

TEMA



marcus chown & govert schilling  
**vesmír v tweetech**

VELKÉ MYŠLENKY A JEJICH STRUČNÁ OBJASNĚNÍ



Kniha byla zakoupena na serveru Palmknihy.cz.

**Kupující:** Jindriska Svobodova

**Adresa:** Radova, 62300 BRNO, cz

**ID 1575-47191116209664117154-2569-3488**

Upozorňujeme, že kniha je určena pouze pro potřeby kupujícího.

Kniha jako celek ani žádná její část nesmí být volně šířena na internetu, ani jinak dále zveřejňována. V případě dalšího šíření neoprávněně zasáhnete do autorského práva s důsledky dle platného autorského zákona a trestního zákoníku.

Neoprávněným šířením knihy poškodíte rozvoj elektronických knih v České republice.

Tak nám, prosím, pomozte v rozvoji e-knih a chovejte se ke knize, k vydavatelům, k autorům a také k nám fér.

**Marcus Chown & Govert Schilling**

**Vesmír v tweetech**



marcus chown & govert schilling

# vesmír v tweetech

VELKÉ MYŠLENKY A JEJICH STRUČNÁ OBJASNĚNÍ

Copyright © Marcus Chown and Govert Schilling, 2011  
Translation © Lucie Kudlejová, 2012  
Cover and layout © Lucie Mrázová, 2012

ISBN 978-80-87497-17-3

Věnováno Johnu Grindrodovi – majiteli nejzábavnějšího twitterového účtu – za to, že Marcuse k Twitteru přivedl





Vše začalo na jednom ostrůvku v Karibiku. Takový začátek hned dělá příběh působivějším, že? A svým způsobem tomu tak skutečně bylo.

Aruba je nejsušší ostrov Karibiku. Proslavila se díky kasinům a větrem zohýbaným stromům divi-divi, čímž jsou atrakce zhruba vyčerpány. Dne 26. února 1998 však postavení Slunce, Země a Měsíce způsobilo, že bylo na ostrově po dobu 3 minut a 32 sekund možné pozorovat mimořádnou přírodní podívanou. Za plného denního světla došlo k úplnému zatmění Slunce Měsícem. Marcus byl na Arubě proto, aby podal o úplném zatmění zprávu pro anglicky vydávaný časopis *New Scientist*. Nizozemský týdeník *Intermediair* sem ze stejného důvodu vyslal Goverta, ostrov je totiž součástí bývalých Nizozemských Antil.

Ať to zbytečně neprotahujeme, Marcus s Govertem se zde seznámili. Govert byl dokonce té dobroty a zavezl Marcuse na letiště, odkud se ve dvě ráno vracel zpět do Velké Británie.

Přeskočíme do roku 2009, kdy na popularitě velmi rychle získávala sociální síť zvaná Twitter, jejíž existenci nemohl v roce 1998 nikdo předvídat. Govert si Twitter oblíbil. Stejně tak Marcus. Vlastně to není tak úplně pravda, Marcus s Govertem se k Twitteru nejdřív stavěli stejně skepticky jako většina ostatních. Marcuse musel k prvnímu kroku přesvědčit John Grindrod, vedoucí propagace jeho domovského nakladatelství Faber. Vysvětlil mu, že je to výborný způsob, jak promlouvat přímo ke čtenářům.

Govert a Marcus na sebe na Twitteru narazili a znovu se ocitli v kontaktu. Na konci roku 2010 pak Govert poslal Marcusovi e-mail se zajímavým návrhem. Vzhledem k tomu, kolik dotazů na něj jeho příznivci směřovali, přišel s myšlenkou, že každý páteční večer uspo-

řádá na Twitteru kurz na některé z astronomických témat. Kurzů si všiml Govertův editor v nizozemském celostátním deníku *De Volkskrant* a navrhl, zda by je nechtěl přenést do podoby týdenních sloupků. Govertovi se nápad zalíbil a celý soubor patnácti tweetů se začal s jednodenním zpožděním objevovat i v novinách. Odezva čtenářů byla tak obrovská, že se Govert rozhodl napsat knihu pro širší veřejnost – v angličtině. A v tu chvíli si vzpomněl na Marcuse. Nechtěl by se s ním pustit do knihy tweetů?

První Marcusova myšlenka byla: co je to za nesmysl? Ne, teď vážně, považoval to za velmi dobrý nápad. Proto kontaktoval Neila Beltona, redaktora nakladatelství Faber, který by víc než ochotně přiznal, že o vědě a technice neví, co by se za nehet vešlo. K Marcusovu překvapení byl však Neil nápadem velice nadšen. Bezprostředně poté byla podepsána smlouva a Govert s Marcusem se společně pustili do práce.

Shrnout celá obsáhlá témata jako například teorii velkého třesku do několika tweetů se ukázalo být přinejmenším obrovskou výzvou. Govert již měl určité zkušenosti z psaní týdenních sloupků pro *De Volkskrant*, ale jedinou Marcusovou zkušeností byla aplikace *Sluneční soustava pro iPad* (Solar system for iPad), kde délka žádné z kapitol – o jedné z planet, měsíců nebo asteroidů – nesměla přesáhnout 275 slov, aby se vešla na obrazovku iPadu bez nutnosti listovat na další stránku. Dvě stě sedmdesát pět slov je málo, ve srovnání s tweetem o maximální délce 140 znaků je to však úplný román.

Marcus i Govert brzy zjistili, že projekt, který zpočátku považovali za rychlovku, je okrádá o stále více času. Vzhledem k tomu, že přílišné zestručnění obvykle vede k nesrozumitelnosti, bylo těžké najít rovnováhu mezi vystižením toho nejpodstatnějšího a čtenářskou přístupností. Ke všemu bylo velmi obtížné vejít se vždy do 140 znaků. Vyřadit pár přebytečných písmen trvalo často déle než samotná formulace tweetu. Marcus si uvědomil, že do poznámkového bloku

škrábe při procházkách v parku, čekání ve frontách v supermarketu nebo při cestě v horních patrech londýnských autobusů. Govert, jenž trávil dlouhé hodiny za stolem, si o procházkách v parku mohl nechat jen zdát!

Govert a Marcus se jednoznačně shodli na tom, že by měli pokrýt symbolických 140 témat, každý jich tedy zpracoval sedmdesát. Nakonec si materiál vyměnili a text si navzájem zkorigovali. To byl další časově náročný proces, se kterým původně vůbec nepočítali, nakonec však dílo dotáhli do úspěšného konce. Během jediného roku urazil Marcus dlouhou cestu od psaní běžných knih přes omezení na 275 slov až k pouhým 140 znakům. Govert už nikdy nepronese větu, která by se svou délkou nevměstnala do tweetu. Jako další projekt už jejich redaktor z nakladatelství Faber plánuje psát o vzniku, vývoji a osudu vesmíru v haiku. Neile, děláš si doufám legraci?

*Prosím, řekni, že děláš?*

Marcus Chown (Londýn) a Govert Schilling (Amersfoort), 2011



OBLOHA



# 1. Jak vzniká duha?

1665: v Londýně propuká mor. Cambridge na severovýchodě se uzavírá. Newton (22) se vrací domů. Po 18 měsících v ústraní změní tvář vědy.

Newton prožívá „zázračný rok“; vysvětlí gravitaci a láme si hlavu nad tím, proč mají hvězdy v dalekohledu duhovou ohrubu.

Dalekohledy používají skleněné čočky o různé tloušťce. Newton volí jednodušší způsob: různě tlusté optické hranoly.

Newton umístil hranol do cesty bílému slunečnímu světlu procházejícímu štěrbinou v závěsech ve Woolsthorpe a na tmavou zeď se promítl...

...paprsek rozložený na „spektrum“, všechny barvy duhy – červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou, indigovou a fialovou.

(Anglicky složí jejich první písmena zkratku ROYGBIV; jistý Roy G. Biv je postavou humoristického románu *The Information* od Martina Amise.)

Newton klade spektru do cesty druhý hranol (otočený obráceně) a barvy se jako zázrakem složí zpět na bílé světlo.

Newton došel ke správnému závěru, že se bílé světlo ze Slunce ve skutečnosti skládá ze všech barev duhy, spletených dohromady.

Sklo hranolu vlastně ohne barvy pod různým úhlem a tím rozdělí bílé světlo na jednotlivé složky.

Světlo je vlna (malá, proto neviditelná) a různé barvy mají různé vlnové délky. Červené světlo má asi 2x větší vlnovou délku než modré.

Duhu tvoří dešťové kapky, které se zachovají jako nespočet malých hranolů a rozdělí bílé sluneční světlo na jednotlivé barvy.

Vnitřní povrch kapky funguje jako malé zrcadlo, od kterého se světlo 1x či 2x odrazí. Pokud 2x, vzniká druhá duha s barvami v opačném sledu.

Úhel mezi dopadajícím a odraženým světelným paprskem je  $42^\circ$  („duhový úhel“). U sekundárních oblouků je úhel  $51^\circ$ .

Duha je ve skutečnosti kruh. Jelikož jí však v cestě stojí horizont, vidíme jenom její část v podobě půlkruhového oblouku.

Na ohraničení hvězd duhovým lemováním vyzrál Newton nahrazením čoček zrcadly a vynalezl tzv. zrcadlový dalekohled. Geniální!



## 2. Proč je obloha modrá?

Vzhledem k tomu, že je vzduch samozřejmě průhledný, odpověď zdaleka nebije do očí!

