

**MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

Katedra fyziky

## **Výuka astronomie na základní škole**

*Diplomová práce*

**Vedoucí diplomové práce:**  
**Doc. RNDr. Vladimír Štefl, CSc.**

**Vypracoval: Marcel Rous**  
**učitelství pro ZŠ, MA-FY**

Brno 2007

## **Anotace**

Diplomová práce „Výuka astronomie na základní škole“ pojednává o kapitolách astronomie, se kterými se žáci na druhém stupni základní školy seznamují v devátém ročníku. Cílem diplomové práce je utřídění a promyšlené zprostředkování nových informací z astrofyziky. Diplomová práce obsahuje souhrn astronomických poznatků o sluneční soustavě, planetách, kometách, meteoritech, hvězdách i vesmíru. Přílohou k této práci je výukový CD - rom s multimediálním výkladovým textem vybraných klíčových témat výuky astronomie na základní škole. Na CD - romu se kromě výkladového textu nachází i obrazový materiál a videa.

## **Annotation**

The diploma thesis „Teaching of astronomy at primary school“ deals with chapters of astronomy which are the object of teaching in the ninth class of primary school. Object of the diploma thesis is the selection and the thought - out transmission new informations from astrophysics. The diploma thesis contains summary astronomical pieces of Knowledge about solar system, planets, comets, meteorites, stars and Universe. CD - rom with key topics in teaching of astronomy and video material is the supplement of this diploma thesis.

## **Klíčová slova**

Astronomie, doba rotace, oběžná doba, planety, skleníkový efekt, sluneční soustava, střední vzdálenost od Slunce, vesmír

## **Keywords**

Astronomy, rotation period, sidereal period, planets, greenhouse effect, solar system, mean distance from Sun, Universe

## **Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a použil jen prameny uvedené v seznamu literatury.*

*Souhlasím, aby práce byla uložena na Masarykově univerzitě v Brně v knihovně Pedagogické fakulty a zpřístupněna ke studijním účelům*

V Brně dne 20.dubna 2007

Marcel Rous

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	5
<b>1. ASTRONOMIE VE ŠKOLNÍ VÝUCE</b> .....	5
1.1 KDE SE S UČIVEM ASTRONOMIE NA ZŠ SETKÁME? .....	5
<b>2. STRUČNÁ HISTORIE ASTRONOMIE</b> .....	8
<b>3. CO JE TO VESMÍR A JAK VZNIKL?</b> .....	13
3.1 VESMÍR NA ZŠ.....	14
3.2 ZKOUMÁNÍ VESMÍRU .....	16
3.3 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ .....	16
<b>4. SLUNEČNÍ SOUSTAVA</b> .....	17
4.1 PLANETY SLUNEČNÍ SOUSTAVY .....	18
4.2 ROZDĚLENÍ PLANET .....	20
4.3 SLUNEČNÍ SOUSTAVA NA ZŠ .....	20
4.4 PODROBNĚJI O PLANETÁCH .....	21
4.5 MERKUR .....	21
4.5.1 Tabulkový přehled o planetě Merkur.....	24
4.6 VENUŠE .....	24
4.6.1 Tabulkový přehled o planetě Venuši.....	26
4.6.2 Skleníkový efekt.....	27
4.6.3 Laboratorní práce.....	27
4.7 ZEMĚ.....	28
4.7.1 Tabulkový přehled o planetě Zemi .....	31
4.8 MARS .....	31
4.8.1 Tabulkový přehled o planetě Mars .....	34
4.9 JUPITER .....	34
4.9.1 Tabulkový přehled o planetě Jupiter.....	35
4.10 SATURN .....	36
4.10.1 Tabulkový přehled o planetě Saturn .....	38
4.11 URAN .....	38
4.11.1 Tabulkový přehled o planetě Uran .....	40
4.12 NEPTUN.....	40
4.12.1 Tabulkový přehled o planetě Neptun .....	41
4.13 MĚSÍC.....	42
4.13.1 Fáze Měsíce .....	43
4.13.2 Tabulkový přehled o Měsíci.....	44
4.14 SLUNCE .....	44
4.14.1 Tabulkový přehled o Slunci.....	46
4.14.2 Zatmění Měsíce a Slunce .....	46
4.15 KOMETY .....	47
4.15.1 Halleyova kometa .....	48
4.16 METEORITY .....	49
4.17 HVĚZDY .....	49
4.17.1 Měření vzdáleností, hmotnost hvězd .....	50
4.17.2 Zdroje energie hvězd.....	51
4.17.3 Druhy hvězd.....	51
4.17.4 Hvězdokupy.....	52
<b>ZÁVĚR</b> .....	53
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	54
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	55
<b>PŘÍLOHY</b> .....	56

## Úvod

Téma své diplomové práce „Výuka astronomie na základní škole“ jsem si vybral na základě školního matematicko – fyzikálního kroužku, který chystáme od příštího školního roku vyučovat na základní škole. Protože je téma astronomie zařazeno až na konec devátého ročníku a někdy bývá z nedostatku času opomíjeno, rozhodl jsem se pro žáky zařadit astronomii do osnov tohoto kroužku a vypracovat formou diplomové práce podrobnější optimální text, který budou mít možnost žáci získat společně i jako obrazový materiál a videa na multimediálním CD – romu.

## 1. Astronomie ve školní výuce

Astronomii lze zařadit mezi jednu z nejstarších přírodních věd. Seznamuje žáky s jevy, které jsou pro ně záhadné, tajuplné ale i zajímavé. Je dobré, že je učivo astronomie zařazeno do osnov pro druhý stupeň základních škol. Bohužel se s větším rozsahem informací z oblasti astronomie žáci setkávají až na konci devátého ročníku, což někdy z nedostatku času vede k opomíjení této kapitoly.

Astronomie je na základní škole zpravidla rozdělena do dvou předmětů – zeměpisu a fyziky. Nejvíce učiva z astronomie se vyskytuje ve fyzice. Žáci si učivo ve fyzice osvojují měřením, pozorováním a experimentováním, což je v oblasti astronomie až na výjimky nemožné. V těchto případech se žáci musí spokojit pouze s popisnou formou, která je někdy pozorováním doplňována.

### 1.1 Kde se s učivem astronomie na ZŠ setkáme?

Jak již bylo uvedeno, s astronomií se žáci seznamují v zeměpise, ve fyzice, dále pak v dějepise, biologii, chemii atd.

V zeměpise je učivo astronomie rozděleno do témat:

1. Vesmír a hvězdy
2. Slunce a sluneční soustava

3. Měsíc
4. Země
5. Umělé družice Země
6. Trvání dne a noci na Zemi.

Podle učebnic [1], [2] a [3] autorů Jiřího Bohuňka a Růženy Kolářové, které jsou dosud nejpoužívanějšími, je učivo o astronomii na druhém stupni základní školy v tématech:

7. ročník:

Přímočaré šíření světla

1. Světelné zdroje
2. Měsíční fáze
3. Stín
4. Rychlost světla

8. ročník:

Počasí kolem nás

1. Meteorologie
2. Atmosféra Země a její složení
3. Základní meteorologické jevy a jejich měření
4. Problémy znečišťování atmosféry

9. ročník:

Země a vesmír

1. Sluneční soustava
  - 1.1 Planety
  - 1.2 Slunce
  - 1.3 Země jako planeta
  - 1.4 Měsíce
  - 1.5 Planetky
  - 1.6 Komety a meteory

2. Naše Galaxie
  - 2.1 Vesmír
  - 2.2 Hvězdy
  - 2.3 Souhvězdí
3. Kosmonautika

Učivo o astronomii se dále objevuje v kapitolách:

1. Pohyby a vzájemné působení těles - pozorování účinků gravitační síly,
2. Mechanické vlastnosti kapalin a plynů – působení gravitační síly na kapalinu v klidu, působení gravitační síly na atmosféru,
3. Světelné jevy – zatmění Slunce a Měsíce, princip dalekohledu,
4. Elektromagnetické jevy – magnetické pole Země,
5. Vesmír – hvězdný a slunečný den, světelný rok,
6. Země – glóbus, roční období, určování zeměpisné polohy, mapy, přírodní sféra Země, zemětřesení a sopečná činnost, atd.

Autor Martin Macháček nejvíce astronomie zařadil do učebnice [4] v kapitolách:

9. ročník:

Země a její okolí

1. Naše místo ve vesmíru
2. Co vidíme na obloze
3. Jaro, léto, podzim, zima
4. Co jsou obratníky a co polární kruhy
5. Umělé družice Země
6. K čemu slouží umělé družice
7. Jak to vypadá na Měsíci

Planety, hvězdy, galaxie

1. Slunce
2. Sluneční soustava
3. Planety
4. Co víme o planetách
5. Hvězdy
6. Galaxie

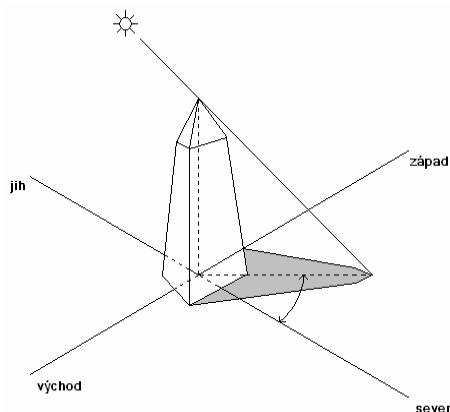
7. Jak vznikl vesmír
8. Dějiny Slunce a Země.

V této publikaci uvádí také náměty na laboratorní práce, jakými jsou například skleníkový jev nebo pozorování Měsíce, Slunce, hvězd a planet.

## 2. Stručná historie astronomie

Astronomie patří mezi jednu z nejstarších věd. Název astronomie pochází z latinských slov astron (hvězda) a nomos (počítat).

Co vedlo člověka k tomu, aby se tak brzo ve svém vývoji zabýval sledováním hvězd? Proč se tak stalo na různých místech světa, u národů, mezi nimiž nemohlo existovat žádné kulturní spojení? Ukazuje se, že šlo o hmotné potřeby každodenního života. V počátcích historie závisel život ve společnosti na střídání ročních období, denních dob a na přírodních podmínkách mnohem více, než si dovedeme představit. Mezi první abstraktní úlohy člověka vůbec patřilo určování času a směru. Především potřeba orientovat se a počítat čas naučila člověka základním znalostem o pohybu hvězd. Lidé pomocí délky a směru stínu určovali světové strany, čas, dobu slunovratů a rovnodenností, trvání roku atd. Určování času pro ně bylo mnohem složitější a obtížnější. Oběh Slunce rozděloval den na dopoledne a odpoledne. Pomocí stínu určovali, jaká doba uplynula od východu a kolik zbývá do západu Slunce. Tak postupem času přibylo počítání na hodiny i menší časové úseky. K tomu sloužil nejstarší a nejjednodušší přístroj nazývaný gnómon. Pomocí tohoto přístroje se měřila délka a směr stínu. Prakticky šlo o tyč svisle zaraženou do zarovnané půdy (obr.1).



Obr.1 – Schéma gnómonu. Délka stínu se mění v průběhu dne i v průběhu roku



Obtížnější bylo měření úseků, které byly delší než jeden den. První co se nabízelo k určování delších časových úseků, byly fáze měsíce. Přirůstání, úplněk a ubývání měsíčního srpku.

Zpravidla jde o objevy, o něž mají zásluhu první velké civilizace, které vznikaly od přelomu 4. a 3. tisíciletí př. n. l. v Egyptě, Číně, Indii, Mezopotámii a později v Jižní a Střední Americe. Tyto objevy byly založeny na rozvinutém zemědělství, které byly jedny z hlavních impulsů k rozvoji astronomie.

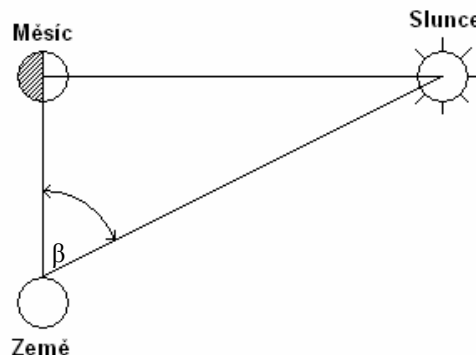
Zajímavým dokladem v Egyptě jsou pyramidy, které byly stavěny ve 3. tisíciletí př. n. l. Jejich stěny jsou obráceny přesně k hlavním světovým stranám. Přesnost těchto pyramid je překvapující, neboť odchylka od čáry sever – jih je zpravidla menší než  $1^\circ$ . Příkladem je velká Chúfevova pyramida s odchylkou  $2'30''$ . V této době nezaznamenala astronomie v Egyptě větší pokroky. Nízká úroveň egyptské matematiky byla zábranou, jež ztěžovala postup k vyšším úvahám. Skoro v téže době jako v Egyptě začíná astronomie v Indii, Číně a Mezopotámii. Koncem druhého tisíciletí pozorovali Indové i planety. Ve 3. – 2. tisíciletí př. n. l. byla v Číně přesně určena délka roku na  $365^{1/4}$  dne.

Asi největší zásluhu na rozvoj astronomie měli Řekové. Jedním z hlavních problémů, jímž žila řecká řemesla, byla znalost materiálu a jeho proměn. Otázka „co z čeho je“ se promítala i do rodící se vědy. Najdeme ji v díle prvního významného vědce Thalety z Milétu (6. st. př. n. l.). Thales snad jako první začal uvažovat, z čeho vznikl svět. Myslel si, že pralátkou je voda a že Země představuje velkou plochou kruhovou desku, jež pluje na oceánu. Podle jeho představ hvězdy, Slunce i Měsíc procházejí při svém denním otáčení oceánem pod Zemí. I když se tento výklad zdá primitivní, představoval v dějinách veliký pokrok.

Za největšího myslitele starověku je považován Aristoteles ze Staegiry (384. – 322. př. n. l.). Aristotelův zásah do astronomie vytváří podivuhodnou samostatnou kapitolu v dějinách vědy. Jeho názor přetrval v astronomii více než 1,5 tisíciletí. Aristoteles sám astronomem nebyl. Názor, jímž nejvíce ovlivnil astronomii, se týkal postavení Země ve vesmíru. Na celý problém uspořádání vesmíru šel z jiné strany. Nikoli od pohybu planet, ale od pohybů pozemských. Možnost pohybu Země zkoumal podle pohybů jejich částí. Ke zformování základních principů světa použil čtyři základní živly – kámen, vodu, vzduch a oheň. Vyšel z pozorování, že kameny vrženy libovolným směrem padají svisle dolů k zemi, naopak oheň stoupá svisle vzhůru. Přírodním místem pro kámen a vodu je tedy být „dole“, pro vzduch

a oheň „nahore“. To je Aristotelova nejobecnější představa o pohybu. Geocentrismus byl důsledkem Aristotelova nazírání na svět kolem.

Prvním z řady významných alexandrijských astronomů je Aristarchos ze Samu. Narodil se počátkem 3. stol. př. n. l. Navrhl první heliocentrický model soustavy. Předpokládal, že planety obíhají kolem Slunce. Jako první určil, že vzdálenost Země – Slunce je větší než Země – Měsíc. Domníval se, že Měsíc obíhá kolem Země. Aristarchos se problému zmocnil geometrickou úvahou. V okamžiku, kdy měsíční terč je osvětlen Sluncem z jedné poloviny, vytváří střed Slunce, střed Měsíce a Země pravoúhlý trojúhelník s pravým úhlem při středu Měsíce. Stačilo mu tedy změřit úhel  $\beta$ , který svírá směr ke Slunci se směrem k Měsíci (obr.2). Jestliže si jednu ze stran zvolíme, budeme moci odvodit z pravoúhlého trojúhelníka druhou stranu. Změřil úhel  $\beta=87^\circ$  a spočítal, že Slunce je od Země vzdáleno asi 19x více než Měsíc. Tento výsledek ovšem nebyl dokonalý, neboť ve skutečnosti je úhel  $\beta$  asi  $89^\circ 51'$ . Vzdálenost Slunce od Země je tedy asi 20x větší, než jak ji určil Aristarchos (obr.2).



