

dojde k „přestavbě“: ceieno nura a slunce se zmeni na *ceruveno oora*. v nutru planety mohou zcela zamknout. V dalších fázích červený obr vybuchne jako nova, odvrhne svoji obálku, která bude krátkou dobu pozorovatelná jako *planetární mlhovina*. Po Slunci zůstane jen obnažené chladnoucí jádro — *bilý trpaslík*.

Ve výzkumu planetárních systémů je stále mnoho otevřených otázek. Co nás čeká v nejbližších letech?

Sonda Cassini bude podrobně zkoumat Saturn a jeho soustavu měsíců, výzkum Marsu bude pokračovat například sondami Mars Express a Mars Exploration Rover, Merkur bude mapován sondami Messenger a BepiColombo, k Plutu se vydá sonda New Horizons. Sonda Stardust má poprvé na Zem přivést vzorky prachu z komety Wild 2, Hayabusa by měla získat malý vzorek z blízkozemní planety Itokawa, meziplanetární sonda Dawn se stane oběžnicí planetek Vesta a Ceres.

Pravděpodobně objevíme stovky dalších extrasolárních planet, některé tak malé jako naše Země. Budoucí velké kosmické dalekohledy umožní získat spektra jejich atmosfér. Najdeme-li ve spektrech čáry příslušející molekulám dusíku a kyslíku, můžeme doufat, že by na vzdálených planetách mohla existovat biosféra.

Tisíce jiných překvapivých objevů však předpovědět nelze...

## Slovníček vybraných termínů

**impakt** — dopad, srážka s kosmickým tělesem. Její průběh závisí na velikostech srážejících se těles, jejich struktuře, vzájemné rychlosti, geometrii srážky nebo přítomnosti atmosféry. Někdy vzniká v místě dopadu *kráter*. V případě planety Země jsou takové krátery poměrně rychle erodovány, na Měsíci naopak přetrvávají i miliardy roků.

**ionizace** — proces, při kterém je elektronům vázaným v atomových obalech dodána energie (srážkou s jiným atomem nebo pohlcením fotonu) a tyto elektrony se pak stanou volnými částicemi.

**plazma** — ionizovaný plyn, tedy látka ve stavu, kdy jsou elektrony uvolněny od atomových jader. Kládně nabití ionty a záporně nabití elektrony způsobují, že plazma je elektricky vodivé a je výrazně ovlivňováno magnetickým polem.

**sublimace** — přeměna látky přímo ze skupenství pevného na plynné.

**termonukleární reakce** — přeměny atomových jader, jež probíhají při vysoké teplotě a tlaku (v centru Slunce je teplota přibližně 15 milionů °C a tlak  $2.5 \cdot 10^{16}$  Pa). Tehdy se pohybují jádra vodíku takovými rychlostmi, že mohou překonat vzájemnou odpudivou elektromagnetickou sílu (protony v obou jádrech jsou kladně nabitě) a přiblížit se natolik, aby se přitáhly krátkodohovou silnou jadernou silou. (Důležitou úlohu přiřítom hraje *kvantově-mechanický tunelový jev*.)

