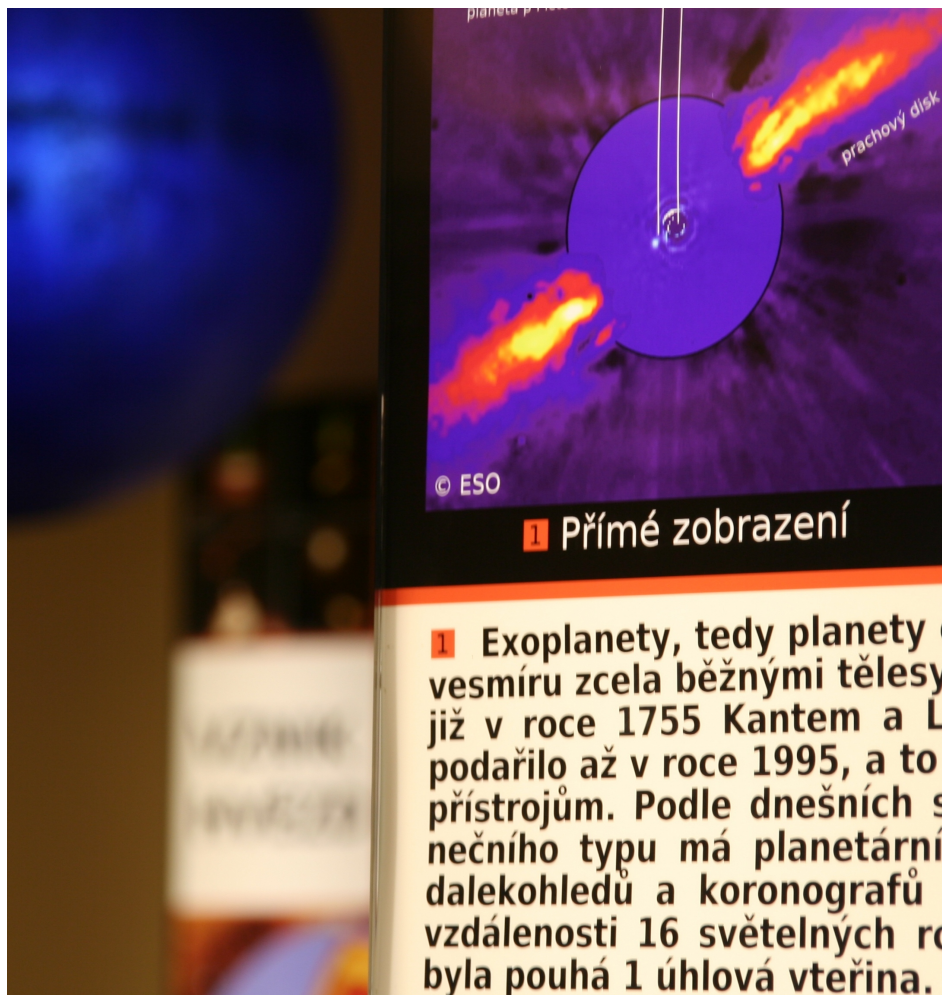


P O V Ě T R O Ň

Královéhradecký astronomický časopis

číslo S6/2011
ročník 19

Expozice na hvězdárně



SLOVO ÚVODEM. V prosinci 2011 jsme ve foyer hradecké hvězdárny dokončili novou expozici. Na deseti velkých světelných panelech zde shrnujeme nejdůležitější informace o struktuře, vzniku a vývoji vesmíru. Nedílnou součástí výstavy jsou interaktivní exponáty, například svítící modely hvězd, které vytvářela paní sochařka Vlasta Samohrdová, stejně jako model interagující dvojhvězdy β Lyrae.

Při této příležitosti vychází speciální číslo Povětroně, v němž jsou přetisknuté texty a obrázky v nízkém rozlišení. Panely ve vysokém rozlišení jsou ke stažení na WWW stránkách hvězdárny (<http://www.astrohk.cz/>).

Miroslav Brož, Miroslav Krejčí, Lenka Trojanová, Karel Zubatý



Obsah

	strana
<i>Panely č. 1–3: Země ve vesmíru</i>	3
<i>Panel č. 4: Cizí planety</i>	4
<i>Panel č. 5: Modely hvězd</i>	5
<i>Panely č. 6–7: Vznik a zánik hvězd</i>	6
<i>Panel č. 8: Galaxie</i>	9
<i>Panel č. 9: Vývoj Země</i>	10
<i>Panel č. 10: Vývoj vesmíru</i>	12

Povětroně S6/2011; Hradec Králové, 2011.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (6. 1. 2012 na 251. setkání ASHK)
ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 24 stran, náklad 100 ks; dvoměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213–659X

Redakce: Miroslav Brož, Martin Cholasta, Josef Kujal, Martin Lehký a Miroslav Ouhrabka

Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovného)

Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828

e-mail: ashk@ashk.cz, web: <http://www.ashk.cz>

Panely č. 1–3: Země ve vesmíru

Země je třetí planeta obíhající okolo Slunce. Ve vzdálenosti 384 000 km ji provází přirozená družice — Měsíc. Spolu s dalšími sedmi planetami, jejich satelity, mnoha planetkami, kometami, tělesy Kuiperova pásu, Oortova oblaku, meteoroidy, zrnky prachu a meziplanetárním plynem se nachází v gravitačně vázané sluneční soustavě.

Povrch i nitro Země tvoří těžší prvky nebo jejich sloučeniny, přičemž méně husté (oxidy, silikáty) jsou v plášti a kůře a hustší (železo, nikl) se soustřeďují v jádře. Složení Měsíce se podobá zemskému plášti, což dokazuje, že vznikl katastrofickou srážkou Země s cizí protoplanetou. Ledové obří planety (Uran a Neptun) sestávají především z ledů vody, metanu nebo amoniaku. Plynní obří (Jupiter a Saturn) jsou převážně z vodíku a helia. Většinu hmotnosti Slunce tvoří taktéž vodík a helium, ale ve stavu plně ionizovaného plynu — plazmatu.

Slunce je spolu s dalšími asi 200 miliardami hvězd součástí Galaxie. Tento hvězdný ostrov má průměr 100 000 světelných roků a při pohledu zvnějšku by vypadal jako obrovská spirála se čtyřmi rameny a dvěma příčkami. Při pohledu zevnitř je tato struktura obtížně rozpoznatelná, mimo jiné proto, že nám stíní mezihvězdná mračna plynu a prachu. Na obloze ovšem vidíme alespoň část Galaxie jako Mléčnou dráhu. Střed Galaxie se nám promítá do souhvězdí Štřelce.

Galaxie se pomalu otáčí, Slunce oběhne kolem centra asi za 230 miliónů let, čili jeho oběžná rychlost činí 220 km/s. Velmi zajímavá je rotace Galaxie v okrajových částech, se vzdáleností totiž neklesá oběžná rychlost, jak by odpovídalo Newtonovu gravitačnímu zákonu! Odvozujeme z toho, že v okolí Galaxie se musí nacházet rozlehlé halo z nsvítící temné hmoty, přičemž její hmotnost je zhruba desetkrát větší než hmotnost viditelné svítící látky.

Vzhledem k okolnímu vesmíru letí Galaxie rychlostí 630 km/s (soudě podle dipólové anizotropie kosmického mikrovlnného pozadí).

Naše Galaxie patří do místní skupiny, společně s galaxiemi M31 v Andromedě, M33 v Trojúhelníku, Magellanovými mračny a dalšími 30 trpasličími galaxiemi. Místní skupina galaxií je pak součástí nadkupy Virgo, jejíž střed leží ve směru souhvězdí Panny, asi 50 miliónů světelných let od nás.

V pozorovatelné části vesmíru se nachází řádově 100 miliard galaxií. Jsou uspořádány do vláknité struktury s velkými „dutinami“ a „stěnami“. Na škálách větších než asi 300 miliónů sv. r. je vesmír prakticky homogenní, jeho hustota je všude téměř stejná. Přibližně odpovídá 6 protonům na metr krychlový, což je hodnota blízká kritické hustotě, při které je prostoročas plochý (nezakřivený). Celý vesmír je podle kosmologických modelů nekonečný.

Ve srovnání se Zemí má vesmír zcela odlišné složení: obvyklá látka z protonů, neutronů a elektronů tvoří pouhá 4 % vesmíru! Většina hmoty, nebo ekvivalentně energie vypočtené z Einsteinova vztahu $E = mc^2$, je chladná temná hmota (23 %)

a temná energie (73 %), vyznačující se záporným tlakem. Jejich podstata není známa, ale teoreticky by se mohlo jednat o nějaké supertěžké elementární částice (axiony), respektive energii vakua.

Panel č. 4: Cizí planety

Exoplanety, tedy planety obíhající okolo jiné hvězdy než Slunce, jsou ve vesmíru zcela běžnými tělesy. Přestože jejich existence byla předpovězena již v roce 1755 Kantem a Laplacem, objevit první planetu 51 Peg b se podařilo až v roce 1995, a to díky sofistikovaným metodám a nejcitlivějším přístrojům. Podle dnešních statistik se zdá, že nejméně 10 % hvězd slunečního typu má planetární systém. Přímé zobrazení exoplanet pomocí dalekohledů a koronografů je nejnáročnější (obr. 1). Při pozorování ze vzdálenosti 16 světelných roků by úhlová vzdálenost Jupiteru od Slunce byla pouhá 1 úhlová vteřina. Přibližně tolik činí rozmazání obrazů vlivem chvění atmosféry. Je proto nezbytné používat adaptivní optiku a pro maximalizaci kontrastu mezi hvězdou a planetou pozorovat v infračerveném oboru, ve kterém vyzařuje planeta.

Další tentokrát nepřímou metodou k odhalení exoplanet je dlouhodobé měření polohy hvězdy neboli astrometrie (obr. 2). Využívá skutečnosti, že hvězda obíhá kolem těžiště společného s planetami. Vzniká pohyb hvězdného kotouče, který kdybychom viděli ze vzdálenosti například 32 sv. r., dosahuje řádově 0,001". Současné měřicí metody jsou již dostatečně přesné, a lze tedy vypočítat hmotnost „neviditelné“ planety i její vzdálenost od hvězdy, případně odhalit vícero planet.

