

seasonal changes lead to the regular growing of polar caps in winter and to their shrinking in summer.

We can find the asteroid number **(243) Ida**, for example, on an orbit between Mars and Jupiter. This 50-km asteroid belongs to the Koronis family, what is possible to recognize by similar orbits and similar colors of its members. These asteroids made up a single body, which was however shattered by a huge impact. The current moon of Ida — one-kilometre Dactyl — was formed that way.

**Jupiter** has the mass higher than all other planets and smaller bodies of the Solar System together. It radiates twice as much energy, as it receives from the Sun. The source is evidently a slight shrinkage of the planet and a transformation of the rotational energy to heat. There is an enormous storm, called the *Great Red Spot*, observed for a few hundreds of years in the atmosphere of Jupiter.

Probably the most interesting Jupiters moons, out of tens, are *Io and Europa*. Tides of Jupiter are so strong on Io, that they deform the whole moon and heat its interior to a temperature of a few thousand degrees Celsius. It produces never-ending volcanic activity on the surface. The volcanoes erupt sulfur to a height of a few hundred kilometres and reshape the surface with unbelievable rate.

Europa is, on contrary, a very smooth moon, covered by water ice. But the structure of ruptures and magnetometric measurements prove the existence of sub-surface liquid ocean.

**Saturn** became famous by beauty of its bright *rings*. Regardless they have radius over 100,000 km, they are at most a few hundred metres thick. They look as a series of thousands of differently bright and differently transparent ringlets, but in reality they are composed of individual icy-stony fragments with a typical size of 10 cm. "Spaces" and other structures in the rings are caused by gravitational perturbations of small moons orbiting directly inside the rings or out of them. The moon Mimas is responsible for the most prominent *Cassini division*.

**Uranus** is almost not visible on the sky with the naked eye. It was discovered by chance using a telescope, by William Herschel in 1781. The rotation axis of Uranus is interesting — it lies almost in the plane of orbit and Uranus exposes in turn the north and the south pole towards the Sun.

The discovery of **Neptune** was one of the greatest triumphs of the celestial mechanics in the 19<sup>th</sup> century. Adams and Le Verrier calculated the position of the unknown planet from the observed perturbations of Uranus orbit, and Galle then indeed found it on the sky. We observe wind with a velocity of hundreds kilometres per second in the upper layers of the atmosphere, likewise on other giant planets. Spots and storms, which are probably the demonstration of the internal heat source, appear on Neptune, similarly as on Jupiter and Saturn (but not on Uranus).

Velké měsíce jsou srovnatelné s malými planetami: Jupiterův měsíc Ganymedes je dokonce větší než Merkur. Tělesa s průměrem nad 1 000 km již mají pravidelnější, kulový nebo elipsoidální tvar.

Čtyři planety nejbližší Slunci — Merkur, Venuše, Země a Mars — se nazývají **planety zemského typu**. Jsou si poměrně podobné: z velké části je tvoří kamenný materiál, mají pevný povrch a s výjimkou Merkuru je obaluje tenká vrstva plynů — atmosféra. Nejběžnějšími chemickými prvky v zemském tělese jsou železo, kyslík, křemík a hořčík.

Vzdálenější planety, Uran a Neptun, patří do skupiny, jejichž podstatnou složkou jsou ledy vody, metanu a amoniaku nebo směs vodíku, hélia a kamene. Nazýváme je vnější planety nebo **ledová obří**.

Jupiter a Saturn jsou **plynnými obry**. Nazýváme je také planetami Jupiterova typu. Jejich relativně malé jádro je pravděpodobně složeno z kamene a ledu, rozsáhlý obal je z kovového a molekulárního vodíku a hélia.

Všechny velké planety mají prstence (i když jen u Saturnu jsou snadno pozorovatelné)<sup>4</sup> a početné rodiny pravidelných i nepravidelných měsíců.<sup>5</sup>

**Slunce**. Rozžhavená plynná koule, s povrchovou teplotou asi 6 000 °C. Skládá v sobě přírodní termojaderní reaktor, v němž se přeměňují jádra atomů vodíku na jádra atomů hélia a přitom se uvolňují fotony a neutrina. Tento zdroj energie funguje již 4 a půl miliardy roků.

Výrazným projevem zněm na Slunci jsou *sluneční skvrny a erupce*. Obojí je způsobeno silným *magnetickým polem*, jež ovlivňuje pohyb sluneční látky — elektricky vodivých ionizovaných plynů, čili *plazmatu*.<sup>6</sup>

Nejrozsáhlejšími objekty sluneční soustavy mohou být **kometry**. Jejich ledovo-kamenné jádro je sice nepatrné (mívá průměr několik kilometrů), ale když se přiblíží k Slunci, začne led sublimovat a unikající plyny i strhávaný prach vytvoří komu a ohon. Jejich řídká vodíková obálka může dosáhnout rozměru až 100 milionů kilometrů.