Vysvětlení modré oblohy přinesl na konci 19. století anglický fyzik lord Rayleigh (roku 1904 obdržel Nobelovu cenu za fyziku).

Zákl. fakt č. 1: světlo je vlna, stejně jako vlnka na rybníku. Není to zjevné, protože tak krátkou vlnovou délku nejsme schopni rozlišit.

Zákl. fakt č. 2: Newton objevil, že bílé sluneční světlo se skládá ze všech barev duhy, od modré o nejmenší vln. délce po červené o nejdelší.

Zákl. fakt č. 3: velikost molekul kyslíku/dusíku ve vzduchu je právě taková, že modré světlo odchylují (rozptylují) mnohem více než červené.

U bílého světla procházejícího atmosférou tak dochází k většímu odchýlení (rozptylu) modré složky. Vzniká rozptýlené modré pozadí.

Slunce zapadající za obzor červená, protože světlo prochází tlustší vrstvou atmosféry, 100 % modrého světla se oddělí a zůstane jen červené.

Pokud se mění velikost částic v atmosféře, může se měnit barva oblohy. Pokud jsou přítomny polutanty či sopečný prach, obloha zčervená.

Pokud je velikost částic tak akorát, vidíme dokonce modrý měsíc. Jeden možný původ anglického „once in a blue moon“, tedy „zřídka“.

Na Marsu může být obloha růžová nebo žlutá, záleží jen na velikosti částic vyzdvižených při písečných bouřích do tenké atmosféry.

Vysoko v zemské atmosféře není dost vzduchu, aby světlo rozptýlil, a nebe tak není modré, ale inkoustově černé.

### 3. Proč je vycházející Měsíc tak veliký?

Rychlá odpověď: není. Nízko nad horizontem se Měsíc skutečně jeví obrovský, stejně jako Slunce, jedná se však jen o optický klam.

Ověřte si to sami. Přidržte malou minci na délku paže a porovnejte její velikost s velikostí vycházejícího Měsíce. Pak...

...zopakujte totéž s Měsícem vysoko na obloze. Zjistíte, že se velikost Měsíce vůbec nezměnila. Jedná se o tzv. měsíční iluzi.

To samé platí i pro vycházející či zapadající Slunce. Jelikož se však do Slunce obvykle nedíváte, tohoto jevu si spíše všimnete u úplňku.

Stejný úkaz lze mimochodem pozorovat i u souhvězdí. Velký vůz vypadá nad vzdálenými domy mnohem větší, než když se nachází vysoko na obloze.

Co tento efekt způsobuje? Nikdo neví. Může to souviset s naším (mylným) vnímáním oblohy jako mírně zploštělé, ne stoprocentně kulaté.

Uprostřed oceánu není měsíční iluze zdaleka tak působivá. Roli podle všeho hraje přítomnost stromů či budov na obzoru.

Důvodem, proč Měsíc vypadá tak veliký, bude nejspíš to, že v našem zorném poli sousedí se vzdálenějšími objekty, jejichž velikost známe.

Měsíční iluze by jako pouhý klam měla zmizet, pokud ošálíte své smysly a podíváte se na stromy a další povědomé věci jako na něco neznámého.

Předkloňte se a pohlédněte na vycházející Měsíc mezi nohama. Hlavou dolů se vše jeví nezvykle a měsíční iluze se zčistajasna téměř vypaří.

Na obzoru je Měsíc skutečně o něco menší než výš na obloze. Jen se zamyslete: ke vzdálenosti je třeba přičíst poloměr Země.

Ne každý Měsíc v úplňku má také na obloze stejnou velikost. Oběžná dráha Měsíce je totiž elipsovitá a vzdálenost od Země se proto mění.

Vězte, že je Měsíc na obloze vlastně velmi malý. To jen malíři jej po každé zachycují větší, než by měl vypadat.

## 4. Proč Měsíce přibývá a ubývá?

Vzhled Měsíce se neustále mění: tenký srpek, půlměsíc, dorůstající kotouč, úplněk atd. Celý cyklus trvá asi 29,5 dne (lunární měsíc).

Základní fakt: Měsíc nevyzařuje vlastní světlo jako Slunce. Je naopak vidět, pouze pokud je Sluncem osvětlen – pokud sluneční světlo odráží.

Jeho fáze jsou způsobeny měnícím se slunečním osvětlením: někdy je navícena velká část Měsíce, jindy malá.

Jako Země má Měsíc denní (slunečnou) a noční stranu. Vždy je z půlky osvětlen, nemá „temnou stranu“ jako takovou (Pink Floyd prominou).

Když se Měsíc nachází zhruba na spojnici Země a Slunce, je osvětlený zezadu. Ze Země vidíme jeho temnou stranu. Nastává novoluní.

Asi o týden později Měsíc dokončuje prvních 25 % oběžné dráhy (první čtvrt). Slunce ho nyní osvětluje od západu a my vidíme půlměsíc.

Po dalším týdnu je Měsíc ke Slunci orientovaný opačně. Ze Země vidíme jeho osvětlenou stranu. To je úplněk.

Po dokončení 75 % oběžné dráhy (poslední čtvrt) je Měsíc osvětlen z východu. Západně orientovaná polokoule Měsíce je v tuto chvíli tmavá.

Pomůcka: první čtvrt Měsíce je viditelná jen v první polovině noci, poslední čtvrt vidíme pouze v druhé polovině noci.

Měsíc v úplňku je se Sluncem v tzv. opozici, vychází v době západu Slunce a zapadá v době jeho východu. Znamená to, že je vidět celou noc.

Průměrný měsíční cyklus trvá 29 dní, 12 hodin, 44 minut a 2,9 sekundy. Tento lunární měsíc zůstává základem židovského/islámského kalendáře.

Při pohledu z Měsíce prochází Země rovněž fázemi. Během novoluní by astronaut na Měsíci viděl zeměkouli v úplňku a naopak.

## 5. Co je zatmění Měsíce?

Zatmění Měsíce nastane, když Země zacloní sluneční světlo dopadající na Měsíc. Působivý jev, zejména díky přízračné rudé barvě.

Aby k zatmění Měsíce došlo, musí se Země nacházet mezi Měsícem a Sluncem. Zatmění mohou tedy nastávat pouze za úplňku.

Dráha Měsíce je vůči zemskému rovníku lehce nakloněná a za úplňku obvykle prochází mírně nad nebo pod zemským „stínem“. K zatmění nedochází.

Úplné zatmění: Měsíc v úplňku nejprve vchází do slabšího zemského polostínu, sluneční světlo je odcloněno jen částečně a Měsíc „zeseří“.

Poté Měsíc vstoupí do plného stínu, který z něj ukusuje víc a víc, někdy až k úplnému zatmění.

Měsíc překvapivě nezmizí úplně, ani když na jeho povrch nedopadá žádné přímé světlo. Místo toho ztmavne do oranžovo-červena.

Za rudou barvu zastíněného Měsíce může sluneční světlo procházející zemskou atmosférou, molekuly vzduchu ho totiž do tmy částečně rozptýlí.

Pro pochopení: představte si, že jste na Měsíci při jeho úplném zatmění. Nacházíte se ve stínu Země a Slunce je za ní schované.

Atmosféra však kolem temné Země září jako červený kruh (obdobně zčervená nebe po západu Slunce). Měsíc tím pádem slabě zrudne.

Měsíc je při zatmění nejprve šerý, později tmavý a červený. Je vidět mnohem více hvězd. Zatmění může trvat až 1 hodinu a 40 min.

Některá zatmění jsou jen částečná (Měsíc není ve stínu celý) nebo polostínová a tedy téměř nepozorovatelná.

Příští úplná zatmění Měsíce: 15. 4. 2014 (Severní a Jižní Amerika, Austrálie), 8. 10. 2014 (S. Amerika, východní Asie, Austrálie).



## 6. Co je úplné zatmění Slunce?

Úplné zatmění Slunce je bezesporu nejvelkolepějším přírodním úkazem, jaký můžete pozorovat. Než umřete, prostě ho musíte vidět.

Zatmění Slunce nastává, když Měsíc zakryje Slunce. Jelikož musí být Měsíc mezi Zemí a Sluncem, může k němu dojít jen při novoluní.

K zatmění Slunce nedojde při každém novu. Kotouč Měsíce většinou projde nad nebo pod Sluncem, jeho oběžná dráha je totiž mírně zešikmená.

Při zatmění projde měsíční stín na Zemi tzv. pásem totality. Úplné zatmění uvidíte jedině ve správnou dobu na správném místě.

V počáteční fázi Měsíc zakrývá stále větší část slunečního disku. Nakonec poklesne teplota, padne podivné světlo, plaší se zvířata.

V posledních minutách k nám stín rychle letí po zemi, planety vycházejí za dne, poslední paprsek září jako klenot na diamantovém prstenu.

Padne tma, vysvitnou jasné hvězdy, Měsíc se podobá černé díře. Obklopuje ho tzv. koróna, záře vydávaná okrajovou vrstvou sluneční atmosféry.

Úplné zatmění trvá jen několik minut. Mocný nápor na city (někdo i pláče!). Kouzlo mizí, jakmile Měsíc propustí první paprsek.

Úplné zatmění Slunce je výsledkem vesmírné náhody. Slunce je 400x větší než Měsíc, ale je také 400x dál, takže se na nebi jeví stejně velké.