Pokud je oběžná rovina exoplanet orientovaná tak, že se na ni při pohledu ze Země díváme z boku (obr. 3), můžeme opět využít pohybu hvězdy okolo těžiště. V okamžiku, kdy se hvězda pohybuje směrem k nám, jsou spektrální čáry jejího světla posunuty směrem do modré oblasti a naopak při pohybu od nás do červené. Z posunu $\Delta\lambda$ spektrálních čar, majících v klidu vlnovou délku λ , lze vypočítat velikost radiální rychlosti dle Dopplerova vztahu $v = c\Delta\lambda/\lambda$, kde $c \doteq 300\,000$ km/s označuje rychlost světla ve vakuu.

Fotometrická metoda využívá poklesu jasnosti hvězdy ve chvíli, kdy přes její kotouč přechází relativně tmavá planeta (obr. 4). Družicová měření s přesností lepší než 0,001 magnitudy v principu umožňují objevit i planety veliké jako Země. Závislost mezi poklesem jasnosti během tranzitu (ΔL) a poloměrem planety (R_p) je $\Delta L/L = (R_p/R_\star)^2$.

Ke zvýšení jasnosti hvězdy naopak může dojít, pokud její světlo prochází vhodně zakřivenou částí časoprostoru. Toto zakřivení má obdobný účinek jako čočka — fokusaci světla (obr. 5). Způsobují ho mezilehlé objekty, například černé díry, ale v menší míře i obyčejné hvězdy nebo planety. Zjasnění je úměrné hmotnosti objektu v popředí.

Dosud objevené vícenásobné systémy se liší od sluneční soustavy (viz porovnání vpravo na obr. 6). Extrasolární planety mívají často vyšší vzájemné sklony drah, rovina oběhu bývá odlišná od rovníku hvězdy a část drah je dokonce retrográdních.

Objev horkých jupiterů (obr. 7), tedy planet s podobnou hmotností jako Jupiter, jež obíhají blíže než Merkur a mají teplotu okolo 1 500 K, podpořil teorii o migraci planet. Obří planety totiž nevznikly v těsné blízkosti hvězd, neboť zde není dostatek materiálu, ale spíše spirálovaly vlivem tření v plynném disku z větších vzdáleností.

Až 80 % zatím objevených exoplanet má hmotnost srovnatelnou s Jupiterem nebo Neptunem. To je dáno zejména výběrovým efektem, protože málo hmotné planety se objevují obtížněji. Zatím se nepodařilo objevit planetu, která by byla zcela stejná jako Země.

Jako superzemě jsou označovány velké kamenné planety, s hmotností od jedné do deseti hmotností Země (obr. 8). Většina astrobiologických studií se přiklání k názoru, že superzemě jsou pro vznik a udržení života příznivější než naše „malá“ Země. Měly by mít mohutnější deskovou tektoniku a též stabilnější rotační osu, což by vedlo ke stálejšímu klimatu na povrchu.

Velkým překvapením byla existence planet okolo pulsarů, pozůstatků po výbuchu supernovy. Že by nějaké planety přežily takovou katastrofu, bylo nepředstavitelné. Ověřuje se proto možnost jejich druhotného vzniku ze zbytků po výbuchu.

Zmíňme nakonec volně plující planety, kterých může být až dvakrát více než vázaných planet.

Panel č. 5: Modely hvězd

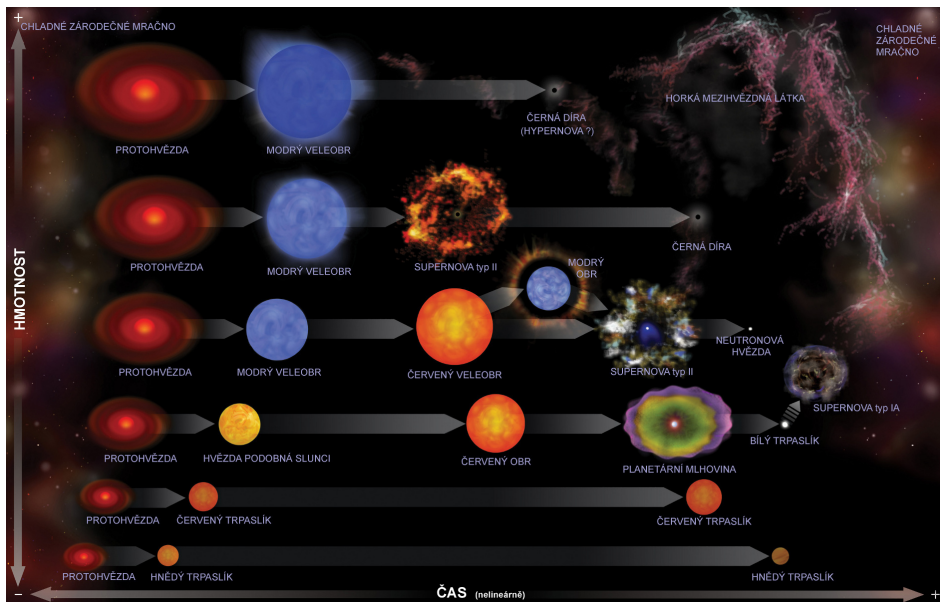
Vypínačem můžeme rozsvěcet a zhasínat osm modelů hvězd, vyrobených v měřítku 1 : 100 miliardám. Zároveň lze na Hertzsprungově–Russellově diagramu sledovat, jakou mají hvězdy povrchovou teplotu a zářivý výkon. Nejmenší hvězdou je zde bílý trpaslík Sírius B, naopak největší červený veleobr Antares. Normální hvězdy, jako je naše Slunce, září díky termonukleárním přeměnám vodíku na helium v jádře. Na HR diagramu se takové hvězdy soustřeďují na hlavní posloupnosti. Čím je hvězda hmotnější, tím rychleji spotřebovává vodík, a proto platí pravidlo:

těžké hvězdy → svítí jasně (modře) → žijí krátce,
lehké hvězdy → svítí slabě (červeně) → žijí dlouho.

Většina hvězd ve vesmíru je členy gravitačně vázaných dvojhvězd nebo vícenásobných soustav. Jednu komplikovanou těsnou dvojhvězdu ukazuje model β Lyrae. Po spotřebování vodíku v centru se totiž dramaticky zvětšuje poloměr hvězdy (stává se červeným obrem) a její obálka tak může přetékat na druhou složku dvojhvězdy. Přitom vzniká akreční disk a v místě dopadu látky dva výtrysky.

Panely č. 6–7: Vznik a zánik hvězd

Hvězdy vznikají gravitačním kolapsem z oblaků mezihvězdného plynu a prachu. Tento děj se odehrává v nejchladnějších místech vesmíru, kde teplota dosahuje pouhých několika desítek stupňů nad absolutní nulou (obr. 1). Jen tehdy může gravitace překonat elektromagnetickou odpudivou sílu (neboli gradient tlaku v plynu). Hvězda se během kolapsu velmi zahřeje, neboť se uvolní gravitační potenciální energie oblaku a přemění se na jeho vnitřní tepelnou energii.



Při teplotě nad 10 miliónů kelvinů začnou ve hvězdě probíhat termojaderné (nikoli chemické!) reakce, hvězda se přestane hroutit a dosáhne téměř rovnovážného stavu. Existují dva základní způsoby jaderných přeměn: proton-protonový řetězec (obr. 2), při němž se čtyři jádra atomu vodíku (protony) a dva elektrony přemění na jádro helia, záření gama, kinetickou energii a neutrina ($4p + 2e^- \rightarrow \alpha + 6\gamma + 2\nu$). Při jednom cyklu se uvolní energie přibližně 26 MeV (megaelektronvolt, $1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{19}\text{ J}$) a za celou dobu existence hvězdy řádově 10^{44} J (Joule). Druhým způsobem je CNO cyklus, ve kterém jádra atomů uhlíku, dusíku a kyslíku vystupují jako katalyzátory reakce. Uplatňuje se zejména u hmotnějších hvězd.

Vnitřní struktura hvězdy závisí na její počáteční hmotnosti a vývojovém stádiu. Není pozorovatelná přímo, ale lze ji vypočítat z veličin pozorovaných na povrchu

(zářivého výkonu, teploty, poloměru) anebo odvodit z dopplerovských měření oscilací („hvězdotřesení“). V případě modrého veleobra Rigel ze souhvězdí Orionu je vnitřek značně komplikovaný.

Hvězda má hmotnost 17 Sluncí a je stará 9,58 miliónu roků. Vodík v jejím centru již byl spotřebován, načež se jádro smrštilo a zahřálo, protože se zde uvolnila gravitační potenciální energie. Tím byla jednak dosažena teplota potřebná pro zažehnutí helia a jednak byla tepelná energie transportována do obalu, což se projevilo jeho rozepnutím a ochlazením.

Hvězda má dva zdroje energie a několik zón. V centru při teplotě 128 milionů Kelvinů probíhá slučování helia na uhlík (s měrným výkonem 0,04 W/kg). Hlavním zdrojem je však „hoření“ vodíku ve slupce (výkon zde dosahuje 37 W/kg). Okolo centra vzniká malá konvektivní zóna, což souvisí se strmou závislostí CNO cyklu na teplotě.

V mohutné zóně zářivé rovnováhy se energie přenáší zářivou difuzí. Nad ní je stejně mohutná konvektivní zóna, kde je kvůli poklesu ionizace látka hůře průhledná a přenos energie proto probíhá prouděním plazmatu. Následuje opět zářivá vrstva a tenčí superadiabatická konvektivní vrstva. V atmosféře hvězdy je efektivní teplota 11 000 K.

Kdyby byla tato hvězda na místě našeho Slunce, na Zemi by dopadal obrovský zářivý tok 100 MW/m² (v porovnání se stávajícími 1 360 W/m²). Životní doba Rigelu je pouhých 10,6 miliónu roků, což je o tři řády méně než v případě Slunce (12,3 miliardy roků).

Z velkého molekulového mračna vždy vznikne skupina hvězd, přičemž pouze 5 % látky se přemění na hvězdy. Zbytek je hvězdným větrem opět rozfoukán do okolního prostoru. Tyto relativně mladé hvězdokupy se nazývají otevřené, protože hvězdy z nich během stamiliónů let unikají díky trojným přiblížením a slapovým silám galaxie.