	vzdálenost od Slunce 10 <sup>6</sup> km	rovníkový průměr km	oběžná doba	rotační perioda	hmotnost kg	prům. hustota kg/m <sup>3</sup>	prům. teplota °C
Slunce	—	1 391 020	—	25 až 33 dni	1,99 · 10 <sup>30</sup>	1 400	5 500
Merkur	57,9	4 880	88 dni	58 dni	3,30 · 10 <sup>23</sup>	5 400	179
Venuše	108,2	12 104	225 dni	243 dni	4,87 · 10 <sup>24</sup>	5 200	464
Země	149,6	12 756	365,25 dne	23 h 56 min 4 s	5,97 · 10 <sup>24</sup>	5 500	15
Měsíc	384 400 km <sup>c</sup>	3 476	27,32 dne <sup>c</sup>	27,32 dne	7,35 · 10 <sup>22</sup>	3 340	~0
Mars	227,9	6 792	687 dni	24,6 h	6,42 · 10 <sup>23</sup>	3 900	-63
Ceres <sup>‡</sup>	413,9	934	4,6 roku	9,075 h	2,3 · 10 <sup>21</sup>	2 300	-90
Jupiter	778,3	142 984	11,9 roku	9,9 h	1,90 · 10 <sup>27</sup>	1 300	-108
Halley <sup>♄</sup>	87,8 až 5 234	16	76 roků	2,2 dne	5 · 10 <sup>13</sup>	100	~-100
Saturn	1 429	120 536	29,4 roku	10,6 h	5,69 · 10 <sup>26</sup>	700	-139
Uran	2 875	51 118	83,7 roku	17,2 h	8,68 · 10 <sup>25</sup>	1 300	-197
Neptun	4 504	49 532	163,7 roku	16,1 h	1,02 · 10 <sup>26</sup>	1 600	-201
Pluto	5 915	2 300	248 roků	6,4 dne	1,5 · 10 <sup>22</sup>	2 000	-230

<sup>c</sup> střední vzdálenost Měsíce od Země; siderická oběžná doba Měsíce kolem Země

<sup>‡</sup> největší planetka hlavního pásu

♄ Halleova kometa

chemické složení těles a jejich atmosfér:

Slunce	—	plazma H (71 % hmotnosti), He (27 %), 2 % těžších prvků; atm. H (71 %), He (27 %)
Merkur	—	jádro Fe (70 %), plášť křemičitany (30 %); atm. 42 % O <sub>2</sub> , 40 % Na, 15 % O, ostatní (He, K) 2 %
Venuše	—	asi podobné Zemi, ale méně husté jádro a jednotlitá kůra; atm. 96,5 % CO <sub>2</sub> , 3,5 % N <sub>2</sub>
Země	—	jádro vnitřní Fe, Ni (30 %), vnější (příměs S, O), plastický plášť, tenká kůra O, Si, Al (polyblivé litosferické desky); atm. 78,1 % N <sub>2</sub> , 20,9 % O <sub>2</sub>
Měsíc	—	jádro Fe, FeS, plášť z křemičitanů (olivín, pyroxen), kůra (plagioklas); atm. —
Mars	—	jádro Fe, plášť (křemičitany), jednotlitá kůra (SiO <sub>2</sub> , FeO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ); atm. 95,3 % CO <sub>2</sub> , 2,7 % N <sub>2</sub> , 1,6 % Ar, 0,1 % O <sub>2</sub>
Ceres	—	jako meteority (uhlíkaté chondrity), nediferencovaná struktura; atm. —
Jupiter	—	kamenné jádro (křemičitany), obal (kovový H), H <sub>2</sub> ; atm. 89 % H <sub>2</sub> , 11 % He
Halley	—	zmrzlé plyny (H <sub>2</sub> O) a prachové částice (organické molekuly); atm. H <sub>2</sub> O, OH, CN, C <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> CO, ...
Saturn	—	kamenné jádro, vnitřní obal kovový H a vnější molekulární H <sub>2</sub> ; atm. 89 % H <sub>2</sub> , 11 % He
Uran	—	jádro (křemičitany, Fe), ledový plášť (H <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , amoniak), H <sub>2</sub> (jen 15 %); atm. 89 % H <sub>2</sub> , 11 % He, CH <sub>4</sub>
Neptun	—	kamenné jádro, ledový plášť, H <sub>2</sub> (15 %); atm. 80 % H <sub>2</sub> , 19 % He, CH <sub>4</sub>
Pluto	—	křemičitany (70 %), ledy (30 %); kamenné jádro, ledový obal (H <sub>2</sub> O) a povrch (N, CH <sub>4</sub> , CO, organické látky); atm. CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub>

nazyvána *velká rúaa skvrna*.