<sup>4</sup> Prstence Jupiteru a Saturnu se sebe podstatně liší. Saturnovy prstence pravděpodobně vznikly slapovým rozpadem nějakého měsíce nebo kolizi dvou měsíců, přičemž se uvolnily ledovo-kamenné úlomky s typickými rozměry mezi 1 mm a 10 m. Jupiterovy prstence jsou naproti tomu tvořeny mikroskopickými prachovými částicemi, jež vznikají průběžně při dopadech meteoroidů na měsíce Adrastea, Metis, Amalthea a Thebe.

<sup>5</sup> Pravidelné (regulární) měsíce obíhají po prográdních drahách s malou výstředností a sklonem. Nepravidelné (iregulární) mají naopak dráhy prográdní i retrográdní, s velkou výstředností a sklonem, a také větší velkou poloosou. Regulární měsíce pravděpodobně vznikly v zárodečné mlhovině, z níž se formovala planeta, kdežto iregulární vznikly daleko od planety a byly zachyceny později.

<sup>6</sup> Aktivita Slunce vykazuje přibližně jedenáctiletou periodu, což se projevuje například kolísáním počtu slunečních skvrn. Děj souvisí s cyklickou změnou polarit magnetického pole Slunce, jež se odehrává jednou za asi 22 let.

each other: they comprise mainly of stony material, they have a solid surface and, except Mercury, they are covered by a thin layer of gases — an atmosphere. The most common chemical elements in the Earth's body are iron, oxygen, silicon and magnesium.

The outer planets Uranus and Neptune are **ice giants**. Their substantial parts are ices of water, methane, and ammonia or a mixture of hydrogen, helium and rock.

Jupiter and Saturn are **gaseous giants**. We call them Jupiter-type planets also. Their relatively small cores probably consist of rock and ice, the extended mantles are made of metallic and molecular hydrogen and helium.

All giant planets have *rings* (even though only rings of Saturn are easily observable) and numerous families of regular and irregular moons.

**The Sun.** An incandescent gaseous sphere, with a surface temperature of approximately 6,000 °C. There is a hidden natural thermonuclear reactor inside, in which nuclei of hydrogen atoms are transformed to nuclei of helium atoms and photons and neutrinos are emitted at the same time. This source of energy has operated already for four and half billion years.

*Sunspots and eruptions* are prominent demonstrations of changes on the Sun. Both of them are induced by a strong *magnetic field*, that affects motion of solar material — electrically conductive ionized gases, it means *plasma*.

The most extended objects in the Solar System can be **comets**. Their icy-stony cores are tiny (they are a few kilometres in diameter), but when they come near the Sun, ice starts to sublimate and escaping gas and dragged dust create a coma and a tail. Their light hydrogen envelopes may reach a size of up to 100 million km.

Cometary tails are always directed approximately away from the Sun. Molecules of gas and dust grains interact with the radiation and *solar wind* — a stream of charged particles, which spread from the Sun to the interplanetary space with a velocity of about 500 km/s.

**Mercury**, the first planet, gets the most solar radiation energy. There is a temperature over 300 °C on the illuminated hemisphere, but the reverse hemisphere cools quickly down to -200 °C. The surface is covered by *impact craters*, which were formed by collisions with asteroids and comets. A big part of the surface has never been observed by a space probe.

**Venus** is covered by a dense atmosphere (the pressure on the surface is 90 times higher than on the Earth). Regardless it orbits the Sun twice farther than Mercury and it reflects two thirds of solar radiation, there is an unprecedented temperature 460 °C. The reason is a strong *greenhouse effect* — carbon dioxide in the atmosphere transmits the visible solar radiation towards the surface but it absorbs the infrared radiation radiated from the surface and that way impedes its cooling.

nazyvame *vazana rotace*.<sup>11</sup>

Měsíc se formoval přibližně před 4,45 miliardami let, když se s Protomezím srazilo těleso asi o velikosti Marsu. Při kolizi vzniklo obrovské množství úlomků, z nichž většina dopadla zpět na Zem, část ale vytvořila okolo Země disk, který se během velmi krátké doby, snad několika týdnů, pospojoval do jednoho satelitu — našeho Měsíce.<sup>12</sup>

V blízkosti Země se mohou objevit i malá tělesa — planetky. V průměru jednou za tisíc roků dochází ke srážce Země s planetkou větší než 100 m. Jednou za několik desítek milionů roků může kolize s 10 km planetkou spolupůsobit při velkých vyhnutích živočišných a rostlinných druhů. Nejznámějším příkladem je vyhnutí dinosaurů před 65 miliony roků.