Kulové hvězdokupy naproti tomu obsahují jedny z nejstarších hvězd ve vesmíru, staré až 12,5 miliardy roků. Lze to poznat podle chybějících hmotných svítivých modrých hvězd, které existovaly jen krátkou dobu a dávno zanikly. Kulové hvězdokupy téměř nerotují, hvězdy v nich kmitají přes střed (takové systémy se označují jako populace II).

V horizontu 100 000 roků nás čeká zánik současné podoby souhvězdí, což je ukázáno na příkladu Velkého vozu (obr. 1). Vlastní pohyby hvězd rychlostmi řádu 10 km/s vůči Slunci způsobují, že se vzhled oblohy pomalu, ale jistě mění.

I hvězdy samotné zanikají po vyčerpání jaderného paliva. Jejich životní doba je překvapivě tím kratší, čím větší je hmotnost hvězdy, protože v nitru hmotných hvězd je vyšší teplota a vodík se pak spotřebovává mnohem rychleji. Postupně může v nitru vznikat helium, uhlík, kyslík, neon, hořčík a prvky skupiny železa.

Obzvláště bouřlivý vývoj nastává poté, co v centru hvězd hmotnějších než deset Sluncí vznikne železo, ze kterého již nelze uvolnit další energii slučováním.



Během několika sekund jádro hvězdy gravitačně zkolabuje. Hustota látky stoupne natolik, že elektrony jsou doslova „vtlačené“ do atomových jader a při reakci $p + e^- \rightarrow n + \nu$ se vytvoří neutrony a neutrino. Vznikne tak neutronová hvězda o průměru asi 10 km, v níž gravitaci vyrovnává gradient tlaku degenerovaného neutronového plynu. Z důvodu zachování momentu hybnosti se kompaktní objekt rychle otáčí (až 100krát za sekundu).

Obal hvězdy padá opožděně. Náraz látky na tvrdou neutronovou hvězdu vyvolá rázovou vlnu, která kolaps zpomalí. Rozhodující je však obrovský tok neutrin, neboť interakce neutrin s hustou látkou způsobí její ohřev a explozi obalu (obr. 2). Právě mechanismem „neutrinové bomby“ se vysvětlují pozorované výbuchy supernov. Během kolapsu dojde k rozštěpení části železných jader fotony gama až na jádra helia, protony a neutrony. V prostředí silného větru neutrin a neutronů probíhá syntéza prvků těžších než železo.

Hvězdy jsou tedy nejvýznamnějším zdrojem těžkých prvků ve vesmíru. Jak vidíme v periodické tabulce (viz níže), pouze vodík, helium a lithium jsou původní, od Velkého třesku. Termonukleární reakce ve hvězdách mohou kromě helia vytvořit prvky od uhlíku až po nikl, avšak v málo hmotných hvězdách zůstávají prvky „uvězněné“ jako v hluboké potenciálové jámě. Prvky s protonovým číslem $Z = 29$ a větším mohou v principu vzniknout s-procesem nebo r-procesem, tj. pomalým (slow) nebo rychlým (rapid) zachycováním neutronů (v poměru k poločasu β rozpadu). Podmínky pro s-proces jsou splněny v obřích hvězdách typu AGB, kdežto

r-proces probíhá při výbuších supernov. Berylium a bor vznikají pouze rozpadem těžších prvků působením kosmického záření.

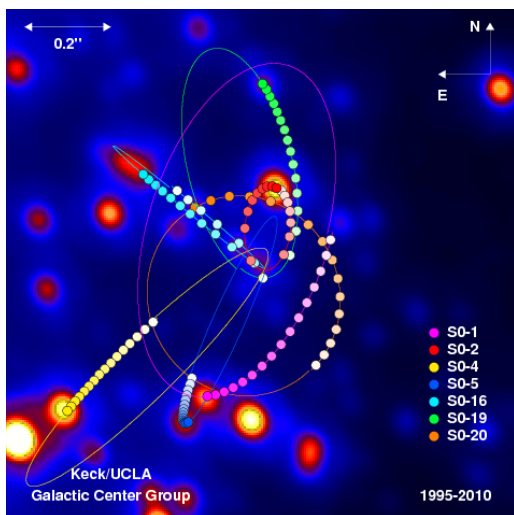
Kromě nov a supernov existuje ještě jeden způsob, jak se syntetizované prvky mohou dostat ven: u červených obrů jsou hluboko zasahující konvektivní zónou prvky vyneseny z nitra až do atmosféry a odtud rozptýleny hvězdným větrem do mezihvězdného prostředí.

Hvězdy s hmotností srovnatelnou se Sluncem zanikají při výbuchu novy, který také spočívá ve smrštění jádra a odvržení obalu, ale v tomto případě kolaps zastaví tlak degenerovaného elektronového plynu. Zabrání se tím zažehnutí dalších termonukleárních reakcí, nicméně se uvolní množství gravitační potenciální energie, které dostačuje na zahřátí a odvržení obálky. Obnažené jádro se nazývá bílý trpaslík. Jeho velikost je řádově 10 000 km a může se skládat z helia, uhlíku nebo kyslíku. Rozpínající se obal je řádově 10 000 let viditelný jako „planetární“ mlhovina. (Tento tradiční název je zavádějící, s planetami nemá mlhovina nic společného.)

Panel č. 8: Galaxie

Galaxie mívají následující části: 1) centrální výduť, která obsahuje především staré hvězdy s nižší metalicitou a nevykazuje téměř žádnou rotaci (tedy systém populace II); 2) disk s mladými hvězdami, vyšší metalicitou a rychlou rotací (tj. populace typu I). Zahrnuje též plyn H_2 a HI, velká molekulová mračna, chladný prach nebo horký plyn zahřátý tvorbou hvězd a výbuchy supernov. Na spirální ramena v disku nahlížíme jako na hustotní vlny, ramena tedy nejsou tvořena vždy těmi samými hvězdami. 3) baryonické halo, tj. také populace II, zahrnující kulové hvězdokupy, řídký plyn HI, HII, někdy i mezigalaktický horký plyn zářící v rentgenovém oboru. 4) halo temné hmoty, které dominuje ve vzdálenostech nad 30 tisíc světelných roků. Svědčí o něm rotační křivky galaxií.

Rozlišujeme pět klasických typů galaxií: eliptické (označované E, představující 60 % galaxií), čočkové (S0), spirální (S, 30 %), spirální s příčkou (SB) a nepravidelné (Irr, méně než 10 %). Navíc existují typy, které výše uvedená klasifikace neobsahuje: trpasličí eliptické dE a BCD (modré kompaktní), obří cD (eliptické difuzní v centrech kup), LSB (s nízkou plošnou jasností), aktivní rádiové, kvasary, Seyfertovy galaxie, interagující, splývající nebo galaxie s překotnou tvorbou hvězd. Typ galaxie nemusí zůstat stále stejný, ale může se měnit následujícími procesy: formováním příčky (což způsobuje tok plynu směrem k centru), rozpadem příčky, kanibalismem (pohlcením menší galaxie) nebo slučováním galaxií. Převažující směr vývoje je od typů spirálních k eliptickým. Kolize mezi galaxiemi trvají řádově 100 miliónů roků. Nesrážejí se při nich jednotlivé hvězdy, protože prostor mezi nimi je příliš velký, nýbrž oblaka molekulárního vodíku, která jsou dostatečně rozlehlá.

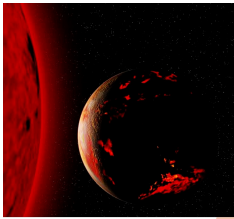


V centrech galaxií se nacházejí supermasivní černé díry, o čemž svědčí pozoruhodná skupina hvězd ve středu naší Galaxie, okolo rádiového zdroje Sagittarius A. Hvězda označená S0-2 se pohybuje po eliptické dráze s periodou $P = 15,2$ roku, úhlovým rozměrem $0,12''$, což ve vzdálenosti 26 000 sv.r. odpovídá velké poloose $a = 930$ AU. Hmotnost gravitujícího centra pak lze počítat z III. Keplerova zákona $[M]_{\text{Slunce}} = [a]_{\text{AU}}^3 / [P]_{\text{rok}}^2 = 4 \cdot 10^6$, což nesporně svědčí o existenci černé díry. Její horizont událostí, nacházející se na Schwarzschildově poloměru $r_S = 2GM/c^2 = 10^7$ km, nelze rozlišit.

Panel č. 9: Vývoj Země

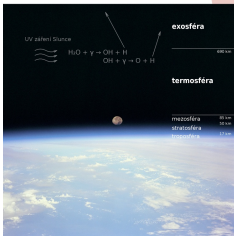
Hodiny uprostřed zachycují důležité okamžiky ve vývoji Země; každá „hodina“ na nich ovšem odpovídá jedné miliardě let. Na počátku byla Země horká — zahřívaly ji totiž četné dopady planetesimál, rozpad radioaktivních prvků a gravitační energie uvolňovaná při klesání hustších prvků do jádra (obr. 1). Mezi třetí a šestou hodinou je na ciferníku zhruba vyznačeno období, kdy na Zemi panují podmínky vhodné pro život, čili zde existuje kapalná voda a dýchatelná atmosféra. Ve vzdálené budoucnosti se však Země opět stane neobyvatelnou, především kvůli postupnému zjasňování Slunce. Ve dvanáct hodin, kdy se Slunce přemění na červeného obra, bude Země naprosto sežehnuta.