Někdy je Měsíc od Země dál než na průměrnou vzdálenost. Kvůli zdánlivě menší velikosti nemůže Slunce zakrýt celé: „prstencové zatmění“.

Příští úplná zatmění Slunce: 13. 11. 2012 (S. Austrálie, Tichomoří),  
20. 3. 2015 (S. Atlantik, Špicberky), 9. 3. 2016 (Indonésie, Tichomoří).

## 7. Proč jsou léta teplá a zimy chladné?

Dráhu Země netvoří dokonalý kruh, ale lehce zploštělá elipsa: vzdálenost od Slunce se tak mění. Roční období s tím však nemají co dělat!

Pokud by měla, všude na Zemi by panovalo stejné roční období. Místo toho je na severní polokouli léto, zatímco je na jižní zima, a naopak.

Roční období jsou ve skutečnosti způsobena sklonem zemské osy. Stejně jako na globusu je Země odkloněna 23,5 stupně od svislice.

V červnu je severní polokoule nakloněná směrem ke Slunci, jižní směrem od něj. O šest měsíců později (v prosinci) je tomu naopak.

V létě jsou dny delší než noci. Slunce stoupá na obloze výš a tím Zemi účinněji ohřívá. To dohromady vede k vyšším teplotám.

V zimě jsou noci delší než dny. Slunce zůstává nízko nad obzorem a k výraznějšímu ohřátí zemského povrchu nemá dostatek síly.

Na severní polokouli dopadá nejvíce slunečního záření 21. června – o letním slunovratu, nejméně 21. prosince – o zimním slunovratu.

Oceán a atmosféra reagují na měnící se sluneční záření pomalu: nejteplejší měsíce přijdou až po letním slunovratu, nejchladnější po zimním.

Kolem 20. března a 22. září je Slunce přesně nad zemským rovníkem. Jarní/podzimní rovnodennost. Den a noc jsou všude stejně dlouhé.

Každá planeta s vychýlenou osou má roční období. Roční období na Marsu jsou jako naše (podobný sklon), trvají však déle (delší dráha).

Měnicí se vzdálenost od Slunce však na Marsu hraje větší roli. Má mnohem eliptičtější orbitu než Země, roční období jsou zde extrémnější.

## 8. Co jsou souhvězdí?

Desítky tisíc let se lidé dívají na noční oblohu a představují si, že v náhodně rozházených hvězdách vidí obrazce.

Některé skupiny hvězd jim kdysi připomněly zvířata, například býky, psy, medvědy či hady. A tak se zrodila souhvězdí.

Další seskupení hvězd byla pojmenována podle bohů a bájných postav. Římský vzdělanec Ptolemaios (90–168 n. l.) jich uvádí 48.

Ta nejznámější: Ursa Major (Velká medvědice), Orion, Leo (Lev), Cygnus (Labuť), Taurus (Býk), Kasiopeja, Gemini (Blíženci), Herkules.

Na konci 16. století zmapovali nizozemští námořníci jižní oblohu a přidali nová souhvězdí jako Tucana (Tukan) a Apus (Rajka).

Později byla severní polokoule doplněna o nová nenápadná souhvězdí jako Vulpecula (Lištička) a Lacerta (Ještěrka).

Od roku 1930 existuje oficiální seznam 88 souhvězdí. Celá noční obloha se dělí na oblasti pojmenované podle toho nejbližšího.

Hvězdy v souhvězdí od sebe mohou být nesmírně vzdálené. Obvykle spolu nemají nic společného a patří k sobě jenom zdánlivě.

Blízká hvězda může být součástí stejného souhvězdí jako velmi vzdálená galaxie – pokud spolu na nebi sousedí.

Souhvězdí se dokonce i při pohledu ze Země velmi pomalu proměňují, a to kvůli skutečnému pohybu hvězd.

Některá souhvězdí jsou viditelná vždy, jiná leda pro pozorovatele na rovníku. Většinu jich lze vidět pouze v určitém období.

Pro Inky a Australce měla tvar i černá místa na obloze, oblaka temného prachu v Mléčné dráze. Připomínala jim jaguára a další zvířata.

## 9. Co je zvěrokruh?

Slunce, Měsíc a planety se pohybují na pozadí hvězd zvaných stálice. Jinými slovy přecházejí z jednoho souhvězdí do druhého.

U Slunce samozřejmě nevidíme, přes jaká souhvězdí prochází. Jeho dráhu lze na základě pozorování přesto odvodit.

Ukázalo se, že Slunce, Měsíc a planety se po obloze nepotulují volně. Nikdy se například neobjeví v souhvězdí Velkého vozu nebo v Orionu.

Místo toho je pohyb Slunce, Měsíce a planet vždy omezen na pás dvanácti souhvězdí, táhnoucí se po nebi, tzv. souhvězdí zvěrokruhu.

Souhvězdí zvěrokruhu patří k nejznámějším: Beran, Býk, Blíženci, Rak, Lev, Panna, Váhy, Štír, Střelec, Kozoroh, Vodnář a Ryby.

Zvěrokruh zjevně souvisí se zvířaty, mezi jeho souhvězdí však patří i lidské postavy. Souhvězdí Libra (Váhy) je dokonce neživý předmět.

Za rok (tedy za dobu, kdy ho Země jednou oběhne) projde Slunce celým zvěrokruhem a opíše tak na obloze kruh zvaný ekliptika.

Kdysi byla ekliptika rozdělena na 12 stejných dílů (znamení zvěrokruhu), víceméně odpovídajících souhvězdím (ta stejnou velikost nemají).

Astrologie (pověra) tvrdí, že povaha člověka závisí na poloze Slunce, Měsíce a planet vzhledem ke zvěrokruhu v době narození.

V důsledku pomalého kolísání zemské osy již znamení a souhvězdí ve skutečnosti nesouhlasí, posun je přibližně o jedno souhvězdí za 2100 let.

Ekliptika (dráha Slunce) prochází i přes souhvězdí Ophiuchus (Hado-  
noš), které ve zvěrokruhu a astrologii vůbec nefiguruje.

Součástí zvěrokruhu je několik jasných hvězd: Aldebaran (Býk), Cas-  
tor a Pollux (Blíženci), Regulus (Lev), Spica (Panna) a Antares (Štír).

To často vede k nádherným „konjunkcím“ Měsíce nebo planet s jed-  
nou z těchto hvězd. Někdy Měsíc hvězdy dokonce zakryje.



## 10. Co je Mléčná dráha?

Mléčná dráha je slabý pás světla klenoucí se na nočním nebi. Je vidět pouze z tmavých míst dále od měst za jasných, bezměsíčných nocí.

Římané ji nazývali Via lactea a podle řecké mytologie se jedná o mateřské mléko, které bohyně Héra naprázdno promrhala při kojení Hérakla.

V norské mytologii byla Mléčná dráha (Vintergatan neboli Zimní ulice) cestou, po které putovaly mrtvé duše do Valhally (posmrtného života).

Galileo Galilei (1564–1642) byl první, kdo Mléčnou dráhu sledoval dalekohledem. Překvapilo ho, že se skládá z bezpočtu slabých hvězd.

William Herschel (1738–1822) a Jacobus Kapteyn (1851–1922) se počítáním hvězd snažili odvodit rozsah Mléčné dráhy a její prostorový tvar.

Dnes víme, že je Ml. dráha obrovský a plochý hvězdný disk se spirálovitými rameny. Slunce je ve vnější části disku, na výšce cca uprostřed.

Proč tedy Mléčná dráha vypadá jako pás světla klenoucí se po nebi? Analogie: žijeme-li na okraji velkoměsta a všechny domy jsou průhledné...

Město je velmi ploché, takže většina světla, které v noci vidíte, je v (horizontálním) pásu kolem vás, koncentrována směrem do centra.

Při pohledu nahoru nebo dolů vidíte pouze pár světél (výškové budovy, stanice metra). Podobně vnímáme plochý hvězdný disk Mléčné dráhy.

Herschel/Kapteyn velikost ukрутně podcenili. Zmýlil je prach pohlcující světlo a mysleli si, že Slunce je blízko středu Mléčné dráhy.

Je to jako stát na předměstí za velmi mlhavé noci: světla vidíte pouze do určité vzdálenosti a máte pocit, že jste v jejich středu.

Skutečnou velikost, spirální strukturu a pohyb Mléčné dráhy změřila až radioastronomie (50. léta 20. století): měření neovlivněná prachem.

# 11. Co jsou padající hvězdy?

Dívejte se 15 minut na noční oblohu. Uvidíte, že se mezi hvězdami cosi pohybuje. Pokud to bliká a svítí červeně, bude to asi letadlo.

Pomalé oranžové světélko? Asijský létající lampión, často nejeden. Plynulý pohyb viditelný několik minut? Umělá družice.

Září jako Venuše? Zřejmě Mezinárodní vesmírná stanice (ISS). Sledujte @twisst na Twitteru, kde získáte o jejím pohybu konkrétní informace.

Ale objekt podobný hvězdě, který se řítí oblohou a je viditelný pouze pár sekund, bude téměř jistě meteor – „padající hvězda“.

Se skutečnými hvězdami meteory nesouvisejí. Souvisejí s METEORologií, což napovídá, že meteory vznikají vysoko v zemské atmosféře (-80 km).

Jejich příčina? Zrnko písku/malé vesmírné těleso vstupující do atmosféry rychlostí přibližně 11 km/s. Třením se vzduchem začíná žhnout.

