

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích



Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Atmosféra Země a astronomická pozorování

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Petr Jelínek, Ph.D.

Autor: Mgr. Jana Zbejvalová

Anotace:

Tato práce si klade za úkol nastínit pohled na astronomická pozorování nejen v atmosféře Země, ale také v dalekém vesmíru. Přináší stručný přehled od prvních optických přístrojů až po nejmodernější vesmírné observatoře. Zabývá se rovněž dopadem antropogenního a světelného znečištění na astronomická pozorování.

Abstract:

This work has the task outline view of the astronomical observations, not only in the Earth's atmosphere, but also in the far space. It provides a brief overview of the first optical devices to the latest space observatory. It also deal with the impact of anthropogenic and light pollution on astronomical observations.

Prohlášení:

Prohlašuji, že předloženou práci jsem vypracovala samostatně, pouze s použitím uvedené (citované) literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG, provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, dne 18. prosince 2009

.....

Poděkování:

Touto formou děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu RNDr. Petru Je-
línkovi, Ph.D za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce.

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. ATMOSFÉRA ZEMĚ A SOUVISEJÍCÍ POJMY	10
2.1. Vznik atmosféry	10
2.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry	10
2.2.1. Složení atmosféry	11
2.2.2. Vertikální členění atmosféry	12
2.2.2.1. Členění podle průběhu teploty	12
2.2.2.2. Členění podle ionizace vzduchu	13
2.2.2.3. Členění podle intenzity vertikálního mísení vzduchu	14
2.3. Atmosférické jevy	14
2.3.1. Meteory	15
2.3.1.1. Hydrometeory	15
2.3.1.2. Litometeory	15
2.3.1.3. Fotometeory	16
2.3.1.4. Elektrometeory	16
2.4. Jiné jevy	16
3. HISTORIE ASTRONOMICKÝCH POZOROVÁNÍ	17
3.1. Stručná historie astronomie	17
3.1.1. Periodicita	17
3.1.2. Planetární systém	17
3.1.3. Egocentrismus versus heliocentrismus	18
3.2. Vývoj dalekohledů	19
3.2.1. Předteleskopické období	19
3.2.2. Období teleskopických pozorování	19
3.2.2.1. Čočkové dalekohledy (refraktory)	19
3.2.2.1.1. Hans Lippershey	20
3.2.2.1.2. Galileo Galilei	21
3.2.2.1.3. Johannes Kepler	21

3.2.2.1.4. Christian Huygens	22
3.2.2.2. Zrcadlové dalekohledy (reflektory)	22
3.2.2.2.1. Issac Newton	23
3.2.2.2.2. James Gregory a Guillaum Cassegrain	24
3.2.2.3. Katadioptrické systémy zrcadlo/čočka	24
3.2.2.3.1. Bernard Schmidt	24
3.2.2.3.2. Dmitri Dmitrevich Maksutovov	25
3.2.2.3.3. George Willis Ritchey a Henri Chrétien	26
3.2.2.3.4. Coudé dalekohled	27
4. HUBBLEŮV TELESKOP	28
4.1. Historie projektu	28
4.2. Technický popis	29
4.3. Přístrojové vybavení	32
4.3.1. Původní přístrojové vybavení	32
4.3.1.1. Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC	32
4.3.1.2. Kamera pro slabé objekty FOC	32
4.3.1.3. Spektrograf pro slabé objekty FOS	33
4.3.1.4. Spektrograf s vysokým rozlišením HRS	33
4.3.1.5. Fotometr s vysokým časovým rozlišením HSP	34
4.3.1.6. Detektory přesné pointace FGS	34
4.3.2. Současné vědecké přístroje	35
4.3.2.1. Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC-2 versus WFC-3	35
4.3.2.2. Kamera ACS	35
4.3.2.3. Kamera v blízkém infračerveném spektru a multiobjektový spektrometr NICMOS	36
4.3.2.4. Obrazový spektrograf vesmírného dalekohledu STIS ...	36
4.3.2.5. Korektivní optika COSTAR versus COS	37
4.4. Důležité objevy a významná pozorování HST	38
5. NÁSTUPCI HUBBLEOVA TELESKOPU	42
5.1. Herschelův dalekohled	42

5.1.1. Technický popis	44
5.1.2. Přístrojové vybavení	45
5.1.2.1. Fotometr a spektrometr středního rozlišení PACS	45
5.1.2.2. Fotometr a spektrometr pracující na principu Fourierovy transformace SPIRE	45
5.1.2.3. Spektrometr s vysokým rozlišením HIFI	46
5.2. Webbův teleskop	46
5.2.1. Technický popis	47
5.2.2. Přístrojové vybavení	48
5.2.2.1. Integrované vědecké přístroje ISIM	48
5.2.2.1.1. MIRI	48
5.2.2.1.2. Infračervená kamera NIRCcam	48
5.2.2.1.3. Spektrograf NIRSPEC	49
5.2.2.1.4. Senzor pro obrazový záznam FGS	49
5.2.2.2. Optický prvek dalekohledu OTE	49
5.2.2.3. Pohonná jednotka (sběrnice vesmírné observatoře) a sluneční clona	50
6. ANTROPOGENÍ ZNEČIŠTĚNÍ ATMOSFÉRY VE VAZBĚ NA ASTRONOMICKÁ POZOROVÁNÍ	52
6.1. Globální problémy znečišťující ovzduší	52
6.1.1. Skleníkový efekt	53
6.1.2. Narušování ozonoféry	54
6.2. Regionální problémy znečišťující ovzduší	55
6.2.1. Kyselé deště	55
6.2.2. Troposférický ozon	55
6.3. Lokální problémy znečišťující ovzduší	56
6.4. Kjótský protokol	56
7. SVĚTELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ ATMOSFÉRY VE VAZBĚ NA ASTRONOMICKÁ POZOROVÁNÍ	58
7.1. Pojem světelné znečištění	58
7.2. Dopady světelného znečištění	60

7.2.1. Zdraví lidí	60
7.2.2. Fauna a flóra	60
7.2.3. Astronomická pozorování	61
7.3. Měření světelného znečištění	62
7.4. Zdroje světelného znečištění	63
7.5. Možnosti řešení	65
7.6. Světelné znečištění a legislativní zákon	65
8. ZÁVĚR	67
9. SEZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH CITACÍ	68
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	69
11. SEZNAM OBRÁZKŮ	72
12. SEZNAM TABULEK	74

1. ÚVOD

Astronomie je velmi stará věda. Počátky astronomických znalostí se datují někdy před 6 000 lety. První poznatky pocházejí z období nejstarších civilizací. Lidé v dávné historii neměli vůbec ponětí o existenci planet, jejich správné velikosti a vzdálenosti od Země či o dalších vesmírných tělesech.

Optika jako samostatná vědní disciplína poskytuje pouze teoretická východiska při objasňování různých jevů probíhajících v přírodě. Člověk se však nechce spokojit jen s jejich pochopením, ale chce využít i tyto poznatky a aplikovat je do praxe. Právě konstrukcí prvních optických přístrojů překročilo lidstvo myšlenou hranici běžného života.

První optické přístroje se objevily v antickém Řecku. Konstrukce optických přístrojů umožnila učencům tehdejší doby nahlédnout za okraj dogmatických zákonů. A i když jim toto poznání mnohokrát přineslo nesčetné problémy, jako kompenzace jim sloužil fakt, že pootevřeli dveře do světa fyzikálních zákonů a získali přístup k pozorování vesmíru.

V průběhu 20. století dosáhly optické přístroje obrovského rozmachu a díky jejich neustálému zdokonalování se náš život stává jednodušším a posouváme se stále blíže k pochopení principu vzniku života na naší planetě Země.

Tato práce se snaží objektivně přistupovat ke všem aspektům týkajících se astronomických pozorování jak v samotné atmosféře Země, tak v dalekém vesmíru. Je rozdělena do šesti samostatných kapitol, kde se v dílčích tématech podrobněji zabývá vznikem atmosféry a jejím členěním, historií astronomie jako takovou, prvními optickými dalekohledy až po nejnovější vesmírné teleskopy. Posouzení se nevyhne ani antropogenní a světelné znečištění znemožňující astronomům jejich pozorování, jejich důsledky a možné řešení.

Práce je určena široké veřejnosti s alespoň částečnou znalostí optiky a astronomie. Je doplněna řadou demonstračních fotografií a obrázků. Vytváří komplexní pohled na danou problematiku a je na každém čtenáři, aby kriticky posoudil a zhodnotil získané informace.

2. ATMOSFÉRA ZEMĚ A SOUVISEJÍCÍ POJMY

Atmosféra (atmos = pára, sphaira = koule, obal) je plynný obal Země, tvořený směsí plynů. Chrání zemský život před nebezpečným slunečním a kosmickým zářením a svou tepelnou setrvačností snižuje teplotní rozdíly mezi dnem a nocí.

2.1. Vznik atmosféry

Asi před 4,5 miliardami let získala Země (obr. č. 1) svůj první plynný obal, který obsahoval především oxid uhličitý, vodu, dusík, amoniak a oxid uhličitý v podobném složení, v jakém se dnes uvolňuje při vulkanických erupcích. Nenacházel se zde žádný kyslík, protože byl všechn spotřebován na oxidaci kovů.



Obr. č. 1 – Planeta Země

Tyto reakce probíhají samozřejmě i dnes, jsou však velmi pomalé a díky biologickým procesům vzniká kyslík rychleji, než by byl pohlcen horninami zemského povrchu.

Dnešní složení atmosféry je ve stabilní rovnováze, zásadně ovlivněné existencí života. Fotosyntéza a dýchání jsou rozhodující pro rovnovážný stav koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého. Kdyby byl život ze Země z jakéhokoliv důvodu „najednou“ odstraněn, byl by všechn kyslík v průběhu asi 300 miliónů let spotřebován na oxidaci hornin. Došlo by k velkému uvolnění oxidu uhličitého vázaného v tělech rostlin a atmosféra by se opět podobala svému původnímu stavu, obsahovala by pouze směs plynů pro život toxických.

2.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

- hmotnost: $5,157 \cdot 10^{18}$ kg
- rozložení hmotnosti: 50 % do 5-6 km, 90 % do 16 km, 99 % do 30 km
- hustota vzduchu klesá s výškou: při povrchu $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, v 5 km $0,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

2.2.1. Složení atmosféry

Zemská atmosféra se skládá z tzv. čisté atmosféry (suchý čistý vzduch), vody (vlhký čistý vzduch) a aerosolů.

- a) Dokonale suchá a čistá atmosféra je směsí plynů, které se chovají jako ideální plyn. Obsahuje:
- dusík – 78,084 %
 - kyslík – 20,946 %
 - argon – 0,934 %
 - stopové příměsi dalších plynů – oxid uhličitý, ozon, metan, neon, krypton, xenon, vodík, oxid dusný, hélium
- b) Voda se vyskytuje v atmosféře ve všech třech skupenstvích (vodní pára, vodní kapky i ledové krystaly). Množství vody je proměnlivé jak v prostoru, tak v čase. Dochází k poklesu s výškou a k pohlcování dlouhovlnného záření.
- c) Mezi znečišťující atmosférické aerosoly (pevné a tekuté příměsi ve vzduchu) patří jak přirozené aerosoly, které jsou běžnou součástí atmosféry, tak i aerosoly tzv. antropogenního původu, vznikající uvědomělou lidskou činností.
- přirozené aerosoly
 - kosmický prach
 - vulkanický prach (vulkanické erupce)
 - kouřové částice (lesní požáry)
 - částice z povrchu půdy a moře (písečné bouře)
 - aeroplankton (pyl, bakterie)
 - antropogenní aerosoly
 - pevné a kapalné příměsi (sedimentace na povrchu)
 - plynné příměsi (SO₂)
 - halogenové uhlovodíky

Někdy není možné odlišit, zda se tyto aerosoly dostaly do atmosféry lidskou činností či přirozenou cestou. Mnohé z těchto aerosolů je významných, protože působí v atmosféře jako kondenzační jádra, způsobují větší oblačnost, ale zároveň dochází k většímu odrazení slunečního záření v mracích.

Koncentrace libovolné atmosférické složky v atmosféře je výsledkem pohyblivé rovnováhy mezi její produkcí a úbytkem. Primární příměsi unikají do atmosféry z povrchu, sekundární vznikají v ovzduší často složitými fotochemickými mechanismy.

2.2.2. Vertikální členění atmosféry

Při posuzování vlastností a konkrétních hledisek specifických pro jednotlivé vrstvy lze atmosféru dělit dle několika základních kritérií. Nejčastěji podle průběhu teploty, ionizace vzduchu a intenzity větru.

2.2.2.1. Členění podle průběhu teploty

Podle průběhu teploty lze dělit atmosféru na pět základních vrstev, a to na troposféru, stratosféru, mezosféru, termosféru a exosféru, která již tvoří přechod do meziplanetárního prostoru. Mezi nimi jsou úzké přechodné pásy zvané pauzy (tropopauza, stratopauza, mezopauza a termopauza). Změna teploty vzduchu s výškou má pokaždé jiný charakter. Na horní hranici troposféry se pokles teploty zastavuje. V horní stratosféře teplota vzduchu s výškou stoupá, v mezosféře klesá, nemění se nebo stoupá v termosféře a v exosféře klesá.

- a) Troposféra – je nejnižší vrstvou atmosféry, sahá do výšky 11 kilometrů¹ nad povrchem Země. Obsahuje rozhodující část celkové vzduchové hmoty, asi 4/5 vzduchu. Odehrává se zde většina meteorologických jevů a procesů (vznik počasí, vítr, srážky, oblačnost, ...). Teplota klesá o 0,65 °C na 100 m, na hranici troposféry se teplota pohybuje v rozmezí –45 až –70 °C. Tlak a hustota vzduchu klesají s rostoucí nadmořskou výškou.
- a1) Tropopauza – je přechodná vrstva atmosféry, odděluje troposféru od stratosféry. Pokles teploty s výškou zde mizí a klesá vertikální gradient teplot na 0,2 °C. Nachází se ve výškách 9 – 17 kilometrů nad hladinou moře.

¹ Tato výška je pouhým aritmetickým průměrem. Rotace Země kolem vlastní osy a nepravidelný tvar planety způsobují různé tloušťky vrstvy nad póly (8 – 9 km) a nad rovníkem (až 18 km).

- b) Stratosféra – je druhou vrstvou atmosféry, sahá do výšky 50 – 60 kilometrů nad zemský povrch. Mezi 25 – 35 kilometrem se nachází oblast s největší koncentrací ozónu, tzv. ozonosféra. Ozonosféra je nepostradatelnou pro život na Zemi, reguluje množství procházejícího ultrafialového záření. Je mnohem teplejší než stratosféra (absorpce UV slunečního záření).
- b1) Stratopauza – leží na rozhraní mezi stratosférou a mezoférou, nachází se ve výšce 50 km nad Zemí. Tvoří úzkou zónu teplotního maxima, od kterého oběma směry klesá atmosférická teplota. Teplota je přibližně 0 °C.
- c) Mezoféra – nachází se mezi 50 – 85 kilometrem, velká vzdálenost od povrchu Země se projevuje značným poklesem teploty, až -100 °C (nedochází již k absorpci slunečního záření, což souvisí s nízkým obsahem vodních par, vody a ozónu).
- c1) Mezopauza – tenká vrstva atmosféry ve výšce 80 kilometrů od Země, odděluje mezoféru od termosféry.
- d) Termosféra – sahá do výšky asi 500 kilometrů nad zemský povrch. Teplota zde s výškou značně roste, dosahuje hodnot přes 1 000 °C, ale i 1 600 °C v závislosti na aktivitě Slunce. V termosféře vznikají polární záře, obíhají zde družice a sondy.
- d1) Termopauza – je atmosférická hranice mezi termosférou a exosférou.
- e) Exosféra – je vnější vrstvou atmosféry, nachází se ve výškách od 800 kilometrů a sahá ž do 20 až 40 tisíc kilometrů. V exosféře dochází k úniku částic do meziplanetárního prostoru, velmi zředěný vzduch přechází ve vakuum.

2.2.2.2. Členění podle ionizace vzduchu

Neutrosféra a ionosféra jsou vrstvy atmosféry úzce spjaté s ionizací vzduchu.

- a) Neutrosféra – je část atmosféry, která sahá zhruba do výšky 60 kilometrů nad zemský povrch. Ionizace molekul je tak malá, že vzduch lze považovat za elektricky nevodivé prostředí. Obsahuje kyslík, vodík a helium v podobě iontů a atomů.
- b) Ionosféra – se nachází 60 – 500 kilometrů nad povrchem Země, jedná se tedy o oblast mezoféry a termosféry. Vzduch je zde silně zředěn a ionizován. Vyznačuje se velkým obsahem volných iontů a elektronů, dochází zde k ionizaci vzduchu ultrafialovým zářením. Zaujímá necelé 0,1 % z celkové hmoty atmosféry. Ionosféra má svoji vlastní vnitřní strukturu, elektricky vodivé pásy D, E, F, F₁ a F₂. Umožňuje odraz rádiových vln, nachází se zde elektromagnetické pole Země.

2.2.2.3. Členění podle intenzity vertikálního mísení vzduchu

Dělit atmosféru lze také podle intenzity vertikálního mísení vzduchu na homosféru a heterosféru.

- a) Homosféra – sahá do výšky přibližně 100 kilometrů od Země. Někdy se používá též označení turbosféra. Dochází zde k intenzivnímu turbulentnímu promíchávání, které způsobuje rovnoměrné zastoupení jednotlivých plynů (převážně stabilní složení) s výjimkou vodní páry, ozónu a oxidu uhličitého.
- b) Heterosféra – se nachází ve výškách nad 100 kilometrů od povrchu Země. Často se označuje jako difúzosféra. Oproti homosféře zde roste podíl vodíku, hélia a lehkých plynů. Se zvětšující se vzdáleností od zemského povrchu dochází k ubývání těžkých plynů (difúzní rovnováha), neplatí však pro kyslíko-dusíkový poměr. V dolní části je zastoupen převážně kyslík, ve střední helium a v horní vodík.

2.3. Atmosférické jevy

Atmosférické jevy jsou různé úkazy v atmosféře nebo na zemském povrchu. Většinou se tyto jevy souhrnně označují meteory. Ostatní pozorovatelné jevy jsou stručně popsány v kapitole Jiné jevy.

2.3.1. *Meteory*

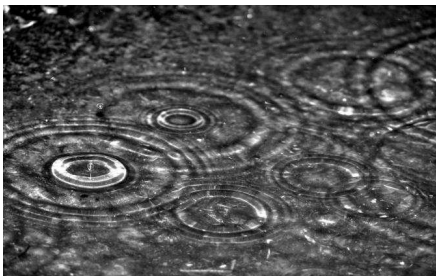
„Meteorem nazýváme úkaz pozorovaný v atmosféře nebo na zemském povrchu s výjimkou oblaků. Může mít charakter srážek, suspenzí a usazenin pevných nebo kapalných částic; může jím být také jev povahy optické nebo elektrické. Meteory se mohou vyskytovat od povrchu země (např. rosa) až do vysokých vrstev atmosféry (polární záře).“ [1]

2.3.1.1. Hydrometeory

Mezi hydrometeory se řadí meteory tvořené systémem vodních částic v kapalném nebo tuhém stavu. Takové soustavy vodních částic se v atmosféře vznášejí, respektive klesají nebo jsou usazeny na zemi či ve volné atmosféře, případně zdvíhány větrem ze zemského povrchu.