Prvotní atmosféra Země byla zcela odlišná od dnešní (obr. 4). Hlavní změny, které se v ní odehrály, jsou následující: 1) kondenzace vodní páry do oceánů; 2) rozpuštění CO_2 v oceánech a jeho sedimentace jako CaCO_3 ; 3) uvolňování O_2 při fotosyntéze; 4) vznik ozónu O_3 ve stratosféře působením UV záření. Uvėdo-



Slunce se po spotřebování vodíku v jádře mění na červeného obra; úplný zánik Země?

gravitační slapové síly a tření v pevninských šelfech mohou během devíti miliard let způsobit vzdálení Měsíce až na 550 000 km a zároveň zpomalení rotace Země na 47 dní, což je stav vázané rotace



srážky s dalšími velkými planetkami mohou opět způsobit velká vyhnutí

zvýšování zářivého výkonu Slunce
→ vypaření oceánů a únik vody do kosmu
překotným skleníkovým jevem?

kontinenty se pravděpodobně dočasně opět spojily v jednu (Pangea Ultima)?

současnost (4,56 miliardy let neboli „4 hodiny 34 minuty“)

vznik Slunce; kondenzace plynu na prachová zrnka → akrece (spojování) prachu
→ planetesimály → planetární embrya, vzájemné srážky → Protopozemě, terestrické planety (velké planety vznikly dříve než terestrické gravitačním kolapsem plynu na jedno embryo) diferenciací zemského tělesa

vznik Měsíce při srážce Protopozemě s cizí protoplanetou (nazývanou Theia)

po ochlazení Země vznikla pevná kůra

velké pozdní bombardování, dopravení vody planetkami zpoza sněžné linie (3 AU)? desková tektonika → pohyby kontinentů, vrásnění pohorí, vulkanismus; odplynění magmatu → prvotní atmosféra z oxidu uhlíkového, H₂O, N₂, NH₃, CH₄?

vznik života v oceánu, nejprve na bázi RNA (?), pak DNA; rozdělení na bakterie a archaie (jednoduché buňky bez jadra); glykolýza → molekula ATP → přenos energie v organismech; fotosyntéza produkující kyslík → nejprve se O₂ spotřebovává při oxidaci železa → později přeměna atmosféry

kyslíková katastrofa — vyhnutí organismů, pro které je O₂ jed; zvýšení koncentrace CO₂ → přehřívání metanu CH₄ (silného skleníkového plynu) na CO₂ (který je slabší) → první doba ledová

vznik eukaryot (stejnějších buněk s jádrem a organelami oddělenými membránami)

první mnohobuněčné organismy

superkontinent Rodinia; osušení souše blízko rovníku → zvýšené zvětrávání → odčerpání CO₂ → globální zalednění

vznik ozónové vrstvy (O₃); kambrijská exploze živých organismů; éra prvohor, kaledonské a hercynské vrásnění; první suchozemští živočišné nebo rostliny

udlost na rozhraní permu a triasu — největší vyhnutí všech dob, začátek druhohor; superkontinent Pangea, alpské vrásnění

začátek třetihor, kdy dopad planetky způsobil vyhnutí dinosauřů

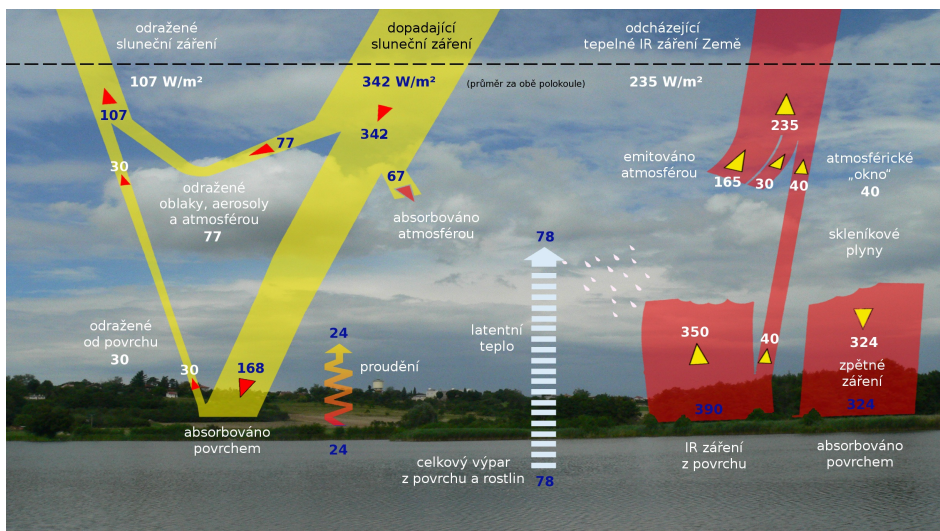
vznik rodu Homo v Africe (před „8 sekundami“); začátek čtvrťohor

konec poslední doby ledové (před „0,04 sekundami“)

mmě si, že chemické složení atmosféry ovlivňuje teplotu povrchu Země, a to kvůli skleníkovému jevu: infračervené tepelné záření od Země je účinně zachycováno určitými plyny (H₂O, CO₂), čímž se atmosféra zahřeje a působí jako další zdroj energie kromě Slunce (obr. 5). Současné geologické období čtvrťohor je charakterizované střídáním dob ledových a meziledových, jež jsou řízené zejména změnami oběžné dráhy Země (Milankovičovými cykly).

Není známo, jak přesně vznikl na Zemi život. Zatím se z neživých látek podařila pouze laboratorní syntéza aminokyselin, což jsou základní kameny složitých molekul bílkovin a deoxyribonukleové kyseliny (DNA) — nositelky dědičné informace. První jednoduché organismy vznikly poměrně záhy, ale bouřlivý rozvoj různých mnohobuněčných organismů nastal až v kambriu, před 540 milióny roků. Od té doby Země zažila pět velkých vymírání, největší na přelomu permu a triasu před 250 milióny roků (obr. 6). Vymírání před 65 milióny roků bylo zřejmě zapříčiněno dopadem desetikilometrové planetky do oblasti Yukatánského poloostrova. O globální katastrofě svědčí mimo jiné vrstvička vzácného iridia nalezená na různých místech Země.

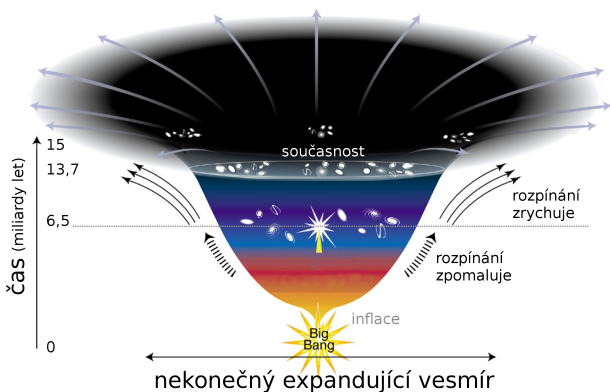
Velký vliv na fungování Země má desková tektonika. Jedná se o pohyby pevnějších litosférických desek po plastické astenosféře, a to rychlostí několika centimetrů za rok. Motorem je nejspíš ponáření chladnějších a tedy hustších okrajů oceánských desek do pláště nebo pohyb horkého magmatu v plášti, který se třením přenáší na desky (obr. 8). Existují tři typy rozhraní: 1) divergentní, kdy se desky od sebe vzdalují, konkrétně jde o středoocéánské hřbety nebo rozpádající se



kontinenty; 2) konvergentní, čili subdukční zóny, kde se oceánská deska zasouvá pod pevninskou, nebo kolize kontinentálních desek, kde se vrásní nová pohoří; a 3) transformní, tzn. pohyb podél zlomů. Na rozhraních probíhá intenzivní vulkanická činnost a zemětřesení (obr. 9). Pohyby kontinentů jsou neustálé a přímo ovlivňují i stav atmosféry a biosféry. Před 250 milióny roků byly všechny spojené v jeden superkontinent Pangea (viz nápadnou podobnost pobřeží Jižní Ameriky a Afriky, obr. 10).

Panel č. 10: Vývoj vesmíru

Základní vlastností vesmíru je rozpínání prostoru, které nesporně prokazují četná pozorování. Vzdálené objekty jsou prostorem unášené, takže se zvětšují vzájemné vzdálenosti. Objekty gravitačně vázané (galaxie, kupy galaxií) se však tímto nezvětšují. Uvědomme si, že i v čase „nula“ byl vesmír nekonečný a od té doby ještě expanduje. Na grafu nahoře tedy není znázorněn rozměr vesmíru, nýbrž expanzní parametr $a(t)$, sloužící jako měřítko vzdáleností. Rozpínání neprobíhalo vždy stejně rychle: těsně po velkém třesku se zrychlovalo (při inflaci), pak se zpomalovalo (zřejmě působením gravitační přitažlivosti), ale od času 6,5 miliardy let do dneška se zrychluje! Zdroj tohoto „odpuzování“ je největší záhadou současné astrofyziky — hovoří se o temné energii, kosmologické konstantě nebo o kvintesenci. Prozatím nejlepší model „ Λ -CDM“ předpokládá, že hmota/energie ve vesmíru je ze 73 % tvořena exotickou temnou energií. Nejdůležitější okamžiky a období ve vesmíru shrnuje následující výčet:



1. *Velký třesk.* Je počátkem prostoročasu. Neexistuje žádné „před“!
2. *Inflace.* Došlo k náhlému rozepnutí vesmíru o mnoho řádů, kvůli němuž je dnešní vesmír téměř homogenní; po skončení inflace expanze pokračuje, ale pomaleji. Probíhají kvantově–mechanické fluktuace, ve kterých má původ dnešní velkoškálová struktura vesmíru.
3. *Kvarková éra.* Hmotu/energii vesmíru tvoří hlavně kvark–gluonové plazma, existují též leptony (elektrony, pozitrony, miony) a neutrina. Po oddělení gravitační, silné, slabé i elektromagnetické interakce existují 4 síly, jak je známe dnes.
4. *Hadronová éra.* Kvarky byly „uvězněny“ v hadronech, čili vznikly protony (jádra atomu vodíku), neutrony a jejich antičástice. Na konci éry hadrony a anti-hadrony anihilují, tzn. zcela se přemění na záření, zůstane jen nepatrné množství částic. Neutrina přestanou interagovat s částicemi.
5. *Leptonová éra.* Většinu hmoty/energie tvoří leptony. Po poklesu teploty se však přestanou materializovat páry leptonů a antileptonů a na konci éry anihilují.
6. *Nukleosyntéza.* Slučováním vznikla jádra helia (25%), deuteria a lithia. Nukleosyntéza nepokračovala proto, že berylium-4 je velmi nestabilní izotop.
7. *Éra záření.* Většinu hmoty/energie vesmíru tvoří záření (po anihilaci zůstala pouze 1 částice z 10 miliard párů).
8. *Éra látky.* Při rozpínání prostoročasu záření chladne rychleji než látka, která posléze začne převažovat.
9. *Rekombinace.* Při rekombinaci elektrony a jádra vytvořily atomy, čímž se vesmír stal průhledný pro záření. Toto záření dnes pozorujeme jako kosmické mikrovlnné pozadí o teplotě 2,7 Kelvínu (s fluktuacemi řádu 0,0001 K).
10. *Temné období.* Zatím neexistují žádné hvězdy; září pouze atomy vodíku na vlnové délce 21 cm (díky spinovému přechodu).