Obr.2 – Schéma Aristarchova měření vzdálenosti Slunce a Měsíce při měsíční čtvrti

Alexandrijský učenec Eratosthenes (276. – 194. př. n. l.) pomocí pozorování Slunce určil rozměry Země. Měřil „na dvou místech“ Země, či lépe řečeno, důmyslným postupem obešel nutnost měřit současně na dvou místech. Věděl, že v egyptském městě Syeně v době letního slunovratu „svítí Slunce přímo do studní“. Syena leží na obratníku Raka. Měřil tedy pomocí přístroje skafě v době letního slunovratu polední výšku Slunce v Alexandrii. Vzdálenost Syeny a Alexandrie byla tehdy změřena přibližně na 5 000 stadií. Předpokládal, že Syena a Alexandrie leží na tomtéž poledníku. Eratosthenes užíval pravděpodobně egyptského stadia, jež se rovná 157,7 m.

Po převodu na dnešní míry by byl jeho výsledek překvapivě přesný, a to 39 690 km – místo dnešních 40 000 km. Přesnost těchto měření je také trochu výsledkem náhody. Syena neleží přesně na jih od Alexandrie a vzdálenost Syeny od Alexandrie není 5 000 egyptských stadií, ale podle novějších měření 5 346 stadií. V této době se stal zásadní obrat ve vědě. Vesmír se stal pro další období objektem měření.

Hipparchos z Nikaie (190. – 125. př. n. l.) viděl úkol astronomie v odhalení zákonitosti, jež se skrývá za zdánlivě nepravidelnými pohyby planet a vyvodil z pozorování geometrický tvar drah planet. Sám to dokázal pouze u Slunce a u Měsíce – u Měsíce s nevelkým úspěchem. Východiskem pro teorii Slunce bylo pozorování rovnodenností a slunovratů. Zkoumal, že mezi slunovraty a rovnodennostmi neuplyne stejná doba. Studium pohybu Slunce přivedlo Hipparcha k závěru, že Slunce potřebuje o něco více času k tomu, aby se vrátilo do téhož místa ekliptiky, než aby se navrátilo do jarního bodu. Z toho usoudil, že jarní bod se pomalu posouvá v ekliptice proti směru pohybu Slunce, takže za rok opíše 36 obloukových sekund. Tedy za 36 000 let oběhne celý kruh ekliptiky – správná hodnota je asi 26 000 let. Na základě Hipparchových a svých vlastních měření sestavil asi před 2 000 lety hvězdný katalog Klaudios Ptolemaios (90. – 160. n. l.). Tento katalog je dochovaný dodnes. Byl přílohou díla *Almagest*. Tento spis shrnoval vše, co bylo astronomii potřebné, od nauky o stavbě pozorovacích přístrojů, trigonometrických tabulek, až po katalog stálic a dokonale propracovanou planetární soustavu. Ptolemaiova soustava je geocentrická – Země je nehybným středem vesmíru, jenž je ohraničen sférou stálic. *Almagest* je arabský překlad, originál se nedochoval.

Ve středověku se až na malé výjimky vývoj zastavil. Dokonce se i tvrdilo, že Země není kulatá. Obrat nastal poté, co polský astronom Mikuláš Koperník (1473 – 1543) vyslovil názor, že středem vesmíru je Slunce, nikoli Země. Tohoto astronoma považujeme za zakladatele novodobé astronomie. Jeho systém je ve výchozích zásadách totožný s Aristarchovým heliocentrickým názorem. Pokročil nad Aristarcha jen tím, že přidal ještě třetí pohyb Země, jímž vykládal i pomalý pohyb zemské osy. Je nutné zdůraznit, že Koperník na základě zpracování pozorovacích údajů matematicky podložil svoji heliocentrickou teorii, což u Aristarcha nebylo.

Tento heliocentrický názor ale také dříve vyslovil Démokritos (460. – 361. př. n. l.). Později se ale dokázalo, že ani tento přístup nebyl shodný s výsledky pozorování. Příčinou bylo, že Koperník stále věřil na kruhové dráhy a pohyby.

K nejvýznamnějším stoupcům Koperníkova heliocentrického názoru je třeba počítat italského filosofa Giordana Bruna (1545 – 1600), italského vědce Galileia Galileio (1564 – 1642) a německého astronoma Johanna Keplera (1571 – 1630). Giordano Bruno dokázal domyslet a zobecnit Koperníkovo učení ve filozofické rovině. Skoncoval především s představou konečného vesmíru, s představou sféry stálic, která obklopuje naši sluneční soustavu a uzavírá celý vesmír. Podle Bruna je vesmír nekonečný a neomezený žádnou sférou. Jsou v něm volně rozloženy hvězdy, které jsou slunci jako je Slunce naše.

Fyzikální názory z 16. století vedly k námitkám o pohybu Země. Namítalo se, že při rotaci Země by bylo vše ze zemského povrchu smeteno, že by se rozpadaly stavby atd. Především však nenalezený paralaktický posuv poloh hvězd, vznikající v důsledku pohybu Země kolem Slunce, vedl k tomu, že někteří astronomové zamítali heliocentrismus. Tento rozpor řešil dánský hvězdář Tycho Brahe (1546 – 1601), který byl zastáncem geocentrismu. Jeho navržená planetární soustava využívala výhody heliocentrismu, ponechávala však nehybnou Zemi ve středu vesmíru. Kolem této nehybné Země obíhaly Slunce a Měsíc. Ostatní planety obíhaly kolem Slunce. Celá sféra stálic, Slunce, Měsíc a planety se otáčejí jednou za 24 hodin kolem Země.

Jeho nástupce a pomocník Johannes Kepler byl od mládí přesvědčen o správnosti heliocentrického názoru. Na základě Tychonových pozorovaných údajů odvodil Kepler tři známé zákony planetárního pohybu. Planety umístil do prostoru a zavedl trajektorii planet. Zákony popsal pohyb po elipsách, ale dynamické příčiny nenalezl.

Zatímco studoval v Praze zákony pohybu planet, v Itálii se zabýval Galileo Galilei zkoumáním pohybu pozemských těles. Od počátku svých fyzikálních výzkumů byl Galileo Koperníkovým stoupcem, tedy stoupcem heliocentrismu. Vytvořil teorii pohybu těles, která počítá s pohybem Země. Galileovi se podařilo najít i zákon, který popisuje volný pád těles a stanoví závislost mezi časem a dráhou, kterou těleso urazilo. Vyvrátil nesprávnou představu, že rychlost tělesa při pádu závisí na jeho hmotnosti.

Pro další vývoj astronomie byl velkým pokrokem vynález dalekohledu. Roku 1608 ho zkonstruoval Holanďan Lippershey. O jeho novince se o rok později dozvěděl právě Galileo Galilei. Podle zpráv zkonstruoval svůj dalekohled a byl prvním, kdo ho obrátil na oblohu a kdo objevil čtyři nejjasnější Jupiterovi měsíce (Europa, Io, Ganymed a Callisto), fáze Venuše, sluneční skvrny, strukturu Mléčné dráhy apod. Díky pozorování slunečních skvrn odhalil rotaci Slunce.

Další zvrát přinesl Isaac Newton (1642 – 1727), který odvodil zákon o přitažlivosti. Nejvýznamnějším závěrem bylo odhalení, že pro pohyb těles ve vesmíru platí stejné zákony jako pro pohyb těles na Zemi. Další rozvoj astronomie byl v podobě spektroskopie. Spektrální rozklad světla začali Kirchoff a Bunsen roku 1859 využívat ke kvalitativní chemické analýze. Ve světle Slunce byly objeveny spektrální čáry. Zaznamenáváním rozložení barvy světla hvězd dovedou astronomové určit, jak rychle se hvězda pohybuje. Materiální jednota světa tak dostává velmi pádný důkaz.

### 3. Co je to vesmír a jak vznikl?

V obrovském rozlehlém prostoru, jemuž říkáme vesmír, je vlastně všechno, co existuje. Patří tam planety, Slunce, hvězdy, Mléčná dráha a další jiné galaxie. Vznik vesmíru se odhaduje přibližně na 14 miliard let a vyvíjel se velice nerovnoměrně. Stáří vesmíru je proti délce života lidí nesmírně velké. Jestliže si položíme otázku, co si představit pod pojmem vesmír, vybaví se mnohým z nás přívlastky jako tajemný, nekonečný, záhadný a nepochopitelný. Jak uvedl J. H. Oort: „Strukturu vesmíru, tak jak nám ji odhaluje rozložení galaxií, je velmi těžké popsat v několika větách, je to nepopsatelný chaos, ale přesto chaos značně odlišný od situace, již bychom pozorovali, kdyby byly galaxie rozmístěny v prostoru nahodile.“

Na otázku jak vesmír vznikl, bylo vytvořeno několik teorií. Obecně uznávanou teorií je gigantická exploze, které říkáme Velký třesk (big bang). K Velkému třesku došlo současně všude, exploze od svého počátku vyplňovala celý tehdy velmi malý prostor. Velký třesk je začátek rozpínání prostoru samotného. Podle astronomů byl vesmír po Velkém třesku velmi horký a plný záření. Exploze stvořila hmotu, energii, prostor a čas. Hmota ve vesmíru je rozložena z hlediska kosmických těles homogenně, což odpovídá kosmologickému principu. Vesmír je homogenní a izotropní, v každém místě má stejné vlastnosti a jeho struktura nezávisí na směru.

Po několika málo sekundách po Velkém třesku se začaly vytvářet elementární částice elektrony, protony a neutrony. Až po několika stovkách tisíc let, kdy se vesmír rozpínal a ochlazoval, vznikaly samotné atomy vodíku, helia a příměsi lithia. Jakmile se začaly objevovat první shluky hmoty, vznikaly první hvězdy, galaxie, kupy galaxií. Do naší Galaxie patří Slunce, všechny hvězdy na obloze a „bílý pás“ nesčetného počtu

hvězd, který se nazývá Mléčná dráha. První generace hvězd s velkou hmotností již dokončily svůj vývoj. Při jejich explozi v závěrečných stádiích vznikly ve vesmíru další těžké prvky – uhlík, dusík, kyslík.

Teorii Velkého třesku podpořili i radioastronomové, kteří měřili rádiové záření přicházející z vesmíru. Jejich měření však bylo rušeno šumem, který přicházel ze všech směrů a nedal se nijak odstranit. V minulosti musela teplota vesmírné látky dosáhnout několika tisíc kelvinů. To znamená, že nejhojnější prvek vesmíru vodík byl ionizován. Při rozpínání vesmíru se vlnové délky fotonů záření prodlužovaly a hustota fotonů v prostoru klesala, takže dnes je toto záření pozorováno jako rádiové. Rušivý šum, dnes nazývaný reliktní, neboli zbytkové záření, má hustotu asi  $500 \text{ fotonů/cm}^3$ . Astronomové zjistili, že záření odpovídá teplotě přibližně  $2,7\text{K}$  a přichází k nám prakticky izotropně ze všech směrů se stejnou intenzitou a spektrem. Právě na tuto teplotu vesmír při rozpínání od Velkého třesku vychladnul. Zachycení tohoto záření bylo zveřejněno v roce 1965. Jeho objevitelé Penzias a Wilson byli poctěni Nobelovou cenou.

Astronomové také zjistili, že spektrální čáry ve spektrech vzdálených galaxií měly větší vlnové délky než tytéž délky ve spektrech laboratorních. Jako přijatelný byl považován důsledek Dopplerova jevu. Jestliže jsou vlnové délky čar ve spektrech galaxií větší než v laboratoři a jsou tedy posunuty k červenému, tedy dlouhovlnnému konci spektra, pak se galaxie od pozorovatele vzdalují. Edwin Hubble, americký astronom, zveřejnil roku 1929, že rudý posuv ( $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ ) spektrálních čar roste se vzdáleností galaxií. Úměrnost mezi rychlostí vzdalování a vzdáleností  $r$  se nazývá Hubbleův zákon  $v_r = H \cdot r$ . Hubbleova konstanta  $H$  pojmenovaná po americkém astronomovi, je podle dnešních měření  $H = (71 \pm 4) \text{ km.s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

### 3.1 Vesmír na ZŠ

Jak už bylo v úvodu této práce poznamenáno, nejvíce používanými učebnicemi na základní škole jsou knihy [1], [2] a [3]. V učebnici [3] je uvedena kapitola Země a vesmír, avšak vysvětlení, co vůbec vesmír představuje a jak vznikl, zde chybí. Podle mého názoru by žáci na základní škole měli alespoň okrajově vědět, jak takový vesmír vznikl.

Při mém působení na praxi na základní škole jsem měl možnost tuto kapitolu Země a vesmír vyučovat a otázce, jak vesmír vznikl, jsem se samozřejmě nevyhnul. Při výkladu většina žáků nechápala, jak takový vesmír vznikl a co se v něm děje. Velmi názornou pomůckou pro představu, jak vesmír vznikl, je model expandujícího vesmíru v podobě nafukovacího balónku. Na jeho povrchu jsou nalepeny papírové útvary, které znázorňují galaxie (obr.3).



Obr.3 - Model expandujícího vesmíru v podobě nafukovacího balónku

Při nafukování balónku žáci názorně vidí, jak se papírky – galaxie od sebe vzdalují. Mezi všemi galaxiemi existuje úplná symetrie. Pokud si žák představí, že se na kterémkoliv galaxii nachází, ostatní galaxie se od něj vzdalují všemi směry pryč. Protože to platí pro jakékoliv místo, neexistuje žádný střed, ze kterého pohyb vzniká. Pohled z kteréhokoliv místa vypadá jako pohled z centra exploze.

Pokud například nafoukneme balónek tak, že se jeho velikost ztrojnásobí, budou i vzdálenosti mezi papírky představující galaxie třikrát větší. Galaxie, které jsou ve větší vzdálenosti od jiné, se rychleji vzdalují. Čím dále jsou galaxie od sebe, tím větší kus povrchu balónku je mezi nimi a při jeho rozpínání se vzdalují rychleji.

### 3.2 Zkoumání vesmíru

Hvězdy a jiná kosmická tělesa vyzařují elektromagnetické záření a korpuskulární částice. Jak už bylo uvedeno, příkladem jsou vlny rádiové, které zachytávají parabolické antény radioteleskopů. Tak byly objeveny pulsary a kvasary. Kromě světelného záření jsou ostatní obory elmag. záření a částice neviditelné. Astronomové však našli způsob, jak získávat o vesmíru stále nové poznatky pomocí vln a částic. Mnohá tato záření zachytí zemská atmosféra, proto jsou detektory instalovány na družicích, které nad atmosférou Země krouží. Na družicích jsou speciální detektory, které jsou schopny registrovat rentgenové záření. Tyto družice objevily například tzv. černé díry, emitovaly když detekovaly rentgenové záření z akrečních disků.

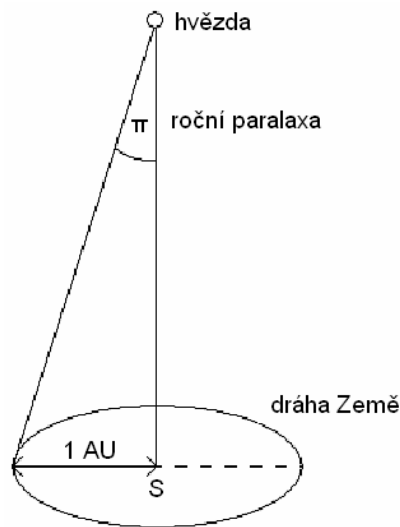
Vesmírná tělesa mohou také vyzařovat infračervené, neboli tepelné záření, které zaznamenávají družice i částečně pozemní dalekohledy. Ty jsou schopny odhalit mračna plynů, kterým říkáme mlhoviny, v nichž vznikají hvězdy. Další metodou zkoumání je analýza ultrafialového (krátkovlnného) záření. Obraz záznamu udává složení a rychlost plynů vznášejících se kolem hvězdy v jejím vnějším obalu. Některé družice objevily gama záření, což jsou elektromagnetické vlny s ohromnou energií. Zdrojem tohoto záření jsou mnohá tělesa včetně pozůstatků explodovaných hvězd.

