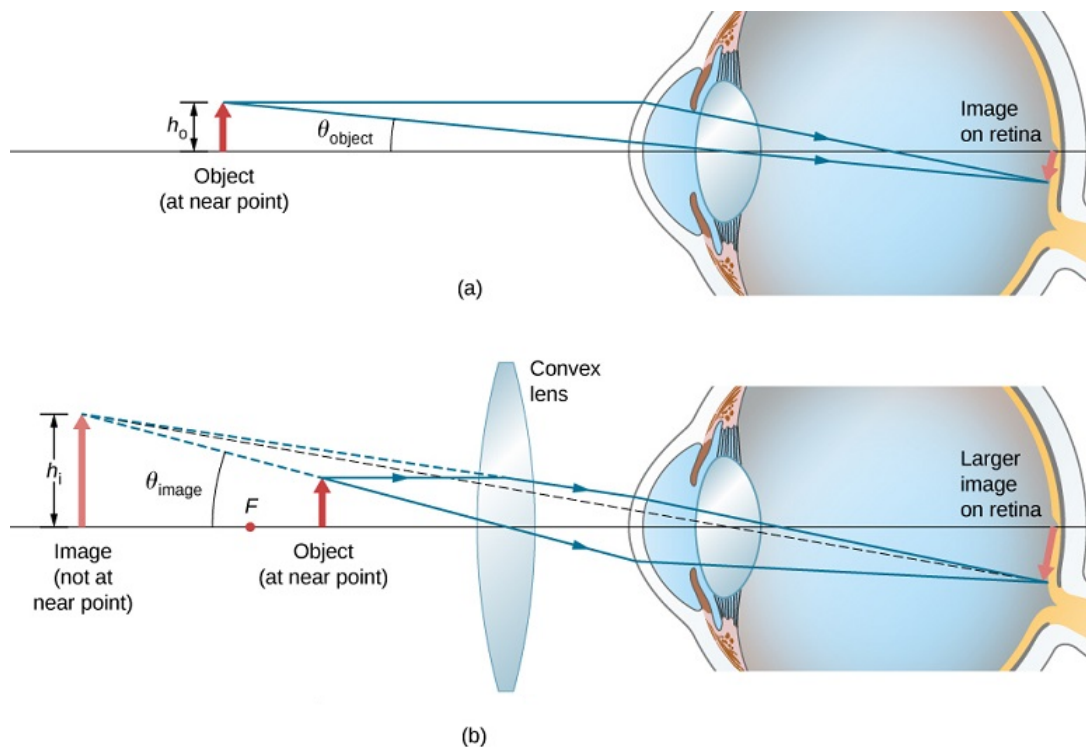
Isaac Newton a ďalší skúmali disperziu svetla na hranole a s ním spojené spektrum bieleho svetla. Taktiež pracoval na korekcii chýb šošoviek a vynášiel teleskop, ktorý používal zrkadlá a jeho priblíženie bolo približne 35-krát. Týmto teleskopom objasnil chromatickú aberáciu, pretože jeho teleskop, tým že používal zrkadlá ňou netrpel.

Na prelome 17. a 18. storočia, nemecký mikrobiológ **Antonie van Leeuwenhoek** vylepšil koncept vtedajšieho mikroskopu, a vytvoril mocné zariadenie, ktoré dokázalo priblížiť až 300-násobne. O niečo neskôr experimentálne vynášiel **Chester Moore Hall** achromatické šošovky tým, že skúšal rôzne kombinácie vtedajších materiálov na výrobu skla. Achromatické šošovky sa snažia limitovať efekt chromatickej aberácie.

V 19. storočí položil **Carl Friedrich Gauss** základný matematický popis optického zobrazovania, tzv. Gaussovská optika.