**Mars.** Planeta charakteristická červenou barvou, kterou způsobují oxidy železa.

Výšková mapa a rozložení kráterů na povrchu naznačují, že asi před 3 miliardami let mohla být celá severní polokoule Marsu pokrytá oceánem.

Památkou na činnost tekoucí vody jsou erozní tvary v četných údolích. Největší ze všech je Vallis Marineris, 4 000 km dlouhá, 7 km hluboká.

Údolí odvádělo vodu z vyvýšené oblasti Tharsis. Tharsis je sopečného původu a najdeme na ní největší sopky sluneční soustavy — například Olympus Mons, s výškou 27 km a základnou o průměru 600 km.

Poslední dvě miliardy roků je Mars z geologického hlediska spíše klidnou planetou. Slabý vír v řídké atmosféře si „pohrává“ s drobnými zrny písku, sezónní změny vedou k pravidelnému zvětšování polárních čepiček v zimě a zmenšování v létě.

Na dráze mezi Marsem a Jupiterem můžeme nalézt například planetku číslo **(243) Ida**. Tato padesátikilometrová planetka patří do rodiny Koronis, což lze poznat podle podobných drah a podobných barev jejích členů. Kdyby tvořily tyto planetky jediné těleso, které se však zcela roztrátilo při nějakém velkém impaktu. Přitom asi vznikl i současný měsíček Idy — kilometrový Dactyl.<sup>13</sup>

**Jupiter;** má větší hmotnost než všechny ostatní planety i menší tělesa sluneční soustavy dohromady. Výzařuje asi dvakrát tolik energie, než přijímá od

<sup>11</sup> Vázané rotují i jiná tělesa: např. Phobos a Deimos obíhající kolem Marsu, galileovské měsíce Jupitera, Pluto i Charon.

<sup>12</sup> Měsíc vznikl blízko Země (do vzdálenosti několik  $R_{\oplus}$ ), ale postupně se od ní působením slapů vzdálil až na současných 60  $R_{\oplus}$ . Se slapy je spojeno i zpomalování rotace Země, v současnosti asi o 2 ms za století.

<sup>13</sup> Planetky nejsou v hlavním pásu rozmístěny rovnoměrně, ale v rozdělení četnosti velkých polos jejich drah jsou patrné mezery, zvané též Kirkwoodovy (např. okolo 2,5 AU; 2,82 AU). Vznikají gravitačními rezonancemi: excentricita dráhy planetky v rezonanci je některou planetou zvýšena tak, že začne křížit dráhy planet, a při těsných přiblíženích se změni velká polosa planetky, nebo přímo spadne do Slunce.

	4 000 °C až 10 <sup>10</sup> °C	0	100 Pa	7,25 °	10 <sup>-8</sup> T až 0,3 T
Slunce	-170 °C až +430 °C	0,12	? (velmi řídká)	0,1°	3,3·10 <sup>-7</sup> T
Merkur	+464 °C až +464 °C	0,65	9,6·10 <sup>6</sup> Pa ≡ 90 P <sub>⊕</sub>	177°	< 2·10 <sup>-9</sup> T
Venuše	-80 °C až +50 °C	0,367	101 325 Pa ≡ 1 P <sub>⊕</sub>	23,45°	3,1·10 <sup>-5</sup> T
Země	-180 °C až +110 °C	0,12	0	6,7°	< 2·10 <sup>-10</sup> T
Měsíc	-120 °C až +20 °C	0,15	800 Pa	25°	5·10 <sup>-9</sup> T
Mars	-200 °C až 0 °C	0,05	0	?	?
Ceres	min. -163 °C	0,47	větší než 10 <sup>7</sup> Pa	3°	4,28·10 <sup>-4</sup> T
Jupiter	-200 °C až +100 °C	0,04	0	?	?
Halley	min. -191 °C	0,46	větší než 10 <sup>7</sup> Pa	27°	2,1·10 <sup>-5</sup> T
Saturn	min. -214 °C	0,51	větší než 10 <sup>7</sup> Pa	98°	2,3·10 <sup>-5</sup> T
Uran	min. -223 °C	0,41	větší než 10 <sup>7</sup> Pa	30°	1,4·10 <sup>-5</sup> T
Neptun	-240 °C až -218 °C	0,3	0,3 Pa	120°	?
Pluto					