Z desítek Jupiterových měsíců jsou asi nejpozoruhodnější *Io* a *Europa*. Slapy Jupitera jsou na *Io* natolik silné, že deformují celý měsíc a zahrávají jeho nitro na teplotu několik tisíc stupňů Celsia. Na povrchu se to projevuje neustálou vulkanickou činností. Sopky chrlí síru do výšek několika set kilometrů a neuvěřitelnou rychlostí povrch mění.

Europa je naopak velmi hladký měsíc, pokrytý vodním ledem. Struktura prasklin a magnetometrická měření však svědčí o existenci podpovrchového kapalného oceánu.

**Saturn.** Proslul krásou svých jasných *prstenců*. Přestože mají poloměr přes 100 000 km, jsou tlusté nejvýš několik stovek metrů. Zdály by se jako řada tisíců různých jasných a různé průhledných prstýnků, ale ve skutečnosti se skládají z jednotlivých ledovo-kamenných úlomků s typickým rozměrem 10 cm. „Mezery“ a jiné struktury v prstencích jsou způsobeny gravitačními poruchami malých měsíců obíhajících přímo v prstencích nebo vně. Za nejnápadnější Cassiniho dělení může měsíc Mimas.<sup>14</sup>

**Uran;** již téměř není vidět na obloze pouhým okem. Byl objeven náhodou dalekohledem, a to Williamem Herschelem v roce 1781. Zajímavostí je jeho rotační osa, která leží takřka v rovině oběžné dráhy a Uran tak ke Slunci natáčí střídavě severní a jižní pól.

Objev **Neptunu** byl jedním z největších triumfů nebeské mechaniky 19. století: z pozorovaných poruch dráhy Uranu se podařilo Adamsovi a Le Verrierovi vypočítat polohu neznámé planety, kterou posléze Galle na obloze skutečně našel. Stejně jako u ostatních velkých planet pozorujeme v horních vrstvách atmosféry vítr o rychlosti několik set metrů za sekundu. Podobně jako na Jupiteru a Saturnu (nikoli na Uranu) se na Neptunu objevují skvrny a bouře, jež jsou asi projevem vnitřního zdroje tepla.<sup>15</sup>

**Pluto** a **Charon** zatím nenavštívila žádná kosmická sonda. I nejlepší pozemské dalekohledy na nich rozliší jen několik světělých a tmavých oblastí.

Za Neptunem se však podařilo objevit stovky jiných těles obíhajících po podobné dráze jako Pluto nebo ještě dál. Celou populaci nazýváme **Kuiperův**

<sup>14</sup> Nejzajímavějšími měsíci Saturnu jsou asi Titan, Hyperion a Iapetus. Titan je obalen hustou atmosférou z dusíku, metanu a dalších organických molekul; na jeho povrchu je možná oceán tekutého ethanu. Hyperion se vyznačuje excitovanou chaotickou rotací. Iapetus má jednu polokouli mnohem tmavší než druhou, neboť na ni dopadá prach vznikající při impaktech na největší nepravidelný měsíc Phoebe.

<sup>15</sup> Triton se pohybuje po retrogradní dráze a díky slapům Neptunu se k němu, narozdíl od našeho Měsíce, přibližuje. Za 4 až 6 miliard let bude tak blízko, že se slapovými silami roztrhá a okolo planety vznikne prstenec daleko mohutnější než současný Saturnův.

The Solar System — a tiny part of the Universe, a vast, almost empty space. It is an alien environment for a human — without atmosphere, without solid land underfoot.

The Sun, planets and their moons, asteroids and comets are a kind of small islands, where mass is concentrated. Smaller bodies — meteoroids, interplanetary dust and gas or particles of radiation — photons, also do belong to the Solar System.

A mutual attraction, a gravitational force acts among all of them and governs their motion. The Sun is by far the most massive, therefore other bodies orbit around it. The closer to the Sun a body is, the higher its orbital speed is.