3 Lupa

Lupa bol jeden z veľkých vynálezov ľudstva, ktorej objavenie otvorilo nové možnosti poznávania. Jej vynálezca bol spomínaný Roger Bacon, ktorý avšak nemusel byť prvým vynálezcom. Použitie „zväčšujúceho sklíčka“ sa datuje do staroveku, konkrétne Egypťania používali kryštály na zväčšovanie predmetov, alebo Rímsky cisár Nero používal priesačné drahokamy na priblíženie hercov, ktorý boli v diali na javisku. Napriek tomu, sa objavenie pripisuje Baconovi, pretože ako prvý popísal vlastnosti konvexných šošoviek. [5]



Obr. 3: a) Pozorovaný objekt s výškou h_0 zvierá s optickou osou oka uhol θ_{object} . b) Pred oko je umiestnená konvexná šošovka a pozorovaný objekt je v blízkosti ohniska danej šošovky. Na sietnici oka sa premietne virtuálny (zväčšený) obraz s výškou h_1 , ktorý zvierá s optickou osou uhol θ_{image} . (Obrázok prevzatý z www.libretexts.org)

Lupa využíva k zväčšeniu konvexnú šošovku – spojku. Objekt, ktorý pozorujeme cez lupu, a ktorý je umiestnený v blízkosti ohniskovej vzdialenosti danej lupy vnímame ako zväčšený. Tento obraz je virtuálny a objekt sa nám javí zväčšený, pretože daná konvexná šošovka spôsobí, že pozorovaný objekt zvierá väčší uhol s optickou osou oka, a teda premietnutý obraz na sietnici je väčší (obr. 3 b). [9]

Zdravé oko dokáže zaostriť na vzdialenosť $L = 25\text{cm}$, ktorá sa nazýva *blízky bod*. [2] Lupou dokážeme túto vzdialenosť zmenšiť, avšak priblíženie šošovky nie je nekonečné. Je dané rovnicou 2, kde L je vzdialenosť pozorovaného objektu, l vzdialenosť šošovky od oka a f je ohnisková vzdialenosť šošovky.

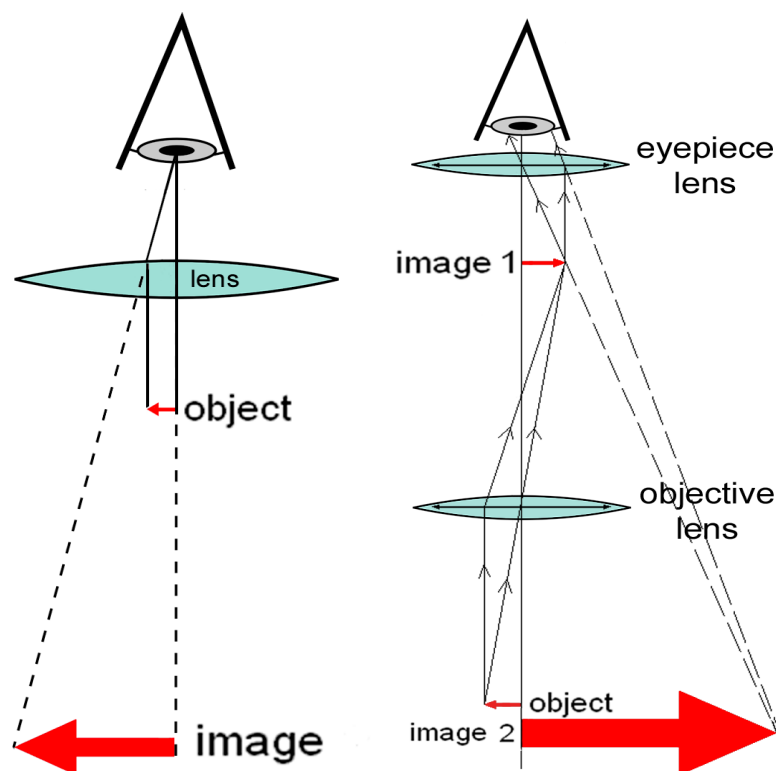
$$M = \left(\frac{25\text{cm}}{L} \right) \left(1 + \frac{L - l}{f} \right) \quad (2)$$

Klasické šošovky avšak nie sú bezchybné a trpia tzv. aberáciou. Podľa literatúry je aberácia definovaná ako odchýlka od idealizovaného modelu Gaussovej optiky [6], či neschopnosť optického systému zaostriť lúče do jedného bodu. V praxi sú aberácie kolekciou javov, ktoré nastávajú v optických systémoch, a ktorých prítomnosť obvykle nie je žiadúca.