Hydrometeorem mohou být:

- vertikální srážky – déšť (obr. č. 2), mrznoucí déšť (obr. č. 3), mrholení, sněžení, sněhové krupky a sněhová zrna, krupky, ...
- horizontální srážky – rosa, jinovatka, námraza, náledí, ...
- mlha, kouřmo, vodní tříšť, tromba, ...



Obr. č. 2 – Příklad hydrometeoru (déšť)



Obr. č. 3 – Příklad hydrometeoru (mrznoucí déšť)

2.3.1.2. Litometeory

Litometeory jsou soustavy částic zpravidla tuhého skupenství (základem není nikdy voda), které jsou rozptýleny ve vzduchu nebo zdviženy ze země větrem.

Litometeorem jsou zákaly (např. prachové), kouř, zvířený prach nebo písek (obr. č. 4) apod.



Obr. č. 4 – Příklad litometeoru (písečný vír)

2.3.1.3. Fotometeory

Fotometeory jsou světelné jevy v atmosféře způsobené odrazem, lomem nebo interferencí slunečního, respektive měsíčního světla.

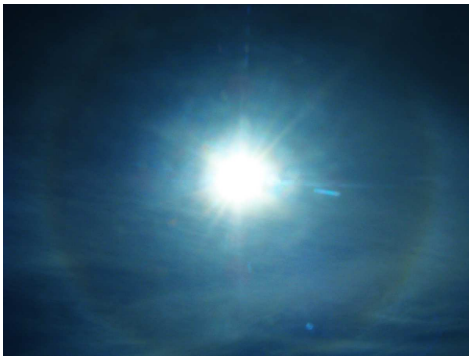
Při pozorování fotometeorů se zaznamenávají časové údaje o době jejich trvání a o intenzitě jevu.

Mezi fotometeory se řadí sluneční (obr. č. 5) a měsíční halo (obecně halové jevy), duha, koróna, soumrakové jevy atd.

2.3.1.4. Elektrometeory

Elektrometeor je projevem atmosférické elektřiny vnímaný nejen zrakem, ale i sluchem.

Nejznámějšími elektrometory jsou bouřka, blýskavice (obr. č. 6), hřmění, tzv. Eliášův oheň či polární záře.



Obr. č. 5 – Příklad fotometeoru
(sluneční halo)



Obr. č. 6 – Příklad elektrometeoru
(blýskavice – blesk)

2.4. Jiné jevy

Mezi jiné jevy patří ostatní pozorovatelné jevy, jako jsou např. silný vítr, bouřlivý vítr, nárazovitý vítr, proměnlivý vítr a húlava.

3. HISTORIE ASTRONOMICKÝCH POZOROVÁNÍ

3.1. Stručná historie astronomie

3.1.1. Periodicita

Počátek astronomie se nedá zcela přesně datovat. První astronomické znalosti pocházejí z doby před 6 000 lety, kdy začala vznikat první písma a tedy i první poznatky z astronomie. Již dávno však člověk vypožoroval, že existují jisté souvislosti se zdánlivým pohybem Slunce na obloze, ročními dobami, dnem a nocí i měnícími se fázemi Měsíce. Zjistil, že všechny tyto děje se opakují víceméně periodicky. Snaha o určení dalšího cyklu vedla k vytvoření přirozených časových jednotek – den, měsíc, rok.

K velkému rozmachu astronomie docházelo zejména ve vyspělých civilizacích a v povodí velkých řek. Ve 3. – 2. tisíciletí před n. l. byla v Číně velmi přesně určena délka roku na 365,25 dne (tropický rok skutečně trvá 365,24 dne). Nejdále však dospěla babylonská věda. Staří Babylóňané rozdělili den na 24 hodin a sestavili první vodní hodiny, odtud také pochází dělení hodiny na 60 částí i dělení kruhu na 360 výsečí. Určili také poměrně přesně délku roku, který rozdělili na 12 měsíců.

3.1.2. Planetární systém

Další velkou etapou ve vývoji astronomie bylo období od počátku antické vědy až po středověk (přelom 7. a 6. století před n. l. – rok 1500).

Vedoucí roli v astronomii měli Řekové, později Arabové a v neposlední řadě i Evropané. Řekové zavedli pojem kosmos = vesmír. Jeden z prvních řeckých učenců Thalés z Milétu (6. století před n. l.) považoval vodu za pralátku, z níž postupným zhušťováním a zředováním vznikl život. Zemi si představoval jako plochou desku, která pluje ve světovém oceánu.

V 5. století před n. l. určili Pythagorovi žáci správný tvar Země. Filoláos předpokládal, že se Země otáčí kolem své vlastní osy a že obíhá jako jedna ze 7 planet (Slunce, Měsíc, Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn) kolem mystického centrálního ohně. Za sférou planet se nacházela již jen neměnná sféra stálic.

Nežádka se stávalo, že do středu vesmíru bylo umístěno Slunce, jindy oheň, nejčastěji však planeta Země. Podle Platóna musel být pohyb planet pravidelný, tzn. rovnoměrný kruhový.

Ve 4. století před n. l. udělal přítrž domněnkám Aristoteles a uvedl „v pořádek“ uspořádání vesmíru. Zemi umístil do středu a jako příčinu kruhového pohybu planet určil nadpozemský éter. Jeho předpoklad byl dogma po dlouhé roky a ovlivňoval celkový vývoj astronomie. Mezi výjimky, které umístily do centra Slunce, patří Hérakleides (4. století před n. l.) a Aristarchos ze Samu (3. století před n. l.). Apollónios z Pergy (kolem roku 200 před n. l.) a Hipparchos (2. století před n. l.) pak vytvořili prvky nového výkladu pohybu planet, které v první polovině 2. století uvedl v systém Klaudios Ptolemaios ve svém spisu *Almagest*.

3.1.3. *Egocentrismus versus heliocentrismus*

První evropské centrum astronomického bádání vzniklo na Pyrenejském poloostrově v Toledu ve 13. století, v místě styku arabské a křesťanské kultury. Převzalo ptolemaiovský systém. Astronomie se dostala mezi prestižní vědy, měla mnohé společenské úkoly. Díky astronomii se námořníci orientovali po moři, byly zmapovány nově objevené země, hlavním úkolem však stále zůstávalo určit co nejpřesněji dráhy planet.

Stěžejní zůstávala otázka, zda Země je či není ve středu vesmíru a zda se pohybuje. Mikuláš Koperník (1473 – 1543) zpochybnil dosavadní geocentrický názor. Domníval se, že daleko pravděpodobnější je, aby se pohybovala nepatrná část vesmíru (v tomto případě Země), než aby se pohyboval celý vesmír a to navíc několikerým pohybem. Přiřadil Zemi tři pohyby: otočení kolem vlastní osy za jeden den, kolem Slunce za jeden rok a pohyb precesní.

Giordano Bruno (1548 – 1600) zařadil jako první Slunce mezi hvězdy, ztotožňoval se s názorem Mikuláše Koperníka, za který byl později upálen jako kacíř.

Horlivým stoupencem heliocentrismu byl i Galileo Galilei (1564 – 1642). Vytvořil teorii pohybu těles, která počítá i s pohybem Země.

Doposud všemi uznávaný Koperníkův systém však ještě nebyl dokonalý. Zdokonalil ho až Johannes Kepler (1571 - 1630) objevem tří zákonů o pohybu planet.

Isaac Newton (1643 – 1727) publikoval teorii gravitace. Usoudil, že není žádný rozdíl mezi silou, která přitahuje těleso k Zemi a silou, která přitahuje a udržuje Měsíc

na jeho oběžné dráze. Newtonův gravitační zákon spolu se zákony setrvačnosti, zrychlení a akce a reakce dal základ k vysvětlení a výpočtům všech pohybů ve vesmíru.

3.2. Vývoj dalekohledů

Dalekohled je optický přístroj, který umožňuje zvětšit zorný úhel pozorovaného objektu a zvýšit jasnost a rozlišovací schopnost světlem soustředěným na malou plochu. Základem dalekohledu je objektiv, který vytváří obraz pozorovaného objektu v obrazové rovině. Obraz vytvořený objektivem se sleduje okulárem. Objektivy dalekohledů tvoří čočky, soustavy čoček, sférická anebo parabolická zrcadla a kombinované soustavy čočky a zrcadla.

Dalekohledy s čočkovým objektivem se nazývají refraktory (obraz v dalekohledu se vytváří následkem lomu světelných paprsků na skle objektivu) a se zrcadlovým objektivem reflektory (světelné paprsky se soustřeďují do obrazové roviny následkem odrazu na povrchu dutého zrcadla). Objev dalekohledu znamenal revoluci v astronomické technice.

3.2.1. „Předteleskopické“ období

Předteleskopické období, pozorování pouhým okem, se datuje zhruba do roku 1600. Prakticky byla pozorována pouze zatmění Slunce a Měsíce.

Roku 1289 byly v rukopise z Florencie popsány čočky, které měly usnadnit čtení starším lidem. V 16. století použil Ital Giovanni Rucellai duté zrcadlo ke zkoumání včel. Roku 1586 neapolský vědec Jean Baptiste de la Porta teoreticky popsal, jak lze kombinací optických prvků sestavit dalekohled k pozorování oblohy. Do počátku 17. století byli však astronomové při pozorování vesmíru odkázáni pouze na svůj zrak.

3.2.2. Období teleskopických pozorování

3.2.2.1. Čočkové dalekohledy (refraktory)

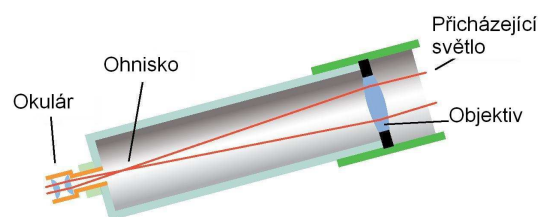
Objektivem čočkového dalekohledu (obr. č. 7, 8) je jedna nebo více čoček, které napomáhají zlepšovat barevnou vadu.

Přicházející světelné paprsky se lámou (refrakce) a soustředí do ohniska, za ohniskem se nachází okulár.

Světelnost dalekohledu je určena optickou aperturou (velikostí), ohnisková vzdálenost stanovuje maximální možné zvětšení.



Obr. č. 7 – Čočkový dalekohled (refraktor)



Obr. č. 8 – Konstrukční schéma čočkového dalekohledu

3.2.2.1.1. Hans Lippershey

Prvním konstruktérem dalekohledu byl nizozemský optik a výrobce brýlí z Middelburgu Hans Lippershey. Tento vynález byl spíše dílem náhody než geniálním nápadem. Objev údajně učinily jeho děti, které si doma hrály s nepotřebnými skleněnými čočkami. Děti čočky různě kombinovaly a dívaly se přes ně. Zjistily, že čočky přibližují předměty, které pozorovaly. Odhalení si Hans Lippershey (obr. č. 9) nechal pro sebe, zkonstruoval dalekohled a 2. října 1608 požádal generální nizozemské stavy v Haagu o udělení patentu.



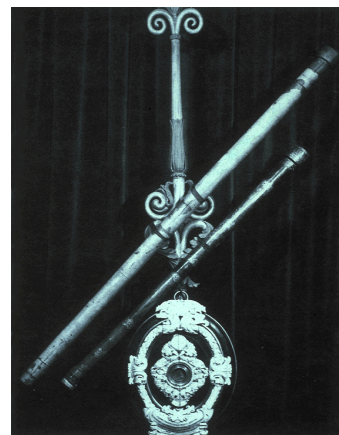
Obr. č. 9 – Hans Lippershey ve své dílně

O přístroj byl velký zájem. Lippersheyovi bylo však doporučeno, aby sestrojil dalekohled pro pozorování oběma očima. Optik tak učinil, v polovině prosince 1608 byl binokulární přístroj hotov a osvědčil se. Jeho dalekohled byl tvořen spojnou čočkou v objektivu a rozptylkou v okuláru a zvětšoval asi 3 – 4x. Patent mu přiznán ale nebyl, Lippershey nebyl jediným, kdo dalekohled sestavil. Jedním z jeho konkurentů byl Adriaanszon, zvaný Metius, z Alkmaaru. 17. října 1608 požádal i on o udělení patentu na konstrukci dalekohledu. Tento návrh byl rovněž zamítnut. O prvenství se také ucházel

Zacharias Janssen z Middelburgu. Ani jeden z nich však nepoužil právě vynalezený dalekohled k astronomickým pozorováním.

3.2.2.1.2. Galileo Galilei

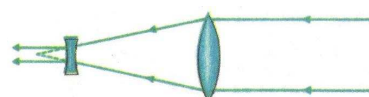
V květnu roku 1609 se dostal popis dalekohledu ke Galileu Galileimu, tehdy profesoru matematiky v Padově v Itálii. Galileo nevěděl, jak nový přístroj vypadá, ani jak je sestrojen. Dokázal ho zkonstruovat na základě teoretické úvahy. Jeho první dalekohled zvětšoval (obr. č. 10) asi trojnásobně. To se mu ale zdálo málo, tak zvýšil zvětšení na desetinásobek a pak dokonce ještě na třicetinásobek.



Obr. č. 10 – Galileův dalekohled

Galileo Galilei jako první užil dalekohledu k systematickému astronomickému studiu. Astronomie tak dostala mimořádně účinný pozorovací prostředek. Jeho možnosti prokázal sám Galilei, za jediný rok učinil pomocí svého ještě značně nedokonalého dalekohledu tolik objevů, že obraz vesmíru se tím zásadně změnil. Objevil krátery a hory na Měsíci, zjistil, že Mléčná dráha na obloze je tvořena z hvězd, odhalil také čtyři Jupiterovy měsíce.

V Galileově dalekohledu (obr. č. 11) představovala spojka o větším průměru objektiv přístroje a rozptylka okulár, tedy čočku, kterou pozorovatel přikládá k oku. Obraz sice zůstal vzpřímený, ale dalekohled měl spoustu jiných vad (např. zkreslení obrazu, barevná vada čoček atd.).



Obr. č. 11 – Konstrukční schéma Galileova dalekohledu

3.2.2.1.3. Johannes Kepler

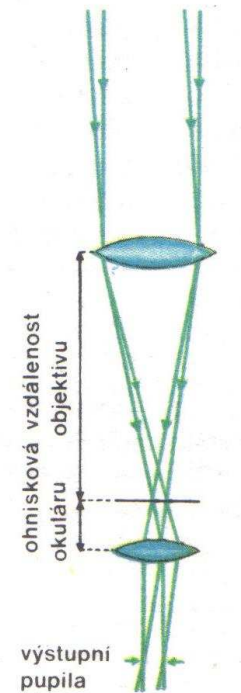
Teprve německý astronom Johannes Kepler změnil okulár z rozptylky na spojku (obě čočky byly spojky). Objektivem byla čočka o velké ohniskové vzdálenosti, okulárem naopak čočka o malé ohniskové vzdálenosti.

Došlo ke znatelnému vylepšení vlastností dalekohledu. Keplerův dalekohled (obr. č. 12) měl oproti Galileově dalekohledu dvě velké přednosti: lidské oko mohlo zachytit a využít téměř všechno světlo, které dopadalo na objektiv (světlo prochází tzv. vý-

stupní pupilou). Druhou výhodou bylo přesné úhlové měření pozorovaného objektu vložím záměrného kříže do ohniskové roviny (tato možnost byla objevena až zhruba v polovině 17. století, sám Kepler o ní ještě nevěděl).

Nevýhodou Keplerova dalekohledu byla skutečnost, že takový dalekohled ukazoval obráceně, převracel obraz, to ale astronomii nevadí.

V Keplerově dalekohledu s čočkovým objektivem dochází k lomu světla, jedná se tedy o refraktor. Ohnisková vzdálenost čočky je různá pro světlo různých barev. Hlavní nevýhodou refraktorů je barevná vada, obraz je barevně rozmazán. Barevná vada je menší při malé světelnosti objektivu, protože rozmazání je při stejném průměru objektivu stejné, obraz je ale při větší ohniskové vzdálenosti větší, a tedy zřetelnější.

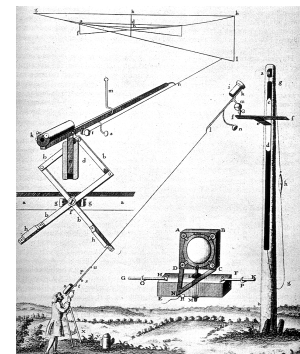


Obr. č. 12 – Konstrukční schéma Keplerova dalekohledu

3.2.2.1.4. Christian Huygens

Refraktory se velmi často projevovaly optickým vadami čoček objektivů (viz výše), které způsobovaly zkreslení obrazu. Tyto vady bývají zapříčiněné rozdílným lomem světelných paprsků, které procházejí čočkou pod různými úhly a v různých místech. Rozdílná je také ohnisková vzdálenost barev optického spektra.

V roce 1684 opatřil Christian Huygens (obr. č. 13) dalekohled druhou čočkou, což snížilo neblahý fyzikální jev na minimum.



Obr. č. 13 – Plánek dalekohledu Christiana Huygense

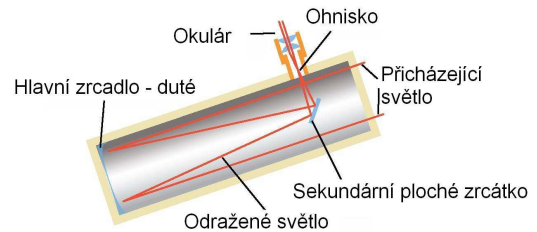
3.2.2.2. Zrcadlové dalekohledy (reflektory)

Zrcadlový dalekohled (obr. č. 14,15) je tvořen primárním a sekundárním zrcadlem. Ve spodní části tubusu je umístěno primární zrcadlo miskovitěho tvaru, jeho poloha určuje světelnost dalekohledu. Odražené světelné paprsky se soustřeďují v ohnisku, kde se nachází malé sekundární zrcátko a směřuje světlo do okuláru.

Hlavní výhodou reflektorů je nepřítomnost barevné vady.



Obr. č. 14 – Zrcadlový dalekohled



Obr. č. 15 – Konstrukční schéma zrcadlového dalekohledu

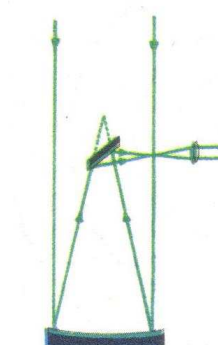
3.2.2.2.1. Isaac Newton

Angličan Isaac Newton si pohrával s myšlenkou nahradit čočkový objektiv dutým zrcadlem. Uvědomil si, že takový zrcadlový dalekohled bude bez barevné vady (úhel lomu závisí na barvě světla, úhel odrazu ne). Roku 1668 sestrojil zcela nový typ dalekohledu (obr. č. 16), který se skládal z objektivu s plochou tvaru rotačního paraboloidu umístěného na konci tubusu teleskopu a z pomocného rovinného zrcátka ukotveného v horní polovině tubusu pod úhlem 45 stupňů (obr. č. 17).