11. *Reionizace.* Vznikly masivní hvězdy první generace, které záhy explodovaly jako supernovy a obohatily mezihvězdnou látku těžšími prvky. UV záření hvězd opět ionizovalo mezihvězdnou látku. (Energie potřebná pro uvolnění elektronu z atomu vodíku je 13,6 elektronvoltu, což odpovídá fotonu o vlnové délce $\lambda = hc/E = 91$ nanometrů.)
12. *Vznik galaxií.* Prvotní struktury a galaxie se formovaly zejména díky gravitační přitažlivosti temné hmoty, jež přitahuje i normální (baryonickou) látku. Temná hmota však zůstává více rozprostřena, neboť neinteraguje elektromagneticky, a nemůže se tedy ochladit vyzařováním fotonů. V raném vesmíru existovaly kvasary — supermasivní černé díry obklopené akrečním diskem. Materiál do nich padající před dosažením horizontu události intenzivně září, neboť se uvolňuje jeho gravitační potenciální energie.
13. *Vznik sluneční soustavy.* Slunce vzniklo gravitačním kolapsem velkého molekulového mračka, jen o 0,01 až 0,1 miliardy let později se formovala Země a ostatní planety. Slunce je hvězdou třetí generace s metalicitou $Z = 2\%$, je tvořené látkou obohacenou o těžší prvky syntetizované staršími hvězdami 1. a 2. generace a vyvržené výbuchy supernov nebo hvězdným větrem rudých obrů. Terestrické (kamenné) planety ani biosféra by jinak nemohly vzniknout.
14. *Dnešní vesmír.* Celý vesmír má takovou strukturu, jakou pozorujeme dnes v našem okolí. Kvůli konečné rychlosti světla vidíme ovšem vzdálené objekty tak, jak vypadaly v dávné minulosti. Stáří vesmíru bylo odvozeno například z měření vzdálenosti a rychlosti vzdalování určitých objektů (supernov typu Ia) na 13,7 miliardy let, s chybou menší než 0,2 miliardy let.



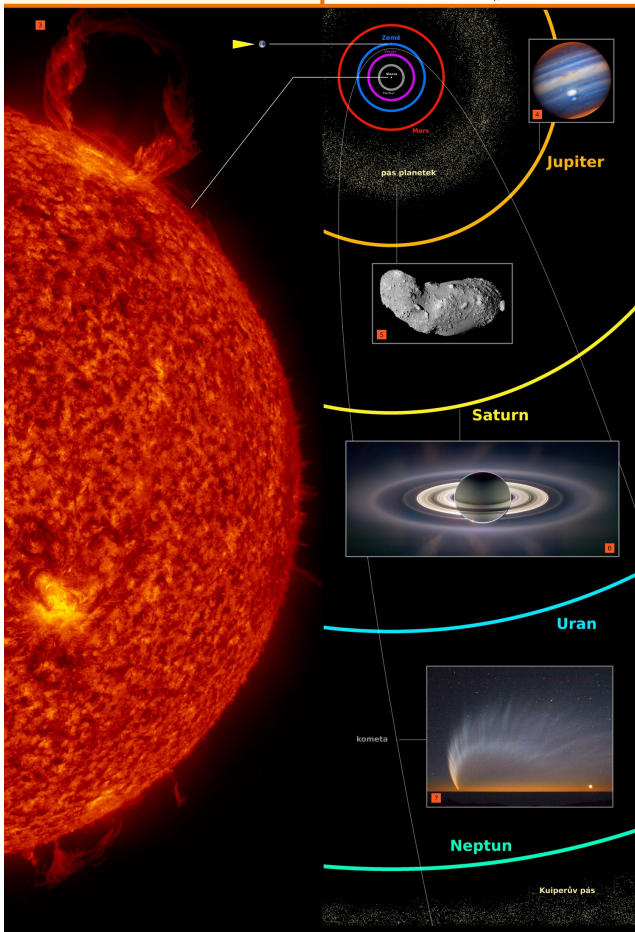
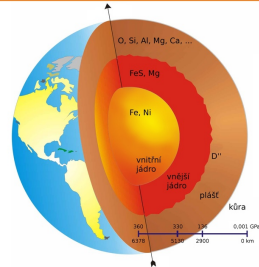


panel
1

Země je třetí planeta obíhající okolo Slunce. Ve vzdálenosti 384 000 km jí provádí průvodič družice – Měsíc. Společně s dalšími vnějšími planetami, jejich satelity, mnoha planetkami, kometami, tělesy Kuiperova pásu, Oortova oblaku, meteoroidy, sržky prachu a meziplanetárním plynem je v gravitačně vázané sluneční soustavě.

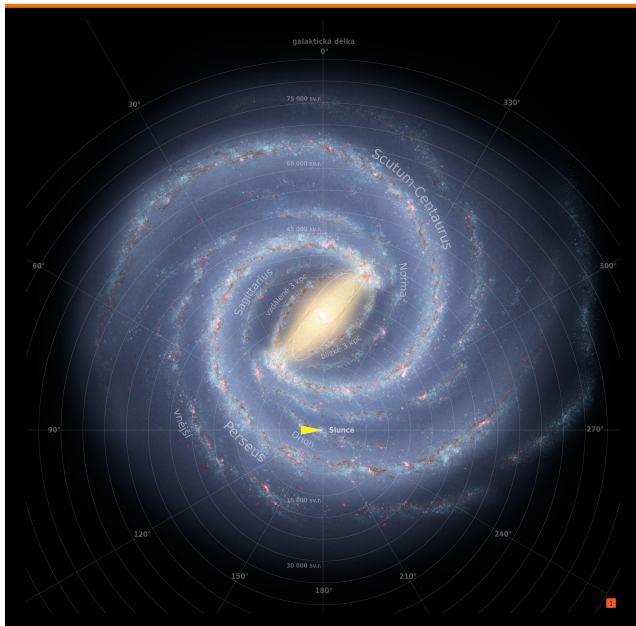
Povrch i nitro Země tvoří těžší prvky nebo jejich sloučeniny, přičemž méně husté (vodí, silikaty) jsou v pláště a kůře a hmotnější (železo, nikl) se soustředily v jádře. Služeni Měsíce se podobá zemskému pláště, což dokazuje, že vznik katakretičkou srážkou Země s cívou protoplanetou. Ledové oběti planety (Uran a Neptun) sestávají především z vodní a ledu. Vnější atmosféra Slunce tvoří katalyt vodík a helium, ale ve stavu plně ionizovaného plynu – plazmatu.

- 1 Měsíc v optiku fotografovaný ze Země. Na obloze má úhlový průměr 30', skutečný je 1x rozměru. © T. A. Bertozzi, J. P. Bellantoni, NASA/AURA/NESF.
- 2 Země při pohledu z kosmické loďe šplouchající k Měsíci. © NASA.
- 3 Slunce na snímku v ultrafialovém oboru, pořízeném sondou SDO. Nad okrajem se týčí velké protuberance, tedy oblaky horkého plazmatu v koróně, udržované magnetickým polem. Vlevolet Země vidí na malém úsečku. © NASA/SDO.
- 4 Jupiter na infračerveném snímku dalekohledem Gemini. © Gemini/AURA/NESF.
- 5 Planeta (23143) Itokawa pozorovaná družicí sondou Hayabusa. Na povrchu této 500 metrů velké planety je vidět mnoho kámen, ale žádné krátery. © JAXA.
- 6 Komplex Saturnových prstenců, viděný při úplňku zatmění Slunce Saturnem. Snímek ze sondy Cassini. © SSI, JPL, ESA, NASA.
- 7 Komete C/2006 P1 (McNaught) v obdobi největšího přiblížení ke Slunci a k Zemi, kdy měla ohon promítající se přes polovnu oblohy. © S. Dainis, ESO.



ZEMĚ VE VESMÍRU

panel
2



Slunce je spolu s dalšími asi 200 miliardami hvězd součástí Galaxie. Tento hvězdný obrov má průměr 100 000 světelných letů a je poloměru zhruba by vypadal jako obrovská spirála se čtyřmi rameny (nazvána podle souhvězdí, do kterých se rozkládá). Betelgeuse a Perseus, další jsou menší hvězdy (Polaris, Sirius, Vega) rameno, blížící se vzdálené rameno na 3 kiloparsecích). Slunce leží v blízkosti ramene Orion-Labur, o Měsíči, Caltech.

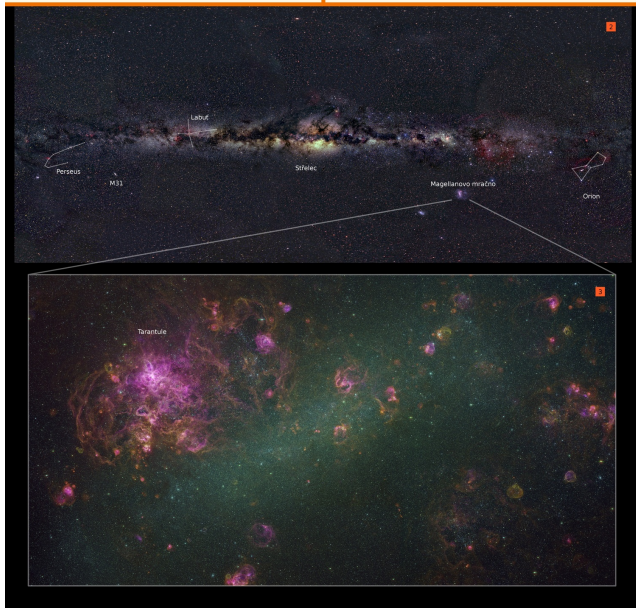
Galaxie se pohybuje směrem k Slunci oběhně kolem centra asi za 230 milionů let, čímž je oběhně rychlost činí 220 km/s. Vnitřní část Galaxie je tvořena hustou a obrovskými částicemi, se vzdáleností totiž neklesá oběhně rychlost, jak by odpovídalo Newtonovu gravitačnímu zákonu. Objevujeme a také, že v okolí Galaxie se musí nacházet rozptýlená hmota a neviditelné temné hmoty, přičemž její hmotnost je zhruba 10 krát větší než hmotnost viditelné hvězdy látky.