4 Mikroskop

Literatúra uvádza dva základné druhy mikroskopov: jednoduchý a zložený mikroskop. [3] Jednoduchý mikroskop využíva na zväčšenie len jednu konvexnú šošovku. Virtuálny obraz, ktorý vytvára, je zväčšený a nie je prevrátený. Tento mikroskop môžeme považovať za lupu, ktorej bola venovaná predchádzajúca kapitola a preto sa zameriam na zložený mikroskop.

Zložený mikroskop, ďalej už len mikroskop, sa skladá z dvoch konvexných šošoviek, prvej nazývanej okulár (bližšie k oku) a druhej, ktorá sa nazýva objektív. Tieto mikroskopy sú značne väčšie, ťažšie a drahšie ako ich jednoduchšie varianty. Avšak výhodou týchto mikroskopov je fakt, že vďaka viacerým šošovkám redukujú chromatickú aberáciu.



Obr. 4: **Vľavo:** Jednoduchý mikroskop – pozorovaný objekt je zväčšený a virtuálny obraz nie je prevrátený. **Vpravo:** Zložený mikroskop – Využíva k zväčšeniu 2 šošovky, virtuálny obraz je zväčšený avšak, je prevrátený. (Obrázky prevzaté z www.wikipedia.org)

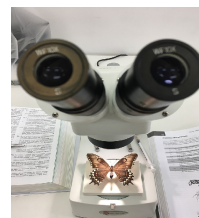
Vzdialenosť pozorovaného objektu od objektívu je o niečo väčšia ako ohnisková vzdialenosť. Šošovka objektívu vytvorí zväčšený obraz, ktorý je následne opäť mnohonásobne zväčšený okulárovou šošovkou. Vzdialenosť šošoviek je o niečo kratšia ako ohnisková vzdialenosť okuláru, čo spôsobí, že výsledný objekt je zväčšený, avšak prevrátený. [4] Pričné zväčšenie mikroskopu je približne dané rovnicou 3, kde s je vzdialenosť ohniskovej vzdialenosti objektívu a okuláru a f_{ob} je ohnisková vzdialenosť objektívu. [7]

$$\beta = -\frac{s}{f_{ob}} \quad (3)$$

4.1 Vybrané druhy mikroskopov

V tejto sekcii budú popísané ďalšie vybrané druhy mikroskopov.

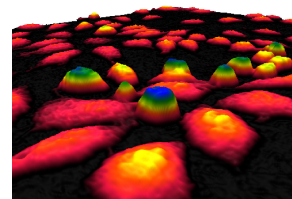
Stereo mikroskop – varianta mikroskopu, ktorá sa používa na menšie zväčšenia a typicky nepoužíva svetlo ktoré prechádza cez objekt, ale svetlo ktoré sa od povrchu objektu odráža. Taktiež disponuje dvomi objektívmi a dvomi okulármi a teda poskytuje stereoskopický, resp. trojdimenzionálny pohľad na pozorovaný objekt, čo umožňuje pozorovanie komplexných vzoriek, ktoré vyžadujú stereoskopický pohľad na analýzu ich komplexných povrchových topografií.



Porovnávací mikroskop – tento mikroskop slúži na porovnávanie a analýzu dvoch vzoriek, ktoré sa zobrazujú vedľa seba. Porovnávací mikroskop pozostáva z dvoch mikroskopov, ktoré sú spojené optickým mostom, ktorý „zlúči“ zväčšené obrazy z dvoch mikroskopov do jedného. Toto umožňuje pozorovateľovi porovnávať obe vzorky súčasne. Využitie mikroskopu prevažuje najmä vo forenznej analýze, napr. na porovnanie otlakov prstov.