Čím větší těleso, tím jasnější meteor. Nejjasnější z nich nazýváme bolidy. Mohou zanechávat slabě patrné stopy viditelné desítky sekund.

Je-li veliký, může jeho zbytek jako „meteorit“ dopadnout až na zem. Těžko se hledá, nedopadne-li do sněhu (Antarktida) nebo písku (Sahara).

Meteory často souvisejí s kometami, po kterých na jejich orbitě zůstává prach. Pokud Země prachem prolétá, více meteorů: meteorický roj.

Vzniká dojem, že meteory v roji vylétají z jednoho místa na obloze: radiantu. Podobný pohled se vám naskytne při průjezdu sněhovou bouří.

Roje se každoročně opakují zhruba na stejné datum. Slavné jsou Perseidy kolem 12./13. srpna – jméno jim dal radiant v souhvězdí Persea.

Další: Kvadrantidy (4. 1.), Lyridy (22. 4.), Drakonidy (9. 10.), Orionidy (22. 10.), Tauridy (6. 11.), Leonidy (17. 11.), Geminidy (14. 12.).

## 12. Kolik je viditelných hvězd?

Přijde na to. Za křišťálově čisté bezměsíčné noci je daleko od světla měst možné pouhým okem vidět několik tisíc hvězd.

Z velkého města jsou vidět jen ty úplně nejjasnější hvězdy. Ty slabší přes světlo města neproniknou, prokletí (amatérské) astronomie.

Řeční astronomové hvězdy označovali podle jasů (magnitudy). Nejjasnější hvězdy: magnituda 1, nejslabší viditelné pouhým okem: magnituda 6.

Magnitudová stupnice se stále používá, byla však upřesněna. Rozdíl 5 mag odpovídá 100násobku jasů (1 mag 2,512násobku).

Nejjasnější hvězdy se navíc ukázaly být jasnější než 1 mag. Jasnost hvězd lze dnes měřit s přesností na 0,01 mag.

Betelgeuse: 0,50 mag, Vega: 0,03 mag, Sirius (nejjasnější hvězda na obloze): -1,46 mag. Záporná čísla znamenají vyšší jas (Slunce: -26,8).

Jen 50 hvězd má vyšší jas než 2 mag (viditelné i z města), 500 vyšší než 4 mag a 5000 vyšší než 6 mag (hranice viditelnosti pouhým okem).

Použití dalekohledu počet viditelných hvězd výrazně zvyšuje. Již malý amatérský dalekohled odhalí slabé hvězdy do jasů 10 mag: 340 000.

Hubbleův vesmírný dalekohled dokázal odhalit hvězdy o jasů 30 mag – to je jas pouhým okem viditelných hvězd vydělený několika miliardami.

„Zdánlivá jasnost“ hvězd závisí na vzdálenosti. Betelgeuse se zdá slabší než sousední Sirius, ale ve skutečnosti vydává světla mnohem více.

„Absolutní jasnost“ hvězd je měřítko skutečné svítivosti. Odpovídá zdánlivému jasnému tělesu ze vzdálenosti 10 parseků (32,6 světelných let).

Betelgeuse má absolutní jas  $-5,1$  mag. Sirius:  $+1,43$  mag. Betelgeuse je tak několiksetkrát svítivější než Sirius.

ZEMĚ





### 13. Jak víme, že je Země kulatá?

Tak samozřejmé to není. Kromě nerovností typu hor se Země zdá být plochá. To je však tím, že je veliká a její zakřivení nepostřehnutelné.

Důkazy jsou všude kolem nás... Lodě na moři mizí za obzorem, zatímco na ploché Zemi by se zmenšovaly až na tečky.

Dále: během zatmění Měsíce, kdy Země prochází mezi ním a Sluncem, je stín Země na Měsíci zakulacený. A...

...pokud lidé poplují nebo poletí jedním směrem dostatečně dlouho, vrátí se nakonec do výchozího bodu. A...

...vyberte čtyři libovolná města. Poměr mezi jejich vzdálenostmi měřenými vzdušnou čarou bude jiný, než kdyby ležela na plochém povrchu. A...

...k dispozici je nespočet fotografií Země z vesmíru, zejména z Měsíce, které dokazují, že naše planeta je nade vše pochybnost kulatá!

Eratosthenés, správce alexandrijské knihovny, byl první, kdo v roce 240 př. n. l. odhadl velikost Země.

Při letním slunovratu nevrhá svislý pilíř v Syéné (dnešní Asuán) stín, protože Slunce je přímo nad hlavou. Sloup v Alexandrii však stín má.

Ukázalo se, že Slunce v Alexandrii je  $7^\circ$  od svislice – asi  $1/50$  kruhu. Vzdálenost mezi Syéné a Alexandrii je známá. Z toho...

...Eratosthenés spočítal obvod Země na zhruba 39 000 kilometrů, čímž se spletl o pouhých 1000 km.

Země ve skutečnosti není dokonale kulatá. Na rovníku rotuje rychlostí asi 1700 km/h, takže je v pase poněkud nakynutější.

Odchyšky od dokonalé koule způsobuje i nepravidelná hustota zemského jádra. Vědci ony nerovnosti ztvárňují na modelu zvaném geoid.

## 14. Proč máme nohy přilepené k zemi?

Jedním slovem: gravitace! To je přitažlivá síla působící bez výjimky mezi všemi hmotnými tělesy. Pokud je známo, účinkuje na vše ve vesmíru.

Gravitační síla působí mezi vámi a každým, kdo stojí vedle vás; mezi vámi a mincemi, které máte v kapse.

Přitažlivá síla je však poměrně slabá. Natáhněte ruku. Ani nasčítaná gravitace vši zemské hmoty ji nedokáže stáhnout dolů.

Gravitační síla je slabá, roste však s hmotností. U malých těles je zanedbatelná, u velkých – Země, Slunce, galaxie – už znatelná.

Gravitace působí vzájemně: vy přitahujete Zemi stejně silně jako ona vás. Ji to však tolik neovlivní, je velká a hned tak něco s ní nepohne.

Muž, jenž se divil, proč jej přitahují mohutné ženy, zatímco on mohutné ženy nepřitahuje, vyřkl vlastně velké moudro o gravitaci!

Zemská přitažlivost udržuje naše nohy pevně přilepené k povrchu a rovněž udržuje Měsíc na stálé oběžné dráze kolem Země.

Z pohybu Měsíce Newton odvodil, že gravitace slábne se čtvercem vzdálenosti. 2x tak daleko = 4x slabší síla, 3x dál = 9x slabší.

Newton též dokázal, že toto slábnutí gravitace může za elipsovitou dráhu planet, již pozoroval už Johannes Kepler.

Newton gravitaci vlastně jen popsal, její fungování lépe osvětlila Einsteinova obecná teorie relativity (1915).

Podle jeho teorie hmota (energie) říká časoprostoru, jak se „zakřivit“, zakřivený časoprostor (gravitace) pak hmotě říká, jak se pohybovat.

Země tak v časoprostoru vytváří prohlubeň, asi jako bowlingová koule na trampolíně. Ostatní hmota, včetně vás, do ní spadá.

Einstein ani Newton neuhodli, co gravitace je. Dnes soudíme, že jde o výměnu částic (gravitonů), jako při výměně míčků mezi dvěma tenisty.

Problém: navzdory heroickému úsilí zatím přitažlivost za pomoci gravitonů nikdo nepopsal. Kvantová teorie gravitace nám stále uniká.

## 15. Čím je Země tak zvláštní?

Třemi slovy: život, život, život. Země je jediná planeta, která se jím pyšní. Souvisejí s ním i další mimořádné vlastnosti.

Přítomností povrchové vody – důležitá pro vznik a udržení života – je Země ze čtyř terestrických planet vnitřní sluneční soustavy ojedinelá.

Zpočátku asi tekla voda i na Venuši a Marsu. Na Venuši (blíže ke Slunci) se oceány vypařily: vznikla z ní „skleníková“ planeta.

Mars je menší než Země a rychleji ztrácel teplo. Většina atmosféry/vodní páry unikla do vesmíru. Zbývající voda zamrzla.

Země má ideální velikost i vzdálenost od Slunce. Blíž by trpěla horkem (jako Venuše), při výrazně menší velikosti zase zimou (jako Mars).

Země: jediná terestrická planeta s velkým měsícem. Jeho gravitace usměrňuje její osu, kdykoli se vychýlí, čímž se udržuje stabilní klima.

Radioaktivita udržuje jádro roztavené. Pomalé proudění el. nabitého kovu tvoří magnetické pole: smrtící částice ze Slunce/vesmíru odstíněny.

Poslední bod: Země je jediná planeta ve sluneční soustavě s deskovou tektonikou (viz další strana). Ta zabraňuje hromadění CO<sub>2</sub> v atmosféře.

Možné je i to, že Země je „komplexní samoregulační systém“ (hypotéza Gaia) a živá i neživá příroda ji společnými silami udržují obyvatelnou.

## 16. Co je desková tektonika?

V roce 1620 přišel Angličan Francis Bacon na to, že do sebe pobřeží Afriky a Jižní Ameriky zapadají jako dílky skládačky.

Na počátku 20. století Němec Alfred Wegener uvažuje: je možné, že byly kontinenty kdysi spojené a pak se od sebe vzdálily?

Wegener umírá v roce 1930 na cestě do Grónska. Tragédií osudu nezažije triumf své vrcholně kontroverzní teorie kontinentálního driftu.