Dopadající paprsky na zrcadlo se tak odrážely do svazku paprsků uprostřed. Funkcí malého zrcátka bylo odrážet takto soustředěné paprsky do okuláru na boku dalekohledu. Nemalou změnou byl rovněž přístup k samotnému dalekohledu, z boku nikoli zezadu.



Obr. č. 16 – Newtonův refraktor



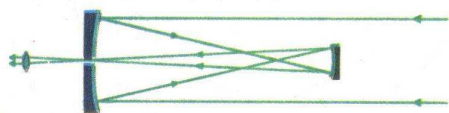
Obr. č. 17 – Konstrukční schéma Newtonova dalekohledu

3.2.2.2. James Gregory a Guillaum Cassegrain

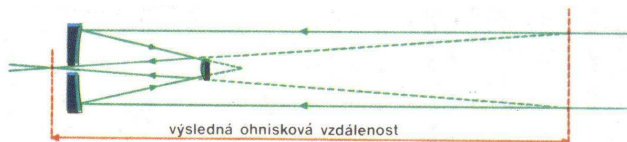
Nedlouho po Newtonovi navrhl nejdříve Gregory a v roce 1672 i Cassegrain konstrukčně složitější dalekohled. Výhodou jejich uspořádání bylo, že malé (sekundární) zrcátko prodlužovalo ohniskovou vzdálenost dalekohledu a navíc pozorovatel zaujímal výhodnější polohu (zezadu). Oba typy měly primární parabolické zrcadlo uprostřed.

V Gregorově dalekohledu (obr. č. 18) je sekundárním zrcátkem duté (konkávní) zrcadlo, které je umístěno za primárním ohniskem tak, aby promítalo obraz objektu vytvořený primárním zrcadlem za primární zrcadlo. Obraz je stranově i výškově správně orientován.

V případě Cassegrainova dalekohledu (obr. č. 19) je sekundárním zrcadlem naopak vypuklé (hyperbolické) zrcadlo, které se nachází ještě před ohniskem primárního zrcadla. Zrcadla jsou blíže u sebe a jejich uspořádání je mechanicky výhodnější. Obraz je podobně jako u Keplerova dalekohledu stranově i výškově převrácen, ale ohnisková vzdálenost je prodloužena bez nutnosti prodloužení tubusu dalekohledu.



Obr. č. 18 – Konstrukční schéma Gregoryho dalekohledu



Obr. č. 19 – Konstrukční schéma Cassegrainova dalekohledu

3.2.2.3. Katadioptrické systémy zrcadlo/čočka

Katadioptrické systémy jsou kombinací zrcadel jako odrazných prvků a čoček jako prvků využívajících zákona lomu. Teprve počátkem 20. století došlo k prvním pokusům použití korekčních členů s využitím lomu v zrcadlových systémech.

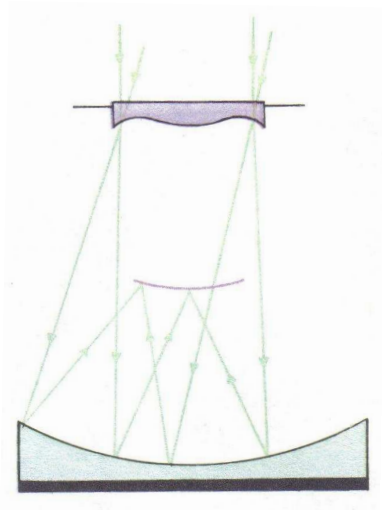
3.2.2.3.1. Bernard Schmidt

Pro zvětšení ohniskové vzdálenosti a pro odstranění některých nežádoucích vad (např. rozmazání obrazu = kulová vada) lze na vstupu do dalekohledu použít korekční desku, která ovlivní chod paprsků tak, že se po odrazu na zrcadle soustředí přesně v je-

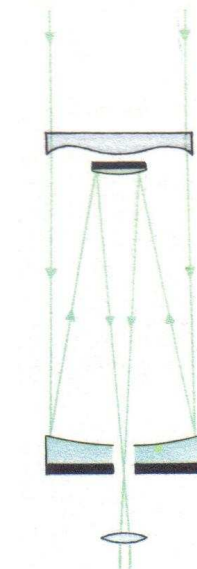
diném bodě. Poprvé užil korekční desku v roce 1930 estonský optik a astronom Bernard Schmidt u tzv. Schmidty komory (obr. č. 20).

Tato komora byla výhradně určena k fotografování na fotografické desky. Pokud se však fotografická deska umístí do jednoho z ohnisek, dají se zaznamenat i světelné paprsky těch objektů, jejichž fotony jsou pro lidské oko prakticky nezaznamatelné. U větších dalekohledů jsou korekční desky nutností, protože fotografická deska vložená do primárního ohniska je rovinná. Korekční deska má poměrně komplikovaný tvar a její výroba je celkem náročná.

Kombinací Schmidty korekční desky a Cassegrainova dalekohledu vznikl Schmidt-Cassegrainův systém (obr. č. 21).



Obr. č. 20 – Schmidty komora

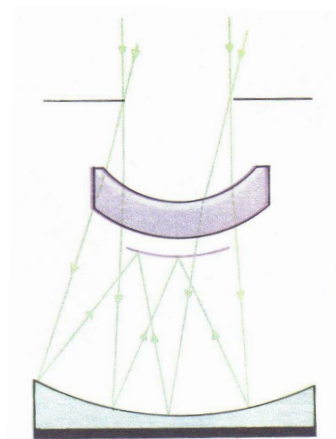


Obr. č. 21 – Schmidt-Cassegrainův systém

3.2.2.3.2. Dmitri Dmitrevich Maksutovov

Aby se vykreslil ostrý obraz na fotografické desce, musí být deska prohnutá. Tuto nevýhodu lze odstranit použitím sekundárního zrcadla, zakřivené čočky (meniskem), se stejným poloměrem křivosti.

V roce 1941 navrhl Maksutovov komoru (obr. č. 22) stejného jména, která poskytuje dokonalý obraz bez barevné vady, vysokou světelnost a velké zorné pole. Díky velmi krátkému tubusu je výborným



Obr. č. 22 – Maksutovova komora

přístrojem pro přímé vizuální pozorování.

Nevýhodou je větší počet odrazných ploch, čímž dochází k větší ztrátě světla. Pro eliminaci těchto ztrát se optické plochy pokrývají antireflexní vrstvou, která snižuje procento odraženého světla.

Stejně jako Schmidtova komora, tak i Maksutovova se velmi často kombinuje s klasickým Cassegrainovým systémem. Vzniklý dalekohled se nazývá Maksutov-Cassegrainův.

3.2.2.3.3. George Willis Ritchey a Henri Chrétien

Uspořádání Ritcheyho-Chrétienovo (obr. č. 23) je obdobou Cassegrainova systému. Rozdíl spočívá v tom, že primární zrcadlo má tvar blízký rotačnímu hyperboloidu, ve skutečnosti však jde o rotační plochu vyššího řádu. O tento objev se postarali pánové Ritchey a Chrétien v roce 1910.

Úkolem primárního zrcadla je odstranit komatickou vadu, zatímco sekundární zrcadlo eliminuje sférickou aberaci. Díky tomu se dá lépe vykreslit větší užitečné zorné pole než prostým parabolickým reflektorem. Koma není korigována, parabolické zrcadlo má dokonalé zobrazení jen v blízkosti optické osy. Velké pole při velké světelnosti zachytí i jediné zrcadlo, je-li doplněno vhodnou čočkovou soustavou před fotografickou deskou. (obr. č. 23 vlevo) Vložením asférické korekční desky před ohnisko se dají celkově zlepšit vlastnosti zobrazení (obr. č. 23 vpravo).



Obr. č. 23 – Ritchey-Chrétien systém

3.2.2.3.4. Coudé dalekohled

U Coudé systému dopadá svazek odrážejících se světelných paprsků na pomocné konvexní zrcadlo. Odtud je odveden rovinnými zrcadly do polární osy montáže dalekohledu, na jehož konci je okulár. Díky tomu, že si polární osa stále zachovává svou polohu, leží ohnisko coudé dalekohledu stále na stejném místě. S výhodou se toho využívá hlavně u velkých spektrografů, které mohou být pevně zabudovány za coudé ohniskem na konci polární osy.

4. HUBBLEŮV TELESKOP

4.1. Historie projektu

V roce 1923 nastínil němec Hermann Oberth, zakladatel raketové techniky, možnost využít mimozemskou observatoř. První pokrokovou studii na využití kosmického teleskopu vypracoval však až v roce 1946 Lyman Spitzer pro firmu Douglas Aircraft.

Roku 1958 byl založen americký Národní úřad pro letectví a kosmický prostor – NASA (National Aeronautics and Space Administration) a o čtyři roky později byl kosmický teleskop prohlášen za národní projekt. Program Apollo a přistání lidí na Měsíci načas přerušily původní projekt, ale sedmdesátá léta přináší již konkrétní studie na vypuštění teleskopu.

Původní studie z roku 1971 předpokládala vypuštění LST (Large Space Telescope) s průměrem hlavního zrcadla 3 m. V přípravné fázi (1975) byl projekt redukován na dalekohled s průměrem 2,4 m. Hlavním důvodem této změny byly finanční problémy.

I přes značný odpor uvolnil v roce 1977 Kongres Spojených států na dokončení projektu v roce 300 miliónů dolarů. Brzy se však ukázalo, že stavba a vypuštění teleskopu na oběžnou dráhu si vyžádá mnohem více peněz. Novější odhady se pohybovaly kolem částky 580 miliónů dolarů, ve skutečnosti se celková suma vyšplhala na neuvěřitelných 1,5 miliardy dolarů.

Řada technických problémů odsunula vypuštění teleskopu z roku 1983 až na srpen 1986. V lednu roku 1986 však došlo při startu raketoplánu Challenger k explozi a zahynula celá sedmičlenná posádka. NASA okamžitě přerušila projekt a v té době téměř dokončený Hubbleův kosmický teleskop² musel být na delší dobu zakonzervován, protože start byl odložen až na rok 1990.

Zachování zrcadlové optické plochy v naprosté čistotě vyžadovalo dokonale bezprašné a klimatizované prostředí a s tím samozřejmě související zvýšené finanční náklady (250 miliónů dolarů). Dalších 70 miliónů dolarů stálo zdokonalení zastaralého programového vybavení.

² Označení teleskopu je spjato se jménem Edwina Hubbleho (1889 – 1953), amerického astronoma, který na základě svých pozorování prokázal, že vesmír se prostírá i daleko za hranicemi naší galaxie. Zároveň podpořil teorii rozpínání vesmíru svým zásadním objevem (1929), že čím dále od nás se vesmírné objekty nacházejí, tím rychleji se vzdalují.

24. dubna 1990 byla teleskopická observatoř (obr. č. 24) o hmotnosti 10 878 kilogramů dopravena na oběžnou dráhu kolem Země z nákladového prostoru raketoplánu Discovery.

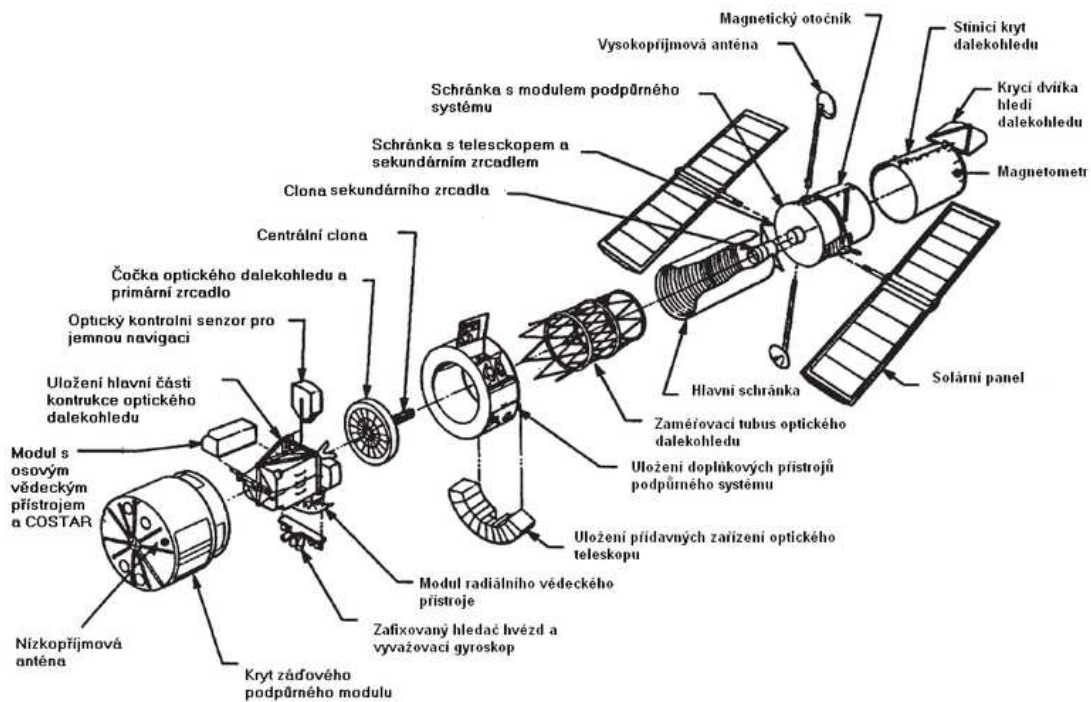


Obr. č. 24 – Hubbleův vesmírný teleskop

4.2. Technický popis

Hubbleův kosmický teleskop vznikl ve společném programu Evropské agentury pro vesmír ESA (European Space Agency) a Národního úřadu pro letectví a astronautiku NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Hubbleův dalekohled se prakticky v ničem nepodobá klasickým pozemským observatořím. Nemá typickou kopuli, naopak je zvýrazněn dvěma velkými slunečními panely, které zásobují vesmírnou stanici elektrickou energií. Je ovládán dálkově ze Země díky rozmanité síti družic. Obecně tento systém však pracuje na stejném principu jako zrcadlové dalekohledy.



Obr. č. 25 – Celková sestava Hubbleova teleskopu

HST (Hubble Space Telescope) je variantou Ritchey-Chrétien konfigurace Cassegrainova dalekohledu. Konstrukce dalekohledu (obr. č. 25) využívá dvou hyperbolických zrcadel, jednoho konvexního (primárního) zrcadla o průměru 2,4 m a druhého konkávního (sekundárního) zrcadla o průměru 0,34 m. Zrcadla jsou od sebe vzdálena 4,9 m a vytvářejí tak systém s ohniskovou vzdáleností 57,6 m. Celková délka Hubbleova teleskopu je 13,1 m, přičemž vlastní optický systém zaujímá asi jen 6 m.

Principem optického systému je soustřeďovat světlo vzdálených objektů bodového charakteru, tj. hvězd, do malé skvrny. Teleskop je tím lepší, čím menší plošku vytvoří. Velikost plochy je limitována vlnovou povahou světla, záleží na vlnové délce přicházejícího záření. Povolena maximální odchylka od požadovaného tvaru optické plochy primárního zrcadla je 0,000 025 mm.

Důležitou roli při konstrukci dalekohledu hrála jeho hmotnost. S velkou výhodou se uplatnila koncepce zrcadlové voštiny – dvě, 22 mm silné, skleněné desky byly nastaveny na 30 cm dlouhá žebra. Tím se vytvořila velice odolná struktura o nízké hmotnosti (826 kg), disk skla z plného materiálu by vážil přibližně tři tuny. Disky zrcadel byly vyrobeny ze speciálního skla ULE. Tento materiál se vyznačuje prakticky nulovou teplotní roztažností.

Rovněž bylo nutné počítat i s vlivem gravitačního pole Země, na oběžné dráze jsou zrcadla jinak deformována než na povrchu Země. Navíc bylo potřeba zabránit otřesům a vibracím, a to přesným mechanickým uchycením zrcadel do tubusu dalekohledu. Zároveň musel být umožněn velmi přesný posun zrcadel vůči sobě a naklánění sekundárního zrcadla. Dalším požadavkem Vědecké rady byla práce nejen ve viditelné oblasti spektra, ale také v ultrafialové oblasti spektra. Veškeré tyto požadavky komplikovaly značně výrobu a technici museli pochopitelně dojít k určitým kompromisům.

Základní odraznou vrstvou byla hliníková vrstva o tloušťce 65 nm, nanesená na skleněnou podložku. Na ni se nanášela 25 nm silná vrstva fluoridu hořečnatého MgF_2 , jejíž úkolem bylo chránit hliník a zvýšit odraznost v ultrafialové oblasti spektra na 75 % a zároveň snížit vysokou odraznost hliníku ve viditelné oblasti na pouhých 85 %.

V ochranném tubusu jsou uloženy i optické elementy z uhlíkatého laminátu. Zvolený materiál má malou tepelnou roztažnost. Při změně teploty o 140 °C dojde ke změně jeho délky o pouhé 0,3 mm. Ohnisková rovina se nachází přibližně 1,5 m za rovinou primárního zrcadla. Je zde umístěno velké množství vstupů pro vědecké přístroje.

Mezi vědecké vybavení Hubbleova teleskopu patří dvě kamery, dva spektrografy, jeden fotometr a tři přesné polohové senzory³. Kamery zaznamenávají světelný signál a přeměňují ho do elektronické podoby pro přenos na Zem. Teprve zde je informace pomocí počítače interpretována do formy snímku. Intenzita dopadajícího záření je měřena spektrografy v závislosti na vlnové délce. Fotometr měří intenzitu a polohové senzory zaměřují dalekohled a určují polohy objektů na obloze. Všechny přístroje jsou uloženy ve speciálních kazetách a to tak, aby mohly být kdykoliv vyměněny bez zásahu do samotné konstrukce dalekohledu.

Pro úspěšnou práci potřebuje HST, kromě optického vybavení a přístrojů pro zobrazení a analýzu světla, řadu podpůrných technických prostředků. Pro spolupráci s řídicím střediskem na Zemi je na palubě letový počítač. Nechybí samozřejmě ani energetické zdroje a telemetrický systém, které jsou umístěny prstencovitě kolem primárního zrcadla.

Celková spotřeba energie na palubě observatoře je průměrně 2 400 W. S elektrickým systémem je spojen i systém bezpečnosti. Stav odbití akumulátorů, pracovní napětí i odběr jsou neustále kontrolovány palubním počítačem. V případě problémů teleskopu, které by nešly vyřešit povely ze Země, by byl dalekohled okamžitě zakonzervován na oběžné dráze až do příjezdu mise raketoplánu, která by musela přístroj opravit.

Konstrukce Hubbleova teleskopu má mimořádně dobrou tepelnou ochranu. Proti nadměrnému ohřevu chrání dalekohled speciální fólie, která brání nesouměrnému ohřevu jednotlivých částí tělesa, zejména oblastí, kde jsou uloženy baterie.