### 3.3 Měření vzdáleností

V astronomii bychom měli při měření vzdáleností s jednotkami délky užívanými na Zemi potíže. Základní jednotkou měření vzdáleností zejména ve sluneční soustavě, se kterou se žáci na základní škole setkávají, je astronomická jednotka AU. Astronomická jednotka je rovna střední vzdálenosti Země od Slunce, což odpovídá  $1\text{AU} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$ . Světlo urazí tuto vzdálenost za  $499 \text{ s} = 8,3 \text{ min}$ . K určování vzdáleností hvězd se používá několik metod. Protože se žáci na základní škole setkávají v matematice s trigonometrií, uvádím zde trigonometrické měření vzdáleností, tzv. metodu roční paralaxy. Úhel, pod kterým bychom viděli 1 AU, označujeme roční paralaxa. Je to úhel, pod kterým by pozorovatel viděl z hvězdy velkou poloosu trajektorie Země. Parsek (pc) je vzdálenost, ze které by hvězda měla paralaxu rovnu jedné obloukové vteřině.



$$1 \text{ pc} = \frac{AU}{\text{tg}1''}$$



Obr.4 – Trigonometrické měření vzdáleností

Pro určování vzdáleností platí vztah  $r = \frac{1}{\pi}$ , kde  $r$  je vzdálenost v parsecích a  $\pi$  je paralaxa v obloukových vteřinách. Paralaxy všech hvězd jsou menší než  $1''$ . Nejbližší hvězda Proxima Centauri má paralaxu  $0,7723''$ , což odpovídá vzdálenosti 1,295 pc.

Často používanou jednotkou, se kterou se žáci setkávají, je délková jednotka světelný rok (l.y.). Je to vzdálenost, kterou světlo urazí rychlostí 300 000 km/s v průběhu jednoho roku.

$$1 \text{ l.y.} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}, \quad 1 \text{ pc} = 3,26 \text{ l.y.} = 2,06 \cdot 10^5 \text{ AU} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}.$$

U hvězd vzdálenějších nad asi 100 pc se používají složitější metody určování vzdáleností.

#### 4. Sluneční soustava

Sluneční soustavu vytváří komplex těles, která jsou Sluncem přitahována. Sluneční soustavu tedy tvoří Slunce, které má největší podíl na hmotnosti sluneční soustavy, a to asi 99,866 % hmotnosti, 8 planet – Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, jejich měsíce, trpasličí planety, planetky (asteroidy), komety,

meteory, plynové a prachové částice meziplanetární látky, umělé družice, kosmické sondy, gravitační a elektromagnetické pole. Všechna tato tělesa jsou ke Slunci přitahována gravitační silou. Síla, která je přitahuje, způsobuje zakřivení jejich dráhy. K pozorovaným skutečnostem patří, že všechny planety se pohybují kolem Slunce ve stejném přímém směru, přibližně ve stejné rovině procházející Sluncem a dráha trajektorie všech planet eliptických se příliš neliší od kruhových.

Sluneční soustava je pro nás jedinečným útvarům. Jsme omezeni pouze na vlastní soustavu, kterou nemůžeme s ničím srovnávat. Výzkum sluneční soustavy byl po dlouhou dobu omezen na pozorování z povrchu Země. Ze zemského povrchu nelze sledovat například jemnější podrobnosti na povrchu planet, veškeré pozorování je omezeno na některé oblasti spektra elektromagnetického záření. K získávání podrobnějších informací už lidé vyslali mnoho kosmických sond. Jako příklad mohu uvést přistání na Venuši a Marsu. Sondy zde změřily teplotu, tlak, chemické složení atmosfér atd. Tělesa sluneční soustavy obvykle porovnáváme s parametry Země: poloměr Země  $R_Z = 6\,378$  km, hmotnost Země  $M_Z = 5,98 \cdot 10^{24}$  kg a hustota Země  $\rho_Z = 5\,520$  kg.m<sup>-3</sup>.

#### **4.1 Planety sluneční soustavy**

Planety sluneční soustavy jsou po nové definici kategorie kosmických těles – planet definovány takto: „ Planeta sluneční soustavy je kosmické těleso, které obíhá okolo Slunce, má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace ustavila tvar (přibližně kulatý), odpovídající hydrostatické rovnováze, nejde však o měsíc. Planeta je v prostoru natolik dominantní, že ho „vyčistí“ od ostatních těles “.

Tuto definici nyní splňuje osm těles. Mezi planety tedy patří Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Ještě donedávna měla sluneční soustava planet devět. Mezinárodní astronomická unie při svém zasedání v Praze roku 2006 rozhodla, že Pluto nebude nadále patřit mezi planety a vyřadila jej ze seznamu planet sluneční soustavy. Uvedu zde stručnou historii o Plutu. Přestože už nepatří mezi planety, z astronomie nemizí.

Planetu Neptun objevil v září roku 1846 německý astronom Gottfried Galle (1812 – 1910) na základě výpočtů dráhových elementů. Polohu spočítal francouzský

astronom Urban Jean Leverriere (1811 – 1877). Neptun byl systematicky pozorován s mírnými odchylkami jeho polohy od vypočítané dráhy – 2'' - 3''. Tyto odchylky vedly k domněnce existence další planety, která na Neptun působí gravitací. Na základě výpočtů založených na nepřesných hodnotách hmotností Uranu a Neptunu, objevil v roce 1930 nové kosmické těleso Clyde William Tombaugh (1906 – 1997). Vesto Melvin Slipher (1875 – 1969) oznámil 13. března 1930 nalezení planety. Bylo to v den nedožitého narozenin Lowella. Kosmické těleso bylo pojmenováno **Pluto** – Percival Lowell (1855 – 1916), což byl zakladatel hvězdárny ve Flagstaffu, kde bylo Pluto objeveno. V té době byla hmotnost vypočtena přibližně na dvojnásobek hmotnosti Země, proto bylo Pluto zařazeno mezi planety sluneční soustavy.

V roce 1978 objevil měsíc Pluta Charón James Walter Christy (1938). Nalezená rotační perioda byla stanovena na 6,3874 dne. Pluto obíhá kolem společného hmotného středu s Charonem. Přesně stanovená hodnota poloměru Pluta je  $R_{PL} = 1\,160$  km, poloměr Charonu  $R_{CH} = 593$  km. Tyto hodnoty byly zjištěny při vzájemných zákrytech v roce 1985.

Pluto tvoří kamenné jádro. Poloměr tohoto jádra je 900 km. Nad ním následuje 200 kilometrová vrstva o hustotě  $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ . Plášť je tvořen z metanu ( $\text{CH}_4$ ), vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ), oxidu uhelnatého ( $\text{CO}$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Atmosféra Pluta v přísluní sahá až do výšky 3 200 kilometrů a je složena z dusíku ( $\text{N}_2$ ), oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ), oxidu uhelnatého ( $\text{CO}$ ) a neonu ( $\text{Ne}$ ). Tlak plynu na povrchu dosahuje až 1,5 pascalů. Průzkum Pluta stále pokračuje – byly nalezen dva další měsíce. Nix obíhá ve vzdálenosti asi 50 000 km, Hydra ve vzdálenosti 65 000 km. Mají téměř kruhové dráhy, které leží ve stejné rovině s drahou Charona. Dráha Pluta má velkou excentricitu  $e = 0,25$  a nezvykle velký sklon dráhové roviny k ekliptice – přes  $17^\circ$ . Hustota  $2 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  vyvolávala pochybnosti, spadá do intervalu mezi hodnoty hustot terestrických planet a plynných planet. Po roce 2000 byla objevována tělesa velikostně srovnatelná s Plutem, například těleso UB313, proto zvýraznily snahy po statutu planety. Pluto tedy bylo přeřazeno do tzv. trpasličích planetek s identifikačním číslem 134 340. Sonda New Horizont o hmotnosti kolem 500 kg byla vyslána 19. ledna 2006 k podrobnému studování Pluta, Charona a těles Kuiperova pásu. K Plutu a Charonu by sonda měla dorazit v roce 2015.

## **4.2 Rozdělení planet**

Planety lze rozdělit do dvou skupin. Do první, tzv. terestrické skupiny, zařazujeme tělesa, které mají chemické složení, hmotnost a snad i vnitřní stavbu podobnou Zemi. Patří sem planety Merkur, Venuše, Země a Mars. Všechna tato tělesa lze označit jako malé planety. Do druhé skupiny, tzv. velkých planet, jejichž nejvýznamnějším představitelem je Jupiter, patří dále Saturn, Uran a Neptun.

U obou skupin planet lze najít více společných charakteristik. Terestrické planety, jak už bylo uvedeno, jsou tělesa malá, jejich rozměry jsou tisíce kilometrů, mají relativně vysokou hustotu, pevný povrch s nepříliš hustou atmosférou. Obsahují těžší prvky a vyznačují se pomalou rotací. Velké, neboli obří planety, mají opačné charakteristické vlastnosti. Rozměry obřích planet jsou v desetitisících kilometrů, hustota je přibližně rovna hustotě vody, nemají pevný povrch, mají husté a rozsáhlé atmosféry. Hlavním stavebním prvkem je vodík. Obří planety mají velmi rychlou rotaci, obíhají kolem Slunce ve větších vzdálenostech a mají početné soustavy měsíců.

## **4.3 Sluneční soustava na ZŠ**

S poznatky o sluneční soustavě se žáci seznámili už v nižších ročnících v zeměpise a přírodopise. V 9. ročníku ve fyzice si žáci tyto poznatky opakují a seznamují se s dalšími informacemi z oblasti astronomie. V učebnici [3] pod kapitolou Sluneční soustava je vyjmenované, co všechno patří do sluneční soustavy, avšak podrobněji se zde autor zabývá Sluncem, Měsícem, Zemí, kometami a hvězdami. Planety jsou v této učebnici pouze vyjmenovány a formou tabulky je u nich uvedeno pouze minimum informací. Proto se v této práci budu podrobněji zabývat planetami a ostatními tělesy sluneční soustavy.

Když se podíváme do současných učebnic pro základní školy, ve všech najdeme Pluto jako planetu sluneční soustavy. Učitel, který astronomii učí, by tedy měl mít dostatečný přehled. Z učebnic se totiž děti nedoví, že Pluto už nepatří mezi planety. Podle odborníků bude trvat přibližně (5 – 10) let, než se tato novinka v učebnicích objeví. Pouze jedinou učebnicí, se kterou jsem se setkal a která zpochybňuje Pluto jakožto planetu, je učebnice [5], která vyšla v roce 2005. V kapitole o planetách

sluneční soustavy je uvedeno, že zda je Pluto planeta či nikoliv, je zatím bádáním. V ostatních učebnicích pro výuku astronomie na základní škole je uvedeno, že sluneční soustava má planet devět, tedy že i Pluto je planetou. Podle mého názoru by měli učitelé brát zřetel a ohled na tuto skutečnost.

#### **4.4 Podrobněji o planetách**

Jelikož se mezi žáky na základních školách najdou nadaní, nebo i zvědaví žáci, kteří by se rádi s informacemi o planetách a astronomii vůbec setkali, budu se dále těmito informacemi zabývat podrobněji. Například v učebnici [3] žáci nemají o planetách sluneční soustavy téměř žádné poznámky. Jsou jim poskytnuty pouze formou tabulek.

#### **4.5 Merkur**

Planetu Merkur už sice znali i starověcí astronomové, avšak astronomická pozorování nám o této planetě sluneční soustavy moc neřeknou. Pouhým okem v našich zeměpisných šířkách je není snadné vidět. Merkur je totiž planeta, která se ze všech planet nachází nejbliže ke Slunci. Pouhým okem nebo lépe i dalekohledem ji můžeme sledovat jen velmi krátce, a to buď při svítání, nebo za soumraku skrze přízemní vrstvy atmosféry. V nejlepším případě můžeme na Merкуру spatřit jen neurčité tmavé a světlé skvrny, takzvané albedové útvary. Merkur obíhá okolo Slunce ve střední vzdálenosti přibližně 57,9 miliónů kilometrů, což je asi jen jedna třetina vzdálenosti Slunce – Země. Světlo urazí vzdálenost od Slunce za přibližně za 3 minuty a 13 sekund. Záření Slunce zahřívá intenzivně povrch Merкуру. V roce 1962 se podařilo astronomům z michiganské univerzity poprvé detekovat odraz záření od Merкуру v oblasti rádiových vln. Analýza těchto rádiových vln od Merкуру ukázala, že průměr této planety je asi 4879 kilometrů, což odpovídá přibližně jedné třetině průměru naší Země. Jde o nejmenší planetu sluneční soustavy. Svou velikostí se může srovnávat s velkými měsíci některých planet.

Rozhodující význam pro poznávání vlastností Merкуру měla v letech 1974 – 1975

americká kosmická sonda Mariner 10, zkoumající planetu z blízka. Fotografie pořízené touto sondou umožňují rozlišení podrobností až stovky metrů. Až do roku 1965 nebyla známa ani doba rotace této planety. Později se zjistilo, že rotační doba Merkuru kolem své osy činí 58,6 dne. Doba jednoho oběhu Merkuru kolem Slunce se rovná 87,9 dnům, tedy tato planeta se otočí třikrát kolem vlastní osy, zatímco dvakrát oběhne kolem Slunce.

Pozoruhodná je excentricita dráhy, asi  $e = 0,206$ . Jde o největší excentricitu z drah planet sluneční soustavy. Jelikož je poloměr dráhy Merkuru celkem malý, blízkost ke Slunci nedovolí nikdy Merkuru vzdálit se od něj na naší obloze více jak o  $28^\circ$ . Tato dráha má také větší sklon k ekliptice, asi  $7^\circ$ , což je největší sklon ze všech drah planet. Dráha Merkuru leží mezi drahami Slunce a Země. Merkur se tedy musí v určitých časových okamžicích nacházet na spojnici Slunce – Země a promítá se pro pozemského pozorovatele na slunečním disku. Tento úkaz se nazývá tzv. přechod Merkuru přes sluneční disk. Ve skutečnosti je však dráha značně odkloněna vůči ekliptice, Merkur prochází z hlediska pozorovatele pod Sluncem nebo nad ním. K přechodu může dojít jen v případě, že se Země nachází poblíž prodloužení spojnice Slunce.

Význačnými charakteristikami planety Merkur jsou jeho malé rozměry a hmotnost. Jak už zde bylo uvedeno, jde o nejmenší planetu sluneční soustavy s průměrem 4 879 kilometrů. Hmotnost Merkuru, stejně jako dalších planet, lze určit podle přitažlivých účinků k jiným tělesům v jejich blízkosti. Při těsném přiblížení kosmické sondy Mariner 10 roku 1974 byla hmotnost Merkuru zjištěna přibližně na 0,055 hmotnosti Země. Velmi pozoruhodnou charakteristikou této planety je její hustota. Jelikož jde o nejmenší planetu sluneční soustavy, je hustota této planety velmi vysoká. Její hodnota byla zjištěna na  $5\,430\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , což je na planetu s takovou malou hmotností neočekávaně vysoká hodnota, která je srovnatelná s hustotou Země ( $5\,520\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Merkur tvoří výjimku mezi planetami, protože u ostatních terestrických těles hustota klesá s rozměry.

Dlouhé trvání slunečního dne vede k očekávání, že mezi dnem a nocí jsou rozdíly teplot na jeho povrchu značně veliké. Tento předpoklad se potvrdil měřením intenzity infračerveného záření z povrchu Merkuru ze Země a později ze sondy Mariner 10. Teploty na místech, které leží přímo pod Sluncem, dosahují až  $700\text{K}$ , v noci teplota klesá až ke  $100\text{K}$ . I když je tedy Merkur blízko Slunce, ochlazuje se jeho povrch stejně jako povrch našeho Měsíce. Noci na Merkuru jsou přibližně šestkrát delší než na Měsíci.