Do konce 20. století byla Wegenerova velká myšlenka potvrzena a rozvinuta v moderní teorii „deskové tektoniky“.

Zemská slupka (litosféra) pluje na roztaveném magmatu. 2 typy kůry: oceánská – tenká/hustá, kontinentální – silná/méně hustá, vystupuje výš.

Litosféru tvoří „desky“. Tam, kde se dvě kontinentální desky srazí, se kůra zvedne a vytvoří se pohoří, například Himálaj.

Pokud se srazí kontinentální deska s oceánskou, oceánská se podsune a vrchní desku zohýbá. Výsledek: hory (Andy) a sopky (díky tření).

Když se desky v místě tzv. středoocéánského hřbetu oddálí, mezeru vyplní láva. Vzniká nová kůra a oceány se rozšiřují; Atlantik býval louží.

I v současnosti se v Africe rodí nový oceán. V Afaru v Etiopii se od sebe oddalují 3 desky. Mezera se jednoho dne zaplní vodou.

Podle deskové tektoniky byl na Zemi před 250 miliony let jeden „superkontinent“ (Pangea). Jeho rozpadem vznikly dnešní kontinenty.

Tektoniku pohání horké magma, které v útrokách Země stoupá a pak vychladlé zase klesá, podobně jako když se ohřívá voda v hrnci.

Zdroj tepla: radioaktivita v horninách. Roztavila Zemi, a tak husté železo pokleslo k jádru a lehké horniny (litosféra) vypluly na povrch.

Nikdo neví, co kdysi litosféru rozlámalo na desky. Mohlo jednoduše jít o ochlazování a smršťování Země. Nebo o náraz z vesmíru.

Kapalná voda je pro plynulý pohyb desek klíčová. Venuše, planeta zhruba stejně veliká jako Země, ale bez vody, tektoniku nemá.

## 17. Proč je zemské jádro roztavené?

Není. Alespoň ne v samém středu planety. Země má pevné vnitřní a tekuté vnější jádro. Obě jsou složena ze železa a niklu.

Železo běžně taje při 1536 °C. Při vyšším tlaku však bod tání stoupá. Ve vnitřním jádru je tlak tak vysoký, že se železo neroztaví.

Pevné vnitřní jádro má průměr 2430 km – 70% velikosti Měsíce. Teplota: 5430 °C. Tlak: ~350 gigapascalů (3,5 milionu atmosfér).

Roztavené vnější jádro je vrstva silná 2250 km. Teplotou sahá od 4400 do 6100 °C. Pravděpodobně obsahuje i síru a kyslík.

Elektricky nabitě proudění ve vnějším jádru vytváří magnetické pole Země. Pokud by celé jádro bylo pevné, Země by magnetické pole neměla.

Země je „diferencované“ těleso: těžké prvky (železo, nikl) působením gravitace klesly do jejího středu. „Vrstevnatá“ vnitřní struktura.

Proč je tedy vnitřek Země tak žhavý? Ze dvou důvodů: zbytkové teplo z doby vzniku planety a teplo z rozpadu radioaktivních prvků.

Země vznikla srážkami a spojováním protoplanet. Vytvořila se spousta tepla a zcela roztavená Země mohla prodělat diferenciaci.

Radioaktivní prvky (uran, thorium, draslík) se pomalu rozpadají na lehčí prvky. I tento proces produkuje v zemském jádru a plášti teplo.

Chladný vesmír kolem postupně připravuje Zemi o vnitřní teplo. Ale: velká planeta má více tepla (z obou zdrojů) než planeta malá.



Velké těleso má také v poměru k objemu menší plochu pro tepelné ztráty. Ochladuje se pomaleji. Proto i dospělý vychladne pomaleji než dítě.

Veškerá geologická aktivita (sopky, zemětřesení, vznik hor) je řízena teplem proudícím z nitra Země směrem na povrch.

## 18. Jak známe stáří Země?

Otázka stáří Země je spjata se stářím Slunce, protože Slunce nemůže být mladší než Země (jinak by naše planeta zmrzla na kámen).

To, jak dlouho už Slunce svítí, poznáme podle toho, kolik vydává tepla (změřeno začátkem 19. stol.) a z čeho bere energii.

V 19. století, ve světě poháněném parou, se fyzikové pochopitelně ptali, zda Slunce není obrovskou hroudou hořícího uhlí.

Jak dlouho by Slunce tvořené uhlím – mimořádně velkým množstvím uhlí – udrželo svůj tepelný výkon, než by vyhaslo? Asi 5000 let.

5000 let je málo i na irského arcibiskupa Usshera, který z Bible odvodil, že Země byla stvořena v neděli 23. října 4004 př. n. l. – v 9 h.

Z poznatků geologie a biologie víme, že Země musí být stará nejméně stovky milionů let. Trvalo věčnost, než se vytvořila pohoří...

...a než se ze společného předchůdce vyvinulo vše živé. I fyzika má ke stáří Země co říct...

Víme, jak rychle se radioaktivní uran rozpadá na olovo, poměr mezi těmito prvky lze tedy použít jako „hodiny“. Země je stará miliardy let.

1907: americký fyzik Bertram Boltwood radioaktivně datuje horniny ze Šrí Lanky a zjišťuje, že jsou staré neuvěřitelných 2,2 miliardy let.

Nejstarší horniny na Zemi jsou ve skutečnosti staré asi 4 miliardy let. Země musí být samozřejmě ještě starší. Otázka zní: jak stará?

Nejlépe to odhadneme radioaktivním datováním meteoritů, kosmické suti, kterou zanechal vznik sluneční soustavy před 4,55 mld. let.

Slunce a Země jsou tedy v porovnání s vesmírem, který vznikl při velkém třesku asi před 13,7 miliardami let, zhruba třetinového věku.

Slunce září už milionkrát déle, než kdyby je tvořilo uhlí. Jeho zdroj energie musí tedy být ve srovnání s uhlím milionkrát koncentrovanější.

Takový milionkrát koncentrovanější zdroj existuje: jaderná energie. Slunce „slučuje“ vodík na helium. Vedlejší produkt: sluneční záření.

## 19. Co nás chrání před nebezpečím z vesmíru?

Ve vesmíru není bezpečno. Je v něm mrazivé vakuum prostoupené smrtícím zářením, hrozivými částicemi, meteority a vražednými asteroidy.

Země je před tímto kosmickým nebezpečím relativně chráněná. Je chráněna vrstvou vzduchu (naší atmosférou) a neviditelným magnetickým polem.

Nabité částice jako protony (jádra vodíku) a elektrony se řítí rychlostí blízkou rychlosti světla. Jejich vysoká energie je nebezpečná.

Pocházejí ze Slunce (sluneční vítr/bouře), supernov a bouřlivých „aktivních“ galaxií. Tyto částice jsou známé jako kosmické záření.

Astronauty na Měsíci nebo po cestě na Mars by mohlo záření ze sluneční erupce zahubit; kosmické záření by mohlo vyvolat rakovinu kůže.

Magnetické pole Země tyto částice odkloní, většina se k nám tedy nedostane. Měsíc a Mars (velmi slabá pole) jsou nebezpečnější.

Nejhorší vysokoenergetické záření (UV a rentgenové, většinou ze Slunce) absorbují molekuly vzduchu. Jinak by také způsobovalo rakovinu.

V atmosféře se zpomalují, ohřívají a vypařují malé meteority. Měsíc vzduch nemá a tělíska by mohla prorazit skafandr či porušit základnu.

I tak probíhá ve vesmíru mnoho událostí, které mohou život ohrozit. Je však velmi nepravděpodobné, že k nim dojde v průběhu lidského života.

Skutečně obří sluneční erupce může vyřadit elektrárny a rozložit přenosové soustavy a komunikační síť. Způsobila by všeobecný chaos.

Zemi by také mohl zasáhnout malý asteroid či kometa. Objekt o průměru 1 km by zdevastoval kontinent, 10 km by způsobilo globální katastrofu.

Dobrá zpráva (svým způsobem): jak zářením vyvolané genetické mutace, tak vesmírné vlivy urychlují evoluci. Bez nich bychom zde nebyli.

## 20. Co způsobuje doby ledové?

Nikdo přesně neví. Příčina zřejmě není jen jedna. Dlouhodobý vývoj zemského klimatu zatím nebyl zcela pochopen.

První geologické doklady o dobách ledových předloženy počátkem 19. stol. Teorie, že se doby ledové opakují, je brána vážně až po roce 1870.

Země za posledních 2,5 miliardy let prošla přinejmenším pěti velkými dobami ledovými. Většina z nich trvala desítky nebo stovky milionů let.

Nejzávažnější nastala před 850–630 M let, kdy led pokryl téměř celou Zemi. „Období sněhové koule“ zřejmě ukončila masivní sopečná činnost.

Poslední doba ledová (pleistocén) začala před 2,58 M let. Za posledních 740 000 let bylo 8 ledových a meziledových období (dnes meziledové).

Ledová období se zprvu opakovala každých 41 000, později každých 100 000 let. Současné meziledové (holocén) začalo před 10–20 000 lety.

Takové dlouhodobé změny teploty mohou být způsobeny proměnlivým množstvím atmosférických skleníkových plynů, které planetu ohřívají.

Další možnou příčinou je změna polohy kontinentů, způsobená pohybem „desek“. Ta může ovlivňovat oceánské proudy a klima.