The farthest planet is Neptune and then other follow: Uranus, Saturn, Jupiter, Mars, Earth, Venus and Mercury. The mean distance between the Sun and the Earth, so called *Astronomical Unit*, is 150 million km. The light travels this distance in 8 minutes 20 seconds. The diameter of the Earth is only 13,000 km.

Planets and moons do not shine with their own visible light, they only reflect a part of the sunlight. The Sun is, on the other hand, a star and as such it radiates by the entire surface to all directions.

Sometimes one can see radiation reflected from the smallest particles of interplanetary dust — this phenomenon is called the *zodiacal light*.

**Meteoroids**, stony fragments from fractions of millimetre upto a few metres in diameter, can be easily observed at the moment, when they hit the air surrounding our planet. Particles move with a relative velocity of about 50 km/s. They begin to heat themselves by a friction of air 150 km above the Earth's surface. A warm and shining column of ionized air, which we see on the sky, is called a *meteor*, folksy speaking a “shooting star”.

Several times per year, for example around the 12<sup>th</sup> of August or the 18<sup>th</sup> of November, the Earth travels through the streams of cometary meteoroids, what causes a *meteor stream* on the sky.

Larger and harder meteoroids can “survive” the flight through the atmosphere and they fall on the ground as *meteorites*.

Bigger bodies are **asteroids**. They typically have an irregular shape and they consist of stony material. There orbit about one million asteroids larger than 1 km in the main belt between Mars and Jupiter.

Small **moons** of planets, like Phobos or Amalthea, are very similar to asteroids.

Big moons are comparable to small planets: Jupiters moon Ganymede is even larger than Mercury. Bodies with diameters above 1,000 km already have more regular, spherical or elliptical shape.

castic, které se sruší ze slunce do mezplanetárního prostoru rychlostí až 500 km/s.<sup>7</sup>

**Merkur**, první planeta, dostává od Slunce nejvíce zářivé energie. Na osvětlené polokouli je teplota přes 300 °C, ale odvrácená polokoule rychle vychládá na -200 °C. Povrch je pokrytý *impaktními krátery*, které vznikají při srážkách s planetkami nebo kometami. Velkou část povrchu zatím nepozorovala žádná kosmická sonda.<sup>8</sup>

**Venuše** je stále zahalená hustou atmosférou (tlak při povrchu je 90 krát vyšší než na Zemi). Přestože obíhá okolo Slunce dvakrát dál než Merkur a navíc odráží dvě třetiny slunečního záření, je na celém povrchu neuvěřitelná teplota 460 °C. Příčinou je silný *sklenkový efekt* — oxid uhličitý v ovzduší propouští viditelné sluneční záření k povrchu, ale pohlcuje infračervené záření z povrchu vyzářované a tím brání jeho ochlazení.

Pod neprůhlednou atmosférou umožnily nahlédnout radary — zjistily povrch charakteristický *zlomy a sopkami*. Z počtu impaktních kráterů lze odvodit, že sopečná činnost přetvořila většinu povrchu Venuše před 700 až 500 miliony roků.<sup>9</sup>

Třetí planeta od Slunce je **Země**. Má příhodnou velikost a vzdálenost od Slunce, aby se na jejím povrchu mohly vyskytovat nejen led nebo vodní pára, ale i *kapalná voda* — jeden z předpokladů pro vznik života. Prvotní ovzduší bylo zcela přeměněno činností živých organismů a dnes obsahuje především dusík a kyslík.

Od všech ostatních planet se liší také *deskovou tektonikou* — zemskou kůrou rozpraskanou na jednotlivé desky, které se mohou pohybovat po vnějším pláští. Oceánská dna neustále vznikají sopečnou činností v oceánských hrbtech a zanikají při zasouvání pod jiné desky. Při kolizích desek se vrasní nová pásemná pohorí. To může mít velký význam pro život na souši, protože jinak by eroze mohla všechna pohorí postupně zahladit a celý povrch Země by pokrýval oceán.<sup>10</sup>

Zemí provází **Měsíc**. I ten má svůj význam pro pozemský život: spolu se Sluncem působí slapovými silami střídání přílivu a odlivu. Z dlouhodobého hlediska Měsíc stabilizuje rotační osu Země a brání tak náhlým extrémním výkyvům klimatu.