Fotografie z Marineru 10 ukázaly, že povrch Merkuru je velmi podobný povrchu Měsíce, že je také posetý krátery, které vznikly srážkami s meteority a planetkami. V oblastech na Merkur, kde se nachází velmi mnoho kráterů, můžeme mezi nimi najít i roviny. Na Měsíci je ohromné množství 20 – 30 kilometrových překrývajících se kráterů. Na Merkur se s nimi v takovém množství nesetkáme. Podobnost kráterů na Merkur a Měsíci je tak velká, že i odborník zaváhá, kterému tělesu patří. K podstatným rozdílům mezi Měsícem a Merkurem patří stavba nitra. Střední hustota Měsíce je přibližně o 60% menší, než střední hustota Merkuru. To znamená, že Merkur má nejspíše velké železné jádro, které, je-li jeho složení stejné jako na Zemi, musí sahát do vzdálenosti přibližně 1 800 kilometrů do středu planety, tedy asi do 74% poloměru Merkuru. Sonda Mariner 10 objevila, že tato planeta má dipólové magnetické pole, jehož osa má podobný směr, jako rotační osa planety. Zjistilo se, že síla tohoto pole odpovídá asi jednomu procentu síly zemského magnetického pole. Povrch Merkuru se dále vyznačuje táhlými vyvýšeninami, které lze sledovat na vzdálenost několika set kilometrů.

Dalším poznatkem kosmické sondy Mariner 10 v roce 1974 byl objev velmi řídké atmosféry, která obklopuje Merkur. Tak malé těleso, jako je Merkur, který navíc obíhá velmi blízko Slunce, si nemůže udržet atmosféru trvale. Za pomoci sond byly objeveny jen velmi slabé stopy plynného obalu. Hustota atmosféry je tak nízká, že nelze o atmosféře srovnatelné s jinými planetami uvažovat. Tlak na povrchu planety nepřevyšuje  $10^{-5}$  pascalů. Atmosféra obklopující Merkur se skládá z velké části z hélia, jehož část pochází ze Slunce. Jádra atomů byla původně součástí slunečního větru a byla zachycena právě magnetickým polem planety. V atmosféře se nachází malá množství neónu, argonu a xenonu na neosvětlené straně planety.

Na oběžnou dráhu kolem Merkuru má být v roce 2011 navedena další americká sonda Messenger. Odstartovala 3. srpna roku 2004, bude obíhat po eliptické dráze, je zaměřena jednak na průzkum samotné planety, ale i na magnetické pole. V roce 2008 a 2009 už vykoná kolem planety tři průlety.

### 4.5.1 Tabulkový přehled o planetě Merkur

Průměr planety	4 879 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	57,9 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	87,9 dne
Doba rotace	58,6 dne
Hmotnost	$0,302 \cdot 10^{24}$ kg
Hustota	$5\,430 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Počet měsíců	0

### 4.6 Venuše

Planeta Venuše se nejvíce podobá svými charakteristikami naší Zemi, ať už je to hmotností, velikostí, střední hustotou nebo množstvím pohlcované sluneční energie. V mnoha vlastnostech se naopak od Země liší. Společně s Neptunem patří mezi planety, které mají největší excentricitu. Jejich dráha se přibližuje kružnici nejvíce. Planetu zahalují neprůhledná mračna, která zakrývají povrch. Venuše i proto patří mezi nejméně prozkoumanou planetu naší sluneční soustavy.

V roce 1611 poznal Galileo Galilei, se v dalekohledu Venuše napodobuje fáze Měsíce. Galileo pozoroval, že i když se Venuše nevzdaluje na obloze od Slunce o více jak  $48^\circ$ , že i přesto prochází fázemi mezi první a poslední čtvrtí. Rovněž pozoroval změnu jasnosti Venuše, neboť se mění její vzdálenost od Země. Toto pozorování vedlo k závěru, že musí Venuše obíhat kolem Slunce a nikoli kolem Země.



Obr.5 - Fáze Venuše

Venuše má velmi pomalou rotaci kolem osy, přibližně 243 dne. Smysl rotace Venuše je opačný (retrográdní) než u ostatních planet. Obíhá po eliptické dráze



s výstředností  $e = 0,0068$ . Velká poloosa měří asi 108,2 milionů kilometrů, tedy asi tři čtvrtiny vzdálenosti Země – Slunce, a je nakloněná vůči rovině oběžné dráhy Země o  $3^{\circ}23'40''$ . V době dolní konjunkce (přisluní) se Venuše přibližuje k Zemi na vzdálenost 40,7 milionů kilometrů. Jde tedy o nejbližší planetu naší Země. V době horní konjunkce (odsluní), kdy se nachází na protější straně od Slunce, se od Země vzdaluje až na vzdálenost 258 milionů kilometrů, což odpovídá přibližně čtrnácti světelným minutám. Jak bylo uvedeno, Venuše se některými charakteristikami podobá Zemi. Její průměr je 12 103,7 km a hustota  $5\,200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , Země asi  $5\,520\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . I když se svými rozměry a hustotou podobá Zemi, vyznačuje se velmi slabým magnetickým polem.

Neprůhledná atmosféra je nepřístupná pozorováním ve viditelném světle, není však překážkou pro radarové vlny. Pomocí nich lze získávat informace o povrchu planety, měřit výšku hor a hloubku údolí, neboť povrch Venuše je velmi nerovný. Na Venuši nejsou žádné oceány ani moře, proto nemůžeme měřit výšky k hladině moře, pouze k určitému průměrnému poloměru Země. Mezi nejvyšším a nejnižším místem je značný výškový rozdíl až 13 km. I přesto patří Venuše mezi „hladší“ planety než je Země a na rozdíl od obdobných útvarů na Měsíci jsou krátery o mnoho mělkší. Velká převýšení od 1,5 km do 10,6 km nad středním poloměrem najdeme na 8% povrchu planety. Tyto převýšení připomínají pozemské kontinenty – největší z nich je Aphrodite Terra, která má rozměry zhruba (3 200 x 9 800) km. Můžeme tedy usoudit, že povrch Venuše je velice různorodý a pestřejší, než například povrch Merkuru. Systematický průzkum Venuše radarem ze Země ukázal, že se svým tvarem liší od koule méně než například Mars. Stejně jako na Měsíci nebo již zmíněném Merkuru jsou tyto útvary dopadového (impaktního) původu. Vznikly při srážce Venuše s velkými meteory o průměru asi 1 km. Je pochybností, že by meteory menší než několik desítek metrů, mohly proniknout tak hustou atmosférou, jakou má Venuše, až k povrchu. Na formování povrchu Venuše se podílela pravděpodobně i vulkanická a tektonická činnost.

Atmosféra je největší pozoruhodností této planety. Má zhruba stokrát větší hmotnost než zemská. Spektroskopicky se podařilo ze Země stanovit, že asi 97% atmosféry Venuše tvoří oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), (1 - 3)% dusík a hélium, neon a argon. Celkový obsah argonu je až 500krát a neonu dokonce 2 700krát vyšší, než v atmosféře Země. Vysoký obsah oxidu uhličitého, příměsí například  $\text{SO}_2$  a dalších plynů jsou hlavní příčinou skleníkového efektu a tím vysoké teploty povrchu Venuše. První měření

rádiového záření v oboru centimetrových vlnových délek, která v roce 1956 provedl C. H. Mayer se svými spolupracovníky, naznačovala teplotu neuvěřitelně vysokou okolo 350°C. Mezníkem byl rok 1960, kdy Carl Sagan publikoval model atmosféry Venuše, v níž se uplatňoval skleníkový efekt. Roku 1967 následná měření sond Veněra a Mariner 5 tento model potvrdily. Přistávací moduly sond naměřily na povrchu Venuše teploty mezi (450 - 485)°C ve dne i v noci, atmosférický tlak na povrchu až 90krát větší než na Zemi. Pro představu uvádím, že ve výšce asi 250 km nad povrchem Venuše začíná atmosféra s hustotou  $10^{-12}$  kg.m<sup>-3</sup>, která ve výšce asi 125 km vzroste na  $10^{-7}$  kg.m<sup>-3</sup>. Teplota ve výšce 250 km dosahuje kolem 27°C a klesá ve výšce 100 km na -93°C. Odtud pak k povrchu roste. V nižších vrstvách atmosféry se začíná vyskytovat oblačnost, která je poměrně hustá a odráží 75% dopadajícího slunečního záření. Oblačnost sahá do výšky asi 70 km. Odrážení slunečního záření je jeden z důvodů, proč je Venuše po Slunci a Měsíci nejjasnější těleso na obloze. Složení nejvyšší vrstvy oblaků o tloušťce asi 5 km, je nesrovnatelné s pozemskými oblaky. Oblaka na Venuši jsou složena z kapiček kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) s průměrem okolo 1 μm. Jejich hustota se odhaduje asi na 300 kapiček na centimetr krychlový. Na hranici oblačné vrstvy je teplota asi 2°C, tlak dosahuje polovičních hodnot než na povrchu Země. Dohlednost je v této vrstvě asi 6 km a je tedy poměrně velká.

#### 4.6.1 Tabulkový přehled o planetě Venuši

Průměr planety	12 103,7 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	108,2 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	224,70 dne
Doba rotace	243,02 dne
Hmotnost	$4,869 \cdot 10^{24}$ kg
Hustota	$5\,200$ kg.m <sup>-3</sup>
Počet měsíců	0

### 4.6.2 Skleníkový efekt

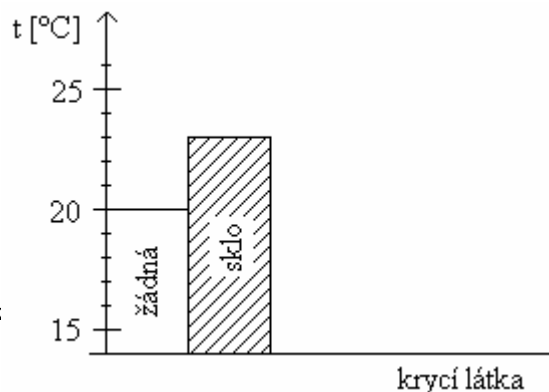
Při studování literatury určené pro výuku na základních školách jsem narazil v učebnici [4] na námět laboratorní práce na téma skleníkový jev. Stručně zde uvedu, co představuje. Skleníkový efekt zahřívá povrch planety a spodní vrstvy ovzduší nad rovnovážnou hodnotu. Malá část slunečního záření dopadajícího na povrch planety se pohltí v atmosféře, část se ihned rozptýlí do meziplanetárního prostoru a zbytek pronikne k povrchu. Záření je povrchem pohlceno a dochází k ohřátí. Zahřátý povrch vyzařuje, nikoliv však v optickém oboru spektru, ale v infračerveném. Jsou-li v atmosféře obsaženy tříatomové molekuly, například  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a další, pak atmosféra toto záření pohlcuje, zahřívá se a opakovaně otepluje povrch. Molekuly, které infračervené záření pohlcují, mohou být jako v případě Venuše součástí atmosféry, nebo jako v případě Země soustředěny v oblacích.

### 4.6.3 Laboratorní práce

Laboratorní práce probíhá tak, že se místo atmosféry použijí sklo a plexisklo, případně další materiály. Dále jsou potřeba ploché misky, několik stejných teploměrů, černé papíry a stolní lampy asi se 100 W žárovkami.

Misky opatříme černým papírem, položíme do každé teploměr a ze vzdálenosti 10 cm každou osvětluje. Až se teploty ustálí, zapíše se do tabulky (měly by být stejné, protože na ně dopadá stejné záření). Poté se nechá jedna miska odkrytá a ostatní se pokryjí průhlednými látkami – sklo, plexisklo, polyethylen. Misky opět necháme osvětlovat a po ustálení teplot se zapíše hodnoty opět do tabulky. Následně žáci sestaví graf podle naměřených hodnot.

Krycí látka	Teplota [°C]
žádná	
sklo	
plexisklo	



Obr.6 – Tabulk

Žáci v závěru dospějí, která z jejich vybraných látek způsobuje výrazný skleníkový efekt.

#### 4.7 Země

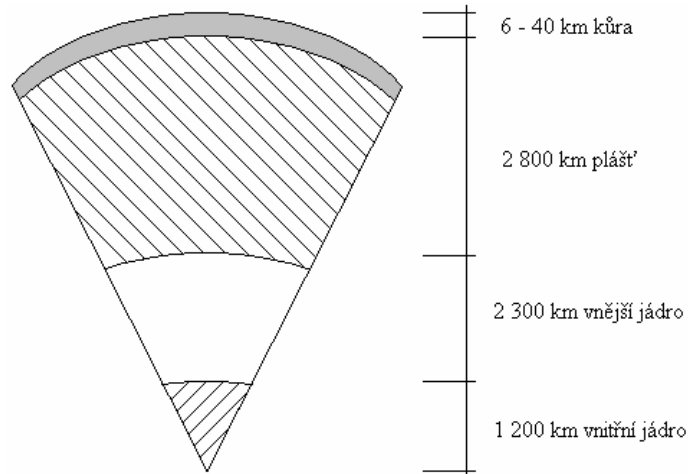
Analýza nejstarších hornin ukazuje, že se stáří Země odhaduje asi na 4,67 miliardy roků, a to s možnou tolerancí  $\pm (10 - 20)$  miliónů let. Stáří hornin určujeme na základě rozpadů radioaktivních atomů. V první etapě vývoje byla Země tekutá a horniny na ní ještě neexistovaly. Musela tedy vzniknout zhuštěním hmoty v pevném stavu. To znamená, že teplota prostředí, z něhož Země vznikla, nemohla přesáhnout několik set stupňů. Jestliže však Země vznikla jako chemicky pevné těleso, musela uplynout dlouhá doba, aby postupným zvyšováním vnitřního tepla došlo k vytavení železa a ostatních kovů z hornin. Zemskou přitažlivostí byly kovové kapky přitahovány do středu Země. Tak se nakonec vytvořilo pevné kovové jádro. Zatímco probíhal tento proces, lehčí kovy utvořily plášť a kůru naší planety. Nespočetné zbytky hornin nejstarších částí zemského povrchu se odhadují na stáří 4 miliardy let.

K názoru, že Země je kulatá, dospěl jako první Pythagoras na základě tvaru stínu Země. Díky přesným měřením ze zemského povrchu a družic již dnes víme, že Země není přesná koule, ale že je na pólech zploštělá. Můžeme tedy říci, že Země má tvar rotačního elipsoidu, tzv. geoidu, k němuž došlo vlivem odstředivé síly zemské rotace. Protože je Země zploštělá, její polární poloměr je 6 357 km a rovníkový 6 378 km. Země se ve sluneční soustavě nachází mezi Venuší a Marsem. Vzdálenost od Slunce není stále stejná. V přísluní, tzn. v nejbližším bodě dráhy ke Slunci, je vzdálena

147 mil. km (2. – 5. ledna) a v odsluní, kdy se nachází nejdále od Slunce, je tato vzdálenost 152 mil. km (1. – 5. července). Pokud je Země ve větší blízkosti ke Slunci, pohybuje se rychleji. Protože se nachází blíže ke Slunci v období zimy na severní polokouli, je u nás delší léto. Země má třetí nejmenší výstřednost v planetární soustavě  $e = 0,0167$ . Světlo ze Slunce k nám dorazí asi za 500 s. Hmotnost Země je přibližně  $5,98 \cdot 10^{24}$  kg. Pro rozvoj života na Zemi bylo důležité, že se kolem své osy otáčí podstatně rychleji, než jak dlouho obíhá okolo Slunce. Díky tomu se jednotlivé oblasti na Zemi neochlazují ani nepřehřívají a den a noc se střídají dostatečně rychle

Země vykonává dva základní pohyby – rotační a oběžný. Otočí se okolo své osy za 23h 56m 4s. Tento časový interval se označuje jako hvězdný den. Doba, za kterou Země oběhne okolo Slunce, nazýváme rok. Doba oběhu je 365d 5h 48m 46s a nazývá se tropický rok. Rozumí se tím doba, která uplyne mezi dvěma průchody Slunce jarním bodem. Z důvodu pohybu jarního bodu potřebuje Země k úplnému oběhu poněkud delší dobu 365d 6h 9m 9,5s, která se nazývá siderický rok. Jednou za čtyři roky nastává tzv. přestupný rok, který trvá 366 dní. Rozdíl v oběhu se vyrovnává přidáním jednoho dne, únor má místo 28 dní dnů 29. Zemská osa svírá s rovinou ekliptiky stále stejný úhel  $66,5^\circ$ , což způsobuje střídání ročních období.