Během 1. světové války vyslovil srbský inženýr Milutin Milanković teorii, že za doby ledové mohou pomalé změny v oběžné dráze Země.

Sklon zemské osy se každých 41 000 let mění v rozmezí 22,1 až 24,5°. Protážení orbity se mění každých 100 000 a 400 000 let.

„Milankovićovy cykly“ zřejmě hrají při vzniku ledových a meziledových období roli. Mechanismus, kterým je ovlivňují, dosud nebyl objasněn.

Změny v oběžné dráze a orientaci Země jsou příliš malé, než aby způsobily velkou dobu ledovou, natož proměnily Zemi ve sněhovou kouli.





MĚSÍC



## 21. Jak velký je Měsíc? A jak daleko?

Měsíc je náš nejbližší vesmírný soused. Je to také jediný přirozený satelit Země a jediné nebeské těleso, na které kdy lidé vstoupili.

Průměrná vzdálenost Země–Měsíc (střed–střed) je 384 400 km. Pokud by šlo na Měsíc dojet autem, při 100 km/h by to trvalo skoro 6 měsíců.

Oběžná dráha Měsíce neopisuje dokonalý kruh, ale elipsu. Vzdálenost od Země se pohybuje od 362 000 km (perigeum) do 407 000 km (apogeum).

Měsíc v perigeu vypadá o něco větší než obvykle. Pokud perigeum nastane v době úplňku, je navíc mnohem jasnější.

Při rychlosti 3600 km/h oběhne Měsíc Zemi za 27 dní, 7 hodin a 43,1 minuty.

Doba mezi jednotlivými úplňky, kdy Měsíc stojí v opozici ke Slunci, je delší (29 d, 12 h, 44 m), jelikož i Země zároveň obíhá kolem Slunce.

Průměr Měsíce je 3476 km, tedy 27,3 % toho zemského. Povrchem dosahuje Měsíc 7,5 % naší planety a objemem pouze 2 %.

Měsíc má železné jádro a kamenný plášť. Není tak hustý jako Země, obsahuje méně železa a slabá gravitace ho méně slisovala.

Měsíc dosahuje pouze 1/81 hmotnosti Země a 1/6 její povrchové gravitace, což znamená, že byste na něm vážili 6krát méně než na Zemi.

V poměru k mateřské planetě je Měsíc největší satelit naší soustavy. V absolutních číslech je 5. za Ganymedem, Titanem, Callisto a Io.

## 22. Proč Měsíc nepadne?

To vůbec není hloupá otázka. Koneckonců, když hodíte míček do vzduchu, gravitace ho vždycky stáhne zpátky.

Newton záhadu vysvětluje takto. Dělo vypálí kouli, ta chvíli letí a pak spadne dolů. Větší dělo vystřelí kouli rychleji a dál.

Nyní si představte extrémně veliké dělo. Vystřelí kouli tak rychle a tak daleko, že do hry vstoupí zakřivení Země.

Koule padá stejnou rychlostí, jakou se Země zakřivuje směrem od ní. Koule tedy nikdy nepadne! Skončí...

...na oběžné dráze a již navěky padá – v kruhu. K tomu je nutné dosáhnout rychlosti 27 400 km/s.

Stejně tak Měsíc neustále klesá směrem k Zemi, již nikdy nedosáhne. Při jeho vzdálenosti stačí pouhých 3700 km/s, nikoli 27 400 km/s.

Newtonova genialita mu umožnila pochopit, že Měsíc padá úplně stejně jako utržené jablko, a odvodit tak gravitační zákon.

Umělé družice na oběžné dráze kolem Země také padají. Pokud by se však dostaly blíže, atmosféra by je zbrzdila a zřítily by se.

Rychlost potřebná k dosažení oběžné dráhy Země je obrovská, ale na malém asteroidu s nízkou gravitací by stačilo dostatečně rychle běžet.

## 23. Existuje temná strana Měsíce?

Ano, existuje. Měsíční světlo pochází ze Slunce. Stejně jako Země má tedy Měsíc neustále svou jasnou denní a tmavou noční stranu.

Běžný omyl: strana, kterou je Měsíc odvrácen od Země, bývá nazývána stranou temnou, samozřejmě však není vždy tmavá.

Při novoluní leží Měsíc víceméně směrem ke Slunci. Přestože polokoule přivrácená k Zemi je tmavá, ta odvrácená zůstává plně osvětlena.

Ze Země je vždy vidět jen přivrácená strana Měsíce. Tu odvrácenou nikdo nespatriil až do října 1959, kdy ji zvětčila sovětská sonda Luna 3.

Vypadá to, jako by se Měsíc netočil kolem své osy. Ale točí. Rotace Měsíce kolem osy je přesně tak dlouhá jako doba, za kterou oběhne Zemi.

Tuto „synchronní rotaci“ má mnoho měsíců. Způsobují ji „slapové síly“ planety. Brzdí otáčení, dokud nesměruje k planetě stále stejná strana.

Mohli bychom se domnívat, že ze Země nemůžeme pozorovat víc než pouhou polovinu Měsíce. Ve skutečnosti je to však více než 59 %...

Rychlost Měsíce kvůli eliptické oběžné dráze kolísá, rotace je ale konstantní. Ze Země se pak zdá, že sebou Měsíc mele do stran („librace“).

Rozdíl mezi dvěma stranami Měsíce: na odvrácené nejsou velké sopečné pláně (měsíční „moře“, *maria*), zřejmě proto, že kůra je zde silnější.

Ve vzdálené budoucnosti Měsíc zbrzdí rotaci Země tak, aby se k němu rovněž obracela vždy stejnou stranou, jako Pluto a jeho měsíc Charon.

Poslední slova na albu *The Dark Side of the Moon* od Pink Floyd: „Temná strana Měsíce neexistuje. Ve skutečnosti je temný celý.“ Je to tak.

## 24. Proč jsou na Měsíci krátery?

Ve sluneční soustavě je velké množství stavební suť z doby jejího vzniku. Tento materiál má podobu kamenných asteroidů a ledových komet.

Od vzniku sluneční soustavy před 4,55 mld. let bombarduje její planety a měsíce kosmické smetí – hotová střelnice.

Měsíční krátery jsou jizvami po jejich dopadu. Bez rušivých vlivů počasí/pohybů půdy (jako na Zemi) přežívají, než je zničí další náraz.

Krátery na Měsíci poslouží jako nebeská učebnice dějepisu. Tím, že se v ní naučíme číst, si můžeme poskládat také historii dopadů na Zemi.

Nejdramatičtější nárazy přineslo Pozdní těžké bombardování (angl. LHB) před 3,8 mld. let. Rány byly tak silné, že prorazily měsíční kůru.

Vzedmutá láva vyplnila „impaktní pánve“, čímž se vytvořila tmavá měsíční *maria* (množné číslo od latinského *mare* neboli „moře“).

K LHB došlo, když Jupiter a Saturn společně rozvířily pásy asteroidů a komet a vyslaly naším směrem tělesa velká jako Los Angeles.

Vyvrhnutá hornina někdy olemuje kráter „paprsky“. Třeba kráter Koperník (Ø 93 km, stáří ~800 mil. let) zbyl po asteroidu velikosti Key West.

Na Zemi zůstalo nezahlazených kráterů málo, např. Meteor Crater v Arizoně (Ø 1,2 km); vznikl asi 50 000 let př. n. l. nárazem ~50m objektu.

Nebo 180km Chicxulubský kráter, částečně zatopený mořem. Vznikl zřejmě po dopadu 10km asteroidu, který před 65 mil. let vyhubil dinosaury.



## 25. Jak Měsíc ovlivňuje Zemi?

Hladina moře se dvakrát denně zvýší a pak zas ustoupí. Tyto „slapové jevy“, které jako první vysvětlil Isaac Newton, způsobuje Měsíc.

Na rozdíl od všeobecného přesvědčení není příliv a odliv na Zemi způsoben měsíční gravitací, ale rozdíly v jejím působení.

Měsíční přitažlivost působí nejsilněji na přivrácený oceán, slaběji na zemské jádro a nejslaběji v místě odvráceného oceánu...

Oceány jsou tedy vyboulené dvěma směry – na jedné straně Měsíc odtahuje vodu od Země, na druhé straně Zemi od vody.

Jak se Země jednou za 24 hodin otočí kolem své osy, po oceánech putují dvě slapové vybouleniny, takže za den všude proběhnou dva přílivy.

Výsledné výduti však měsíční gravitace skutečně přitahuje a přibrzďuje tak zemskou rotaci. Jako důsledek se Měsíc od Země vzdaluje.

Horniny Měsíc přitahuje stejně jako vodu, ač ne tak zdatelně (skála je tvrdší). Takové napínání může napomoci při vzniku zemětřesení.

Podle pozorování se Velký hadronový urychlovač u Ženevy 2x denně roztáhne a smrští, jak s okruhem o délce 27 km cvičí měsíční gravitace.

I Slunce způsobuje v oceánech dmutí, ale ve srovnání s Měsícem třetinové. K největšímu přílivu dojde, když Slunce a Měsíc působí společně.

Vysoký příliv a správný vítr mohou způsobit přílivovou vlnu i na zužující se řece – mnoho kilometrů drží tvar a dá se na ní i surfovat.

V minulosti byly přílivy vyšší než dnes, protože Měsíc byl blíž. V době svého vzniku byl blíž 10krát a přílivy byly 1000krát vyšší.