„Hubbleův kosmický teleskop pozoruje a zpracovává výsledky podle dopředu naprogramovaných instrukcí, posílaných denně ze Země. Podpůrný datový systém a centrální počítač jsou vlastně mozky observatoře. Třikrát zálohovaný počítač kontroluje všechny informace, důležité pro řízení. Přístrojové vybavení má svůj vlastní počítač pro zpracování dat. Tento přijímá, dekóduje a rozděljuje příkazy pro detektory. Zaznamenává data a odesílá je řídicímu středisku. Vědecké a technické informace jsou konvertovány do elektronické podoby a odesílány prostřednictvím antény vysokého zisku.“

[2]

³ Širokouhlá a planetární kamera WF/PC, spektrograf pro slabé objekty FOS, spektrograf s vysokým rozlišením HRS a fotometr s vysokým časovým rozlišením HSP jsou americké výroby (NASA). Kamera pro slabé objekty FOC je dílem Evropské kosmické agentury (ESA).

4.3. Přístrojové vybavení

4.3.1. Původní přístrojové vybavení

4.3.1.1. Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC

Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC (Wide Field/Planetary Camera) umožňuje pozorovat větší oblasti oblohy a produkovat mnohem více dat než jiné přístroje, sleduje vzdálené galaxie a kvazary (obr. č. 26).



Obr. č. 26 – Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC

Pracuje ve dvou paralelních módech. Širokoúhlá kamera pozoruje objekty ve vzdálenějších oblastech, zatímco planetární kamera je určena pro pozorování nejbližšího okolí ve sluneční soustavě.

Světlo z ohniskové roviny je přivedeno na vstup pomocí zrcátka, které odchyluje optický svazek o 90° . Po průchodu kotoučem s filtry a po zpracování optikou je světlo detekováno CCD prvkem s maticí 800×800 bodů (detektory tvoří osm CCD ploch o rozměru 800×800 pixelů, vždy čtyři a čtyři plochy jsou sdruženy, takže vytváří dvě pozorovací hlavy, každou pro jeden mód).

4.3.1.2. Kamera pro slabé objekty FOC

Úkolem kamery pro slabé objekty FOC (Faint Object Camera) je získávat obrazy velmi slabých a velmi vzdálených obrazů, a dále shromažďovat informace o oblastech v maximálně dosažitelných hlubinách vesmíru.

Kamera slouží k hledání planet nejbližších hvězd, studuje protohvězdy a oblasti vzniku nových hvězd, binární hvězdné systémy, rozložení hvězdné hmoty, výtrysky z galaxií a kvasarů a určuje vzdálenosti ve vesmíru.

Kamera FOC je mnohem citlivější než WF/PC. Nejdříve je přicházející záření stotisíckrát zesíleno, poté je zaznamenáno citlivým detektorem v rozsahu vlnových délek od 115 do 650 nm. Je vybavena dvěma nezávislými pozorovacími systémy se světelnostmi F/48, F/96 (dvojnásobné vylepšení) a F/288.

4.3.1.3. Spektrograf pro slabé objekty FOS

Spektrograf pro slabé objekty FOS (Faint Object Spectrograph) poskytuje grafický záznam spekter extrémně slabých objektů, které se nacházejí ve velkých vzdálenostech od Země. FOSu se s výhodou používá i při výzkumu komet před přiblížením ke Slunci (chemické změny), při výzkumu supernov v jiných galaxiích, aktivních galaxií a kvasarů.

Obsahuje dva odlišné kanály pracujících v různých oblastech vlnových délek. „Modrý“ kanál je tvořen vrstvou SiO_2 a pracuje ve vlnových délkách od 115 do 550 nm. „Červený“ kanál tvoří vrstva MgF_2 a pokrývá pásmo od 170 do 850 nm. Každý z kanálů je osazen detektorem, detekční plocha je komplementována z 512 prvků (každý o rozměrech 50x200 mikronů). Světlo vstupuje do přístroje aperturou, pracující v rozsahu 0,1“ až 1“.

4.3.1.4. Spektrograf s vysokým rozlišením HRS

Spektrograf s vysokým rozlišením HRS (High Resolution Spectrograph) poskytuje vysoké spektrální rozlišení, vesmír však zkoumá pouze v ultrafialové oblasti spektra.

Úkolem HRS je výzkum hvězdného větru hvězd, dvojhvězd a vícenásobných systémů, pátrá po molekulách a prachových částicích, mezihvězdném prachu a plynu a zkoumá prostorové rozložení chemických prvků ve vesmíru. Rovněž studuje atmosféry planet, hvězd, měsíců a komet.

Spektrograf pracuje ve třech modech, vysokém (jasnost⁴ 14^m, přesnost spektrální čáry 0,001 nm, rozlišení $R \sim 100\,000$), středním (jasnost 16^m, přesnost spektrální čáry 0,01 nm, rozlišení $R \sim 20\,000$) a malém (jasnost 19^m, přesnost spektrální čáry 0,6 nm, rozlišení $R \sim 2\,000$).

⁴ Hvězdná velikost (magnituda) je astronomická fotometrická veličina, která udává jasnost hvězdy nebo jiného objektu na obloze je udávána v logaritmické stupnici. Je mírou osvětlení jednotkové plochy, kolmé na směr záření. Platí: $m = -2,5 \log E + \text{konst.}$

Jsou-li E_1 a E_2 osvětlení jednotkových ploch kolmých na směr záření dvou hvězd, potom platí Pogsonova rovnice: $m_2 - m_1 = -2,5 \log (E_2 / E_1)$

Poměr osvětlení, vyslaných dvěma hvězdami, lišícími se o 5^m je 1:100. Systém hvězdných velikostí lze převést na obvyklé fyzikální fotometrické veličiny. Hvězdná velikost odpovídající 1 lx = -13,89^m. Jasnost hvězd 1^m a 6^m je 10⁻⁶ a 10⁻⁸. Čím je objekt slabší, tím je hodnota hvězdné velikosti vyšší.

4.3.1.5. Fotometr s vysokým časovým rozlišením HSP

Nejjednodušším z vědeckých přístrojů Hubbleova vesmírného teleskopu je fotometr s vysokým časovým rozlišením HSP (High Speed Photometer). Velmi citlivě měří světlo a zpracovává důležité charakteristiky – intenzitu, frekvenci změn a polarizaci. HSP rychle měří krátkodobé změny jasnosti v čase kratším než 1 milisekunda (detekuje světlo asi 100 000x za sekundu).

Fotometr se skládá z pěti detektorových hlavic. Tři detektory určují jasnost s přesností 0,1 % pro objekty do 20^m a pracují v rozmezí od 120 do 700 nm. Čtvrtá hlavička měří polarizaci mezi 200 a 350 nm. Pátý „fotonásobič“ je přizpůsoben ke studiu zákrytů v červeném světle.

4.3.1.6. Detektory přesné pointace FGS

Klíčovými prvky v systému orientace, pointace a stabilizace celého Hubbleova dalekohledu jsou detektory přesné pointace FGS (Fine Guidance Sensors). Každý ze tří senzorů (obr. č. 27) má svůj vstup v ohniskové rovině ve tvaru čtvrtkruhového pásu o šířce 3,8“. Vytváří oblast podkovovitěho tvaru a chrání tak vstupní apertury všech ostatních vědeckých přístrojů.

Pokud dva ze tří senzorů drží svoji polohu vůči referenčním hvězdám, potom třetí z nich může měřit jasnosti hvězd od 4^m do 17^m s přesností kolem 1 % v oblasti viditelného světla mezi 510 až 690 nm.

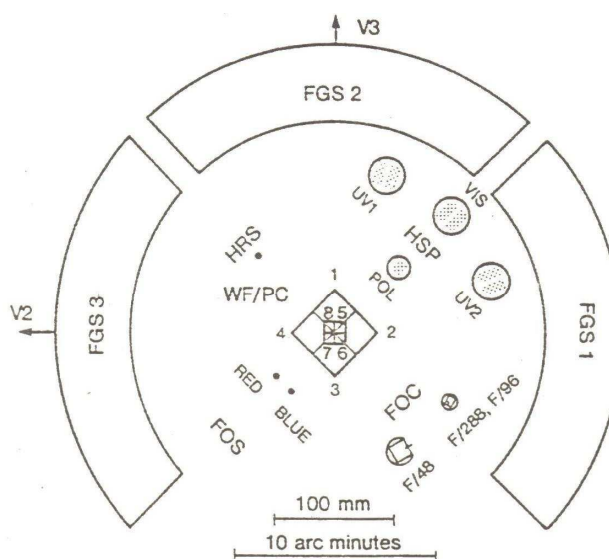
Uprostřed zorného pole se nachází širokoúhlá a planetární kamera WF/PC.

Kolem ní se nachází:

- kamera pro slabé objekty FOC (světelnost F/48, F/288 a F/96)
- spektrograf pro slabé objekty FOS (modrý, blue a červený-red kanál)
- spektrograf s vysokým rozlišením HRS
- rychlý fotometr HSP (různé vstupní apertury VIS, UV1, UV2 a POL)

Podkovovitá oblast, rozdělená na tři části, náleží senzorům přesné pointace FGS (1, 2 a 3).

Měřítka poskytují představu o lineárních a úhlových rozměrech.



Obr. č. 27 Hubbleův vesmírný teleskop – schéma rozmístění jednotlivých vstupů vědeckých přístrojů v ohniskové rovině

4.3.2. *Současné vědecké přístroje*

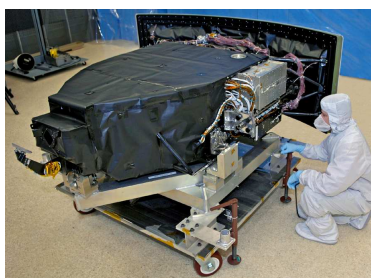
4.3.2.1. Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC-2 versus WFC-3

2. prosince 1993 vyměnila posádka raketoplánu Endeavour STS-61 širokoúhlou a planetární kameru WF/PC za modernizovaný typ WF/PC-2 (Wide Field/Planetary Camera 2).

Systém WF/PC-2 se skládá ze čtyř kamer. Přenosová zrcadla jsou sféricky odchylná tak, aby se upravila sférická aberace primárního zrcadla observatoře (primární zrcadlo má na svém okraji odchytku 2 mikrony od přesné sférické geometrie, WF/PC-2 tuto odchytku dorovnává). Rozlišení kamery je 0,05", obsahuje 4 CCD matice po 640 000 pixlech - tři širokopásmové senzory a malou "planetární" kamerou s vysokým rozlišením, umístěnou ve zbývajícím rohu čtverce.

11. května 2009 nahradila posádka raketoplánu Atlantis kameru WF/PC 2 výkonnější širokoúhlou kamerou WFC-3 (Wide Field Camera 3), která je první panchromatickou kamerou na palubě HST. Jejím úkolem je poskytovat širokoúhlé záběry a velmi ostré obrazy.

„Kamera WFC3 bude schopna vyfotografovat slabé a velmi vzdálené galaxie, jaké zatím nikdy nebyly pozorovány, díky zachycení světla ze samých počátků existence vesmíru. To umožní HST pozorovat vzdálené galaxie, které vznikly asi 400 miliónů let po velkém třesku. Zatím HST „dohlédl“ do období 800 miliónů roků po vzniku vesmíru. Připomeňme, že stáří vesmíru je 13,7 miliardy roků.“ [3]



Obr. č. 28 – Širokoúhlá a planetární kamera WF/PC2



Obr. č. 29 – Širokoúhlá a planetární kamera WFC3

4.3.2.2. Kamera ACS

Nová přehledová kamera ACS (Advanced Camera for Surveys) pro viditelnou a ultrafialovou oblast nahradila starou kameru FOC. Instalována byla 1. března 2002 během mise raketoplánu Columbia STS-109.

Kamera ACS má ostřejší obraz, dvakrát větší zorné pole (202“ x 202“), větší citlivost a větší vlnový rozsah než starší kamera WFPC-2. Přístroj je složen z širokoúhlé kamery, kamery s vysokým rozlišením a z kamery pro pozorování Slunce. Kamera ACS není schopna zaznamenat galaxie z doby, kdy stáří vesmíru bylo méně než 800 miliónů let.

4.3.2.3. Kamera v blízkém infračerveném spektru a multiobjektový spektrometr NICMOS

Infračervený systém NICMOS (Near Infrared Camera and Multi- Object Spectrometer) byl osazen 21. února 1997 během opravářské mise STS-82 raketoplánu Discovery. NICMOS je přístroj určený k pořizování obrazů v blízkém infračerveném spektru a pro spektroskopickou analýzu kosmických objektů. Systém NICMOS detekuje světlo o vlnových délkách 0,5 až 2,5 mikrometrů, tedy světlo o větší vlnové délce, než je lidské oko schopno zachytit.

Mezi infračervené detektory systému NICMOS patří velmi citlivé jednotky HgCdTe, které musí pracovat za velmi nízkých teplot. Proto jsou detektory NICMOS uloženy v kryogenní tepelně izolované Dewarově nádobě, která obsahuje pevný dusík. Tato nádoba ochlazuje detektory řadu let. NICMOS je prvním kryogenním zařízením na Hubbleově vesmírném dalekohledu.

Kamera NICMOS může na rozdíl od kamery ACS zaregistrovat ještě vzdálenější objekty, protože pozoruje v oblasti infračerveného záření. Záření vzdálených galaxií se v rozpínajícím vesmíru posouvá ke konci spektra s delšími vlnovými délkami. Díky tomu je kamera NICMOS schopna zaregistrovat galaxie z období, kdy vesmír byl starý pouze 400 miliónů roků.

4.3.2.4. Obrazový spektrograf vesmírného dalekohledu STIS

Obrazový spektrograf vesmírného dalekohledu STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph) nahradil přístroje HRS a FOS. Osazen byl při stejné opravářské misi STS-82 raketoplánu Discovery 21. února 1997 jako NICMOS.

Systém STIS je schopen zachytit záření přicházející do objektivu dalekohledu a umožňuje jeho podrobnou analýzu spektrálním rozkladem na soustavě optických čoček a hranolů. Ze spektrogramů svítících kosmických těles lze velmi dobře zjistit jejich

chemické složení a případné jiné zvláštnosti, rychlost radiálního pohybu, rychlost vlastní rotace, povrchovou teplotu, ale také informace o magnetickém poli. Spektrograf umožňuje získávat poznatky o záření svítících objektů od ultrafialové části spektra (115 nm) přes viditelnou část spektra až po blízké infračervené spektrum (1000 nm).

STIS pracuje se třemi detektory:

- cesium-iodidová fotokatoda MAMA (Multi-Anode Microchannel Array) pro vlnové délky od 115 nm do 170 nm
- cesium-telluridová fotokatoda MAMA pro vlnové délky od 165 nm do 310 nm
- CCD kamera (Charge Coupled Device) pro vlnové délky od 305 nm do 1 000 nm.

Všechny tři detektory jsou ve formátu 1024 x 1024 pixelů. Detektory MAMA snímají oblast o rozměru 25 x 25". Detektor CCD snímá oblast o úhlovém rozměru 50 x 50 obloukových vteřin.

Hlavní výhodou spektrografu je jeho schopnost dvojrozměrné spektroskopie. STIS je schopen v jediný okamžik simultánně zpracovávat spektrum více objektů v nějaké galaxii namísto objektu jediného. Je rovněž schopen zpracovat současně širší oblast vlnových délek. Spektrograf STIS je tedy mnohem výkonnější zařízení pro získávání vědeckých dat než dřívější spektrografy Hubbleova vesmírného teleskopu.

4.3.2.5. Korektivní optika COSTAR versus COS

Speciální optika pro korekci nesprávného chodu paprsků COSTAR (Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement) není vědeckým přístrojem. Jde o systém korektivní optiky, který nahradil fotometr HSP během první servisní mise 21. února 1997 raketoplánu Endeavour STS-61.

Zařízení, které kontrolovalo tvar primárního zrcadla, zjistilo závadu. Zrcadlo bylo plošší, jeho okraj byl o 2,2 mikrometru ubroušen více, než měl být. Proto musel být fotometr HSP nahrazen korektivní optikou COSTAR (korekční parabolická zrcátka, která slouží jako „brýle“ pro ostatní přístroje), která opticky koriguje efekty aberace primárního zrcadla.

Při servisní misi raketoplánu Atlantis 11. května 2009 byla optika COSTAR nahrazena moderním spektrometrem COS (Cosmic Origins Spectrograph). Jeho hlavním

cílem je zkoumat vznik a vývoj galaxií, vznik hvězd a planetárních systémů, ale zejména studium velmi vzdálených objektů z doby blízké zrodu Vesmíru.

Přístroj COS pracuje v oblasti ultrafialového záření pro vlnové délky 115 – 320 nm. COS má dva hlavní kanály: FAR (Far Ultraviolet), který zahrnuje vlnové délky 115 – 205 nm a NUV (Near Ultraviolet), spektroskop pro vlnové délky 170 – 320 nm. Nízké a střední rozlišení spektra zajišťují čtyři difrakční mřížky, FUV pracuje se třemi a NUV s jednou z těchto difrakčních mřížek.

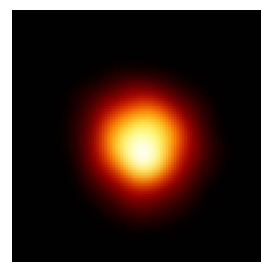
4.4. Důležité objevy a významná pozorování HST

Hubbleův vesmírný teleskop uskutečnil přes 860 000 jednotlivých pozorování více než 27 000 nebeských objektů a celkový objem získaných vědeckých dat činí přes 35 terabytů. Všechna data jsou uložena v Ústavu dalekohledu v Baltimoru, kopie v Evropském koordinacním ústavu pro Hubbleův dalekohled v Garchingu u Mnichova.

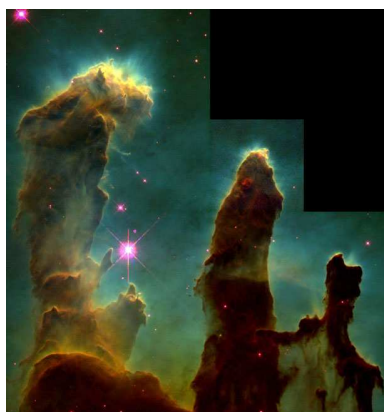
Předpokládá se, že Hubbleův teleskop bude pracovat nejméně další čtyři roky (do roku 2013) a bude přinášet i nadále nové poznatky.

Hubbleův dalekohled vykonal za dobu svého působení celou řadu významných pozorování a objevů. Nejvýznamnější z nich jsou:

- změření Hubbleovy konstanty (1999) – na základě měření rudého posuvu galaxií v Kupě galaxií v Panně byla určena Hubbleova konstanta (koeficient, udávající rychlost rozpínání vesmíru) na hodnotu 72 ± 8 km/s/Mpc s přesností 10 %. Předchozí odhady byly spíše řádové. Vzdálenosti byly určovány na základě vyhledávání Cefeid.
- vyfotografování povrchu hvězdy Betelgeuse (1995) – s pomocí HST se podařilo vyfotografovat povrch této hvězdy (obr. č. 30) ze souhvězdí Orionu. Bylo to vůbec poprvé, kdy hvězda nebyla na fotografii jako pouhý bodový zdroj.
- sledování rodících se hvězd (1995) – Hubbleův dalekohled našel také řadu globulí a nově narozených hvězd ve Velké mlhovině v Orionu. Podobné objekty byly objeveny i v Orlí mlhovině, jejíž fotografie prosluly jako tzv. sloupy stvoření (obr. č. 31).