Planeta Země je složena z několika vrstev. Od středu planety je to vnitřní tuhé jádro, vnější plastické jádro, plášť a pevná zemská kůra. Nad těmito vrstvami se nachází zemská atmosféra. Průměrná hustota Země je přibližně 1,6krát větší, než hustota povrchových hornin. Jak už zde bylo uvedeno, zploštění planety závisí nejen na velikosti Země a úhlové rychlosti její rotace, ale i na rozložení hmoty v nitru planety. Studium seizmických záznamů o zemětřeseních bylo zjištění, že je Země složena ze dvou odlišných částí. První částí je jádro, které sahá až do vzdálenosti 3 500 km od středu, druhou částí je plášť sahající do vzdálenosti 2 800 km, který je pokrytý (6 – 40) km zemskou kůrou. Jádro svým objemem představuje tedy jen 16% celé planety, zbylých 84% jejího objemu je plášť s kůrou.



Obr. 7 - Tloušťky vrstev Země

Při přechodu z pláště do jádra stoupá hustota asi z  $5\,700\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  na  $9\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  při tlaku asi 140 mil. kPa. Taková velká změna hustoty svědčí o tom, že se kapalné jádro a pevný plášť liší i svým chemickým složením. Vysoká hustota  $9\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nám říká, že je jádro složeno z těžších prvků. I když tedy zaujímá jádro jen 16% celkového objemu Země, je v něm soustředěno přibližně 31,4% hmotnosti planety. Uvnitř tohoto „kapalného“ jádra o tloušťce 2 300 km existuje ještě vnitřní jádro tloušťky 1 200 km, jež je pevné. Co se týká celkového chemického složení Země, nejvíce se na hmotnosti podílí železo (39,8%), které je převážně v jádře, dále kyslík (27,7%), křemík (14,5%), hořčík (9,7%) a nikl (3,5%). Jádro je tedy složeno převážně ze železa a příměsí niklu a mimo něj se vyskytují sloučeniny železa. Celkem tedy 31,4% hmotnosti je soustředěno v jádře, 68,1% v plášti a 0,5% v kůře. Teplota na hranici mezi jádrem a pláštěm nepřesahuje teploty vyšší než  $6\,000^\circ\text{C}$ . Tatáž teplota zřejmě panuje v celém jádře Země. Vnitřní teplota je tak vysoká, že udrží kovové jádro v roztaveném stavu.

Povrchu nejbližší vrstva naší Země, jejíž tloušťka je asi (6 – 40) km, je zemská kůra, která společně se svrchním pláštěm (4 000 km) tvoří litosféru. Svou hmotností představuje méně než 0,01% celkové hmotnosti planety. Kůru tvoří horniny, z chemického hlediska jsou hlavními složkami těchto hornin kyslík, křemík a hliník. Po nich následuje železo a další prvky v menším množství. Nejhořejší vrstva naší planety tvoří kontinenty a hydrosféra. Tuto vrstvu nazýváme vnější kůrou. Vnější kůra je obklopena plynným obalem, tzv. atmosférou. Nejvýznamnějšími složkami zemské atmosféry jsou dusík, který tvoří 75,5% její hmotnosti a kyslík se zastoupením 23,1%

hmotnosti. Po nich následují prvky, jako jsou neon, hélium, argon a další. Až na vodní páru a kyslíčnick uhlíčitý je složení atmosféry až do výšky 100 km poměrně stejné. Celková hmotnost atmosféry činí přibližně  $5,3 \cdot 10^{18}$  kg. Atmosféra rozptyluje sluneční záření, v noci naopak brání rychlému ochlazení zemského povrchu a chrání před škodlivým kosmickým zářením. Atmosféru tvoří několik vrstev. Nejnižší vrstvu nazýváme troposféra, jejíž průměrná výška je (11 – 14) km. V troposféře klesá teplota s výškou, jež na její horní hranici dosahuje (-45 až -85)°C. Nad touto nejnižší vrstvou se nachází stratosféra. Nazýváme ji tak proto, že pokles teploty, který pokračuje se stoupající výškou, se zastavuje asi na teplotě 218K. Ve větších stratosférických výškách pak teplota opět stoupá. Stratosféra dosahuje až do výšky (50 – 60) km. Ve výškách (60 – 80) km je ionosféra, kde se vzduch nachází již velmi řídký a dochází zde k ionizaci atomů a molekul vzduchu. Nad touto vrstvou je exosféra, jíž naše planeta hraničí s meziplanetárním prostorem.

#### 4.7.1 Tabulkový přehled o planetě Zemi

Průměr planety	12 745,6 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	149 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	365,26 dne
Doba rotace	1 den
Hmotnost	$5,98 \cdot 10^{24}$ kg
Hustota	$5520 \text{ kg.m}^{-3}$
Počet měsíců	1

#### 4.8 Mars

Planeta Mars je druhým nejbližším sousedem naší Země. Je také druhou planetou, na níž sondy přistály. Obíhá okolo Slunce ve vzdálenosti asi 1,5 násobku vzdálenosti Země – Slunce, tedy přibližně 228 milionů kilometrů, po značné výstředné dráze s výstředností  $e = 0,093$  jednou za 1,03 pozemských roků. Mars se při svém oběhu přiblíží nejbližše Zemi na vzdálenost 55,5 mil. km v době opozice, kdy se Země nachází

mezi Sluncem a Marsem. Astronomové stanovili rotační dobu Marsu na 24h 34m 23s, což je podobná rotační doba, jakou má Země. Tedy i na Marsu probíhají změny ročních období, které jsou ale 2krát delší. Další, velice podobnou vlastností Marsu a Země, je jejich sklon rotační osy. Rotační osa Marsu má sklon  $23^{\circ}59'$ , rotační osa Země  $23^{\circ}27'$ . Poloměr Marsu je s porovnáním naší Země asi dvakrát menší, což odpovídá hodnotě 3 402 km. Jak už bylo uvedeno v kapitole o Merkuru, hmotnost jakéhokoliv vesmírného tělesa určujeme podle účinků přitažlivosti na jiná tělesa. V případě Marsu se nemusíme opírat o poruchy, které jeho hmota způsobuje v pohybu soustavy planet. Na základě pozorování pohybů kosmických sond byla zjištěna hmotnost Marsu asi na 11% hmotnosti Země, tj. přibližně  $6,419 \cdot 10^{23}$  kg. To znamená, že i hustota Marsu je nižší, asi  $3\,930 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Podobně jako u Země je působením odstředivých sil zploštění. Polární poloosa je asi o 17 kilometrů kratší, než poloosa rovníková.

Povrch Marsu je pokryt z mnoha druhů terénu, ať už jsou to hory a pohoří, kuželovité obří sopky, kruhové krátery, údolí, kaňony a roztáhlé oblasti připomínající písčité pouště. Základny sopek mají průměr několik stovek kilometrů. Svahy sopek tvoří nerovný terén se stopami lávových proudů. Krátery vznikly procesy bombardování povrchu meteority, vulkanickou a tektonickou činností, působením větrů atd. Výrazným terénem Marsu jsou krátery. Na severní polokouli je mnohem méně kráterů, než na polokouli jižní. Na jižní polokouli se nachází největší kráter Hellas o průměru přes 2 000 km a hloubce téměř 4 km. Krátery na severní polokouli jsou mladší a mají zachovány detaily. Není to způsobeno slabším bombardováním, ale větší a starší krátery byly zahlazeny vulkanickými výlevy. Plocha s krátery připomíná povrch Měsíce. K větší vnitřní aktivitě na Marsu jsou krátery převážně vulkanického charakteru. Jsou plošší než na Měsíci. Tyto rozdíly jsou důsledkem vodní a větrné eroze. Jestliže na povrchu Marsu pomineme největší sopku sluneční soustavy Olympus Mons, je mezi nejvyšším a nejnižším místem povrchu rozdíl asi (12 – 14) km. Tato sopka je vidět i pozemským teleskopem jako tmavší skvrna s průměrem asi 600 km, převyšující terén o 25 km. Příčinou velkých rozměrů útvarů je malá gravitace. Gravitační zrychlení na povrchu Marsu je  $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Sondy objevily na Marsu také kanály, z nichž největší má délku asi 1 500 km a šířku až 200 km. Kanály připomínají koryta řek. Proto se jejich vznik připisuje působení tekoucí vody. Jedním z nejpodivuhodnějších útvarů je oblast kaňonů zvaná Valles Marineris, která je asi 2 700 km dlouhá a 500 km široká. Kaňony jsou výsledkem vulkanické a tektonické činnosti, vymizení povrchových vrstev a vodní eroze.



V okolí severního a jižního pólu se nachází tzv. polární čepičky. Jelikož mají tyto polární čepičky bílou barvu, jde o místa tvořena buď ledem, nebo tuhým oxidem uhličitým ( $\text{CO}_2$ ), popřípadě směsí obou látek. Ukázalo se, že v čepičkách je skutečně obsažena voda a nad čepičkami nalezly sondy zvýšený obsah vodních par. Z toho se usuzuje, že voda v tuhém stavu, tedy led, tvoří hlavní složku polárních čepiček. Obsah vody v těchto místech převyšuje až 100 000krát obsah vody v atmosféře.

Pomocí sond vyslaných na Mars se zjistily velmi proměnlivé teploty a chemické složení atmosféry. V době, kdy je Mars nejsilněji ozařován Sluncem, zdvihají se na povrchu písečné bouře. Mimo tyto bouře je atmosféra Marsu průzračná. Co se týká atmosférického tlaku je na povrchu asi stokrát nižší, než na Zemi. Podobně jako na Venuši je atmosféra převážně tvořena oxidem uhličitým ( $\text{CO}_2$ ), a to z 96%, dále obsahuje 2,7% dusíku, 1,6% argonu a pouze (0,3 – 0,4) % kyslíku. Zbytek tvoří stopy oxidu uhelnatého, ozónu a vodních par. V atmosféře Marsu se vyskytují i oblaka tvořena ledovými krystalky, které připomínají pozemské mraky. Vnější část atmosféry se podle průzkumu sond skládá z atomárního vodíku. Atmosféra sahá až do výšky 20 000km nad povrch planety. Teplota této vodíkové koróny dosahuje asi  $80^\circ\text{C}$ . Atmosféra se ohřívá od povrchu Marsu. Měření sond ukázalo velký pokles teploty s výškou, a že průměrná teplota na povrchu se pohybuje několik desítek stupňů pod bodem mrazu, přibližně kolem  $-50^\circ\text{C}$ . V ranních a nočních hodinách byly naměřeny teploty až kolem  $-100^\circ\text{C}$ . Každodenní změně teploty tedy odpovídá rozdíl až  $50^\circ\text{C}$ , která proběhne během 12 hodin.

Při zkoumání složení půdy se zjistil obsah křemíku asi na (15 - 30)%, železa 14%, vápníku (3 - 8)%, síry až 6%, hliníku (2 - 7)%, titanu (0,5 - 2) % a draslíku s chlorem asi 2%. Průměrná hustota Marsu je  $3\,934\text{ kg}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Na rozdíl od Merkuru nemá planeta Mars ve svém nitru žádné kovové jádro. Usuzujeme tak podle malého magnetického pole. Magnetometry na palubě Marineru neobjevily žádný magnetický moment, který by byl silnější než desetitisícina momentu zemského. V roce 1972 zjistily sondy Mars 2 a 3 existenci magnetického pole o intenzitě  $2,4 \cdot 10^{-2}\text{ Am}^{-1}$ . Toto magnetické pole je ve srovnání s magnetickým polem Země podstatně slabší. Bylo zjištěno i na Sluncem neosvětlené straně planety.

#### 4.8.1 Tabulkový přehled o planetě Mars

Průměr planety	6 804 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	227 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	686,96 dne
Doba rotace	1,03 dne
Hmotnost	$0,6419 \cdot 10^{24}$ kg
Hustota	$3\,934 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Počet měsíců	2

#### 4.9 Jupiter

Planeta Jupiter je po Venuši nejnáze pozorovatelnou a zároveň planetou s největší hmotností ve sluneční soustavě. Její hmotnost je 2,5krát větší, než hmotnost všech planety dohromady. Hmotnost této planety se uvádí na  $1,899 \cdot 10^{27}$  kg. Ale i když jde o nejhmotnější planetu, rotuje kolem osy nejrychleji. Rotace dosahuje na rovníku rychlosti až  $12,57 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ , čímž vzniká odstředivá síla, která způsobuje zploštění planety na pólech. Rovníkový průměr Jupitera je 142 984 km, polární 133 708 km. Ovšem okolo Slunce obíhá planeta pomalu. Délka jednoho roku trvá na Jupiteru asi 12 pozemských let, což je vzhledem k poloměru dráhy ( $778 \cdot 10^6$  km) pochopitelné. Je to tedy více než pětinasobek vzdálenosti Země od Slunce. Dráha Jupitera má poměrně malý sklon k ekliptice a malou excentricitu. Průměrná hustota této planety je určena přibližně na  $1\,330 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tedy o málo větší, než hustota vody.

Jupiter je převážně kapalné těleso s malým pevným jádrem a tenkou atmosférou asi 1 000 km. Jádro planety dosahuje až teploty  $35\,000^\circ\text{C}$  a vydává asi dvakrát více tepla, než přijímá od Slunce. Tlak v jádře dosahuje až  $10^7$  MPa. Vzhledem k větší hustotě se těžší prvky nacházejí v jádře Jupitera. Jádro planety je obaleno tzv. kovovým vodíkem, jež je velmi důležitý pro generování magnetického pole. Nad touto vrstvou z kovového vodíku je vrstva molekulárního vodíku s heliem, jež přechází z fáze kapalné na fázi plynou. Jupiter má velmi silné magnetické pole a radiační pásy. Magnetosféra planety je velmi vysoká, sahá až ke dráze Saturnu a je ovlivňována rychlou rotací planety. V ní obíhají Jupiterovy měsíce, které byly nalezeny v oblasti s vysokou

hustotou nabitých částic. Zde působí interakce magnetického pole s některými měsíci Jupitera a se slunečním větrem. Týká se to galileovských měsíců (Io, Europa, Ganymédes a Callisto) a měsíce Amalthei. I když je sice Amalthea těleso poměrně malé, obíhá přímo v jádru radiačních pásů a zachycuje a urychluje velké množství nabitých částic. Měsíc Io ještě navíc produkuje ionty. Teplota na viditelném povrchu, tedy na hranici oblačné vrstvy je poměrně nízká, a to přibližně  $-145^{\circ}\text{C}$ , ale na nižších vrstvách mračen vystupuje až k  $0^{\circ}\text{C}$ .

Atmosféra se vyznačuje silným prouděním a obsahuje převážně vodík, helium, čpavek, metan a další prvky. Dělí se na jednotlivé systémy – tzv. pásy. V atmosféře můžeme sledovat velké víry, které připomínají světlé a tmavé ovály a skvrny. Tmavé pruhy jsou označovány jako pásy, světlé jako zóny. Světlé zóny jsou chladnější a vyšší. Tyto prvky jsou vztaženy k velmi rychlé rotaci. Největší z nich, tzv. Velká rudá skvrna, je středem anticyklonální hurikánové bouře dosahující rychlosti až  $500 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ . Je také nejchladnějším místem planety. Tato skvrna má šířku 14 000 km a její délka kolísá mezi (30 000 – 40 000) km. Na povrchu Jupitera byly objeveny i další podobné útvary, které ale byly podstatně menší.

V roce 1610, kdy na Jupiter zamířil Galileo Galilei svůj dalekohled, pozoroval čtyři jeho nejjasnější měsíce Io, Europu, Ganymédea a Callista. Sondy Voyager 1 a Voyager 2 nám v roce 1979 objevily Jupiterův prstenec, který je převážně tvořen velmi jemným prachovým materiálem. Tento nijak nevýrazný prstenec sahá od horních vrstev atmosféry až do vzdálenosti 53 000 km nad mraky planety.