Fázovo kontrastný mikroskop – Väčšina svetelných mikroskopov umožňuje pozorovanie objektov, ktoré v istej miere pohlcujú prechádzajúce svetlo, teda menia amplitúdu prechádzajúceho elektromagnetického vlnenia. Avšak, niektoré objekty túto amplitúdu menia len veľmi málo a klasické mikroskopy sú na ich pozorovanie nevhodné. Fázovo kontrastný mikroskop využíva fakt, že pri refrakcii svetla objektami, sa mení aj fáza daného svetelného vlnenia. Tieto rozdiely sú veľmi malé a voľným okom ich nedokáže rozoznať. Virtuálny obraz vzniká interferenciou dvoch vlnení – priameho a difrakčného. Tieto vlnenia sa následne oddelia fázovou doštičkou, ktorá posunie fázu priameho vlnenia o hodnotu štvrtiny vlnovej dĺžky.



5 Ďalekohľad, teleskop

Teleskop alebo ďalekohľad by sa dal považovať za to isté – oba slúžia na pozorovanie predmetu v diaľke. Avšak, ďalekohľad používa dva okuláre a dva objektívy, zatiaľ čo teleskop len jeden, čo má veľký dôsledok na výsledný obraz, ktorý uvidí pozorovateľ. Ďalší veľký rozdiel je, že teleskopy majú zvyčajne mnohonásobne väčšie zväčšenie predmetu oproti ďalekohľadom. Napriek týmto rozdielom, bude táto kapitola venovaná teleskopom.

Teleskopy dokážu zachytiť mnohonásobne viac svetla než ľudské oko, a tým dovoľujú pozorovanie nejasných a vzdialených objektov. [9] Uhlové zväčšenie teleskopu je dané rovniciou 4, kde f_{ob} je ohnisková vzdialenosť objektívu a f_{ok} je ohnisková vzdialenosť okuláru. Na obrázku 6 sú znázornené refrakčné teleskopy. Okrem nich ešte existujú ďalšie varianty teleskopov.

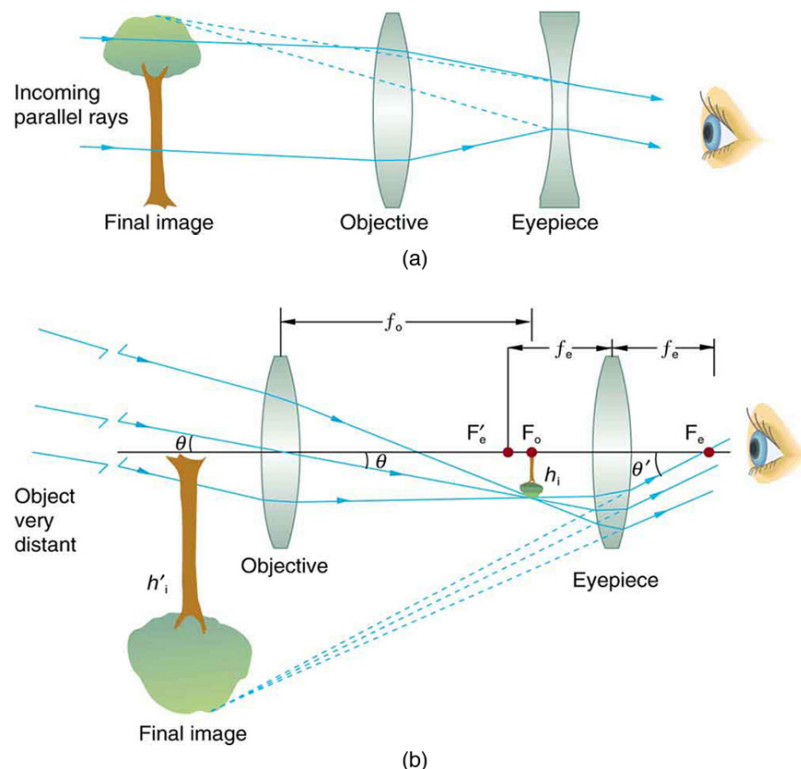
$$\beta = -\frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad (4)$$

Takzvané **zrkadlové teleskopy**, ktoré využívajú zakrivené zrkadlá. Tieto teleskopy dovoľujú pozorovať veľmi rozmerné objekty a sú teda najmä používané v astronómii. Svetlo pozorovaného objektu je odrazené na ohniskovú rovinu. Na tejto rovine môže byť umiestnený senzor, z ktorého bude uložený snímok, alebo ďalšie zrkadlo, ktoré bude odrážať vytvorený obraz do okuláru. Použitie zrkadiel má mnoho výhod, z ktorej azda najväčšia je, že zrkadlá môžu byť zkonštruované mnohonásobne väčšie ako šošovky, čo umožňuje mať veľmi dlhé ohniskové vzdialenosti a teda oveľa väčšie uhlové zväčšenie.