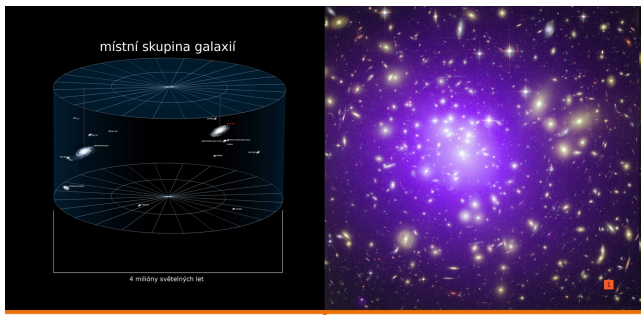
Vzhledem k koloběžce vesmíru let Galaxie rychlostí 630 km/s (součet podle dipolové anizotropie kosmického mikrovlnného pozadí).

Model naší Galaxie vytvořeny na základě měření Spitzerovým kosmickým dalekohledem v blízkosti infračerveného oboru a rádiových pozorování. Dvě spirální ramena jsou hlavní (nazvána podle souhvězdí, do kterých se rozkládá). Betelgeuse a Perseus, další jsou menší hvězdy (Polaris, Sirius, Vega) rameno, blížící se vzdálené rameno na 3 kiloparsecích). Slunce leží v blízkosti ramene Orion-Labur, o Měsíči, Caltech.

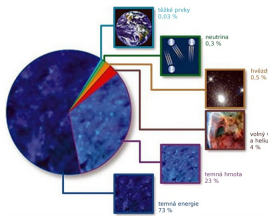
Panoramatický snímek Mléčné dráhy získaným přerývaným srovnáním 31 širokohledných 30 sekundových se severní (30) polohou. Zobrazení je jenom, že Galaxie je obrovská plocha. Lze též rozpoznat mnohá souhvězdí, včetně mikrovlny, ale především matně viditelná smrtelná hvězda na vzdálenější objekty, © Axel Hellinger.

Detail Velkého Magellanova mráčku, třetí největší galaxie, vzdálená 160 000 svět. letů a nepravidelné galaxie s velkým množstvím mezihvězdné látky a aktivními oblastmi tvorby hvězd, jako je například mlhovina Tarantula (NGC 3370). © C. Smith, S. Point, MCELS team, NOAO/AURA/NSF.





panel
3



Někde Galaxie patří do místní skupiny, společně s galaxiemi M31 v Andromedě, M32 v Trojčechách, Megaspherální mrakou a dalších 30 trpasličích galaxiemi. Místní skupina galaxií je pak součástí nadskupiny Virgo, jejíž střed leží ve směru souhvězdí Panna, asi 150 miliónů světelných let od nás.

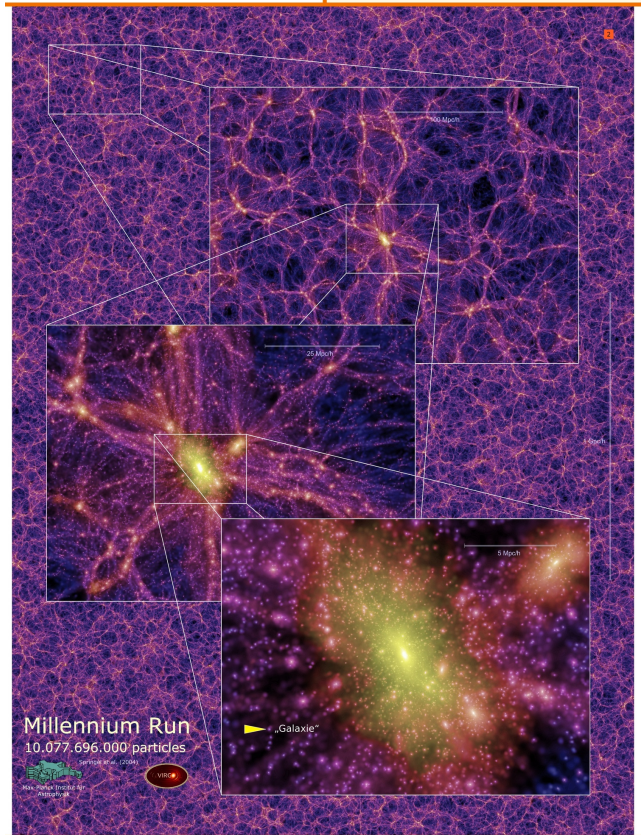
V pozorovatelné části vesmíru se nachází řádově 100 miliard galaxií. Jsou uspořádány do víčkové struktury s velkými „dutinami“ a „stěnami“. Na škálách větších než asi 100 miliónů sv. je vesmír prakticky homogenní, jeho hustota je všude téměř stejná. Přibližně odpovídá 6 protonům na metr krychlový, což je hustota blízká kritické hustotě, při které se prostoročas plochý (euklidovský). Celý vesmír je podle kosmologických modelů nekonečný.

Ve vesmíru se žijí naš vesmír zcela odlišně: každou obvyklé léta z protonů, neutronů a elektronů tvoří pouze 4 % vesmíru! Většina hmoty, nebo ekvivalentní energie vypočítané E=mc² je obsažena téměř hmotu (12 %) a temná energie (73 %), vynásobující se odporným tlakem jejich pevnost není žádná, ale teoreticky by se mohly jednat o nějaká superkritická elementární částice (axiony), respektive energi vakua.

1 Galaktická kupa Abell 1689 na obrázku z Hubbleova dalekohledu, v rozptýlené odstavci 13 bodů. Kupa je od nás vzdálena asi 2,2 miliardy světelných let. Za pozorovatelné stopy užke protahlé obrázky galaxií, vytvořené gravitační čočkou. Objevte-li temnotu v kupa pro první temná hmota, galaxií jako temná, protočasto se paprsky od světla v rozstavě se pak objevují. Takto rozstavě se nachází galaxií mnohem více, takže až 12 miliard světelných let. Předložený Hubbleův obrázek je respektive obrázek z databáze simulace vesmíru, který je přímým a teplotě stovek miliónů stupňů, jeho přítomnost v kupa svědčí o existenci temné hmoty, neboť bez její přítomnosti by hvězdy plyly z kupy do okolí vesmíru.

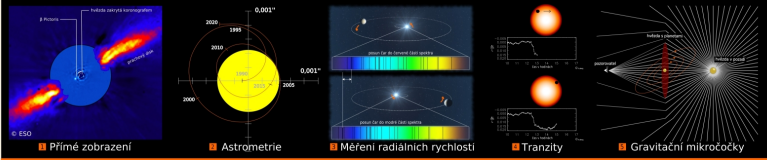
© NASA/STScI, NASA/CXC, MIT, E. H. Peng.

2 Výsledek obří numerické simulace vesmíru, která zahrnovala 10 miliard částic. Je zde dobře patrná víčková struktura, na zvláštním místě pozorujeme vidět galaktické kupy i jednotlivé galaxie. Fialové jsou zryzřezaná galaktická hala z temné hmoty. © Springel et al. 2004.

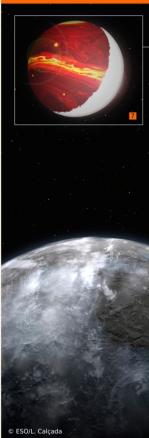


◀◀ — nekonečno — ▶▶

CIZÍ PLANETY



- **Exoplanety**, tedy planety obíhající okolo jiné hvězdy než Slunce, jsou ve vesmíru zcela běžnými tělesy. Přestože jejich existence byla předpovězena již v roce 1755 Kantem a Laplacem, objev první planety 51 Peg b se podařilo až v roce 1995, a to díky sofistikovaným metodám a nejcitlivějším přístrojům. Podle dnešních statistik se odhaduje, že nejméně 10 % hvězd slunečního typu má planetární systém. Přímé zobrazení exoplanet pomocí dalekohledů a koronagrafů je nejnáročnější (obr. 1). Při pozorování ze vzdálenosti 16 světelných roků by úhlová vzdálenost Jupiteru od Slunce byla pouhá 1 úhlová vteřina. Přibližně tolik číni rozmazání obrazů vlivem chvění atmosféry. Je proto nezbytné používat adaptivní optiku a pro maximalizaci kontrastu mezi hvězdou a planetou pozorovat v infračerveném oboru, ve kterém vyzařuje planeta.
- Další tentokrát nepřímou metodou k odhalení exoplanet je dlouhodobé měření polohy hvězdy neboli astrometrie (obr. 2). Využívá skutečnosti, že hvězda obíhá kolem těžiště společného s planetami. Vzniká pohyb hvězdného kotouče, který kdybychom viděli ze vzdálenosti například 32 sv. r., dosahuje řádové 0,001". Současné měřicí metody jsou již dostatečně přesné, a lze tedy vypočítat hmotnost „neviditelné“ planety i její vzdálenost od hvězdy, případně odhalit vícero planet.
- Pokud je oběžná rovina exoplanet orientovaná tak, že se na ni při pohledu ze země díváme zblouka (obr. 3), můžeme opět využít pohybu hvězdy okolo těžiště. V okamžiku, kdy se hvězda pohybuje směrem k nám, jsou spektrální čáry jejího světla posunuty směrem do modré oblasti a naopak při pohybu od nás do červené. Z posunu $\Delta\lambda$ spektrálních čar, majících v klidu vlnovou délku λ , lze vypočítat velikosti radiální rychlosti dle Dopplerova vztahu $v = c\Delta\lambda/\lambda$, kde $c = 300\,000$ km/s označuje rychlost světla ve vakuu.
- Fotometrická metoda využívá poklesu jasnosti hvězdy ve chvíli, kdy přes její kotouč přechází relativně tmavá planeta (obr. 4). Družicová měření s přesností lepší než 0,001 magnitudy v principu umožňují objevit i planety veliké jako Země, závislost mezi poklesem jasnosti během tranzitu (ΔL) a poloměrem planety (R) je $\Delta L = (R/R_s)^2$.
- Ke zvýšení jasnosti hvězdy naopak může dojít, pokud její světlo prochází vhodné zakřivenou částí časoprostoru. Toto zakřivení má obdobný účinek jako čočka – fokusaci světla (obr. 5). Způsobují ho mezihvězdné objekty, například černé díry, ale v menší míře i obvyčejné hvězdy nebo planety. Zjasnění je úměrné hmotnosti objektu v popředí.