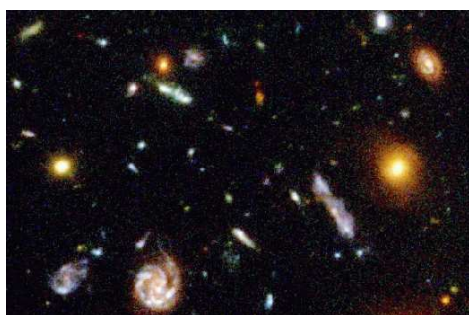


Obr. č. 30 Betelgeuse
na snímku z HST

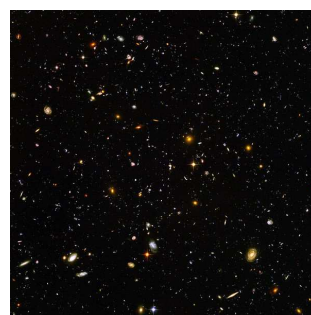


Obr. č. 31 - Sloupy stvoření

- sledování rodičích se planet – HST našel plynoprachové disky u některých mladých hvězd v Mlhovině v Orionu. Z nich se poté rodí nové planetární soustavy.
- pozorování černých děr – Hubbleův teleskop provádí i nadále systematický výzkum černých děr, proslulý je objev (1995) teoreticky vypočtených turbulencí v akrečním disku obří černé díry v jádře galaxie NGC 4261.
- studium aktivních jader galaxií – v jádrech aktivních galaxií zkoumá systematicky Hubbleův vesmírný dalekohled výtrysky z černých děr v jádrech aktivních galaxií.
- snímek Hubbleho hlubokého pole HDF (Hubble Deep Field, obr. č. 32) a Hubbleho velmi hlubokého pole HUDF (Hubble Ultra Deep Field, obr. č. 33) – je snímkem malé, pečlivě vybrané oblasti vesmíru složené z mnoha fotografií, na kterých jsou tisíce galaxií v různých vývojových stádiích. Později byl zpracován ještě podrobnější snímek HUDF (2005).

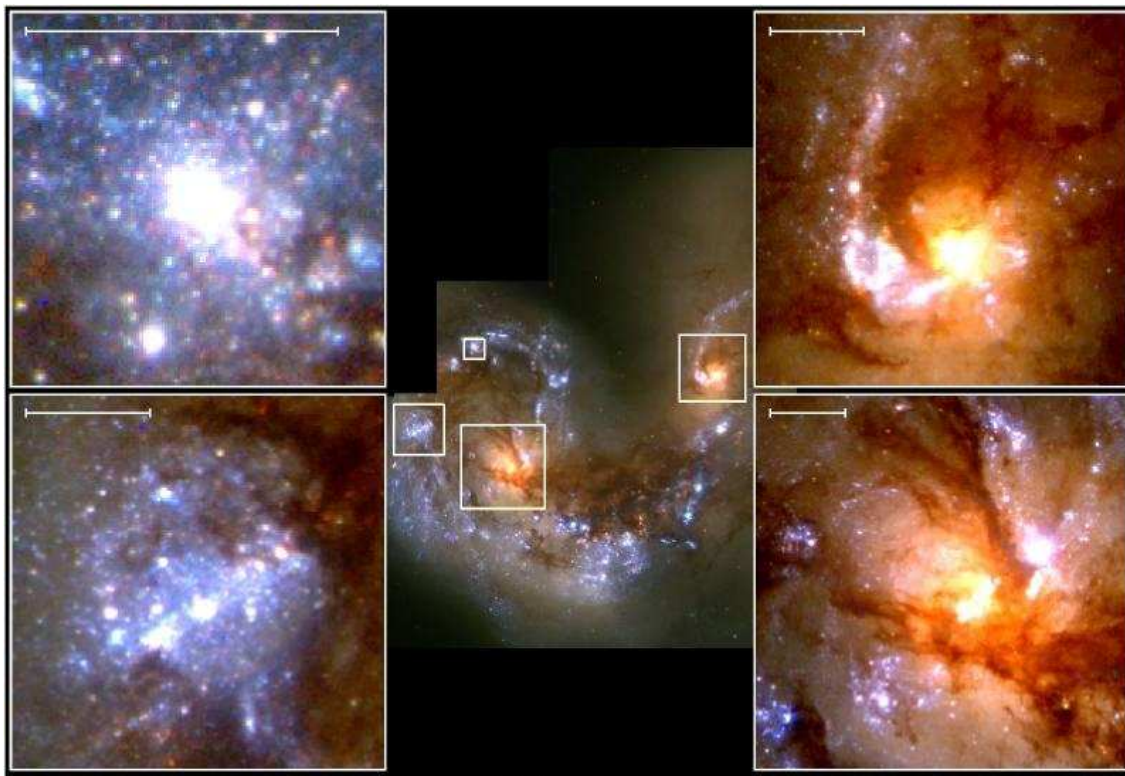


Obr. 32 – Hubbleho hluboké pole HDF



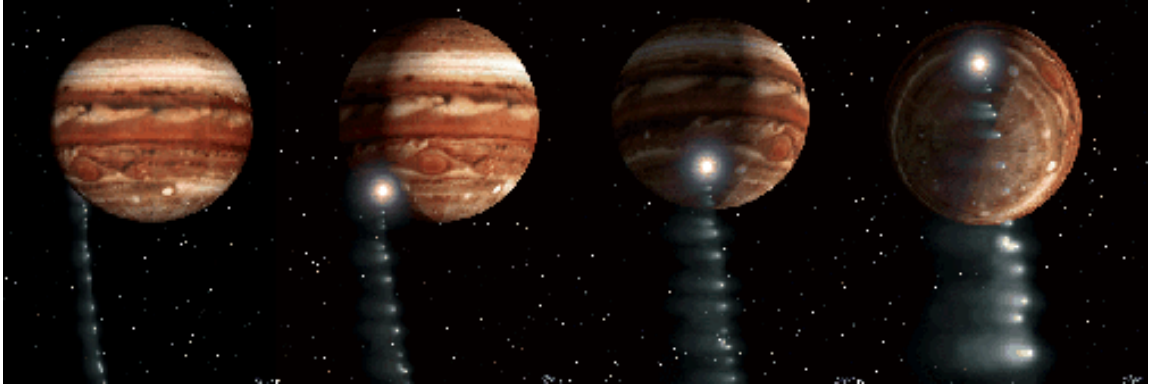
Obr. 33 – Hubbleho velmi hluboké pole HUDF

- pozorování srážky dvou galaxií (1997) – Hubble zaznamenal snímky srážejících se galaxií NGC 4038 a NGC 4039 v souhvězdí Havrana (obr. č. 34), označovaná jako Tykadla.



Obr. č. 34 – Srážka galaxií NGC 4038 a NGC 4039 v souhvězdí Havrana

- pozorování srážky komety Shoemaker-Levy 9 s Jupiterem (obr. č. 35) – HST pozoroval v „přímém přenosu“ rozpad této komety a dopad jejích přibližně dvaceti úlomků na planetu Jupiter (1994).



Obr. č. 35 – Srážka komety Shoemaker-Levy 9 s planetou Jupiter

- objev organických molekul na planetách (2007) – Hubbleův dalekohled jako první detekoval organické molekuly na extrasolární planetě HD 189733b.



Obr. č. 36 – Simulace extrasolární planety HD 189733b

5. NÁSTUPCI HUBBLEOVA TELESKOPU

V současné době je na oběžné dráze několik desítek observatoří pro různé oblasti spektrálního oboru. Některé pracují v infračerveném oboru (např. Spitzerův vesmírný dalekohled), jiné v ultrafialovém či rentgenovém (např. Chandra). Žádný z nich však nepracuje ve viditelné oblasti spektra jako Hubbleův teleskop.

Přímým nástupcem Hubbleova vesmírného dalekohledu by se měl stát dalekohled Jamese Webba, který však nebude umístěn na oběžné dráze, ale v tzv. Lagrangeově bodě L2 soustavy Země – Slunce. Bude zhruba 1,5 miliónů kilometrů za Zemí směrem od Slunce, kde bude pozorovat vesmír v optickém oboru.

Dalším dalekohledem, který je již v současné době do jisté míry schopen nahradit Hubbleův teleskop je Herschelův dalekohled, který však dominantě pracuje v infračerveném oboru, v optickém oboru zabírá jen malou část.

5.1. Herschelův dalekohled

Herschelova vesmírná observatoř HSO⁵ (Herschel Space Observatory) byla vynesena raketou Ariane 5 z kosmodromu v Kourou společně s družicí Planck 14. května 2009. Na rozdíl od Hubbleova vesmírného teleskopu, který pracuje pouze ve viditelné oblasti spektra, Herschelův dalekohled (obr. 37) funguje na delších vlnových délkách (až 672 mikrometrů), v oblasti infrazáření a v submilimetrovém pásmu. To mu dovoluje vidět i skrze vesmírný prach a pozorovat opravdu chladná místa a objekty ve vesmíru.

HSO otevírá lidstvu zcela nový a dosud neprobádaný pohled na vesmír. Jeho úkolem je zabývat se vznikem a vývojem galaxií

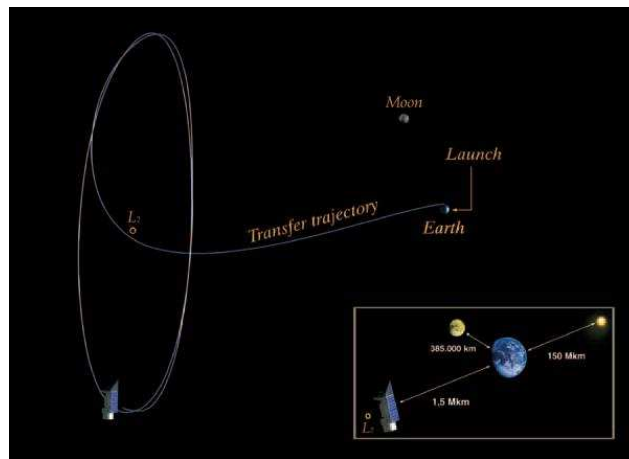


Obr. 37 – Herschelův dalekohled

⁵ Herschelův teleskop je pojmenován po slavném astronomovi Williamu Herschelovi, žijícího na přelomu 18. a 19. století, který jako první prokázal existenci infračerveného záření. Mimo jiné objevil i planetu Uran.

v raném vesmíru a vznikem a vývojem hvězd v mezihvězdném prostředí. Studium těchto embryonálních stavů umožní nahlédnout až do počátků sluneční soustavy před 4,5 miliardami let. Je rovněž schopen zjistit chemické složení objektů v naší galaxii a molekuly v plynných obalech planet, komet a měsíců sluneční soustavy.

Herschelův dalekohled byl umístěn na oběžné dráze kolem Lagrangeova bodu L2 (obr. č. 38), tj. přibližně 1,5 miliónů kilometrů od Země (asi čtyřnásobek vzdálenosti Měsíce). Tato pozice má tři důležité výhody:



Obr. č. 38 – Oběžná dráha Herschelova dalekohledu

- teleskop není ovlivněn silným infračerveným zářením ze Země a Měsíce.
- Země a Slunce leží v jedné přímce (směru), což zvyšuje pozorovací schopnost („nabízí se dobrá viditelnost“).
- dalekohled je chráněn před zemskou radiací, která může v opačném případě narušit jeho pozorovací schopnosti.

Gravitační a odstředivé síly Země a Slunce jsou tu vyrovnány a vytvářejí bod gravitační stability. Navíc se zde neprojevuje rušivý zemský stín, který pravidelně dopadá na satelity na oběžné dráze kolem Země, což vede k jejich opakovanému ochlazování a následnému ohřívání.

Herschelova oběžná dráha kolem bodu L2 je mnohem větší než oběžná dráha Měsíce kolem Země. Vzhledem k této velikosti se Herschelův dalekohled pohybuje v rozmezí 1,2 až 1,8 miliónů kilometrů od Země.

Tento unikátní projekt vyšel na 1,8 miliardy eur.

5.1.1. Technický popis

Herschelův kosmický teleskop je velkolepým dílem Evropské agentury pro vesmír ESA (European Space Agency), váží neuvěřitelné 3,4 tuny, je široký 4 metry a dlouhý 7,5 metrů. Herschelův dalekohled je variantou konstrukčního typu Cassegrain. HSO se skládá ze tří částí (obr. č. 39):

- dalekohled – s průměrem primárního zrcadla 3,5 metru (tj. čtyřnásobně více než u doposud zkonstruovaných teleskopů pracujících v infračervené oblasti spektra a téměř jeden a půl krát více než u Hubbleova dalekohledu) a sekundárního zrcadla o průměru 0,3 m. Dalekohled je navíc chráněn proti Slunci sluneční clonou.



Obr. č. 39 – Jednotlivé části Herschelovy vesmírné observatoře

- kryostat – je jakýmsi mezičlánkem mezi samotným dalekohledem a servisním modulem. Je to zařízení, které je spojeno s obrovskými "termoskami" naplněnými více než dvěma tisíci litry supratekutého helia o teplotě nižší než $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- servisní modul – zahrnuje zdroj energie, systém orientace, místo pro ukládání naměřených dat a centrum pro komunikaci.

Všechna zařízení servisního modulu potřebují energii a generují teplo. Naopak zrcadlo je záměrně udržováno co nejchladnější. Servisní modul jako zdroj tepla musí být tedy od zrcadla izolován (zrcadlo je ještě chráněno i sluneční clonou). Vědecké přístroje dalekohledu samy o sobě detekují infračervené záření, tedy tepelné záření. Ve chvíli, kdy je potřeba vyfotografovat objekt o teplotě např. -100 stupňů, nemůže být detektor teplejší než objekt (jeho záření by se utopilo v šumu). Optická soustava Herschela

musí být proto neustále chlazena supratekutým heliem na teplotu blížící se co nejvíce k absolutní nule, tedy -273 °C .

Kryostat určuje svým obsahem délku životnosti observatoře. Hélium se vypařuje při konstantní rychlosti, čímž se postupně vyprazdňuje obrovská nádrž. Po vypaření veškerého hélia začne teplota přístrojů stoupat a Herschelův dalekohled nebude již schopen plnit svoji pozorovací misi. HSO by měl pracovat zhruba tři roky s případným prodloužením o rok.

5.1.2. Přístrojové vybavení

5.1.2.1. Fotometr a spektrometr středního rozlišení PACS

PACS (Photodetector Array Camera and Spectrometer) je ve své podstatě fotometr a spektrometr pro nízké až střední rozlišení o vlnových délkách $55 - 210\text{ }\mu\text{m}$.

Používá čtyři detekční pole (matice) – dva bolometry a dva Ge/Ga fotonosiče. Bolometry jsou určeny pro širokopásmovou fotometrii, zatímco fotonosiče Ge/Ga výhradně pro spektroskopii.

Díky svému nižšímu rozlišení může PACS s výhodou pozorovat mladé galaxie nebo plynová mračna.

5.1.2.2. Fotometr a spektrometr pracující na principu Fourierovy transformace

SPIRE

Fotometr a spektrometr SPIRE (Spectral and Photometric Imaging Receiver) doplňuje PACS o vlnové délky v rozmezí $194 - 672\text{ }\mu\text{m}$.

Jak vyplývá ze samotného názvu, skládá se SPIRE z fotometru a spektrometru pracujícího na principu Fourierovy transformace. Funguje zde pět detekčních polí, tři specializované pro fotometrii a dvě pro spektometrii.

Jeho úkolem je studium stárí hvězd a s tím související vznik vesmíru. SPIRE měří intenzitu záření astronomického objektu zpravidla ve třech pásmech současně, a to v $250, 350$ a $500\text{ }\mu\text{m}$.

5.1.2.3. Spektrometr s vysokým rozlišením HIFI

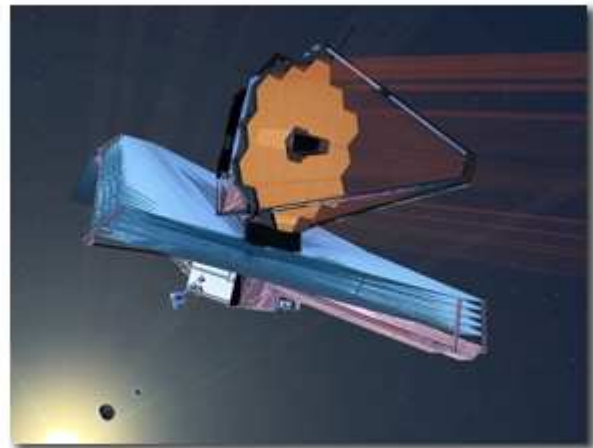
Spektrometr HIFI (Heterodyne Instrument for the Far Infrared) pracuje s vysokým rozlišením zahrnujícím několik vlnových délek současně.

Pokrývá dvě pásma od 157 do 212 μm a od 240 do 625 μm a zároveň využívá supravodivé směšovače jako detektory.

Díky svému vysokému spektrálnímu rozlišení je schopen sledovat a identifikovat jednotlivé molekulární látky v prostoru, studovat jejich pohyb, teplotu a další fyzikální vlastnosti. Zásadní význam má pro studium komet a vzdálených galaxií.

5.2. Webbův teleskop

Přímým nástupcem Hubbleova vesmírného teleskopu bude Webbův dalekohled JWST (James Webb Space Telescope), pojmenovaný podle bývalého ředitele NASA Jamese E. Webba. Předpokládaný termín vypuštění nového JWST (obr. č. 40) na oběžnou dráhu je rok 2013.



Obr. č. 40 – Model Webbova vesmírného teleskopu

„Pomocí světelného času bude NASA cestovat ze současnosti do minulosti hluboko ve vesmíru, což jí umožní prostudovat formování úplně prvních hvězd a galaxií v počátcích vesmíru. Vznik prvních hvězd ve vesmíru bude NASA pozorovat pomocí zvláštních instrumentů optimalizovaných pro zachycování infračerveného světla.“ [4] Úkolem Webbova dalekohledu bude tedy pozorovat především v infračervené oblasti elektromagnetického spektra (s některými schopnostmi ve viditelné části spektra), které je nejlepší pro pozorování raných fází vzniku vesmíru. Bude schopen zachytit světlo z hvězd, které se zformovaly jen několik milionů let po zrodu samotného vesmíru. Přinese snímky ze vzdálených galaxií, které vznikly jen krátce po velkém třesku. Bude studovat vývoj galaxií, ale také např. solární systémy a jejich podíl na vzniku života.