<sup>7</sup> Sluneční vítr výrazně ovlivňuje i *magnetosféry planet*. Při erupci na Slunci dochází k přeměně energie magnetického pole na kinetickou energii nabitých částic, jež pak mohou být uvolněny do mezplanetárního prostoru a případně zachyceny magnetickým polem planety. Při průletu iontů atmosférou planety (tam, kde se magnetické siločary zanorují pod povrch) dochází k excitaci atomů atmosféry a při jejich deexcitaci k vyzáření fotonu. Tomuto světelnému jevu říkáme *polární záře*.

<sup>8</sup> Merkur je ve spin-orbitální rezonanci 3:2, tzn. že se třikrát otočí okolo vlastní osy, zatímco dvakrát oběhne okolo Slunce.

<sup>9</sup> Venuše se otáčí velmi pomalu (jednou za 243 dní) a retrogradně, tj. opačným směrem než obíhá okolo Slunce. Její atmosféra se však otáčí podstatně rychleji — jednou za čtyři dny.

<sup>10</sup> Kolize desek jsou také doprovázeny sopečnou činností a zemětřeseními.

the number of impact craters, that the volcanic activity reformed the most of the surface of Venus 700 to 500 million years ago.

The third planet from the Sun is **the Earth**. It has a suitable size and distance from the Sun, so there may exist not only ice or water vapour but also liquid water on the surface — one of the assumptions for creation of life. The primordial air was completely converted by the activity of live organisms and it contains mostly nitrogen and oxygen today.

The Earth differs from the rest of planets also by the *plate tectonics* — its crust is cracked to individual plates, that can move on the top of the mantle. The ocean floors originate by volcanic eruptions in oceanic ridges and they dissolve by the subduction below other plates. New mountains are folded during collisions of the plates. This may be important for the life on the dry land, because the erosion otherwise would clear all mountains and the entire surface of the Earth would be covered by ocean.

The Earth is followed by **the Moon**. It also has importance for the terrestrial life: it causes, together with the Sun, changes of the low and high tide by tidal forces. The Moon also stabilizes the rotation axis of the Earth on the long term and thus prevents sudden and extreme changes of climate.

We can observe only one hemisphere of the Moon from the Earth, because the Moon rotates around its axis with exactly the same period, as it orbits around the Earth. Such phenomenon is called a *synchronous rotation*.

The Moon formed approximately 4.45 billion years ago, when a Mars-sized body collided with the Proto-Earth. A huge amount of fragments was generated by the collision, most of which fell back on the Earth, but a part of them formed a disk around the Earth. The disk accreted very quickly, probably in a few weeks, into one satellite — our Moon.

Small bodies, like asteroids, can also appear in the neighborhood of the Earth. On average, one asteroid larger than 100 m collides with the Earth every 1,000 years. A collision with a 10-km asteroid, which happens once per a few 10 million years, can cooperate in the course of large extinction of animal and plant species. The best known example is the extinction of dinosaurs 65 million years ago.

**Mars**. The planet distinctive by its red colour, which is caused by iron oxides.

The elevation map and distribution of impact craters on the surface suggest, that the north hemisphere could be covered by ocean 3 billion years ago.

The relics of running water are erosion shapes in numerous valleys. The largest of all is Vallis Marineris, 4,000 km long, 7 km deep.

The valley drained water from the Tharsis region. The Tharsis is of volcanic origin and one can find here the biggest volcanos in the Solar System — for example Olympus Mons, 27 km high and with the base 600 km in diameter.