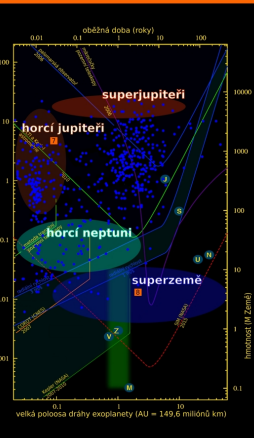
Dosud objevené vícenásobné systémy se liší od sluneční soustavy (viz porovnání vpravo na obr. 6). Exoplanety mají často vyšší vzdálené sklonu drah, rovina oběhu bývá odlišná od roviny hvězdy a část drah je dokonce retrogradních.

Objev horkých jupiterů (obr. 7), tedy planet s podobnou hmotností jako Jupiter, jež obíhají blíže než Merkur a mají teplotu okolo 1500 K, podporují teorii o migraci planet. Obíhají totiž určitě neznámky v těsné blízkosti hvězdy, neboť zde není dostatek materiálu, ale zřejmě spirálovaly díky tření v plynném disku z větších vzdáleností.

Až 80 % zatím objevených exoplanet má hmotnost srovnatelnou s Jupiterem nebo Neptunem. To je dáno zejména výběrovým efektem, protože málo hmotné planety se objevují obtížněji. Zatím se nepodařilo objevit planetu, která by byla zcela stejná jako Země.

Jako superzemě jsou označovány velké kamenné planety s hmotností od jedné do deseti hmotnosti Země (obr. 8). Většina astrobiologických studií se přiklání k názoru, že superzemě jsou pro vznik a udržení života příznivější než naše „malá“ Země. Měly by mít mohutnější deskovou tektoniku a také stabilnější rotační osu, což by vedlo ke stálejšímu klimatu na povrchu.

Jedním z velkých překvapení byla existence planet okolo pulsarů, pozůstatků po výbuchu supernovy. Ze by nějaké planety přetrvály takovou katastrofou, bylo nepředstavitelné. Ověruje se proto možnost jejich druhotného vzniku ze zbytků po výbuchu.



<p>sluneční soustava hvězda: sluneční soustava, průměrná teplota 5780 K, vzdálenost 1 AU (149,6 miliónů km)</p>	<p>Merkur</p> <p>Venuše</p> <p>Země</p> <p>Mars</p>
<p>sloučtář HD 181433 hvězda: HD 181433, průměrná teplota 4862 K, vzdálenost 113,75 světelných roků</p>	<p>HD 181433 b</p> <p>HD 181433 c</p> <p>HD 181433 d</p>
<p>sloučtář HD 10180 hvězda: HD 10180, průměrná teplota 5914 K, vzdálenost 120,24 světelných roků</p>	<p>HD 10180 c</p> <p>HD 10180 d</p> <p>HD 10180 e</p> <p>HD 10180 f</p> <p>HD 10180 g</p> <p>HD 10180 h</p> <p>HD 10180 i</p>
<p>sloučtář PSR 1521-12 hvězda: PSR 1521-12, průměrná teplota 220000 K, vzdálenost 20250 světelných roků</p>	<p>PSR 1521-12 a</p> <p>PSR 1521-12 b</p> <p>PSR 1521-12 c</p>
<p>sloučtář Gliese 581 hvězda: Gliese 581, průměrná teplota 3100 K, vzdálenost 12,24 světelných roků</p>	<p>Gliese 581 e</p> <p>Gliese 581 f</p> <p>Gliese 581 g</p> <p>Gliese 581 d</p>
<p>sloučtář HR 8799 hvězda: HR 8799, průměrná teplota 1600 K, vzdálenost 130 světelných roků</p>	<p>HR 8799 b</p> <p>HR 8799 c</p> <p>HR 8799 d</p> <p>HR 8799 e</p>

Polárka

Arkturus

Rigel

β Lyrae

Sírius A

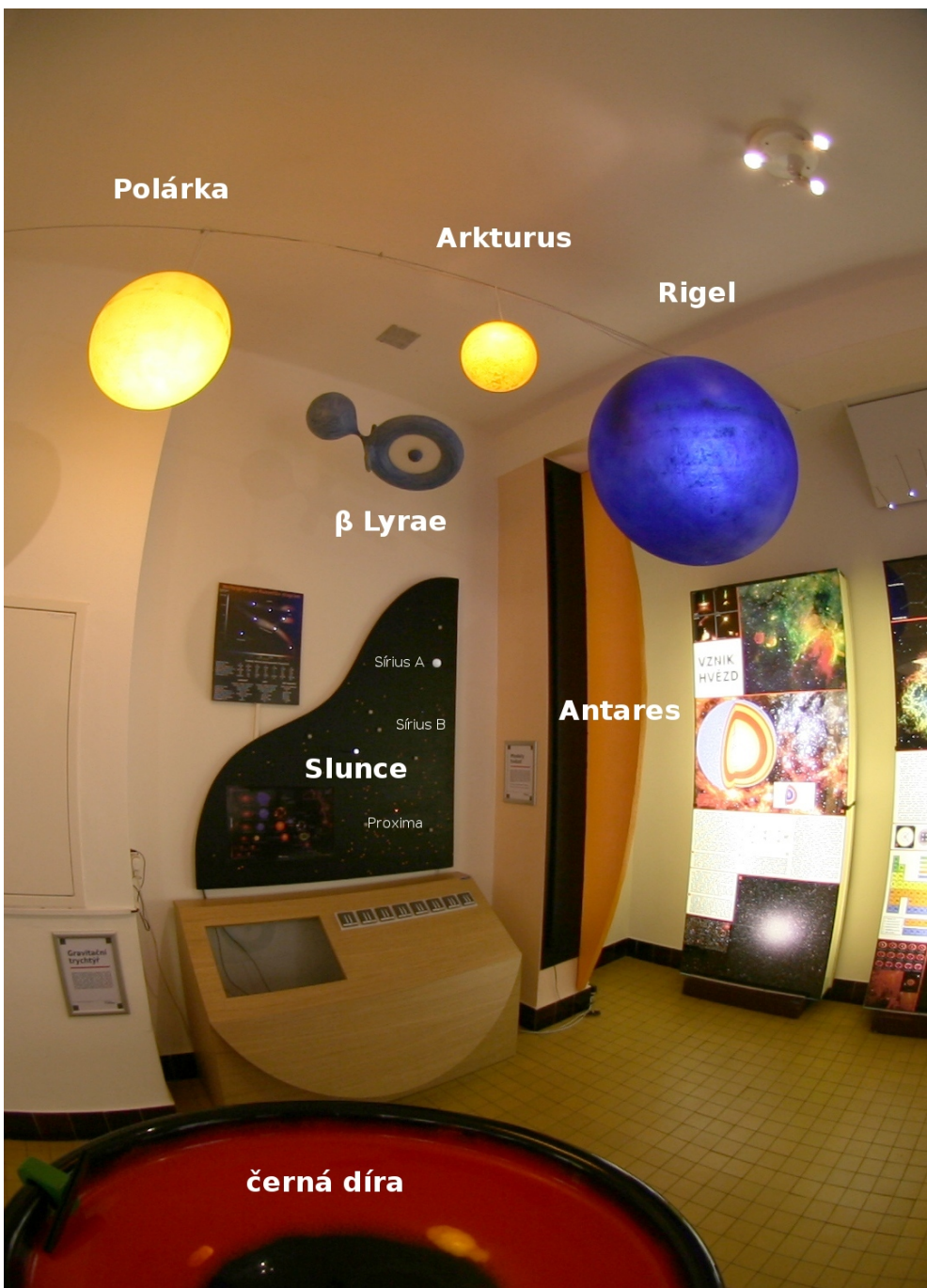
Sírius B

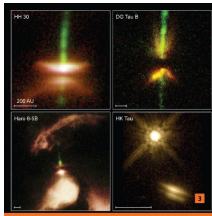
Slunce

Proxima

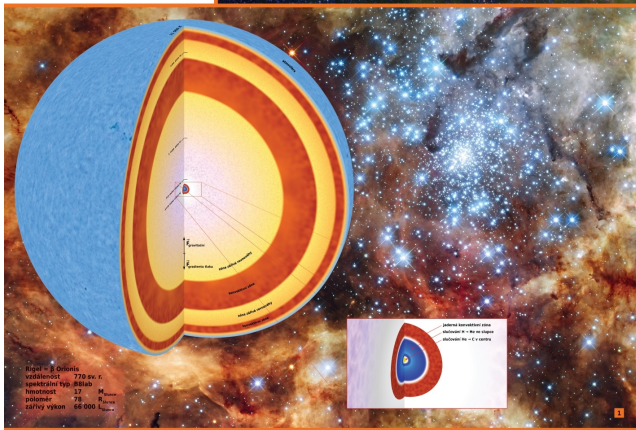
Antares

černá díra

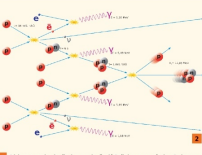




VZNIK HVĚZD



Hvězdy vznikají gravitačním kolapsem z obláček mezihvězdné hmotny a prachu. Tento děj se odvíjí v neprocházejících mřížkách mezihvězdy, kde hustota postupně roste a vzniká tlak. Jakmile tlak překročí tlak magnetického odporu, nastává kolaps. Hvězda se během kolapsu velmi zahušťuje, vzhled se velmi gravitačním potenciálem odlišuje a přemění se na jeho vlastní tepelnou energii. Při teplotě nad 10 miliónů kelvinů se v hvězdě probíhá termojaderná (tj. chemická) reakce, hvězda se přeměňuje na kuličku z dusíku a hélia. Vzniká tak tzv. jádro hvězdy. Vzhledem k tomu, že hvězda je velmi hustá, vzniká v jejím středu velmi vysoká teplota a tlak. Vzhledem k tomu, že hvězda je velmi hustá, vzniká v jejím středu velmi vysoká teplota a tlak. Vzhledem k tomu, že hvězda je velmi hustá, vzniká v jejím středu velmi vysoká teplota a tlak.



Vnitřní struktura hvězdy závisí na její počáteční hmotnosti a vývojem trvá. Menší pozvoňově přirovnání, ale i její vývoj. Hvězdy s menší hmotností (méně než 8 slunečních hmotností) vznikají v hustých oblastech mezihvězdy, kde je soustředěno více prachu a plynu. Hvězdy s větší hmotností vznikají v méně hustých oblastech mezihvězdy, kde je méně prachu a plynu. Hvězdy s větší hmotností vznikají v méně hustých oblastech mezihvězdy, kde je méně prachu a plynu.