Webbův teleskop bude stejně jako Herschelův umístěn na oběžné dráze kolem bodu L2, tedy ve vzdálenosti přibližně 1,5 milionů kilometrů od Země, kde se vyrovná-

vá přitažlivost Slunce a Země. Velká vzdálenost však pravděpodobně znemožní servisní zásahy lidských posádek, jak tomu bylo u HST.

Na oběžnou dráhu vynese JWST evropská raketa Ariane 5 a předpokládaná životnost observatoře je odhadována přibližně na 10 let. Americký Národní úřad pro letectví a vesmír (NASA) zaplatí za tento velkolepý projekt asi 4,5 miliardy amerických dolarů.

5.2.1. Technický popis

JWST bude 24 metrů dlouhý a 12 metrů vysoký přístroj, který bude osazen obřím šestihranným zrcadlem o průměru 6,5 metru. Na rozdíl od Hubbleova teleskopu se bude skládat z 36 segmentů, díky tomu bude zrcadlo Jamese Webba mnohem větší, ale zároveň mnohem lehčí

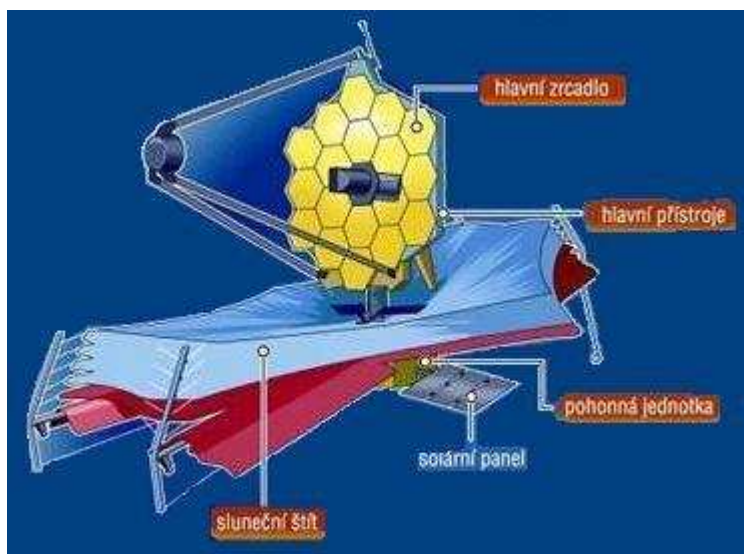


Obr. č. 41 – JWST versus HST

než zrcadlo u HST (obr. č. 41). Rozlišovací schopnost dalekohledu bude 0,1“. V porovnání se zemskými dalekohledy by měl Webbův dalekohled (obr. 42) vidět 400x slabší objekty než nejvýkonnější infračervené teleskopy umístěné na Zemi. Hlavní zrcadlo bude odrážet tolik světla, že by mělo být vidět galaxie vzdálené 13 miliard světelných let. Dalekohled bude citlivý na světlo o vlnových délkách od 0,6 μm do 27 μm .

Před přímým slunečním a tepelným zářením odraženým od Země a Měsíce bude dalekohled chránit sluneční štít, který bude udržovat velmi nízkou a stabilní teplotu teleskopu a infračervených zařízení pro jejich bezchybné fungování.

Jak bylo již řečeno výše JWST bude pracovat v infračervené oblasti spektra a bude pozorovat slabé a velmi vzdálené objekty. Všechny tyto objekty, ale i přístroje teleskopu, vyzařují infračervené, tedy tepelné záření. Aby se předešlo případnému přehřátí, musí být dalekohled a všechny přístroje neustále ochlazovány a udržovány při provozní teplotě do 50 K = -223,15 °C.



Obr. č. 42 – Schéma Webbova teleskopu

5.2.2. *Přístrojové vybavení*

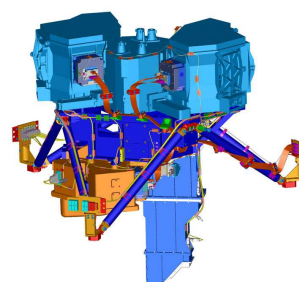
Webbův dalekohled se skládá ze tří částí.

5.2.2.1. Integrované vědecké přístroje ISIM

ISIM (Integrated Science Instrument Module) je srdcem JWST, skládá se ze čtyř hlavních nástrojů.

5.2.2.1.1. MIRI

MIRI (Mid-Infrared Instrument) bude sloužit ke sledování infračerveného záření o středních vlnových délkách v rozsahu 5 – 27 μm , které přicházejí z raného vesmíru. Bude poskytovat velmi podrobné informace o formování hmoty v okolí nově vzniklých hvězd. Stejně tak bude možné přímo sledovat i velké exoplanety.

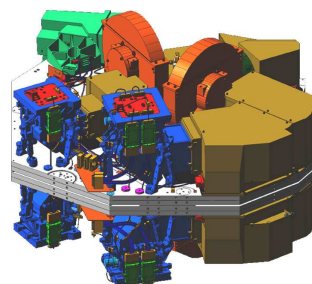


Obr. č. 43 – Model MIRI

Jednotka MIRI (obr. č. 43) bude integrální součástí vesmírného teleskopu, takže musí odolávat extrémním podmínkám. Problematické jsou zejména nízké teploty. Jmenovitá provozní teplota by měla být 7 K = -266,15 °C.

5.2.2.1.2. Infračervená kamera NIRCam

NIRCam (Near-Infrared Camera) je v podstatě snímač s velkým zorným polem a velkým úhlovým rozlišením. Pokrývá rozsah vlnových délek 0,6 – 5 μm , zahrnuje celkem 10 HgCdTe detekčních polí, obdobně jako CCD digitální kamery. Infračervená kamera NIRCam (obr. č. 44) není jen vědeckým přístrojem, ale také senzorem části optického dalekohledu korigující ostrost vidění.

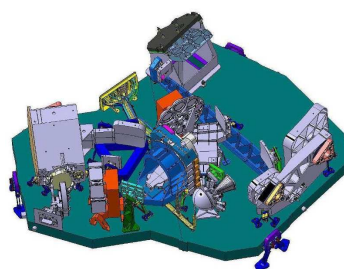


Obr. č. 44 – Model NIRCam

Úkolem kamery bude pozorování raných fází hvězd, formování galaxií, mapování temné hmoty, studium hvězdné populace v blízkých galaxiích atd.

5.2.2.1.3. Spektrograf NIRSpec

NIRSpec (Near-Infrared Spectrograph) detekuje světlo o středních vlnových délkách v rozmezí 1 -5 μm , někdy i v nižším spektrálním pásu 0,6 – 5 μm . Díky snímané oblasti o rozměru 3“ x 3“ v zorném poli umožní spektrograf (obr. č. 45) získat a sledovat simultánní spektra více než 100 objektů najednou.



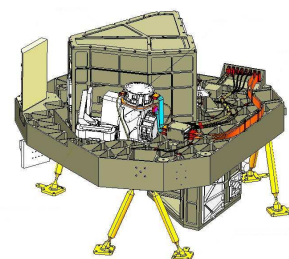
Obr. č. 45 – Model NIRSpec

Spektrograf NIRSpec využívá mikroelektromechanického systému, jakéhosi uzavíratelného šoupátka, k ovládání clony a na rozdíl od NIRCам zahrnuje pouze dvě HgCdTe detekční pole.

Primárním cílem NIRSpec je sledování slabých galaxií, určování jejich hmotné podstaty, posuv hvězdných formací atd.

5.2.2.1.4. Senzor pro obrazový záznam FGS

FGS (Fine Guidance Sensor) je citlivá kamera, která je vlastně širokopásmovým směrovacím zařízením. Senzor (obr. č. 46) pracuje v rozmezí vlnových délek od 1 až do 5 μm a má stejně jako spektrograf NIRSpec dvě detekční pole HgCdTe. Jeho zorné pole je dostatečně citlivé (s pravděpodobností kolem 95 % v libovolném bodě), aby určilo správný pohyb a směr hvězd.



Obr. č. 46 – Model FGS

5.2.2.2. Optický prvek dalekohledu OTE

OTE (Optical Telescope Element) je vlastním „okem“ observatoře JWST. Díky dopadajícímu světlu přicházejícímu z vesmíru bude možné spatřit galaxie z počátku vesmíru.

OTE (obr. č. 47) zahrnuje ve stručnosti samotné primární zrcadlo o průměru 6,5 metru, dále ostré řídící (sekundární) zrcadlo, pevné terciární zrcadlo a stavební prvky, které drží vše pohromadě.



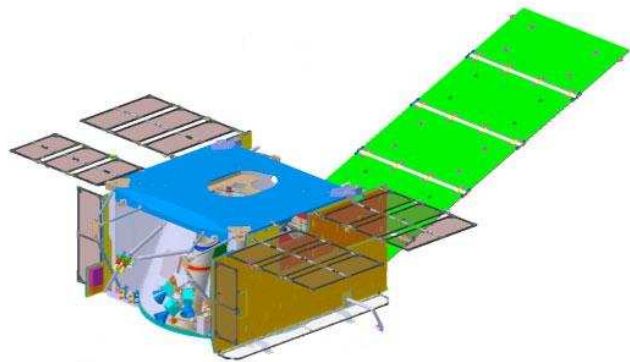
Obr. č. 47 – Model primárního zrcadla JWST

Žádná raketa není schopná vynést na oběžnou dráhu zrcadlo o průměru 6,5 metru. Proto je primární zrcadlo postaveno z 18 hexagonálních segmentů, které se vejdou na palubu rakety Ariane 5 a po umístění Webbova teleskopu na oběžnou dráhu kolem Lagrangeova bodu L2 se primární zrcadlo automaticky rozvine a samo sestaví.

5.2.2.3. Pohonná jednotka (sběrnice vesmírné observatoře) a sluneční clona

Pohonná jednotka Webbova vesmírného teleskopu (obr. č. 48) je důležitá pro správný chod a provoz observatoře. Zahrnuje šest hlavních subsystémů:

- subsystém elektrické energie – převádí sluneční světlo ze solárních panelů na energii potřebnou k ovládní dalších zařízení pohonné jednotky.



Obr. č. 48 – Model pohonné jednotky (sběrnice vesmírné observatoře)

- subsystém řízení polohy (automatický pilot) – udržuje správnou polohu a směr (orientaci) na oběžné dráze.
- komunikační subsystém – je zároveň „řečí a sluchem“ observatoře, přijímá instrukce z operačního kontrolního střediska a posílá vědecké poznatky a statistická data na OCC.
- subsystém pro řízení a zpracování dat – je mozkiem pohonné jednotky, obsahuje počítač, který přijímá příkazy z komunikačního systému a tím řídí ostatní vědecké přístroje. Subsystém zahrnuje také paměť, zařízení pro ukládání dat observatoře.
- pohonný subsystém – obsahuje palivové nádrže a rakety, které se odpálí, když subsystém pro řízení polohy vydá příkaz k udržení na oběžné dráze.

- subsystém kontroly teploty – udržuje provozní teplotu pohonné jednotky.

Webbův vesmírný teleskop je zabezpečen slunečním štítem (clonou), který chrání observatoř před teplem na straně přilehlé ke Slunci a naopak před chladem na straně odvrácené od Slunce.

Poloha observatoře je situována tak, aby Slunce, Země a Měsíc byly vždy na jedné straně a sluneční clona tak mohla chránit nejen optický dalekohled, ale i všechny vědecké přístroje.

Kromě toho poskytuje clona tepelně stabilní prostředí, které je důležité k udržení správné pozice primárního zrcadla (jednotlivých segmentů) vůči Slunci.

Zajímavostí je velikost sluneční clony, která se bude rovnat přibližně velikosti tenisového kurtu, cca 22x10 metrů čtverečních.

6. ANTROPOGENNÍ ZNEČIŠTĚNÍ ATMOSFÉRY VE VAZBĚ NA ASTRONOMICKÁ POZOROVÁNÍ

Znečištění ovzduší je jedním z hlavních environmentálních problémů. Každý stát na světě by si měl být plně vědom své odpovědnosti za globální stav životního prostředí.

Atmosféra a především její mezní vrstva neustále podléhá tzv. antropogennímu znečišťování. Mezi nejčastější znečišťující látky emitované do ovzduší patří oxid uhelnatý, oxid uhličitý, oxid siřičitý, oxidy dusíku, těžké organické sloučeniny a prašný aerosol. Znepokojujícím důsledkem je fakt zvyšující se koncentrace znečišťujících příměsí a bohužel snižování samočisticí schopnosti atmosféry.

Obecným rysem atmosféry je její cirkulace, jejíž hlavní příčinou je zemská rotace a rozdílné oslunění planety Země. Veškeré procesy probíhající v atmosféře potřebují energii. Základním zdrojem energie je právě sluneční záření, nebo-li elektromagnetické záření s charakteristickým spektrem vlnových délek.

Sluneční spektrum se dělí na tři základní oblasti:

- ultrafialové záření – tvoří asi 7 % celkového slunečního záření, vlnové délky se pohybují pod 400 nm.
- viditelné záření – s vlnovými délkami od 400 do 750 nm, tvoří asi 48 % celkového slunečního záření.
- infračervené záření – tvoří asi 45 % slunečního záření, s vlnovými délkami nad 750 nm.

Kvalita ovzduší ovlivňuje různé typy receptorů, zejména zdravotní stav lidské populace, ekosystémy, horniny, materiály, ale také astronomická pozorování.

„Klima na Zemi je výsledkem více faktorů, k nimž kromě koncentrace skleníkových plynů patří především orbitální parametry naší planety (excentricita oběžné dráhy, precese, sklon zemské osy), změny sluneční aktivity a znečištění atmosféry prachem a kouřem antropogenního původu nebo sopečnými erupcemi.“[5]

Pro astronomická pozorování za dne je často největší překážkou samotná zemská atmosféra, která září rozptýleným denním světlem, ale velkým problémem jsou i prachové částice pocházející z emisních a imisních zdrojů⁶. Kromě toho je rušivé atmosfé-

⁶ Emise – vypouštění nebo únik příměsí do atmosféry, tj. primární znečišťování ovzduší.

Imise – množství znečišťujících příměsí přecházejících z ovzduší na příjemce. Vznikají z emisí chemickými reakcemi nebo v důsledku přenosu a rozptýlu v ovzduší.

rické pozadí časově proměnné a tvoří jakýsi pozorovací šum, který přehluší záření všech astronomických objektů s výjimkou Slunce, Měsíce, Venuše, Marsu, Jupiteru a Saturnu.

Znečišťování atmosféry můžeme rozdělit dle tří základních jevů:

- globální jevy – sílení skleníkového efektu, s tím související změny klimatu a narušování ozonoféry
- regionální jevy – dálkový přenos znečišťujících látek, kyselá dešť, „letní“ smog
- lokální jevy – průmyslové a zemědělské zdroje znečištění, „zimní smog“

6.1. Globální problémy znečišťující ovzduší

Mezi nejvíce diskutované globální problémy patří skleníkový efekt a narušování ozonoféry.

6.1.1. Skleníkový efekt

Skleníkový efekt (green-house effect) výrazně ovlivňuje teplotu atmosféry a tím i celý klimatický systém. Vědci se však rozcházejí v názorech, zda klimatické změny jsou vyvolány antropogenními faktory či přirozenými vlivy (změny sluneční energie).

Přirozený skleníkový efekt je vyvolán přirozenými skleníkovými plyny, které se do atmosféry dostaly v důsledku přirozených procesů (např. fotosyntéza, bakteriální činnost, ...). Pokud by neexistoval, byla by teplota na Zemi nižší zhruba o 30 – 33 °C a neexistoval by ani život. Přirozený skleníkový efekt je tedy jevem pozitivním.

Antropogenní (zesílený) skleníkový efekt je vyvolán zvýšenou koncentrací skleníkových plynů z antropogenní činnosti. Energie dopadajícího slunečního záření proniká k zemskému povrchu a ohřívá jej, z menší části je odražena zpět zemskou atmosférou. Povrch Země vyzařuje neviditelné infračervené (tepelné) záření a tím se ohřívá, ale i ochlazuje ovzduší. Část této tepelné radiace je pohlcena právě skleníkovými plyny, které fungují jako „štít“ bránící úniku tepla (analogie se zahradním skleníkem).

Pokud je energie pohlceného slunečního záření stejná jako energie vyzářená do Vesmíru atmosférou a zemským povrchem, je klimatický systém v rovnováze. Faktory, které mohou tuto rovnováhu narušit, se nazývají radiační činitelé (sluneční záření, odrazivost, koncentrace skleníkových plynů).

Koncentrace skleníkových plynů prudce roste spalováním fosilních paliv, využíváním chlorovaných uhlovodíků apod. (tab. č. 1) Ve spodních vrstvách atmosféry tak dochází ke zvyšování pohlcené energie a tím i ke zvyšování teploty zemského povrchu. Na skleníkovém jevu se podílí vodní pára, oxid uhličitý (CO₂), halogenové uhlovodíky (freony), metan (CH₄), oxid dusný (N₂O) a ozon (O₃).

Tab. č. 1 – Nejběžnější skleníkové plyny a jejich zdroje

Plyn	Hlavní antropogenní zdroje
CO ₂	Využití energie, odlesňování a změny využití půdy, výroby cementu
CH ₄	Výroba a využití energie, skládky, kanalizace, zvířata, spalování biomasy
N ₂ O	Spalování fosilních paliv, hnojení půd, mýcení lesů, výroba kyselin
Halogenové sloučeniny	Průmysl, rozpouštědla, spreje

Na globální změnu klimatu nemá vliv jen koncentrace skleníkových plynů, ale také jejich doba setrvání v atmosféře a v neposlední řadě i účinnost v zachycování radiace.

6.1.2. Narušování ozonoféry

Ozon má zcela nezastupitelný význam při zamezování průniku ultrafialového záření stratosférou (asi 90 %) k zemskému povrchu. Přibližně 10 % celkového množství atmosférického ozonu se vyskytuje v troposféře, nejnižší vrstvě atmosféry.

Molekuly ozonu se vyskytují v atmosféře velmi vzácně, nejvyšší jejich koncentrace je v tzv. ozonoféře (součástí stratosféry), cca 23 km nad zemským povrchem. Interakcí kyslíku s UV zářením ozon konstantně vzniká nebo zaniká.

V globálním měřítku je pozorován pokles množství ozonu vlivem vzrůstajícího množství některých radikálů pocházejících z průmyslových i zemědělských emisí, freonů, halonů a metanu. Ozonoféru narušují též emise oxidů dusíku z letecké dopravy.

Ozonová díra má tendenci se každý rok prohlubovat a trvat déle. K největšímu úbytku ozonu dochází na severní polokouli ve středních zeměpisných šířkách, průměrně asi o 0,4 – 0,5 % ročně.

V důsledku úbytku stratosférického ozonu se dostane zvýšený podíl určitých vlnových délek ultrafialového záření k zemskému povrchu. To má negativní vliv zejména

na lidské zdraví a na přirozené ekosystémy. Vliv na lidské zdraví se může projevit snížením funkce imunitního systému, poškozením zraku a především rakovinou kůže.