	velká polosa AU	číselná výstřednost	sklon dráhy °	oběžná rychlost km/s	úniková rychlost km/s	tíhová zrychlení m/s <sup>2</sup>	počet měsíců †	rok objevu
Slunce					617	274		
Merkur	0,387	0,206	7,0	47,9	4,4	3,7	0	?
Venuše	0,723	0,007	3,4	35,0	10,4	8,9	0	?
Země	1	0,017	0	29,8	11,2	9,78	1	-
Měsíc	0,0026	0,055	5,1	1,0	2,4	1,62	0	-
Mars	1,524	0,093	1,9	24,1	5,0	3,7	2	?
Ceres	2,766	0,077	10,6	17,9	0,1	0,3	0	1801
Jupiter	5,203	0,048	1,3	13,1	60	23,1	62	?
Halley	35,0	0,967	162,2	0,9 až 55	0,001	5·10 <sup>-5</sup>	0	-239
Saturn	9,555	0,056	2,5	9,7	36	9,0	30	?
Uran	19,22	0,046	0,8	6,8	21	8,7	21	1781
Neptun	30,11	0,009	1,8	5,5	23	11,0	11	1846
Pluto	39,54	0,249	17,2	4,8	1	0,7	1	1930

† objevených do roku 2003

⊕ dráha Měsíce kolem Země

absolutní nulou (tedy -273 °C).

Okolo vnitřní sluneční soustavy se nachází ještě sférický **Oortův oblak**. Není pozorovatelný přímo, ale usuzujeme na něj podle nových dlouhoperiodických komet, které přilétají do vnitřní části soustavy rovnoměrně ze všech směrů.

Dál už je oblast, kde pomalu začíná převažovat přitažlivost cizích hvězd... Kromě osmi planet ve sluneční soustavě je známo ještě několik stovek **extrasolárních planet**, jež obíhají kolem cizích hvězd. Soudobé astronomické přístroje nedovolují tyto vzdálené planety pozorovat přímo, ale jejich vlastností se vypočítávají z fotometrických nebo astrometrických měření materských hvězd. Většina zatím objevených extrasolárních planet je větší než Jupiter a zároveň obíhá ve vzdálenosti menší než Země kolem Slunce.<sup>16</sup>

Jen v naší Galaxii existují stovky miliard hvězd.

V celém pozorovatelném vesmíru jsou desítky bilionů galaxií...

Jaká je minulost a budoucnost sluneční soustavy?

Analýzou rozpadu radioaktivních prvků v primitivních meteoritech jsme se dozvěděli, že tyto meteority utuhly před *4,56 miliardami* roků. V téže době vznikalo Slunce a formovala se celá planetární soustava.

Hvězdy, vlastně celé hvězdokupy, vznikají z *mezihvězdných plyno-prachových oblaků* (s hlavní složkou molekulárním vodíkem). V jejich nejchladnějších částech, za teplot jen několik stupňů nad absolutní nulou, dochází ke *gravitačnímu kolapsu* — silnému zhuštění, následnému zvýšení tlaku, teploty a zážehnutí *termonukleárních reakcí*. Právě tehdy vznikne nová hvězda. Okolo se tvoří *ploché* *disk* ze zbývajících látek.

V disku dochází k častým *srážkám*, které vedou k postupnému spojování menších tělísek ve větší. Nakonec zůstane jen několik velkých těles, ve kterých se soustředí většina hmotnosti. Tomuto procesu říkáme *akrece*.

Zarodky planet, *planetesimály*, se dále *zahrřívají* kvůli teplotě z radioaktivního rozpadu nestabilních prvků. Přispívají k tomu i zmínované kolize. Větší tělesa jsou částečně nebo úplně *přetavena*, čímž se ustaví jejich kulový tvar. *Diferenciací* pak vznikne jádro z hustších hornin, kdežto v plášti a kůře zůstanou řídkší horniny.

Ve větších vzdálenostech od Slunce mohou vzniknout jádra velkých planet, protože je zde dostatek ledových planetesimál, které v blízkosti Slunce existovat nemohou. Jakmile překročí hmotnost jádra jistou kritickou hodnotu, začne na sebe rychle nabalovat okolní plyn a hmotnost planety se mnohonásobně zvýší.

Nakonec silné ultrafialové záření a hvězdný vítr způsobí, že se zárodečná mlhovina zahřeje a „rozfouká“ do okolního prostoru. Sluneční soustava tím získá takřka dnešní podobu.

Celý proces vzniku trval řádově 100 milionů let.

<sup>16</sup> Aktuální informace o známých extrasolárních planetách je možné získat na internetové adrese (<http://exoplanets.org/>).