Obr. 5: Katadioptrický teleskop.

Ďalšou variantou je **katadioptrický teleskop**, ktorý využíva ako šošovky, tak zrkadlá na tvorbu obrazu. Jeho optická sústava býva najčastejšie zložená zo zrkadlového objektívu a korekčnej šošovkovej dosky. Výhodou tohoto teleskopu je kvalitná optika s dlhým ohniskom a teda poskytuje väčší stupeň odolnosti voči chybám, pritom má menšie rozmery a hmotnosť, ako jeho alternatívy. Kombináciou reflektívnych a refraktívnych prvkov má za následok, že chyby tvorené jednou skupinou prvkov, sú korigované tou druhou.



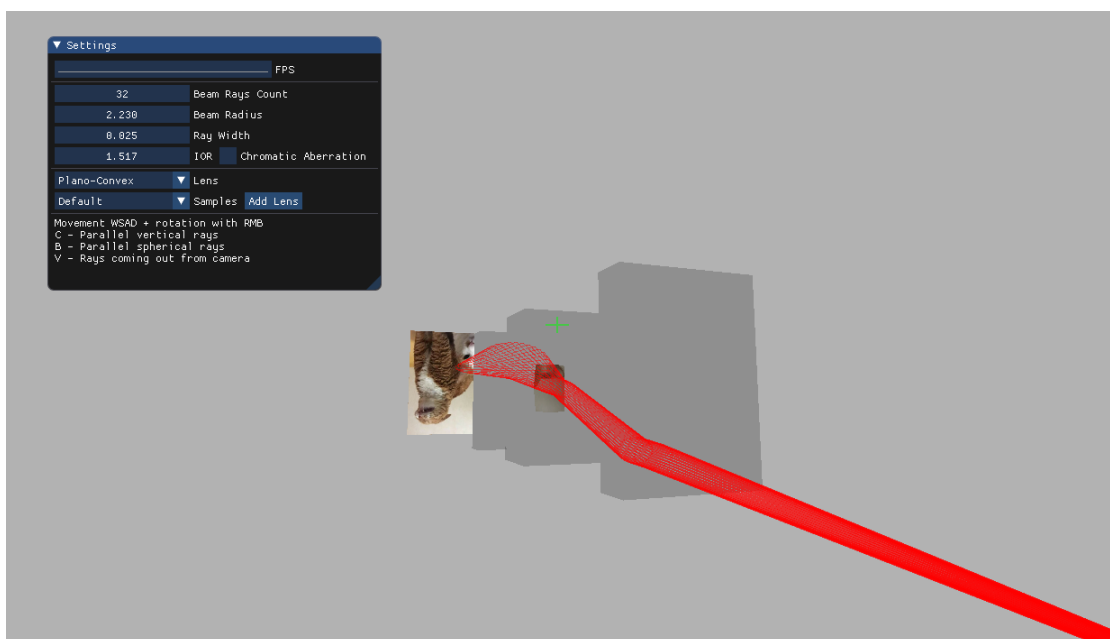
Obr. 6: Na obrázku **a** je možné vidieť teleskop, ktorý pozostáva z konvexnej šošovky, ktorá tvorí objektív a konkávnej šošovky, ktorá tvorí okulár. Takto bol zkonštruovaný aj Galileov teleskop, s ktorým sa podieľal na mnohých objavoch. Na obrázku **b** je teleskop, ktorý pozostáva z dvoch konvexných šošoviek a výsledný obraz je prevrátený. (Obrázok prevzatý z www.libretexts.org)

6 Implementácia

Vrámcí tohoto semestrálneho projektu som vypracoval aplikáciu, ktorá umožní čitateľovi bližšie pochopiť podstatu fungovania optických sústav a zároveň umožňuje experimentovať a vytvárať vlastné optické sústavy.