Pro monitorování ozonové vrstvy byla vytvořena celosvětová síť pozemních stanic (cca kolem 300 stanic) známé pod zkratkou GO₃OS (Global Ozone Observing System) pracující v rámci GAW (Global Atmospheric Watch). Pozemní stanice jsou doplněny družicovým systémem TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), který na základě spektrální analýzy UV záření rozptýlovaného do kosmického prostoru zemskou atmosférou měří celkové množství ozonu v atmosféře.

6.2. Regionální problémy znečišťující ovzduší

Nemalý podíl na znečišťování ovzduší mají rovněž regionální vlivy jako jsou kyselá deště či troposférický ozon.

6.2.1. Kyselá deště

Acidifikace je jedním z nejvýznamnějších ekologických problémů. Měření chemického složení srážek je celosvětově věnována velká pozornost, zejména acidita srážek vyjádřená jako pH roztoku. Přirozená hodnota pH je dána rovnováhou vody a atmosférického oxidu uhličitého a činí 5,6. Pokud je vzorek pH nižší, označuje se za kyselý.

Na okyselení srážek se podílejí hlavně sulfáty a nitráty, které vznikají oxidací z emisí oxidu siřičitého, oxidy dusíku a amoniak. Dominantní zdrojem emisí síry je energetický průmysl, emisemi oxidů dusíku doprava a emisemi amoniaku zemědělství.

Snížení emisí acidifikujících látek mohou být nápomocny změny ve využití paliv (odsíření a denitrifikaci spalin) a zavedení třicestných katalyzátorů u aut.

6.2.2. Troposférický ozon

Celosvětově je zaznamenán nárůst koncentrace troposférického ozonu. Je to důsledek obrovského nárůstu emisí oxidů dusíku z průmyslu a dopravy. Ozon je silným oxidačním činidlem s výraznými negativními účinky, je indikátorem tzv. fotochemického smogu, označovaného též jako smog oxidační nebo letní. Takový smog je tvořen látkami, které vznikají fotochemickými reakcemi a mají silné oxidační účinky, např. kyselina dusičná, sekundární aldehydy, některé radikály apod.

Ozon je sekundární znečišťující látkou v ovzduší, nemá vlastní významný emisní zdroj, ale vzniká v troposféře řadou chemických reakcí, tzv. prekursorů. Sluneční záření hraje velkou roli při samotném vzniku ozonu. Vysoké koncentrace ozonu jsou měřeny zejména v oblastech ležících v závětrí velkých městských a průmyslových aglomerací.

Koncentrace ozonu se liší podle lokality v závislosti na faktorech ovlivňujících tvorbu ozonu, jeho přenos a rozklad.

6.3. Lokální problémy znečišťující ovzduší

Lokální znečištění ovzduší je dáno specifickými emisními zdroji ovlivňujícími danou lokalitu. Velkým lokálním problémem je také sužování obyvatel pachovými látkami ze zemědělství, průmyslu a dopravy.

Znečištění ovzduší v lokálním měřítku závisí na mnoha faktorech, na typu a množství emisních zdrojů, na meteorologických podmínkách lokality, ale také na reliéfu. Do lokálních problémů ekologického znečištění ovzduší patří zejména zimní smog (směsice látek oxidu siřičitého, prашný aerosol, oxid uhelnatý, oxid dusný a různé organické složky).

Pro zimní znečištění ovzduší je charakteristický anticyklonální systém (tlaková výše). Teplotní inverze a nízká rychlost větru omezují vertikální mísení znečišťujících látek pouze na nejnižší vrstvy atmosféry a dochází ke značné kumulaci škodlivin.

6.4. Kjótský protokol

Kjótský protokol, mezinárodní dohoda o redukci emisních skleníkových plynů, vstoupil v platnost 16. února 2005. Dokument podepsalo celkem 141 států, včetně celé Evropské unie, Kanady a Ruska. Pouze Spojené státy a Austrálie se odmítly k smlouvě zavázat. Dokonce i Čína, Indie a Brazílie, nejvýznamnější znečišťovatelé z řad rozvojových zemí, protokol podepsaly.

Úmluva předpokládá, že do roku 2012 bude omezeno vypouštění plynů oxidu uhličitého, metanu, oxidu dusného a plynů obsahujících fluor, a to o 5,2 %. Bohužel dodržování Kjótského protokolu se v některých hospodářsky rozvinutých zemích mine účinkem. Faktem je, že emise stále stoupají, místo aby klesaly.

Vzhledem k tomu, že smlouvu odmítly podepsat Spojené státy a Austrálie, předpokládá se, že i při maximálním nasazení se podaří do roku 2012 snížit emise maximálně o 2 – 3 %. Na to, aby byl dosavadní trend zvyšování obsahu oxidu uhličitého v atmosféře zmírněn nebo dokonce zastaven, je to velmi zanedbatelná položka.

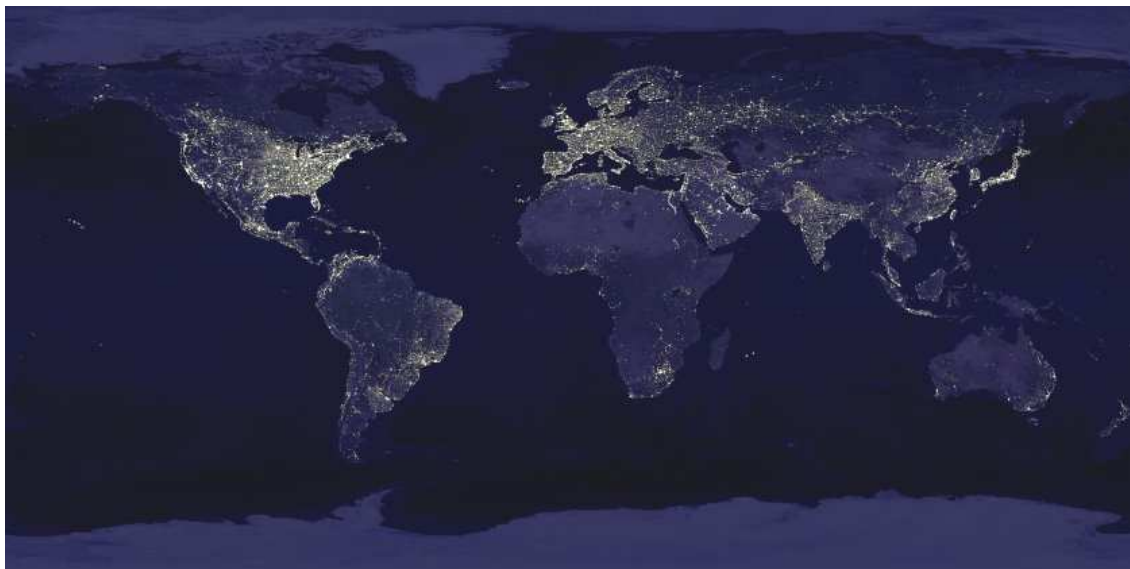
Je nutné si uvědomit, že i kdyby všechny státy přistoupily k redukci emisních skleníkových plynů i o více než 50 %, že toto radikální opatření by zpomalilo vzestup koncentrace těchto plynů v ovzduší nejdříve s odstupem několika desetiletí (30 až 50 let).

7. SVĚTELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ ATMOSFÉRY VE VAZBĚ NA ASTRONOMICKÁ POZOROVÁNÍ

7.1. Pojem světelné znečištění

Světelné znečištění je rušivé umělé světlo⁷, které je vyzařováno nebo odráženo do atmosféry a ruší tak přirozenou noční tmu. Jiná definice označuje „světelné znečištění za světelný tok, který se dostává do venkovního prostředí jako vedlejší produkt umělého osvětlování venkovních i vnitřních prostorů (víceméně neúčinné světlo emitované do venkovního prostředí)“ [6].

Obecně lze považovat světelné znečištění za zcela nevhodné pro astronomická pozorování noční oblohy, protože nepřirozeně zvyšuje jas oblohy a často nejsou hvězdy v noci vůbec vidět (centra větších měst). Večerní obloha (obr. č. 49) je zaplavována světlem z měst a vesnic, které se rozptyluje na plynových a pevných částicích nebo na aerosolech obsažených v atmosféře a přezáří (odráží se zpět) tak paprsky vzdálených hvězd a galaxií. Pouhým okem lze za dobrých podmínek pozorovat asi tři a půl tisíce hvězd, na noční obloze velkoměsta jich je vidět pouze něco kolem čtyř set. Světelné znečištění tak narušuje přirozený stav prostředí a lze ho chápat jako míru čistoty ovzduší.



Obr. č. 49 – Světelné znečištění ve světě (soubor družicových snímků)

⁷ Typickým rušivým světlem je např. oslnivé světlo nebo světlo, které přesahuje plochu, kterou má osvětlit (reklamní tabule, nasvícená fotbalová hřiště apod.). Rušivým světlem jsou i svítidla, která míří směrem vzhůru do prostoru (např. nevhodně nastavená světla na kulturní historické památky, reklamní svícení do vzduchu apod.).

Někteří odborníci s pojmem světelné znečištění nesouhlasí. Znečištění v pravém slova smyslu znamená působení cizorodé látky i po zániku zdroje znečištění, což ale není případ světla. Přesto se termín světelné znečištění (z angl. light pollution) dostal do českého podvědomí a objevuje se i v české legislativě.

Z hlediska potřeb pro astronomická pozorování byly stanoveny mezní hodnoty podílu světelného toku svítidel do horního poloprostoru (tab. č. 2).

Tab. č. 2 – Největší povolený podíl světelného toku do horního poloprostoru

Zóna	Podíl světelného toku do horního poloprostoru v %	Příklad
E1 – Oblast se skutečně tmavým prostředím	0	Národní parky
E2 – Oblast s nízkými jasy	≤ 5	Venkovské obytné oblasti
E3 – Oblast se středně nízkými jasy	≤ 15	Městské obytné oblasti
E4 – Oblast s vysokými jasy	≤ 25	Centra měst (bydlení, komerční využití)

Vznik světelného znečištění (obr. č. 50, 51) není dán jen množstvím světla unikajícího do horního poloprostoru, ale i jeho směrem. Zcela zásadní pro světelné znečištění je vodorovný směr nebo směr k němu se blížící. Světlo jdoucí vodorovným či jemu blízkým směrem prostupuje mnohem silnější vrstvou atmosféry než světlo směřující kolmo vzhůru (kratší vzdálenost) a tím pádem se může na své delší dráze ještě více rozptýlit. Světlo svítící jen „šikmo“ do horního poloprostoru má tedy mnohem horší účinek než světlo jdoucí kolmo vzhůru.



Obr. č. 50 – Osvětlené nebe v noční Paříži



Obr. č. 51 – Rudá záře nad Prahou

7.2. Dopady světelného znečištění

7.2.1. Zdraví lidí

Lidé, žijící ve městech, tráví více jak 90 % času uvnitř budov, je tedy nezbytné zajistit dostatečné a kvalitní osvětlení.

Světlo jako jeden z faktorů životního prostředí značně ovlivňuje fyzický a psychický stav člověka, jeho pracovní výkon a schopnost regenerace organismu. Nevyhovující světelné podmínky, např. vysoké jasy a kontrasty, blikání zdroje světla apod. mohou vést k bolestem hlavy, zrakové únavě, ale i k přechodným poruchám vidění.

Melatonin je nejdůležitější hormon, který je ovlivňován přímým světlem. Od jeho hladiny v těle člověka se odvíjí chod cirkadiálních rytmů (rytmus střídání fyziologických pochodů v organismu s periodicitou jeden den). Důsledků poruchy cirkadiálních rytmů je celá řada. Všechna níže uvedená fakta jsou však zatím ve stádiu výzkumů a neměla by být nijak podceňována.

V roce 1987 byla vyslovena hypotéza, která předpokládala, že vlivem nadbytku světla v noci dochází ke snižování produkce melatoninu a následnému vzniku rakovinného bujení.

S omezenou produkcí melatoninu souvisí i poruchy spánku a neurologické potíže. Tvorba melatoninu se může působením světla předbíhat nebo opožďovat a tím způsobuje ospalost, respektive probouzení.

U epileptiků byla prokázána zvýšená pravděpodobnost vzniku záchvatu při světelné expozici během spánku. Rovněž u lidí s hypertenzí (zvýšeným krevním tlakem) byla prokázána souvislost působení dlouhodobého umělého světla na jejich zdraví.

7.2.2. Fauna a flóra

Nedostatek tmy v noci narušuje život mnohých rostlinných i živočišných organismů v přírodě. Nevhodné noční osvětlení narušuje a rozvrací noční ekosystémy.

Světla pouličních lamp lákají velké roje hmyzu. Účinek lamp na hmyz nemá nic společného s jejich přirozeným životním rytmem. Omámený hmyz přilétá s vidinou snadné potravy, možného nalezení partnera či vhodného místa na kladení vajíček, často však nachází smrt.

Umělé světelné zdroje mají vliv nejen na hmyz, ale také na tažné ptáky. Většina z nich táhne v noci a orientují se podle hvězd. Světelné body na zemi tak způsobují je-

jich dezorientaci. Ptáci se postupně spouštějí k zemi a hledají místo k dennímu odpočinku. Oslnění ptáci tak míří při sestupu přímo na světelný zdroj, nestačí zaregistrovat překážku a dezorientovaně naráží do výškových budov. Náraz ve velké rychlosti nejsou většinou schopni přežít. V oblastech s velkou koncentrací výškových staveb nebývají výjimkou desítky až stovky mrtvých ptáků za jedinou noc. Někteří ptáci reagují na rušivé noční světlo změnami životního rytmu – zpívají a krmí mláďata i během noci.

Nevhodné noční osvětlování rozvrací i vodní ekosystémy. Mnozí vodní živočichové jsou závislí na temných bezměsíčných nocích, vyplouvají k hladině nebo naopak do hlubin v závislosti na období dne a noci. Tento přirozený režim jim však zásadním způsobem narušuje umělé osvětlení.

Podobně zmateně se chovají i trvale osvětlené stromy. Často jsou narušeny jejich biorytmy, pokud jde o roční období. Různé druhy stromů reagují odlišně, některé se více řídí světlem, jiné teplotami a v neposlední řadě také délkou dne. Na osvětlených stromech je patrné delší zelené olistění větví (obr. č. 52) až do pozdních mrazivých měsíců, než na stromech, které v noci intenzivně osvětlené nejsou. Některé stromy nereagují jen opožděným opadáváním listů ale naopak předčasným úhynem.



Obr. č. 52 - Vlevo ještě zelený, neopadaný strom vlivem nočního umělého osvětlení z pouliční lampy

7.2.3. Astronomická pozorování

Nárůst jasu noční oblohy vlivem velkého počtu a intenzity světelných zdrojů byl zaznamenán astronomy již v 60. letech 20. století.

Nejen pro vizuální sledování jevu nebo objektu na noční obloze, ale i pro vědecká astronomická pozorování observatoří, je nezbytné pozorovací stanoviště odstíněné od všech rušivých přímých světelných zdrojů.

V blízkosti některých větších observatoří již platí pravidla pro osvětlování nedalekých měst a obcí. Osvětlení je kvalitnější a mnohem úspornější (obr. č. 53) a jas nebe zde roste mnohem pomaleji než jinde, kde takové předpisy chybí (obr. č. 54). Alarmující je rovněž skutečnost, že ve většině rozvojových zemí se neúměrně a neřízeně zvyšuje umělé osvětlení a tím i jas noční oblohy.



Obr. č. 53 – Správné osvětlení



Obr. č. 54 – Špatné osvětlení

Lidské oko by mohlo i bez pomoci dalekohledu zahlédnout objekty vzdálenější než 2 miliony světelných let. Světelné znečištění zvyšuje jas a šum pozadí, což znemožňuje pozorovat slabé objekty a bohužel vede také k menší přesnosti při pozorování jasnějších objektů.

Cílem všech astronomů je omezit světelné znečištění, a tím zlepšit a zachovat do budoucna dobré podmínky pro další vědecká astronomická pozorování.

7.3. Měření světelného znečištění

Měření parametrů umělého osvětlení slouží k objektivnímu vyhodnocení jeho kvality. Pro měření osvětlení jsou dvěma základními přístroji luxmetr a jasměr. Kromě nich jsou potřebné i měřidla délek a vzdáleností, měřidlo teploty a úhломěr. U přístrojů je nutné zajistit pravidelnou údržbu před i během měření a především ověřit správnost měření kontrolou funkce. Při poruše je potřeba posoudit její vliv na výsledky měření, případně měření zopakovat. Neopomenutelná je rovněž kalibrace všech přístrojů používaných k měření intenzity osvětlení.

Luxmetry a jasoměry bývají velmi často používány pro měření světla v interiéru. Pro měření v nočním exteriéru nejsou příliš vhodné, protože hranice použitelnosti běžných luxmetrů je deset luxů s nejistotou v řádech jednotek luxů. Pro měření nočního osvětlení jsou potřeba mnohem citlivější a přesnější přístroje.

Takovou možnost přinášejí fotovoltaické solární panely pro měření slabého světla. Jejich výhodou je rozsah měřicí soustavy, ale také možnost měřit i velmi malou intenzitu osvětlení v řádech mililuxů. Díky solárním článkům lze velmi jednoduše a efektivně zjišťovat i jas noční oblohy a to již od úrovně zcela čistého přírodního nebe za jasné no-

ci. Solární panely jsou zároveň méně citlivé na světlo jdoucí z boku než tomu je u samotných luxmetrů.

Jinou metodou měření je tzv. hi-tech metoda využívající při měření jasů oblohy standardní astronomická fotometrická pozorování. Pro zjištění jasnosti hvězd je potřeba znát jas oblohy, který se z obrazů hvězd musí odečítat (v podstatě představuje pro astronomy šum, který je potřeba eliminovat). Jas oblohy je závislý na množství a jasů světla, ale především na průzračnosti ovzduší. Nejen proto je jas nebe jistým měřítkem světelných emisí.

Hlavním průlomem je však měření jasů pomocí digitálních fotoaparátů. Tyto přístroje jsou schopny uložit a poskytnout data v nezpracovaném (surovém) tvaru. Ze zobrazovací jednotky (CCD či CMOS čipu) se převede signál pomocí A/D převodníku. Takový signál je určitě lineárně závislý na osvětlenosti čipu a jen zanedbatelně závislý na jeho teplotě. Díky tomu ho lze přepočítat na osvětlenost čipu, respektive na jas scény. Pořízením a vyhodnocením série snímků se dá zaznamenat i mnohem menší množství světla, než dokáže změřit luxmetr. Lze s jistotou říci, odkud a kolik světla přichází a tím se určí jeho zdroj, ale také místa zvláště světlem znečištěná.

7.4. Zdroje světelného znečištění

Existuje celá řada zdrojů světelného znečištění. Obecně lze však říci, že největším „světelným znečišťovatelem“ je veřejné pouliční osvětlení (obr. č. 55), a to i přesto, že je nezbytnou, důležitou a rozhodně účelnou součástí městského a venkovského života lidí. Veřejné osvětlení je nejčastějším druhem osvětlení, je velmi častým zdrojem intenzivního osvětlení. Mnohdy bývají nainstalovány staré nevyhovující lampy, nad nimiž vznikají „světelné příkrovy“ rozptýleného světla nebo naopak moderní všesměrová kulová svítidla, která zcela nevyváženým způsobem osvětlují noční oblohu.