#### 4.9.1 Tabulkový přehled o planetě Jupiter

Průměr planety	142 984 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	778 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	12 let
Doba rotace	9,8 hod
Hmotnost	$1899 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Hustota	$1\,330 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Počet měsíců	min 63

## 4.10 Saturn

Planeta Saturn je nejvzdálenější planetou sluneční soustavy viditelnou pouhým okem. Při porovnání s Jupiterem je těleso Saturna ještě více zploštělé. Jeho rovníkový průměr činí 120 536 km a polární pouze 108 728 km. Z toho vyplývá, že je i Saturn na svých pólech zploštělý, protože i jako Jupiter patří mezi planety s největší rotací. Doba jedné otočky činí pouze 10,656 hodin. Okolo Slunce obíhá ve vzdálenosti 1 431,8 milionů kilometrů, což je až 9,5krát větší vzdálenost než Slunce od Země. Délka oběhu okolo Slunce je 29,5 pozemského roku. Jelikož je Saturn tvořen převážně nejlehčími prvky, mezi něž patří z 97% vodík a malá příměs hélia, je jeho průměrná hustota nejnižší ze všech plyných planet - asi  $710 \text{ kg.m}^{-3}$ , což je asi o 30% menší hustota než je hustota vody.

Detailní údaje o planetě a jejím okolí jsme získali až pomocí sond. Zatím posledními sondami, které planetu zkoumaly byly Voyager 1 v roce 1980 a Voyager 2 v roce 1981. Pásová struktura na Saturnu je mnohem méně zřetelná než u Jupitera. Stejně jako Jupiter i Saturn vyzařuje více energie než od Slunce přijímá, má tedy vnitřní zdroj energie. Stavba jeho nitra je velice podobná Jupiteru, ale jeho kamenné jádro je menší. Je tvořeno převážně křemičitany a železem a je v něm soustředěna převážná část hmoty. Jelikož i Saturn má magnetické pole, předpokládáme existenci vrstvy kovového vodíku. V současné době však máme ještě málo informací o vnitřní stavbě Saturnu. Odhaduje se že jádro tvoří pouze 15% železa a zbytek je vodík. Hmotnost i rozměry jádra jsou srovnatelné se Zemí. Toto vnitřní jádro je obklopeno vnějším jádrem složeného z amoniaku, metanu a vody, které sahá asi do vzdálenosti 13 800 km od středu planety. Zbytek tvoří kapalný kovový vodík. Pomocí meziplanetárních sond byly spektroskopicky zjištěny na povrchu teploty, které neodpovídají vypočítaným rovnovážným teplotám. Vysvětlujeme to tím, že vyzařuje asi 2,5krát více tepla než kolik ho od Slunce přijímá.

Atmosféra Saturnu je vůči rozměrům planety relativně tenká a ve srovnání se Zemí rozsáhlejší. Teplota v atmosféře je snad tak nízká, že se zde směs hélia a vodíku neudrží. Hélium má větší hustotu než vodík a klesá k jádru Saturnu. Tento děj je doprovázen uvolňováním tepla, proto je atmosféra je převážně vodíková. V atmosféře bylo zjištěno velice rychlé proudění plynů, které dosahovalo proudění až rychlosti  $1\,500 \text{ km.hod}^{-1}$ . Kromě vodíku a hélia byl v atmosféře zjištěn i obsah metanu, etanu, čpavku a dalších sloučenin. Právě žlutohnědá mlha (závoj) čpavku nám zakrývá detaily

v atmosféře. Na Saturnu je chladněji, na povrchu oblačné vrstvy je teplota asi  $-130^{\circ}\text{C}$ . Podle předpokladů bylo objeveno sondou Pioneer 11 magnetické pole, které můžeme z hlediska intenzity zařadit mezi Zemi a Jupitera. Osa magnetického pole téměř přesně souhlasí s rotační osou. Úhel mezi těmito osami je menší než  $1^{\circ}$ . Toto pole je asi 1000krát silnější než magnetické pole Země, ale přibližně 20krát slabší než magnetické pole Jupitera. Na severním pólu planety je silnější než na jižním, z čehož vyplývá, že střed dipólu je od středu tělesa severně posunutý asi o 2 400 km. Magnetosféra Saturnu, v níž převládá magnetické pole planety nad meziplanetárním magnetickým polem, dosahuje šířky přibližně 3,4 milionů kilometrů. V této magnetosféře se vyskytují radiální pásy a systémy proudů nabitých částic, které převážně tvoří vysoce energetické elektrony a protony.

Prstence planety patří mezi nejkrásnější útvary pozorované dalekohledem. Tloušťka prstenců je velice malá, odhaduje se na maximálně 1 km, zatímco šířka je nejméně 65 000 km. Prstence Saturnu se člení na tisíce drobnějších prstenců. Obsahují prachové částice a úlomky do velikosti deseti metrů. V prstencích byly pozorovány elektrické výboje, což souvisí s tím, že prstence zachytávají elektricky nabitě částice z magnetosféry. Ze Země lze pozorovat tři hlavní prstence Saturnu. Mezi prstenci A a B se nachází tzv. Cassiniho dělení široké asi 5 000 km. Nejdále od planety se nachází prstenec A, jehož šířka se udává na 15 700 km. Uvnitř tohoto prstence jsou tři další prstence E, F, G objevené sondami. Střední, nejjasnější prstenec B, je široký asi 25 000 km. Uvnitř tohoto prstence je velmi slabý, tzv. krepový prstenec C, široký 12 500 km, který tvoří stovky jednotlivých prstýnků. Nejbliže planetě se nachází prstenec D, jež začíná u oblačné pokrývky Saturnu. Protože jsou prstence skloněny k rovině oběžné dráhy o téměř  $27^{\circ}$ , mění se jejich poloha vůči zemskému pozorovateli. Co se týká chemického složení částic, jde převážně o částice obalené ledem nebo o led samotný.

Saturn má asi 26 měsíců. Největším měsícem Saturnu je Titan, jehož průměr je přibližně 5 150 km. Jde o měsíc, který má hustou atmosféru z metanu a dusíku. Atmosféra je do výšky asi 200 km zcela pokryta neprůhlednými mračky. Titan je z velké části složen z vody (ledu), teplota na povrchu dosahuje  $-180^{\circ}\text{C}$ . K dalším měsícům Saturnu patří například Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Ruda a další.

#### 4.10.1 Tabulkový přehled o planetě Saturn

Průměr planety	120 536 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	1 431,8 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	29,5 dne
Doba rotace	10,656 hodin
Hmotnost	$568,5 \cdot 10^{24}$ kg
Hustota	$710 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Počet měsíců	min 49

#### 4.11 Uran

Všechny předem uvedené planety sluneční soustavy pozorované na obloze jako velmi jasná tělesa, již znali starověcí astronomové. Až tedy do konce 18. století znali šest planet sluneční soustavy, a to Merkur, Venuši, Zemi, Mars, Jupiter a Saturn. Prvním, kdo Uran pozoroval, byl roku 1690 John Flamsteed. Domníval se však, že jde o hvězdu. Uran, i když je také za příznivých okolností pozorovatelný pouhým okem, byl objeven až v roce 1781 Williamem Herschelem. Planeta byla poprvé zblízka zkoumána sondou Voyager 2 24. ledna 1986, která proletěla ve výšce 81 600 km nad planetou a potvrdila existenci prstenců.

Uran obíhá okolo Slunce asi 2,9 miliardy kilometrů, tedy přibližně ve vzdálenosti dvakrát větší než Saturn, jeden oběh kolem Slunce trvá 84 pozemských let. Průměr Uranu je 50 724 km, což je téměř 4krát více, než je průměr planety Země. Co se týká hmotnosti této planety, je asi 15krát větší než hmotnost Země. Uváděná hmotnost je asi  $8,685 \cdot 10^{25}$  kg. Jeho střední hustota je asi  $1\,240 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Uran má mezi ostatními planetami sluneční soustavy zvláštní postavení pro zcela výjimečnou a neobvyklou osu rotace. Rotační osa leží téměř v rovině oběžné dráhy, zatímco u ostatních planet se příliš neodchyluje od kolmice k rovině oběžné dráhy. Rotační osa planety svírá s normálou úhel až  $98^\circ$ . Přítomnost magnetického pole umožnila stanovit poprvé dobu rotace na 17 hodin. Tato doba rotace není přesně určena, pohybuje se v rozmezí (16 – 17,5) hodin. Díky magnetickému poli, které se nachází kolem planety, je Uran

obklopen radiačními pásy, které obsahují elektricky nabitě částice. Elektricky nabitě částice – elektrony, mohou štěpit vodíkové molekuly v atmosféře, čímž atmosféra světélkuje. Magnetická osa Uranu má k rotační ose sklon kolem  $60^\circ$ . Magnetický dipól není ve středu planety, je posunutý asi o 8 000 km směrem na severní pól. Neobvyklá poloha rotační osy vede ke zvláštním podmínkám na povrchu Uranu. Uran se natáčí ke Slunci severním pólem, pak rovníkovou oblastí, jižním pólem a opět rovníkovou oblastí. Vzhledem ke sklonu osy vyplývá, že na pólech nezapadá Slunce po téměř polovinu oběžné doby, tedy po dobu 42 let.

Vnitřní stavba Uranu se podobá vnitřní stavbě Jupitera a Saturnu. Planeta má železnato – silikátové jádro o průměru přibližně 16 000 km, které je obklopeno vrstvou tekuté směsi vody, metanu, amoniaku apod. Tekutá vrstva je zdrojem magnetického pole. Teplota jádra Uranu se odhaduje na 4 000K, tlak dosahuje hodnot více než 20 000 MPa. Nad tekutou vrstvou se pak nachází plynná atmosféra, která obsahuje přibližně 88% vodíku, 12% hélia a příměsi obsahující těžší prvky. Poměr těžších prvků k vodíku je u Uranu vyšší než u Jupitera nebo Saturnu. Tato planeta má svrchní vrstvy atmosféry průzračné. Tloušťka atmosféry se uvádí na 7 000 km. Sluneční světlo jí proniká do značné hloubky a teprve tam se odráží. Uran vyzařuje do okolí o něco větší množství energie, než se k němu dostává od Slunce. Mraky na Uranu tvoří metanové krystalky, jejichž teplota je vyšší než v okolní atmosféře. Teploty při nulové hladině se odhadují na  $-225^\circ\text{C}$  a ve větších výškách stoupají. Nejvyšší vrstvy atmosféry dosahují teplotu  $480^\circ\text{C}$  na osvětlené straně, na neosvětlené straně stoupají teploty až přes  $700^\circ\text{C}$ . U Uranu byla zjištěna i nevýrazná pásová struktura atmosféry. Nad pólem, který je osvětlený, byl pozorován hnědavý závoj s tmavšími detaily. Tato pozorování prováděla HST, jenž v infračervené oblasti ukázala v atmosféře Uranu několik tmavých a světlých struktur. Rychlost atmosférických proudů se pohybuje v průměru okolo  $220 \text{ km.hod}^{-1}$ . Dosahují však i rychlosti  $600 \text{ km.hod}^{-1}$ .

V roce 1977 byly při zákrytu hvězdy Uranem objeveny prstence. Jsou velmi úzké, přibližně (2 – 10) km, kromě prstence Epsilon, který dosahuje až 100 km. Tvoří je balvany o průměru do 10 m, které mají velmi tmavou barvu. V samotných prstencích se nachází velmi málo prachu. Ten je spíše umístěn mezi prstenci. Většina těchto prstenců je značně výstředná. Za hranicemi prstenců pak obíhají družice. Oproti měsícům Jupiteru nebo Saturnu se vyznačují větší průměrnou hustotou, která převyšuje až o (30 – 65) % hustotu vody. Do průletu Voyageru 2 v roce 1986 bylo známo pět měsíců Uranu. Jedním z nejzajímavějších měsíců, u kterého byly zjištěny nejpestřejší útvary, je

Miranda. Průměr Mirandy činí pouze 500 km a je nejmenším měsícem Uranu. Její povrch tvoří pohoří, krátery a trhliny.

#### 4.11.1 Tabulkový přehled o planetě Uran

Průměr planety	50 724 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	2870 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	84 dnů
Doba rotace	16 – 17,5 hodin
Hmotnost	$86,85 \cdot 10^{24}$ kg
Hustota	$1\,240 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Počet měsíců	min 27

#### 4.12 Neptun

Po objevu Uranu, kdy se pokoušeli astronomové stanovit jeho dráhu a polohu se zdálo, že na Uran působí gravitační silou další neznámá planeta, která obíhá ve větší vzdálenosti od Slunce. V roce 1846 planetu objevil Johann Galle a jeho asistent H. d'Arrest. Planeta byla pojmenována Neptun. Jak se ukázalo později, byl již pozorován pomocí dalekohledu vícekrát, ale astronomové ho považovali za hvězdu. Neptun již není tak jasný, abychom ho mohli pozorovat pouhým okem.

Neptun se podobá Uranu svými rozměry a hmotností. Jeho poloměr je přibližně 24 764 km a jeho hmotnost je až sedmnáctinásobkem hmotnosti planety Země, tedy přibližně  $1,02 \cdot 10^{26}$  kg. Průměrná vzdálenost oběhu okolo Slunce je asi 4,5 miliardy kilometrů a doba oběhu kolem Slunce je velmi pomalá, a to 164,79 let. Rotační ose je od roviny oběhu skloněna asi o 29°. Jde o nejhustší planetu z plynných velkých planet sluneční soustavy s hustotou asi  $1\,630 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Typickým rysem této planety je jako například u Uranu pásová struktura povrchu. Jádro planety široké asi 16 000 km je tvořeno převážně z železa a silikátových hornin. Na něm se nachází vrstva čpavku a vody. Teplota v jádru se odhaduje stejně jako u Uranu asi na 4 000 K a tlak více než 200 000 MPa.



Atmosféra planety je velmi průzračná. Je tvořena z 85% molekulárním vodíkem, zbývající zastoupení tvoří helium. Planeta se vyznačuje krásným modrým zbarvením, které způsobuje přítomnost metanu pohlcujícího červenou část spektra v atmosféře. Horní vrstvy atmosféry jsou velice aktivní, což nám ukazuje Velká tmavá skvrna – dokonalá napodobenina Velké rudé skvrny na Jupiteru. Na okraji tohoto útvaru se nachází bílá oblaka z krystalků amoniaku. V atmosféře také probíhají rychlé atmosférické proudy dosahující až rychlosti  $(1000 - 2000) \text{ km.s}^{-1}$ . Sonda Voyager 2 potvrdila, že i Neptun je planetou, kolem níž krouží (4 – 5) prstenců. Zjistila však i to, že jejich mohutnost a hustota není všude stejná. V některých prstencích byla pozorována i tělesa o velikostech až (10 – 20) km. Jinak jsou prstence převážně tvořeny z jemného prachu.

I u Neptunu bylo zjištěno magnetické pole, které je generováno vodíkovou vrstvou v nitru planety. Jde o magnetické pole slabší než v případě Uranu. Magnetická osa je od rotační osy odkloněna asi o  $50^\circ$  a prochází ve vzdálenosti větší než 10 000 km od středu. Před průletem sondy Voyager 2 byly známy pouze dva měsíce – Nereida a Triton. Průlet potvrdil existenci několika dalších měsíců.

#### 4.12.1 Tabulkový přehled o planetě Neptun

Průměr planety	49 528 km
Průměrná střední vzdálenost od Slunce	4 491 mil. km
Oběžná doba kolem Slunce	164,49 let
Doba rotace	16,1 hod
Hmotnost	$102 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Hustota	$1630 \text{ kg.m}^{-3}$
Počet měsíců	13

*Poznámka:*

Počty měsíců planet se stále mění. Hodnoty uvedené v tabulkách se vztahují k dubnu 2007.