Aplikácia je navrhnutá v jazyku *C++20* s použitím grafického API DirectX 11. Pri návrhu som kládol dôraz, aby bol projekt použiteľný na systémoch s minimálnymi hardvérovými požiadavkami.

V aplikácii je možnosť pridávania rôznych druhov šošoviek, ktoré sú analyticky popísané a akcelerované na grafickej karte. Ďalej umožňuje vykresľovať lúče, ktoré prechádzajú cez scénu a hýbať sa v priestore scény. Taktiež aplikácia umožňuje zapnutie simulácie chromatickej aberácie.



Obr. 7: Snímka aplikácie, ktorá zobrazuje prechod lúčov optickou sústavou.

Na dosiahnutie minimálnych nárokov aplikácie na systém a taktiež z dôvodov časovej tiesne, som bol nútený zjednodušiť niektoré aspekty sledovania lúčov. Avšak pre účely demonštrácie, sú tieto zjednodušenia postačujúce. Tieto aspekty sú:

1. Pri vizualizácii lúčov, lúče vychádzajú z kamery, čo nie je korektné. Lúče samozrejme vychádzajú zo zdroja svetla, odrážajú sa od sledovaného objektu a takto prechádzajú optickou sústavou a následne dopadajú do oka alebo kamery, resp. prechádzajú cez optickú sústavu oka alebo kamery.
2. Lúče sa šíria len jedným smerom (a to aj pri vykresľovaní scény). Čiže, pokiaľ sa v aplikácii bude čitateľ pozeráť opačným smerom, môže vidieť rôzne artefakty.
3. Chromatická aberácia nie je simulovaná presne – jednotlivé farebné kanály sú len lineárne interpolované. Na správnu chromatickú aberáciu by sa museli simulovať lúče smerom od svetla, čo by vyžadovalo *path tracing*, ktorý je mimo rozsah tohoto projektu.

4. Aby lúč bol správne simulovaný, musí prejsť celou šošovkou. V opačnom prípade, najmä pri okrajoch šošoviek, je možné pozorovať artefakty.

7 Záver

V práci bola stručne zhrnutá história vývoja optických zariadení, konkrétne lupa, mikroskop, ďalekohľad. Ďalej boli špecifikované niektoré konkrétne druhy optických prístrojov a ich princíp fungovania.

Literatúra

- [1] History of optical inspection instruments.
URL <https://www.dorseymetrology.com/history-optical-inspection-instruments>
- [2] Near point.
URL en.wikipedia.org/wiki/Near_point
- [3] Optical microscope.
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_microscope
- [4] Other Optical Instruments.
URL courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/other-optical-instruments/
- [5] Who invented the Magnifying Glass?
URL www.whoinvented.org/who-invented-magnifying-glass/
- [6] Hecht, E.: *Optics*. Always learning, Pearson, 2016, ISBN 9781292096933.
URL <https://books.google.cz/books?id=Bv1RrgEACAAJ>
- [7] Hruška, P.: Fyzikální optika – Studijní opora. 2006.
URL https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FFY0-IT%2Ftexts%2FFY0_opora.pdf
- [8] Lombardo, M.; Serrao, S.; Devaney, N.; aj.: Adaptive Optics Technology for High-Resolution Retinal Imaging. *Sensors (Basel, Switzerland)*, ročník 13, 12 2012: s. 334–66, doi:10.3390/s130100334.
- [9] Samuel J. Ling, W. M., Jeff Sanny: *University Physics Volume 3*. OpenStax, 2019.
URL [http://cnx.org/contents/af275420-6050-4707-995c-57b9cc13c358@12.2](https://cnx.org/contents/af275420-6050-4707-995c-57b9cc13c358@12.2)
- [10] Vohnsen, B.: A Short History of Optics. *Physica Scripta*, ročník 2004, 07 2006: str. 75, doi:10.1238/Physica.Topical.109a00075.