Měsíc umí i zakrýt Slunce. „Úplná zatmění“ děsila dávné národy. Bouchaly pánvemi, aby monstrum požírající Slunce zaplašily. Vždy to zabralo!

Zatmění psala historii. Během bitvy Lýdů s Médy v Turecku (585 př. n. l.) se Země ponořila do tmy. Špatné znamení. Armády složily zbraně.

## 26. Co kdybychom Měsíc neměli?

Velmi pravděpodobně bychom zde nebyli!

Základní fakt č. 1: náš Měsíc je v poměru k mateřské planetě nezvykle velký, mnohem větší než jiné. Země–Měsíc je v podstatě „dvojplaneta“.

Základní fakt č. 2: život na Zemi by se nevyvinul bez stabilního klimatu přetrvávajícího miliardy let. Náš velký Měsíc klima stabilizuje.

Pokud se Země položí (jako zvrhnutá točící se káča), dopadající sluneční světlo se změní. To způsobí katastrofickou změnu klimatu...

Gravitace velkého Měsíce však případné převrácení Země vyrovná (Mars bez velkého měsíce prochází katastrofickými klimatickými změnami).

Vysoké přílivy způsobené velkým Měsícem rovněž vytvořily strmá a suchá pobřeží, kde se vyplaveným rybám vyvinuly plíce a končetiny.

Velký Měsíc je zásadní i pro vědu. Tím, že zakryje Slunce (úplné zatmění), učiní viditelnými i hvězdy v blízkosti slunečního disku...

V r. 1919 díky nim vyšlo najevo, že sluneční gravitace ohýbá světlo hvězd. To potvrdilo klíčový předpoklad Einsteinovy gravitační teorie.

Isaac Asimov v knize *The Tragedy of the Moon* (1972) tvrdí, že kdyby Venuše měla měsíc a Země ne, věda by byla o 1000 let napřed.

Proč? Pokud by kolem Venuše obíhal na noční obloze měsíc, církevní představa o Zemi jako o středu vesmíru by byla neobhajitelná.

## 27. Kolik lidí stanulo na Měsíci?

Po Měsíci se prošlo pouze dvanáct lidí. Jen devět z nich je stále naživu. Nejmladším je Charles Duke (Apollo 16), narozený 3. října 1935.

25. května 1961 ohlásil John F. Kennedy v americkém Kongresu program Apollo, který měl do deseti let vynést člověka na Měsíc.

Apollo 8 a 10 letěla na Měsíc a zpět bez přistání. V roce 1970 se z důvodu exploze muselo bez přistání vrátit i Apollo 13.

Apollo 11, 12, 14, 15, 16 a 17 na Měsíci přistála. Po povrchu se prošli pokaždé 2 astronauti; 1 zůstal v modulu na oběžné dráze Měsíce.

21. července 1969 přistává Apollo 11. Prvním člověkem na Měsíci je Neil Armstrong (38), 2. Buzz Aldrin (39). Tráví zde 2 hodiny a 24 minut.

Vozidlo Lunar Rover (měsíční bugina) umožnilo posádkám překonat větší vzdálenost: Apollo 15 – 27,8 km, 16 – 26,6 km a 17 – 35,9 km.

14. prosince 1972: posledním mužem na Měsíci je Gene Cernan (38) z Apollo 17. Plány na Apollo 18, 19, 20 smetl nedostatek politické podpory.

Astronauti programu Apollo přivezli z Měsíce 382 kg hornin. Detailní analýza ukázala, že se Měsíc zřejmě odloučil z právě zrozené Země.

3 astronauti letěli na Měsíc 2x: Jim Lovell (Apollo 8/13), John Young (Apollo 10/16) a Gene Cernan (Apollo 10/17). Lovell nikdy nepřistál.

Počet lidí, kteří letěli na Měsíc (s přistáním nebo bez): 21. Žádný jiný astronaut se nikdy nedostal dál než několik set km od Země.

## 28. Zůstanou stopy na Měsíci navěky?

Ne. Ale budou tam velmi dlouho!

Na Měsíci není vítr ani déšť, který by stopy po astronautech z programu Apollo vymazal. Padá zde však déšť mikrometeoritů z vesmíru.

Když mikrometeority, často pouhá zrnka písku, shoří v atmosféře, vidíme „padající hvězdy“. Na Měsíci není vzduch, déšť je tak neviditelný.

Miliardy let trvající bombardování Měsíce mikrometeority narušilo povrchové horniny a přeměnilo je na vrstvu jemného prachu, zvanou regolit.

Kdysi panovaly reálné obavy, že jsou části Měsíce pokryty hlubokou vrstvou prachu a kosmické lodi by v něm mohly beze stopy zmizet.

V románu Arthura C. Clarka *Měsíční prach* z roku 1961 se do moře měsíčního prachu potopí i se všemi cestujícími turistická loď Seléné.

Neustálé bombardování mikrometeority obrátí přibližně každých 10 milionů let horní centimetr měsíční „zeminy“ (lunární zahradničení).

Stopy po astronautech proto nebudou na Měsíci věčně. Mají zde nicméně dobrou šanci přetrvat lidskou civilizaci.

Měsíční zrnka prachu se velmi liší od hladkých zrněk písku na pláži. Mikronárazy rozbíjí horninu na zrnka podobná drobným sněhovým vločkám.

Částičky měsíčního prachu jsou jako bodláky: nešly dostat ze skafandru a pronikly do každé skulinky. Jsou prý cítit po střelném prachu!

## 29. Je na Měsíci voda?

Velké tmavé skvrny na Měsíci byly kdysi považovány za moře (latinsky *maria*). Dnes již však víme, že jsou to pole sopečné lávy.

Povrchová voda na Měsíci existovat nemůže, bez atmosféry by se ihned vyvařila do vesmíru. Měsíc je tedy suchý jako troud.

Analýza hornin z expedic Apollo měla představu suchého Měsíce potvrdit. Stopové množství vody se považovalo za kontaminaci od astronautů.

V roce 2009 však indická sonda Čandraján-1 na měsíčním povrchu detekovala „spektrální otisk“ vody ( $H_2O$ ) nebo hydroxylové skupiny (-OH).

Objev potvrdily i další sondy: Cassini (na cestě k Saturnu) a Deep Impact (míjející Zemi/Měsíc cestou ke kometě Hartley 2).

Podíl vody je malý, jen 0,1 % (1 litr na tunu). Zřejmě vytvořena sloučením slunečního větru (jader vodíku) a minerálů bohatých na kyslík.

Molekuly vody jsou na měsíční horniny vázány jen volně. Voda se tak pomalu vytrácí od měsíčního rovníku do chladnějších polárních oblastí.

Měsíční voda se hromadí ve formě ledu v hlubokých kráterech u pólů. Dna kráterů, jež jsou v trvalém stínu, nikdy nepoznají sluneční teplo.

9. října 2009 byla do polárního kráteru Caebus nasměrována sonda LCROSS. V oblaku stoupajícím po nárazu bylo zjištěno nejméně 100 kg vody.

Voda na Měsíci je nezbytná pro stavbu jakékoli budoucí měsíční základny, nejen kvůli pití, ale též pro výrobu raketového paliva.

Podle LCROSS nicméně měsíční voda neexistuje ve formě velkých plátů ledu, nýbrž promíchaná s měsíční půdou a tedy hůře dostupná.

## 30. Je Měsíc mrtvým tělesem?

Asi si myslíte, že Měsíc je studený a mrtvý jako kámen a že krátery posetou pustinu nemění ani zub času. Ovšem na druhý pohled...

Již dávno před vynálezem dalekohledu se každých pár měsíců vynořila zpráva o podivných světlech na Měsíci.

Například 18. června 1178 údajně pět mnichů z Cateburské katedrály v jihovýchodní Anglii spatřilo výbuch na Měsíci.

Tajemná světla – takzvané měsíční přechodné jevy (Transient Lunar Phenomena, TLP) – patří k největším nerozřešeným tajemstvím Měsíce.

Jde o místně izolované události viditelné dalekohledem. Pokrývají území o více než km čtverečním a mohou trvat od 1 min až po několik hodin.

TLP obnášejí rozjasnění, potemnění nebo rozostření povrchu Měsíce. Někdy se na závěr objeví rubínově červená záře.

Je zvláštní, že většina TLP se na Měsíci soustředí kolem 6 míst, a to zejména kráterů Aristarchos (průměr 450 km) a Plato (100 km).

Všech 6 lokalit spojuje vyvěrající radon 222, jak zaznamenalo Apollo 15 a 16 a sonda Lunar Prospector, která obíhala Měsíc v roce 1998.

Další společný rys? Jde o velké, relativně nové krátery, příp. místa ležící na okrajích pánví (*maria*) po masivním nárazu před 3,8 mld. let.

Pět ze šesti misí Apollo nechalo na Měsíci seismometry. Ty pak zachytily několik set zemětřesení, vesměs na místech spojených s TLP.



Nejvýznamnějším rysem těchto 6 lokalit je, že zde po dávných dopadech rozpraskala kůra a podpovrchové plyny tak mohou unikat do prostoru.

Plyn si zřejmě razí cestu z nitra Měsíce a kumuluje se pod povrchem. Pak jeho vzrůstající tlak explozivně prorazí kůru a vzniká TLP.

Pouhé půl tuny plynu uniklého do vesmíru může vytvořit oblak o průměru několika km, trvající 5–10 min. Ten může změnit odrazivost povrchu.