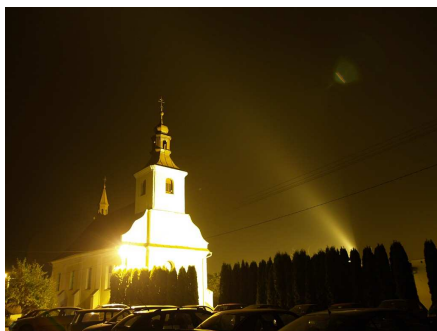


Obr. č. 55 – Veřejné pouliční osvětlení

Nemalým problémem bývá nasvětlování historicky významných objektů (obr. č. 56) zdola nahoru. Tím dochází k přesahu světelného kužele a ke svícení vzhůru mimo historickou památku.

Řada areálů (sklady, parkoviště hypermarketů, staveniště, sportoviště apod.) bývají z důvodu bezpečnosti (obr. č. 57) neúměrně osvětlovány co možná nejvýkonnějšími

zdroji světla s co největším záběrem. Svítidla tak nešetrně svítí do horního poloprostoru a oslňují již z velké dálky.



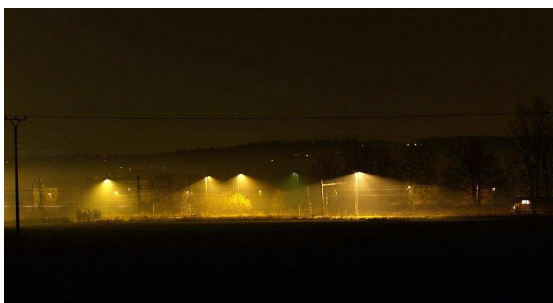
Obr. č. 56 – Nevhodné nasvícení historické památky



Obr. č. 57 – Špatné osvětlení areálu firmy

Dalším významným zdrojem světelného znečištění je osvětlení vlakových (obr. č. 58) i autobusových nádraží výkonnými reflektory bez krytu proti světlu směřujícímu vzhůru na vysokých sloupech.

Nepříjemným „extrémem“ jsou reklamy diskoték (obr. č. 59) a jiných zábavních podniků ve formě světelných paprsků (svazků) mířících vzhůru.



Obr. č. 58 – Světla na vlakovém nádraží



Obr. č. 59 – Reklama z diskotéky

Častým zdrojem světelného znečištění, a také oslnění jsou dálková světla automobilů a lokomotiv. V poslední době jsou používány xenonové zdroje ve světlech aut, které jsou velmi účinné, ale na druhou stranu velmi necitelně a ostře oslňují.

Ostatní zdroje (vnitřní a vnější osvětlení bytů a rodinných domů, veřejných prostor apod.) působí buď lokálně, nebo s menší intenzitou a nepodílejí se proto zásadním způsobem na světelném znečišťování.

Stále vzrůstající intenzivní osvětlování je tak spojeno s rozmachem společnosti a bohužel dochází k prudkému poklesu tmy v noci. Smyslem venkovních světel je zlepšit viditelnost, mnoho světel však představuje opačný problém, svítí na všechny strany.

7.5. Možnosti řešení

Světelnému znečištění nelze zcela zabránit. I přes vhodnou volbu plně cloněných svítidel a správné směřování světla dochází k odrazu světla od ploch, které mají být osvětlené, směrem do ovzduší. Je tedy mylné domnívat se, že světelné znečištění je způsobené jen samotným světlem svítidel, ale rovněž jeho nevhodným směřováním a rozptylem. Je nezbytné podporovat přesně účelově řízené svícení a regulovat noční osvětlení postupným snižováním výkonu osvětlovací soustavy v průběhu noci.

Současné technické parametry a charakteristiky moderních svítidel umožňují výrobu a instalaci kvalitních plně cloněných svítidel (obr. 60) nesvítících do horního poloprostoru a především účelné nasměrování světla na osvětlovaný objekt při zachování stávající intenzity osvětlení. Výhodou takových svítidel je možnost regulace výkonu osvětlovacích soustav během noci, což má nemalý dopad na úsporu energie a tím i ekonomickou rentabilitu. Odhady mluví jasně, lampy s cíleným směřováním by ušetřily v USA proud v ceně jedné miliardy dolarů. Ročně jsou na celém světě utraceny miliardy dolarů pro zbytečné plýtvání světelnou energií.



Obr. 60 – Příklad plně cloněných svítidel

7.6. Světelné znečištění a legislativní zákon

1. června roku 2002 vstoupil v platnost zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, ve kterém se poprvé legislativně upravuje omezování světelného znečištění u nás. Tehdy jsme byli vůbec prvním celým státem, kde bylo takové opatření přijato. V ostatních státech to byla pouze místní regionální opatření, např. lombardský zákon v Itálii.

Celý zákon byl směřován do budoucna a předpokládal cílená opatření k ochraně před světelným znečištěním, např. do přirozené výměny svítidel. Nová svítidla od té doby měla být již montována podle zákonného prováděcího právního předpisu. Takový předpis by měl vymezovat a upřesňovat základní ochranný režim před světelným znečištěním (různá opatření vedoucí ke snižování a předcházení světelnému znečištění, citlivá místa a prostory, limity stanovující horní mez atd.). Ten byl ve formě návrhu

nařízení vlády vypracován a posléze projednán 26. března 2003 ve vládě. Legislativní rada vlády však našla formální právní rozpor ve zmocnění zákona a jednohlasným usnesením č. 292 jej neschválila. Ustanovení o ochraně před světelným znečištěním byla tímto krokem značně redukována, že byla prakticky bez jakéhokoli podstatnějšího významu. Myšlenka podrobnější obecné regulace byla nahrazena ustanovením § 50 odst. 3 písm. c – obec může obecně závaznou vyhláškou regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu.

K trvalé redukci došlo přijetím novely zákona o ochraně ovzduší č. 92/2004 Sb. s účinností od 3. března 2004 a následně ještě novelou č. 385/2005 Sb. účinnou od 1. října 2005. Bohužel tento stav platí dodnes bez jakýchkoli zpřísnujících pravidel do budoucna. Použitelnější se v tomto ohledu jeví spíše občanský zákoník § 127 – sousedské vztahy: „Vlastník věci se musí zdržet všeho, čím by nad míru přiměřenou poměrům obtěžoval jiného nebo čím by vážně ohrožoval výkon jeho práv. Proto zejména ... nesmí nad míru přiměřenou poměrům obtěžovat sousedy hlukem, prachem, popílkem, kouřem, plyny, parami, pachy, pevnými a tekutými odpady, světlem a stínem, ...“

8. ZÁVĚR

Závěrem mé bakalářské práce je třeba podotknout, že výše uvedené optické přístroje jsou jen malou vzorkovou skupinou. V dnešní době jsou již optické přístroje součástí jiných komplikovanějších soustav, které plní rozličné předem dané funkce. Jejich využití sahá od systémů výpočetní techniky, přes zařízení schopné podávat přesné informace o poloze objektů na Zemi, až po zařízení ulehčující práci vědcům na celém světě. Ať už si to uvědomujeme nebo ne, optické přístroje (zejména dalekohledy) jsou nedílnou součástí našeho života a zůstávají často lidmi nedoceny.

Cílem práce bylo objasnit činnost a funkci optických přístrojů a jejich soustav, vesmírných observatoří, ale i dopad antropogenního a světelného znečištění na astronomická pozorování. Zejména znečištění naší planety není pouze lokálním problémem, jedná se o rozsáhlou tematiku, které by měla být věnována nemalá pozornost.

Práce má spíše rešeršní charakter, vychází z poznatků odborníků v této oblasti, ale i z vlastních zkušeností. Z důvodů co nejlepšího pochopení dané problematiky jsou zde uvedeny informace co možná v nejobecnější rovině.

9. SEZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH CITACÍ

- [1] TOLASZ, R.: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic – Metodický předpis č. 13. Ostrava: ČHMÚ, 2003, s. 59.
- [2] VELFEL, P.: Oko za 1,5 miliardy dolarů aneb kosmický teleskop Hubble. Ostrava: AMF servis, 1991, s. 17.
- [3] MARTINEK, Fr.: Poslední oprava Hubbleova kosmického dalekohledu. 2008, odst. 6
<http://www.astro.cz/clanek/3022>.
- [4] Tisková zpráva IBM: Software pro Webbův teleskop vyvíjí NASA pomocí nástrojů IBM. 2007, odst. 2.
<http://scienceworld.cz/technologie/software-pro-webbuv-teleskop-vyviji-nasa-pomoci-nastroju-ibm-1099>.
- [5] DEMEK, J.: Globální klimatické změny a jejich sociální aspekty (Bakalářská práce). Brno, Masarykova univerzita, 2008.
- [6] KOTEK, J.: Existuje světelné znečištění? Praha: FCC Public, 2006, Světlo 1, s. 4.
http://www.srvo.cz/clanky/Existuje_svetelne_znecistení.pdf.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TOLASZ, R.: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic – Metodický předpis č. 13. Ostrava, ČHMÚ, 2003.
- [2] VELFEL, P.: Oko za 1,5 miliardy dolarů aneb kosmický teleskop Hubble. Ostrava, AMF servis, 1991.
- [3] GRYGAR, J., HORSKÝ, Z., MAYER, P.: Vesmír. Praha, Mladá fronta, 1979.
- [4] GRYGAR, J., ŽELEZNÝ, V.: Okna vesmíru dokořán. Praha, Naše vojsko, 1989.
- [5] SUCHORUKICH, V. S.: Mikroskop a dalekohled. Praha, Naše vojsko, 1953.
- [6] GRYGAR, J.: Sejdeme se v nekonečnu. Praha, Albatros, 1980.
- [7] KANIPE, J.: Hubbleovy stíny. Praha, Mladá fronta, 2009.
- [8] HORSKÝ, Z., PLAVEC, M.: Poznávání vesmíru. Praha, Orbis, 1962.
- [9] PARENAGO, P. P.: Hvězdná astronomie. Praha, Československá akademie věd, 1959.
- [10] CHOWN, M.: Vesmír hned vedle (Dvanáct šokujících myšlenek z přední výspy vědy). Praha, Granit, 2003.
- [11] HORSKÝ, Z., MIKULÁŠEK, Z., POKORNÝ, Z.: Sto astronomických omylů uvedených na pravou míru. Praha, Svoboda, 1988.
- [12] POKORNÝ, Z.: Kalendárium astronomie (Nejvýznamnější události v dějinách astronomie den za dnem). Brno, Computer Press, 2004.
- [13] KURFÜRST, E.: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution 25 Anniversary. Praha, Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší, 2004.
- [14] BRANIŠ, M. a kol. Aktuální otázky znečištění ovzduší. Praha, Univerzita Karlova v Praze, 2003.
- [15] WEIGLOVÁ, J., BEDLOVIČOVÁ, D., KAŇKA, J. Stavební fyzika 1 (Denní osvětlení a oslunění budov). Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2006.
- [16] HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. Praha, Karolinum, 2004.
- [17] LENŽA, L., SUCHAN, P.: Proč se zabývat světelným znečištěním? (Nejde o to zhasnout, jde o to svítit účelněji). Praha, Valašské Meziříčí, Česká astronomická společnost, 2006.
- [18] DEMEK, J.: Globální klimatické změny a jejich sociální aspekty (Bakalářská práce). Brno, Masarykova univerzita, 2008

- [19] HOLLAN, J.: Věcný podklad k prováděcímu právnímu předpisu o prevenci světelného znečištění. Praha, MŽP, 2002.
- [20] Akademie věd České republiky – <http://avcr.cz>
- [21] Astronomický ústav Akademie věd České republiky, v.v.i. – <http://asu.cas.cz>
- [22] Knihovna Akademie věd České republiky – <http://www.lib.cas.cz>
- [23] Česká astronomická společnost – <http://www.astro.cz>
- [24] Astronomická společnost Pardubice – <http://www.asp.ic.cz>
- [25] Jihlavská astronomická společnost - <http://www.jiast.cz>
- [26] Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové – <http://www.astrohk.cz>
- [27] Hvězdárna Vsetín – <http://www.hvezdarna-vsetin.cz>
- [28] Štefánikova hvězdárna – <http://www.observatory.cz>
- [29] Fyzmatik.píše – <http://fyzmatik.pise.cz>
- [30] Aldebaran – <http://aldebaran.cz>
- [31] Navajo, otevřená encyklopedie – <http://astronomie.navajo.cz>
- [32] Wikipedie, otevřená encyklopedie – <http://cs.wikipedia.org>
- [33] Wikipedia, the free encyclopedia – <http://en.wikipedia.org>
- [34] Science World, Novinky ze světa vědy a techniky – <http://scienceworld.cz>
- [35] Investice, iHNed.cz – <http://investice.ihned.cz>
- [36] Technet.cz, Technika kolem nás – <http://technet.idnes.cz>
- [37] 21 století, Revue objevů, vědy, techniky a lidí – <http://www.21století.cz>
- [38] Instantní astronomické noviny – <http://www.ian.cz>
- [39] Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Katedra didaktiky fyziky – <http://kdf.mff.cuni.cz>
- [40] Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity – <http://www.geogr.muni.cz>
- [41] Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity – <http://amper.ped.muni.cz>
- [42] Ústav teoretické fyziky a astrofyziky Masarykovy univerzity – <http://www.physics.muni.cz>
- [43] Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská Českého vysokého učení technického v Praze – <http://vega.fjfi.cvut.cz>
- [44] Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity – <http://www.pf.jcu.cz>
- [45] Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická Technické univerzity v Liberci – <http://www.fp.tul.cz>
- [46] Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity – <http://artemis.osu.cz>
- [47] Český rozhlas Leonardo – <http://www.rozhlas.cz/leonardo/portal>

- [48] Český rozhlas Planetárium – <http://www.rozhlas.cz/planetarium/astronomie>
- [49] Ministerstvo životního prostředí – <http://www.mzp.cz>
- [50] Integrovaný registr znečišťování – <http://www.irz.cz>
- [51] Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení – <http://www.srvo.cz>
- [52] Ekoporadna – <http://www.ekoporadna.cz>
- [53] Envi Web - <http://www.enviweb.cz>
- [54] EKOlidé.cz – <http://www.ekolide.cz>
- [55] NASA, National Aeronautics and space Administration – <http://nasa.gov>
- [56] ESA, European Space Agency – <http://esa.int/>
- [57] STSCI, Space Telescope Science Institute – <http://www.stsci.edu>
- [58] EEA, European Environment Agency – <http://www.eea.europa.eu>
- [59] Inquinamentoluminoso – <http://www.lightpollution.it>
- [60] International Dark-Sky Association – <http://www.darksky.org>

Všechny výše uvedené odkazy na webové stránky byly plně funkční k 13.12.2009.

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. č. 1 – Planeta Země
- Obr. č. 2 – Příklad hydrometeoru (déšť)
- Obr. č. 3 – Příklad hydrometeoru (mrznoucí déšť)
- Obr. č. 4 – Příklad litometeoru (písečný vír)
- Obr. č. 5 – Příklad fotometeoru (sluneční halo)
- Obr. č. 6 – Příklad elektrometeoru (blýskavice – blesk)
- Obr. č. 7 – Čočkový dalekohled (refraktor)
- Obr. č. 8 – Konstrukční schéma čočkového dalekohledu
- Obr. č. 9 – Hans Lipershey ve své dílně
- Obr. č. 10 – Galileův dalekohled
- Obr. č. 11 – Konstrukční schéma Galileova dalekohledu
- Obr. č. 12 – Konstrukční schéma Keplerova dalekohledu
- Obr. č. 13 – Plánek dalekohledu Christiana Huygense
- Obr. č. 14 – Zrcadlový dalekohled
- Obr. č. 15 – Konstrukční schéma zrcadlového dalekohledu
- Obr. č. 16 – Newtonův refraktor
- Obr. č. 17 – Konstrukční schéma Newtonova dalekohledu
- Obr. č. 18 – Konstrukční schéma Gregoryho dalekohledu
- Obr. č. 19 – Konstrukční schéma Cassegrainova dalekohledu
- Obr. č. 20 – Schmidtova komora
- Obr. č. 21 – Schmidt-Cassegrainův systém
- Obr. č. 22 – Maksutovova komora
- Obr. č. 23 – Ritchey-Chrétien systém
- Obr. č. 24 – Hubbleův vesmírný teleskop
- Obr. č. 25 – Celková sestava Hubbleova teleskopu
- Obr. č. 26 – Širokouhlá a planetární kamera WF/PC
- Obr. č. 27 – Hubbleův vesmírný teleskop – schéma rozmístění jednotlivých vstupů vědeckých přístrojů v ohniskové rovině
- Obr. č. 28 – Širokouhlá a planetární kamera WF/PC2
- Obr. č. 29 – Širokouhlá a planetární kamera WFC3
- Obr. č. 30 – Betelgeuse na snímku z HST

- Obr. č. 31 – Sloupy stvoření
- Obr. č. 32 – Hubbleho hluboké pole HDF
- Obr. č. 33 – Hubbleho velmi hluboké pole HUDF
- Obr. č. 34 – Srážka galaxií NGC 4038 a NGC 4039 v souhvězdí Havrana
- Obr. č. 35 – Srážka komety Shoemaker-Levy 9 s planetou Jupiter
- Obr. č. 36 – Simulace extrasolární planety HD 189733b
- Obr. č. 37 – Herschelův dalekohled
- Obr. č. 38 – Oběžná dráha Herschelova dalekohledu
- Obr. č. 39 – Jednotlivé části Herschelovy vesmírné observatoře
- Obr. č. 40 – Model Webbova vesmírného teleskopu
- Obr. č. 41 – JWST versus HST
- Obr. č. 42 – Schéma Webbova teleskopu
- Obr. č. 43 – Model MIRI
- Obr. č. 44 – Model NIRCам
- Obr. č. 45 – Model NIRSpec
- Obr. č. 46 – Model FGS
- Obr. č. 47 – Model primárního zrcadla JWST
- Obr. č. 48 – Model pohonné jednotky (sběrnice vesmírné observatoře)
- Obr. č. 49 – Světelné znečištění ve světě (soubor družicových snímků)
- Obr. č. 50 – Osvětlené nebe v noční Paříži
- Obr. č. 51 – Rudá záře nad Prahou
- Obr. č. 52 – Vlevo ještě zelený, neopadaný strom vlivem nočního umělého osvětlení z pouliční lampy
- Obr. č. 53 – Správné osvětlení
- Obr. č. 54 – Špatné osvětlení
- Obr. č. 55 – Veřejné pouliční osvětlení
- Obr. č. 56 – Nevhodné nasvícení historické památky
- Obr. č. 57 – Nevhodné osvětlení areálu firmy
- Obr. č. 58 – Světla na vlakovém nádraží
- Obr. č. 59 – Reklama z diskotéky
- Obr. č. 60 – Příklad plně cloněných svítidel

12. SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – Nejběžnější skleníkové plyny a jejich zdroje

Tabulka č. 2 – Největší povolený podíl světelného toku do horního poloprostoru