1 Slavný mezinárodní tým vědců z NASA a ESA s pomocí kosmického dalekohledu, kamerou WFFPC, našel hvězdy jako čtyři protoplanetární misky. Prohlášení zářilo se projevuje výtrysk v kosmické mlze. Interakce výtrysků a hvězdné větry z mezhvězdné mlhy vznikají šlukovníky nazývané Herbig-Haroovy oblaky. © Chris Burrows, John Krist (STScI), Karl Stapfel (JPL), WFFPC Science Team, NASA.

2 Oblast tvorby hvězd v souhvězdí Štírců na snímku Spitzerským kosmickým dalekohledem v infračerveném spektru. Tato teplotní záření je velmi vhodné pro pozorování vznikajících hvězd, které obklopují velkým protoplanetárním mřížkovitým látkou. Modrá barva odpovídá záření o vlnové délce 3,6 μm, zelená 8 μm a červená 24 μm. Nové hvězdy se tvoří zejména v tmavých (chlazených) částech, které připomínají „chladná zrna“ (proč? Červená mlhovina vlevo je oblak pro vybuchlé supernovy. © NASA, JPL, Caltech.

3 Když byla tato hvězda na místě našeho Slunce, na Zemi by dýšali ohrožený zářivě bílý 100 W! (V porovnání se slápnutím 1,360 W/m²). Zvláštní děje Říšeje v poměrně 10,0 miliónů roků, což je 100 krát méně než v případě Slunce (12,3 milióny roků).

4 Z velkého molekulového mráčka váží vzniklé skupiny hvězd, přibližně 5% látky se přemění na hvězdy. Zbytek je hvězdným větrem rozfouknuto do okolního prostoru. Tyto relativně malé hvězdky se nazývají protoplanetární misky. Prohlášení zářilo se projevuje výtrysk v kosmické mlze. Interakce výtrysků a hvězdné větry z mezhvězdné mlhy vznikají šlukovníky nazývané Herbig-Haroovy oblaky. © Chris Burrows, John Krist (STScI), Karl Stapfel (JPL), WFFPC Science Team, NASA.

5 Kuličková hvězdky v Centauri v líním souhvězdí Kentaura, vzdálená 17 000 sv. je v ní 10 000 krát větší koncentrace hvězd než v naší Slunci. Hvězdky jsou vzdáleny více než jednou generací hvězd a také mnohým hvězdným, které ale nejsou slápnutím, vzhledem k tomu, že hvězdy jsou vlnové doba. Rychlé pohyby hvězd v blízkosti centra namáhají přitahování centra díky vlnové doba 40 000 Sluncí. Celkový snímek byl pořízen teleskopem Max-Planck-ESO a přibližně 2,2 m. detail pak HST, © ESO, NASA, ESA, Hubble SM4 ERO Team, J. Anderson, A. van der Meer (STScI).



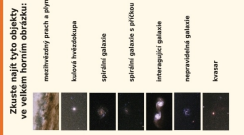


GALAXIE



Illeggiibile testo in alto a sinistra, con un diagramma a linee rosse e blu che mostra orbite o traiettorie.

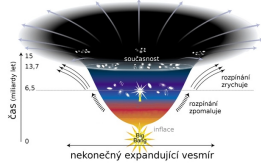
Illeggiibile testo in alto a sinistra, con un diagramma a linee rosse e blu che mostra orbite o traiettorie.



Illeggiibile testo in alto a sinistra, con un diagramma a linee rosse e blu che mostra orbite o traiettorie.

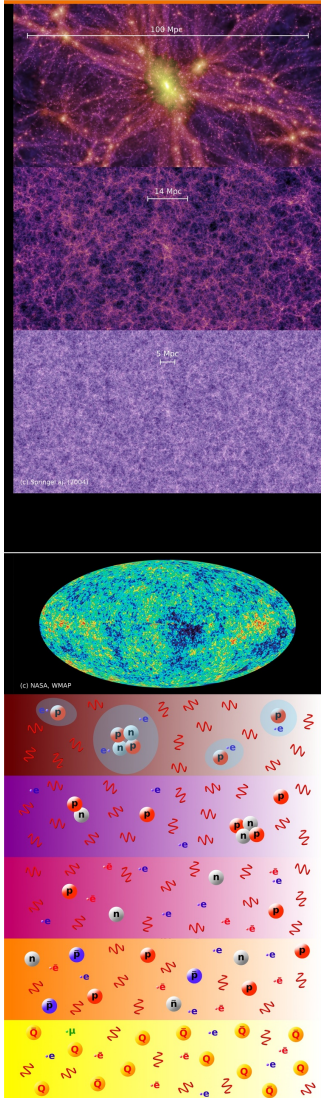
Zucche negli tipo oggetti
 di **Valentino Ferraro**, **Enrico Belloni**
 mediastory press e pty
 torce i **trapezoidi**
 spirale **galassie**
 spirale **galassie e plicose**
 irregolari **galassie**
 irregolari **galassie**
torce

panel
10



Základní vlastností vesmíru je rozpínání prostoru, které nepřímo prokazuje číselná pozorování. Viditelné objekty jsou prostorem vzdálené, takže se světlo vzájemně vzdaluje. Objekty gravitačně vázané (galaxie, kupy hvězd) se však téměř nerozdílejí. Uvedeme-li, že v *čas* *unáše* "by vesmír expandoval, což se dělo ještě expandující. Na první pohled tedy není zjevné, proč vesmír expanduje, což se dělo ještě expandující. Soudíme, jako mělo vzdalování. Rozpínání neprobíhá vždy, dojde k jeho zpomalení. To je způsobeno gravitační přitažlivostí, ale od času 6,5 miliardy let do dneška se zrychluje. Zároveň tohoto odpočítání" je nepřímo základem kosmologické konstanty – konstanty Λ (Lambda-CDM) předpokládá, že hmota+energie ve vesmíru je ze 73 % tvořena exotickou temnou energií.

VÝVOJ VESMÍRU



velký třesk

dnešní vesmír

Časý vesmír má lokální strukturu, jako pozorujeme dnes v našem okolí. Kvůli konečné rychlosti světla vidíme ovšem vzdálené objekty tak, jak vypadaly v době minulou.

Stáří vesmíru bylo odvozeno například z měření vzdálenosti a rychlosti vzdálených útržků objektů (supernov typu Ia) na 13,7 miliardy let, s chybou menší než 0,2 miliardy let.

vznik sluneční soustavy

První sluneční gravitačním kolásem vesmíru molekulového mraku, jen o 0,01 až 0,1 miliardy set později se formovala Země a ostatní planety.

Slunce je hrubou třetí generace s metalicitou $Z \approx 2\%$, je tvořeno látkou obtočenou o těžší prvky vytvořenéve starším hvězdném 1. a 2. generace a vyroběné výbuchy supernov nebo řetězovým výbuchem ugarů. Teoretická číselná měření planety ani komety by zrak nemohly vzniknout.

vznik galaxií

Hvězdy vznikaly v galaxiích se formovaly zejména díky gravitační přitažlivosti temné hmoty, jed přitažlivé a normální (baryonické) látky. Temná hmota však zůstává více rozptýlená, neboť interaguje elektromagneticky a nemůže se tedy koncentrovat gravitačním tlakem.

V raném vesmíru existovaly kvazary – supermasivní černé díry obklopené akrečním diskem. Materiál do nich padající před dosáhnutím horizontu události interaguje s láť, neboť se uvolňuje jeho gravitační potenciální energie.

reionizace

Vznikly masivní hvězdy první generace, které záhy explozovaly jako supernovy a obtočily mezihvězdnou látku ionizující prvky.

UV záření hvězd opět ionizovalo mezihvězdnou látku (Energie ionizujícího světla uvolňuje elektrony z atomu vodíku je 13,6 eV, elektronvolt, což odpovídá fotonu o vlnové délce $\lambda = hc/E = 91 \text{ nm}$ (nanometry)).

temné období

Časem temné období hvězdné tvorby sálá pouze atomy vodíku na vlnové délce 21 cm (slky spinového přechodu).

rekombinace

Při rekombinaci elektrony a jádra vytvořily atomy. Časem se vesmír stal průhledným pro záření.

Toto záření dnes pozorujeme jako kosmické mikrovlnné pozadí o teplotě 2,7 Kelvina (je fluktuacemi řádu 0,0001 K).

éra látky

Při rozpínání prostoročasu záření chladne rychleji než látka, která postihá začne převládat.

éra záření

Vesmíru hmotyenergie vesmíru tvoří záření (po anihilaci zůstane pouze 1 částice z 10 miliard párů).

Slučováním vznikla jádra helia (25 %), deuteria a lithia.

Nukleosyntéza neprotáhla proto, že berýlium-4 se velmi nestabilně rozpadá.

leptonová éra

Vesmíru hmotyenergie tvoří leptony.

Po počátku leptony se však přestano materializovat páry leptonů a antileptonů a na konci éry anihilují.

hadronová éra

Kvarky byly "uvězněny" v hadronech. Čili vznikly protony (částice atomu vodíku), neutrony a píky a antipíky.

Na konci éry hadrony/antihadrony anihilují. Tzn. zcela se přeměňují na záření, zůstane jen nepatrné množství částic: neutrina přestano interagovat s částicemi.

kvarková éra

Hmotyenergie vesmíru tvoří hlavně kvark-gluonové plazma, existují též leptony, elektrony, pozitrony, miony a neutrina.

Po odchlazení gravitační, silné, slabé i elektromagnetické interakce existují 4 síly, jak je známe dnes.

inflace

Dříve k náhlému rozpínání vesmíru v mnoho řádů, kvůli němuž je dnešní vesmír téměř homogenní, po skončení inflace vznikla struktura, ale proslabá.

Popíhají kvantové-mechanické fluktuace, ve kterých má původ šední velkoskalová struktura vesmíru.

počátek prostoročasu

Neexistuje žádná „před“!

13,7
miliardy let

9,1
miliardy let

1
miliarda let

400
milionů let

380 000
roků

70 000
roků

1 h

3 min

1 s

0,001 s

10⁻⁹ s

10⁻³⁵ s

čas 0