### 4.13 Měsíc

Měsíc je nejbližším průvodcem planety Země. Jde o kosmické těleso nemající atmosféru, neboť jeho hmotnost je malá a neudrží gravitační silou částice atmosféry při teplotách na Měsíci. Po Slunci jde o nejjasnější a nejsnáze pozorovatelné těleso. Vznikl asi před 4,5 miliardami let tečnou srážkou (srážka pod malým úhlem) se Zemí. Plášť Země se uvolněním energie roztavil a vznikla obálka prachu a plynu. Tato obálka postupně chladla, vznikala zrníčka prachu, která se postupně slepovala ve větší tělesa, až vznikl Měsíc. Patří k tělesům, které ovlivňuje gravitační síla. Proto zaujímá kulový tvar. U těles ve vesmíru s poloměrem nad 500 km převládá přitažlivá gravitační síla, která těleso formuje do kulového tvaru. Vzhledem k Zemi jde o poměrně velké těleso. Proto se někdy setkáváme s termínem dvojplaneta Země – Měsíc. Hmotný střed - barycentrum leží uvnitř Země – asi 1 700 km pod povrchem. Průměr Měsíce je přibližně 3 477 km. Hmotnost je asi 81krát menší, než hmotnost Země, asi  $7,350 \cdot 10^{22}$  kg. Co se týká průměrné hustoty Měsíce, je menší, než průměrná hustota Země, asi  $3\,340 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Průměrné gravitační zrychlení na Měsíci je více než šestkrát menší než na Zemi ( $g = 1,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ).

Dráha Měsíce má poměrně malou výstřednost  $e = 0,0549$ . K rovině ekliptiky je skloněna přibližně o  $5^{\circ}0,8'43''$ . Jeden úplný oběh, tzv. siderický měsíc, trvá asi 27d 7h 43m, doba mezi stejnými fázemi (tzv. synodický měsíc), trvá na dráze kolem Slunce asi 29d 12h 44m. Rotace Měsíce je vázaná a tudíž je k Zemi přivrácen stále stejnou stranou. Tuto situaci nazýváme vázanou rotací. Vlastní doba rotace je shodná s oběžnou dobou kolem Země. V současné fázi vývoje je Měsíc poměrně „chladné“ těleso. Teplota v jeho nitru pravděpodobně nepřesahuje hodnotu  $2\,000^{\circ}\text{C}$ .

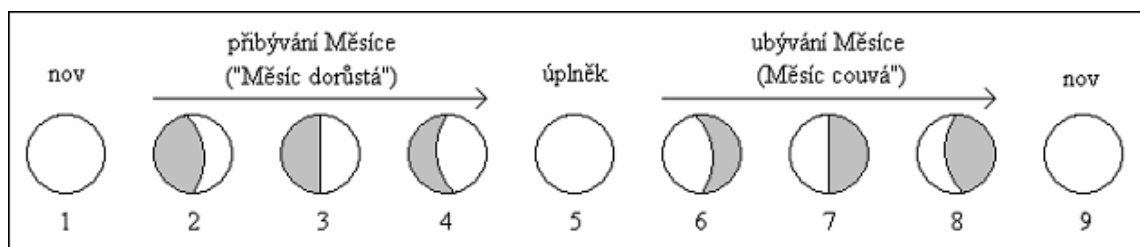
Složení povrchové vrstvy se liší od povrchové vrstvy Země. Povrch Měsíce se zpravidla skládá ze dvou odlišných typů půdy. První typ povrchu nazýváme kontinenty. Tento povrch je drsný, členitý a poměrně jasný. Druhý, rovinný a tmavý typ povrchu, se nazývá moře. Tvoří (15 – 20) % povrchu. Tento výraz je sice nesprávný, protože na povrchu voda není, ale z historických důvodů se používá. Světlé a tmavé povrchy jsou způsobeny rozdílným chemickým složením. Převládajícím typem povrchu jsou kontinenty, které z viditelné strany ze Země pokrývají asi dvě třetiny povrchu této polokoule. Moře jsou rozložena převážně kolem rovníkového pásu. Povrch je také pokryt nekonečným počtem hornatých útvarů. Nejcharakterističtějším typem jsou kulovité útvary zvané krátery. K formování povrchu Měsíce přispěly především dopady

meteorických těles a jen částečně sopečná činnost uvnitř Měsíce. Podle odhadu se na přilehlé straně k Zemi nachází až 300 000 kráterů s průměrem větším než 1 km. Na odvrácené straně jejich počet stoupá až k miliónu. Přes 70 kráterů má poloměr (50 – 100) km, z nich jich je asi 32 viditelných ze Země.

Na základě prováděných měření sond a podle rozborů hornin Měsíce soudíme, že se skládá z podobných hornin, jako zemský plášť. Na Měsíci je naprostá nepřítomnost tekuté vody. Všechny typy hornin patří k typu vulkanických hornin. Do pevného stavu přišly asi při teplotě okolo 1 100°C. Z hlediska atomárního složení je v horninách nejpočetněji zastoupen kyslík (až 60% hmotnosti měsíční kůry), dále křemík (16%), hliník (6 - 10%), vápník (4 - 6%) a další prvky vyskytující se v menším množství. Průměrná teplota měsíčního povrchu dosahuje přibližně teploty 125°C za měsíčního dne. To platí v případě, kdy se Slunce nachází v zenitu. S pokračujícím odpolednem začínají teploty klesat. Po západu Slunce toto ochlazování pokračuje. Těsně před východem Slunce je teplota asi - 190°C za noci. Průměrné měsíční teploty na Měsíci od průměrných teplot na naší Zemi se příliš neliší, protože obě tělesa dostávají od Slunce převážně stejné množství tepla.

#### 4.13.1 Fáze Měsíce

Při oběhu kolem Země dostává Měsíc různý tvar v závislosti na tom, jak velkou část jeho Sluncem osvětlené plochy vidíme ze Země. Říkáme, že Měsíc prochází různými fázemi.



Obr. 8 - Fáze Měsíce

V poloze 1 je Měsíc k Zemi obrácený neosvětlenou stranou. Tuto polohu nazýváme nov. Při novu je tedy osvětlena odvrácená strana Měsíce. Asi za týden se

dostane Měsíc do polohy 3, kde je z poloviny osvětlený od Slunce. Osvětlená část má tvar písmene D a říkáme, že „Měsíc dorůstá“. Za další týden se dostane do polohy 5, kdy je celý od Slunce osvětlený. Říkáme, že nastává úplněk. V poloze 7 je opět osvětlen jen z poloviny. Osvětlená část má tvar písmene C a říkáme, že „Měsíc couvá“. Poté se dostává opět do novu.

#### 4.13.2 Tabulkový přehled o Měsíci

Vzdálenost od Země	384 401 km
Rovníkový průměr	3 477 km
Oběžná doba	27d 7h 43m
Doba rotace	27d 7h 43m
Hmotnost	$7,350 \cdot 10^{22}$ kg
Hustota	$3\,340 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

#### 4.14 Slunce

Slunce vzniklo před asi 5 miliardami let. Vzniklo z plynového oblaku tvořeného vodíkem, héliem a prachem smrštěným v důsledku vlastní gravitace. Smrštěním se zvyšovala teplota, až vznikly podmínky pro průběh termojaderných reakcí přeměny vodíku na hélium.

Slunce je středem naší soustavy a současně i největším tělesem. Soustřeďuje v sobě převážnou část hmotnosti soustavy (asi 99,78%). Pro nás je to nejdůležitější hvězda, která je zdrojem energie, tepla a světla. Ze všech hvězd je Slunce k Zemi nejbližší. Vlivem eliptické zemské dráhy se vzdálenost Slunce od Země mění, a to od 147 100 000 km do 152 100 000 km. Střední vzdálenost je asi  $(149\,597\,892 \pm 10)$  km. Společně se Zemí kolem něj obíhají všechny planety sluneční soustavy. Slunce má asi 400 000krát vyšší jasnost, než Měsíc při úplňku. Světlo ze Slunce na Zemi dorazí asi za 8 minut.

Slunce má hmotnost přibližně  $1,987 \cdot 10^{30}$  kg, což je asi  $329,9 \cdot 10^3$ krát větší, než je hmotnost Země. Od ostatních těles sluneční soustavy se zcela odlišuje i svou velikostí. Do Slunce by se vešlo přes 1 300 000 koulí o velikosti naší Země. Průměr Slunce je 1 392 000 km, což je tedy asi 109 násobek průměru Země. Z toho tedy plyne, že hustota Slunce bude nižší, přesněji asi 1,4krát, než hustota vody. Co se týká rotace Slunce, tak rychlost rotace kolem osy, která je kolmá k rovině ekliptiky, je poměrně pomalá. V rovníkové oblasti se uvádí hodnota 25,36 dne, směrem k pólům se rychlost rotace zmenšuje asi na 31 dní.

Podle měření jde o těleso zploštělé při svých pólech – asi o 35 km. Tvar se tedy blíží kouli žhavých plynů, jež asi tři čtvrtiny podle hmotnosti tvoří vodík a čtvrtinu hélium a nepatrné množství dalších prvků. Vodík slouží jako palivo při uvolňování energie, která umožňuje Slunci zářit. U Slunce rozlišujeme nitro a pozorovaný povrch. Podle zkoumání a výsledků se ukazuje, že různé hloubky Slunce rotují různými rychlostmi – středová část rotuje rychleji než povrch, určitá vrstva mezi jádrem a povrchem zase rotuje pomaleji než povrch. Rychlost rotace závisí zřejmě s prudkými stoupavými proudy a má vztah i k teplotě, neboť v rychleji rotující vrstvě bude teplota určitě nižší.

Ze Země můžeme pozorovat povrch Slunce, který nazýváme fotosféra. Fotosféra je silná asi 300 km a její průměrná teplota činí až 5 700 K. Na povrchu Slunce se nacházejí poměrně tmavé, chladné plochy nazývané sluneční skvrny. Tyto skvrny putují v důsledku rotace po povrchu Slunce. Plyn ve skvrnách je až o 1 500 K chladnější než okolní fotosféra. Nad fotosférou se nachází chromosféra, v níž jsou nejzajímavějším projevem sluneční činnosti náhlá vzplanutí, nazývané sluneční erupce. Vyvrhují do vesmíru obrovské proudy elektricky nabitých částic. Některé z nich vyvolávají v okolí zemských pólů polární záři, jiné zase magnetické bouřky. Ze Slunce často tryskají obrovské proudy žhavého vodíku – tzv. protuberance, které dosahují výšky až 1,5 mil. km nad povrch fotosféry až do koróny. Jde tedy o vysoká oblaka (výrony) slunečního plazmatu. Na jejich tvaru se podílí magnetické pole působící po zakřivených siločarách. Chromosféra má tloušťku asi (12 000 – 15 000) km. Je to zářící, výrazně červená vrstva vodíku. Teplota chromosféry s výškou stoupá, teploty dosahují až 50 000 K. Prostým okem ji můžeme vidět jen krátce při úplném zatmění Slunce. Koróna je perleťové bílá vrstva plynné atmosféry, která dosahuje tloušťky několika milionů kilometrů. Z ní do meziplanetárního prostoru uniká každou sekundu proud rychlých elektricky nabitých částic o hmotnosti několika milionů tun. Země je od těchto částic

chráněna svým magnetickým polem. Překvapující je vysoká teplota koróny, dosahující až přes 3 mil. K. V koróně se vyskytují zvláště horká místa – koronární paprsky. V poměrně malé části objemu Slunce se uvolňuje veškerá energie. Této části říkáme nitro Slunce. Dosahuje od středu do vzdálenosti přibližně 200 000 km. Pouze v nitru jsou teplota a tlak tak vysoké, že zde mohou probíhat termonukleární reakce. Teplota slunečního nitra je až 15,6 mil. K. V nitru Slunce díky termonukleární syntéze vodíku zvolna přibývá hélium.

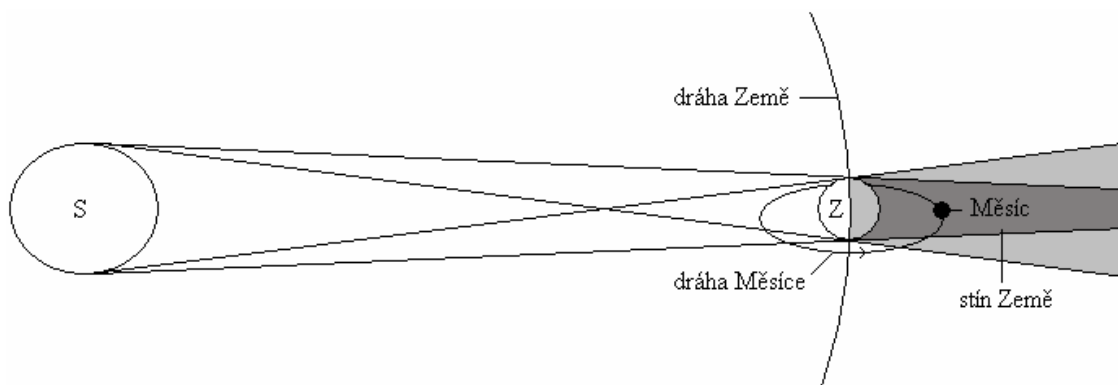
Slunce má velmi intenzivní magnetické pole, které je spojeno s řadou jevů ve fotosféře a vyšších vrstvách atmosféry – např. již zmiňované protuberance. Struktura tohoto magnetického pole je však odlišná od magnetického pole Země. Slunce totiž nemá severní a jižní magnetický pól, ale řadu tzv. aktivních oblastí, které tvoří jakýsi uzavřený systém. Vznik slunečních magnetických polí souvisí s proudy plazmatu a ionizované hmoty v hlubších vrstvách.

#### 4.14.1 Tabulkový přehled o Slunci

Vzdálenost od Země	149,6 mil. km
Rovníkový průměr	1 392 000 km
Doba rotace na rovníku	25,36 dne
Hmotnost	$1,987 \cdot 10^{30}$ kg
Hustota	$1\,400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

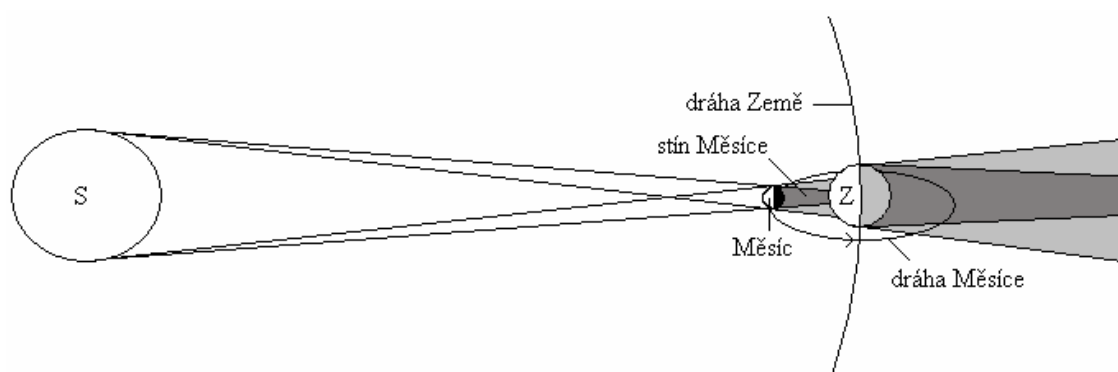
#### 4.14.2 Zatmění Měsíce a Slunce

O tom, zda nastane zatmění Měsíce nebo Slunce, rozhoduje pořadí těles Země, Měsíce a Slunce, které se při zatmění nacházejí přibližně v jedné přímce. Pokud se Země nachází mezi Sluncem a Měsícem nastává zatmění Měsíce. Jde tedy o případ, kdy se Měsíc dostane do zemského stínu. Při zatmění je Měsíc vždy v úplňku. Nachází-li se Měsíc v plném stínu Země, mluvíme o úplném zatmění Měsíce. Je-li jen část v plném stínu Země, mluvíme o částečném zatmění Měsíce.



Obr. 9 - Zatmění Měsíce

Nachází-li se Měsíc mezi Zemí a Sluncem, pak nastane zatmění Slunce. V místech na povrchu Země, kam nedopadají žádné sluneční paprsky, nastane úplné zatmění Slunce (i když protuberanci, korónu a chromosféru je vidět). V místech, kam dopadají paprsky jen z části Slunce, nastává částečné zatmění Slunce.



Obr. 10 – Zatmění Slunce

#### 4.15 Komety

Komety jsou jedny z nejpozoruhodnějších objektů na obloze. Skládají se z jádra, které je tvořeno ze silikátového prachu a ledu o hustotě zhruba odpovídající hustotě vody. Průměr tohoto jádra se pohybuje od několika set metrů, vesměs nepřesahuje velikost 10 km. Hmotnost komet je přibližně řádově do  $10^{14}$  kg.

Jádro je tvořeno křemičitými, uhlíkovými a kovovými pevnými prachovými částicemi, ledem a zmrzlými plyny. Kolem jádra komety se nachází řídká, plynná obálka, mlhavý oblak zvaný koma. Jádro a koma spolu vytvářejí tzv. hlavu komety,

kteřá je přibližně kulového tvaru. Hustota komy ubývá se vzdáleností od jádra. Stanovit rozměr kom je těžké, neboť nemá ostré obrysy. Odhady průměr kom stanovují velikost na desítky až statisíce kilometrů ( $10^4 - 10^8$  km). Jestliže se kometa přibližuje ke Slunci, koma narůstá. Rozměry se zvětšují jakmile se začne plyn vypařovat. Od určité vzdálenosti se pak při vzdalování od Slunce koma zmenšuje. Kolem komy se rozkládá oblak vodíku. Z hlavy komety se ve vzdálenosti několika AU od Slunce zpravidla vyvíjí chvost, který je složen z prachu a plynu. Když se kometa přibližuje ke Slunci, led se teplem mění na plyn, který uniká s částicemi prachu a tvoří jeden nebo i více chvostů. Pokud se kometa od Slunce vzdaluje, chvost se zkracuje. Chvosty komet jsou velmi řídké, takže přes ně můžeme pozorovat i hvězdy bez patrného zeslabení.

Podle výstřednosti a rozměrů dělíme dráhy komet do čtyř kategorií. První jsou tzv. krátkoperiodické komety, které obíhají po eliptické dráze s malou výstředností. Oběžná doba těchto komet je přibližně do 200 roků. Druhou kategorií tvoří komety s protáhlými eliptickými drahami sahajícími až za dráhu Pluta. Oběžná doba těchto komet je několik desítek tisíc let. Třetí kategorií jsou komety, jejichž excentricita je poněkud menší než 1 a poslední kategorií tvoří komety s hyperbolickými drahami. Nejtypičtějším znakem komet je ohon. Ten se však nevyskytuje u všech komet. Slabší komety vůbec chvost nevytváří. Pokud se u komet chvost vyvine, může dosahovat velikosti až  $3 \cdot 10^8$  km. Ohon se skládá z prachu a hlavně řídkého plynu.

#### 4.15.1 Halleyova kometa

Jako první si uvědomil myšlenku periodičnosti komet významný anglický astronom Edmund Halley. Po něm je také jedna z periodických komet pojmenována. První písemně historicky doložené pozorování této komety jsou z roku 240 př. n. l. Halley roku 1705 zveřejnil vypočtenou dráhu komety spolu s třicetí dalšími kometami. Halleyova kometa obíhá po protáhlé eliptické dráze jednou za přibližně (75 – 76) let. Jde o jasnou kometu. Její jádro je velmi nepravidelného tvaru a rotuje kolem své osy. Rozměry jádra jsou asi (16 x 8,5) km. V blízkosti Slunce ztrácela kometa až 60 tun vodní páry za jednu sekundu. Celková hmotnost jádra je přibližně  $10^{11}$  tun. Každým oběhem kolem Slunce ztrácí kometa přibližně jeden metr své povrchové vrstvy. Životnost Halleyovy komety se odhaduje asi na 1000 oběhů.



## 4.16 Meteority

Důkazem, že prostor mezi planetami není prázdný, jsou meteory. V době, kdy jsou v meziplanetárním prostoru, se nazývají meteoroidy. Jsou tak malé, že je v kosmickém prostoru nelze pozorovat. Obíhají kolem Slunce rychlostí až desítkami kilometrů za sekundu. Při průletu zemským ovzduším je označujeme jako meteory. Mají rychlost (11 – 72) km.s<sup>-1</sup>. Silně se zahřívají, odpařují a na obloze krátce zazáří. Patří mezi nejdynamičtější úkazy na obloze. Nejnápadnější meteory, jasnější než planeta Venuše, se nazývají bolidy. Jde většinou o velmi malá tělíška. Meteory začínají být viditelné ve výškách asi 100 km.

Po dopadu na zemský povrch je označujeme jako meteority. V meziplanetárním prostoru je nízká hustota planetární hmoty. Proto dochází ke srážkám meteoroidu s atomy nebo molekulami málo. Když meteoroid pronikne do hustších vrstev atmosféry, srážky jsou častější. Teploty na jeho povrchu dosahují kolem 2 700°C. Při průletu atmosférou ubývá hmotnost tělesa a tím se zmenšuje i jeho rychlost. Malá tělíška vůbec na zemský povrch nedopadnou, protože se rozpadnou případně vypaří už v atmosféře. Povrch meteoritu bývá roztaven a je pokryt pouze několikamilimetrovou černou kůrou.

Asi před 25 000 lety dopadl na území amerického státu Arizona meteorit vážící přibližně 900 000 tun. Vyhlobil kráter o průměru 1 200 m. Meteority, které lze nalézt na Zemi, můžeme dělit na železné a kamenné. Železné meteority mají na rozdíl od pozemských hornin vysoký obsah železa. Obsahují 92% železa, dalšími prvky jsou nikl (6-20) %, kobalt a ostatní prvky nepřesahující 5%. Jejich průměrná hustota (asi 7 800 kg.m<sup>-3</sup>) odpovídá přibližně hustotě zemského jádra. Kamenné meteority se naopak podobají zemským horninám. Tvoří je asi 36,6% kyslíku, 25,6% železa, 18,0% křemíku, 14,2% hořčíku a dalších, méně obsažených prvků (hliník, nikl, vápník, sodík).

## 4.17 Hvězdy

Hvězdy jsou kosmická tělesa zpravidla sférického tvaru. Z nich vychází elektromagnetické záření i tok částic – tzv. korpuskulární záření. Jde o největší jednoduchá plazmatická tělesa, která se skládají asi z 10<sup>56</sup> – 10<sup>58</sup> částic, převážně protonů, elektronů, jader hélia a fotonů.

Ve vesmíru se rodí neustále nové hvězdy a staré zanikají. Místem zrodu hvězd jsou prachová a plynná mračna s nízkými teplotami. Hvězdy tedy vznikají v prachových mlhovinách, jejichž převážnou část tvoří vodík. Ve velkých mlhovinách o velké hmotnosti dochází ke hmotnějším shlukům. S růstem hmotnosti roste tlak i teplota v jejich nitru. Dosáhne-li na okraji teplota asi (2 500 – 3 000) K, vznikne tzv. protohvězda (mladá hvězda). Jestliže uprostřed protohvězdy stoupne teplota přibližně na 10 mil. stupňů, začnou probíhat termojaderné reakce, při nichž se vodík mění na hélium. Protohvězda začíná zářit a stává se z ní skutečná hvězda.

#### 4.17.1 Měření vzdáleností, hmotnost hvězd

Astronomové používají na určování vzdáleností blízkých hvězd převážně metodu roční paralaxy, se kterou jsme se setkali už v kapitole 3.3. – Měření vzdáleností.

Základní poučka nám říká, že určujícím činitelem ve vývoji hvězdy je její hmotnost. Tu lze nejjednodušeji určit podle gravitačního působení mezi dvěma tělesy. Jako příklad zde uvedu, jak lze určit hmotnost Slunce:

Gravitační síla:  $F_g = G \cdot \frac{M_s \cdot M_z}{r^2}$ , kde  $M_s$  je hmotnost Slunce,  $M_z$  hmotnost Země

Dostředivá síla:  $F_d = M_z \cdot \frac{v^2}{r} = M_z \cdot \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ , kde T je oběžná dráha

$$F_g = F_d \Rightarrow M_s = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2} = 1,987 \cdot 10^{30} \text{ kg} .$$

U hvězd vzdálenějších nad přibližně 100 pc se používají složitější metody určování vzdáleností.

### 4.17.2 Zdroje energie hvězd

Hvězdy jsou plynné koule, které do kosmického prostoru nepřetržitě vyzařují zářivou energii. Při zažehnutí termonukleárních reakcí, při kterých vzniká hélium, se mohou uplatnit dva základní typy termonukleárních reakcí. Ve středu Slunce a ve hvězdách o přibližně stejné hmotnosti je teplota asi  $1,5 \cdot 10^7$  K. Látka se zde vyskytuje v podobě plazmy. Při těchto podmínkách probíhá tzv. protono – protonový řetězec (p-p řetězec). Hvězdy s větší hmotností než Slunce mají v centrální oblasti větší teplotu i tlak. U hvězd o hmotnosti nad  $1,8 M_{\odot}$  již převládá tzv. CNO cyklus. Vodíkové reakce jsou neefektivnějším způsobem uvolňování energie.

### 4.17.3 Druhy hvězd

Hvězdy ve vesmíru se vyvíjejí a zanikají. Například naše Slunce je staré přibližně 5 miliard let. Patří mezi jednoduché hvězdy. Nejpočetnější skupinu tvoří soustavy dvou hvězd, které obíhají kolem společného hmotného středu – nazýváme je dvojhvězdy. Hvězdy mohou tvořit i trojice nebo i početnější soustavy (trojhvězdy, vícenásobné soustavy hvězd - multihvězdy). Hvězdám, které patří do takové soustavy říkáme složky. Obíhají okolo sebe vlivem setrvačnosti a gravitačních sil. Tyto soustavy však jsou gravitačně nestálé.

Čím větší je hmotnost hvězdy, tím rychleji hvězda vyčerpává zásoby vodíku v jádře a rychleji stárne. Jakmile dojde k vyčerpání vodíku v jádře, hvězda se začne měnit. Rozpíná se a mění se na obra. U každé hvězdy nakonec nastanou chvíle, kdy se zásoby termonukleárního paliva vyčerpají. Poklesne tlak plynu a záření, jádro se vlivem gravitace začne smršťovat. Část hvězd může na konci svého vývoje projít explozivními procesy. Už zde bylo uvedeno, že se hvězda vyvíjí tím rychleji, čím je její okamžitá hmotnost větší.

V těsných dvojhvězdách jsou hvězdy v takové blízkosti, že se navzájem ve vývoji ovlivňují, mohou si v některých fázích vývoje hmotu předávat. Tato skutečnost má vliv na vývoj dvojhvězd. Hmotnější složka se rozpíná a předává svoji hmotu složce s menší hmotností.

Když hvězdě podobné Slunci dochází vodíkové palivo, začínají se vnější vrstvy zvětšovat a měnit na chladnější gigantickou hvězdu. Héliové jádro se smršťuje. Jde o hvězdu zvanou červený obr. Když se stane hvězda červeným obrem, teplota jejího jádra dosáhne až 600 000 000°C. Při takové teplotě probíhají reakce  $3\alpha$ , hélium se slučuje na uhlík. Uvolňuje se přitom přibližně  $\frac{1}{4}$  energie na jeden vzniklý atom uhlíku, než při vzniku jednoho jádra helia v reakcích p-p řetězce. Po vyčerpání termojaderného paliva vyhasínají termojaderné reakce. Celá hvězda se smrští na těleso srovnatelné s velikostí Země. Povrchové teplota tělesa je velká, ale protože jde o těleso tak malé, září jen slabě. Takové těleso nazýváme bílý trpaslík. Uplyne zhruba další miliarda let, než se bílý trpaslík ochladí a změní se na těleso v optickém oboru nepozorovatelné.

V závěrečných stádiích vývoje hvězd s velkou hmotností jednotlivých hvězd dochází ke gravitačnímu kolapsu. Hvězda nevydrží nápor gravitační síly a jádro se zhroutí. Následuje obrovská exploze, vzplanutí, kterému říkáme supernova. Při explozi se látka hvězdy rozptýlí do kosmického prostoru. Zbýlé jádro hvězdy může vytvořit tzv. pulsar (neutronová hvězda), nebo dokonce vznikne černá díra. Pulsar je rychle rotující neutronová hvězda, s hmotností srovnatelnou s hmotností Slunce, ale o průměru pouze asi (10 – 15) km. Při rotaci kolem své osy vyzařuje elektromagnetické paprsky v různých oblastech spektra (rentgenové, rádiové, optické, a další), které se šíří vesmírem – vysílá pulsy. Časem pulsar ztrácí rotační energii při vyzařování a perioda pulsů se zvětšuje, poklesává teplota na povrchu. Stává se z něj chladné těleso. Pozůstatky hvězd s velkou hmotností se mohou v důsledku gravitačního kolapsu zřítit do nepatrného prostoru a vytvořit tzv. černou díru. Jde u závěrečné stádium vývoje hvězd s velkou hmotností. Gravitační přitažlivá síla černé díry je tak silná, že nedovolí, aby z ní unikla nejen hmota, ale i žádné záření, například světlo.

#### 4.17.4 Hvězdokupy

Hvězdy se mohou v Galaxii seskupovat do soustav, které se nazývají hvězdokupy a hvězdné asociace. Jde o skupiny hvězd, které vznikly ve stejné době a prošly společným vývojem. Naši Galaxii tvoří všechny hvězdy na obloze včetně hvězd Mléčné dráhy a našeho Slunce. Obsahuje přibližně 100 miliónů hvězd. Vznikla asi před 13 miliardami let z počátku pomalou rotací a došlo k vytvoření kulových hvězdokup.

Ty patří k nejstarším objektům v Galaxii. Vytvářejí kulový obal disku – tzv. halo. Jejich rozměry se pohybují asi od (30 – 90) pc. Dalekohledem je vidíme jako mlhavé objekty. Jednotlivé hvězdy můžeme pozorovat jen většími přístroji. Obsahují hvězdy bohaté na vodík, které září méně než Slunce. Druhou skupinou jsou tzv. otevřené hvězdokupy. Tvoří je několik desítek až tisíc hvězd, jde poměrně o mladé útvary staré desítky až stovky miliónů let. Dosahují průměru asi (1 – 15) pc. Poslední skupinou jsou hvězdné asociace. Tato soustava hvězd je stará několik miliónů let – nanejvýš 10 miliónů a stále v ní pokračuje proces vzniku hvězd. Hvězdy se v asociacích trvale neudrží. Působením gravitačních sil se tak zamíchávají mezi ostatní hvězdy. Jejich rozměry jsou proto větší, asi (30 - 190) pc.

## **Závěr**

Cílem diplomové práce bylo utřídění a zpracování nových informací z oblasti astronomie (astrofyziky). Práce podává systematický výklad poznatků, se kterými se žáci v našem připravovaném kroužku mohou setkat. Obsah může posloužit i ostatním učitelům v dalších vyučovacích předmětech, kde se žáci s astronomií setkají - například v zeměpisu. CD - rom vytvořený na základě diplomové práce je využitelný pro žáky ve výuce, nebo i při zpracovávání referátů z jednotlivých oblastí astronomie.

## Použitá literatura

- [1] Bohuněk J., Kolářová R.: *Fyzika pro 7. ročník základní školy*, Prometheus, Praha 2000
- [2] Bohuněk J., Kolářová R.: *Fyzika pro 8. ročník základní školy*, Prometheus, Praha 2000
- [3] Bohuněk J., Kolářová R. a kol.: *Fyzika pro 9. ročník základní školy*, Prometheus, Praha 2000
- [4] Macháček, M.: *Fyzika 9. pro základní školy a víceletá gymnázia*, Prometheus, Praha 2000
- [5] Davidová, J.; Holubová, R., Kubínek, R., Weinlich, R.: *Fyzika I – 2. díl*, Prodos, Olomouc 2005
- [6] Hlad, O., Pavloušek, J.: *Přehled astronomie*, SNTL, Praha 1990
- [7] Grygar, J., Železný, V.: *Okna vesmíru dokořán*, Naše vojsko, Praha 1989
- [8] Kopal, Z.: *Vesmírní sousedé naší planety*, Academia, Praha 1984
- [9] Růkl, A.: *Obrazy z hlubin vesmíru*, Artia, Praha 1988

## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1: Porovnání průměrů planet sluneční soustavy (graf)**

**Příloha č. 2: Porovnání průměrné střední vzdálenosti planet sluneční soustavy od Slunce (graf)**

**Příloha č. 3: Porovnání hmotností planet sluneční soustavy (graf)**

**Příloha č. 4: Porovnání hustot planet sluneční soustavy (graf)**