Původ plynu? „Slapové mačkání“ Měsíce Zemí za rok rozdrť horninu o objemu 1 letadlové lodi. Při tom se ročně uvolní ~100 tun plynu.

Lidské přistání v místě TLP by představovalo obrovské nebezpečí. Zrušený let Apolla 18 počítal s přistáním v Aristarchu!

## 31. Kdy se lidé vrátí na Měsíc?

Projekt Apollo ukončila NASA před čtyřmi desítkami let. Od té doby Měsíc navštěvují bezpilotní sondy, nikoli však lidé.

Lety bez posádky mají velké výhody: mohou na Měsíci zůstat déle, pokrýt větší území, shromáždit více dat – a jsou nesrovnatelně levnější.

Měsíc, nejbližší vesmírný soused, skýtá trénink pro pilotované lety za oběžnou dráhu Země. Je odrazovým můstkem pro návštěvy Marsu a dále.

Prezident Bush v r. 2004 vytyčil program Constellation: vrátit se na Měsíc (2020) s nově vyvinutou kosmickou lodí. Pak dále na Mars.

Těžkotonážní rakety Ares by vynesly kosmickou loď Orion podobnou Apollu a lunární modul Altair. Raketa Ares úspěšně otestována v říjnu 2009.

Prezident Obama program Constellation ruší v r. 2010. Měl skluz a náklady dalece převýšily rozpočet. Nový plán: pilotovaný let k asteroidu.

NASA už návrat na Měsíc neplánuje. Ani evropská ESA již neusiluje o pilotované lety k Měsíci, místo toho se soustředí na Mars.

Člověka chce na Měsíc zřejmě vyslat Čína, snad kolem roku 2024, byť na oficiální vyjádření zatím nedošlo. Totéž platí i pro Japonsko.

V roce 2024 to bude 52 let, co se lidé po Měsíci prošli naposledy – to už je téměř jako doba mezi prvním motorovým letadlem a Sputnikem.

Co se týká lidských letů na Mars, už od 60. let vesmírné agentury neustále slibují, že se do třiceti let dočkáme. Hmmm.

## 32. Odkud se Měsíc vlastně vzal?

Původ Měsíce zůstával dlouho záhadou. Žádný jiný satelit není ve srovnání s mateřskou planetou ani zdaleka tak veliký.

Zásadní poznatky z misí Apollo: Měsíc je z podobného materiálu jako zemský plášť; lunární horniny obsahují mnohem méně vody než ty na Zemi.

1975: W. Hartmann a kolegové přišli s teorií velkého impaktu. Země se krátce po vzniku střetla s tělesem zvaným Theia a velkým jako Mars.

Jelikož byla Theia těžká, její železné jádro kleslo do středu Země. Roztavený plášť vyšpláchl do vesmíru a vytvořil kolem Země prstenec.

Vychladající prstenec se scukl v Měsíc – ten kroužil 10krát blíže než dnes, na obloze byl 10krát větší a působil 1000krát větší přílivy.

Teorie vysvětluje, proč je Měsíc jako zemský plášť, proč nemá železné jádro a proč je suchý (o vodu přišel prudkým nárazem a krutým žárem).

Kromě Měsíce mohly vzniknout i menší satelity, které se s větším později střetly. Vysvětlovalo by to silnou kúru na jeho odvrácené straně.

Sporný bod: Země nebyla zničena, Theia tedy musela do naší planety narazit nevysvětlitelně nízkou rychlostí.

Vysvětlení Richarda Gotta a Eda Belbruna: Theia sdílela oběžnou dráhu Země, tak jako dnes sdílejí orbitu Jupiteru asteroidy zvané „Trojané“.

Věřte nevěřte, Země kdysi dávno možná měla bratra, který jasně zářil na noční obloze!

Pokud se Theia zformovala ve stabilním „Lagrangeově bodě“ (60° před nebo za Zemí na stejné orbitě) a pak vychýlila, blížila se jenom pomalu.

Energie vydaná na slapové jevy postupně ujídala Měsíci z energie orbitální, až se posunul do dnešní polohy. I dnes se vzdaluje o 4 cm/rok.

Poučení o mimozemském životě: velký Měsíc udržoval klima na Zemi stabilní, vznikl však vzácnou náhodou. Mimozemský život bude také vzácný.

# VESMÍRNÝ PROSTOR



### 33. Jaké to ve vesmírném prostoru je?

Ve vesmíru vás nikdo neuslyší křičet. To proto, že zvuk je chvěním vzduchu a ve vesmíru není vzduch, který by mohl vibrovat.

Laserové paprsky ve vesmíru vidět nejsou (fanoušci Star Wars prominou), do vašeho oka se totiž jejich světlo rozptyluje o prach ve vzduchu.

Ve vesmíru je nepředstavitelná zima. To proto, že je zde jen velmi málo atomů, které by vás mohly zasáhnout a přenést tak jakékoli teplo.

Meziplanetární prostor obsahuje jen asi 10 atomů na  $\text{cm}^3$  (slušné pozemské vakuum 100 000 a vzduch na úrovni mořské hladiny 30 mld. mld.).

Bez atomů vzduchu se též neodvádí nadměrné teplo, takže hrozí přehřátí i omrznutí zároveň. Skafandry musí být chlazeny i vytápěny.

Astronauti s sebou musí v nedýchatelném vesmíru nosit vlastní zdroj vzduchu, obvykle v období potápěčských lahví připevněných na zádech.

Ve vesmíru není žádný tlak. My žijeme pod 50km sloupcem vzduchu (váha 2 slonů!). Skafandry proto musí být natlakované.

Pokud by astronauti nevypadali jako maskoti Michelinu, dusík by v krvi tvořil nebezpečné bubliny (kesonová nemoc/aeroembolie) a zabíjel by je.

Ve vesmíru nic nevážíte. Na oběžné dráze neustále klesáte k Zemi (ale nikdy nedopadnete!). Při volném pádu gravitaci necítíte.

Ve vesmíru neustále hrozí radiace ze Slunce a ostatního vesmíru (kosmické záření). Země je chráněna deštníkem v podobě magnetického pole.

Astronauti často vidí podivné záblesky světla, které považujeme za vysokorychlostní subatomární částice prolétající tekutinou v oční bulvě.

Kosmická radiace představuje hlavní překážku pro vesmírné lety s posádkou. Při expedici na Mars by jí astronauti byli vystaveni 6 měsíců.

Taky už vám přijde, že lidstvo nebylo pro pobyt ve vesmíru stvořené?



## 34. Jak funguje raketa ve vesmíru, když se nemá od čeho odpíchnout?

Základní fakt: podle třetího Newtonova zákona vyvolá každá akce stejně silnou reakci opačného směru.

Při běhu to platí rozhodně. Vaše nohy tlačí proti povrchu (akce) a zem vás posouvá kupředu (reakce).

K dosažení takové reakce však proti očekávání není nutné tláčit proti ničemu vnějšimu.

Představte si, že uvíznete na saních uprostřed dokonale hladkého kluziště (bez tření). Jak se dostanete ke kraji?

Řekněme, že na saních jsou cihly. Odhazujte jednu po druhé. Odhazováním je tlačíte pryč a cihly tlačí zpět (reakce). Saně se dají do pohybu.

To je princip rakety. Plyny jsou vysokou rychlostí vypuzovány z její zadní části. Raketa reaguje pohybem vpřed. Akce a reakce. Jednoduché.

Díky vypuzování paliva je raketa lehčí a lehčí a plyny ji tak pohánějí stále účinněji.

Celý efekt poprvé popsal hluchý ruský učitel Konstantin Ciolkovskij v roce 1903; výsledná rovnice je po něm pojmenována.

Problém: ani nejsilnější raketové palivo nemá dostatek šťávy, aby na oběžnou dráhu Země vyneslo svou vlastní hmotnost plus váhu rakety.

Ciolkovského řešení: vícestupňové rakety. V určité výšce se část rakety odhodí. Celek je lehčí a vynést jej na oběžnou dráhu je snazší.

Použití stupňových raket je jako jet do města autem, domů přijet jen se 4 koly a volantem a pro další cestu muset auto znovu postavit.

Raketoplány NASA vždy odhodily většinu hmoty a musely se pro další let rekonstruovat. Jeden z důvodů, proč stál každý start 0,5 mld. \$.

Ideální raketa (alespoň ve vesmíru) vyfukuje plyn takovou rychlostí, že jí vystačí málo paliva. Současná „chemická“ paliva jsou neefektivní.

Dokonalá raketa by využívala anihilaci hmoty/antihmoty. Při dané hmotnosti poskytuje největší odpich, váha paliva je minimální.

SLUNCE



## 35. Má Slunce povrch?

Slunce je obrovská zářící koule plynu, proto nemá pevný povrch jako Země. Jistý typ povrchu však bezesporu má. Čím to je?

Sluneční povrch neboli fotosféra je vrstva, kde se světlo po namáhavém výstupu ze slunečního jádra volně rozletí.

Představte si přeplněnou ulici. Posun kupředu je pomalý. Musíte kličkovat mezi překážkami (lidmi). Se světlem ze Slunce je to stejné.

Foton (částice světla) vycházející z jádra Slunce postoupí o pouhý 1 cm, než se mu postaví do cesty překážka (elektron) a je poslán jinudy.

Pokud by foton letěl přímo, trvala by mu cesta z jádra na povrch jen 2 sekundy. Klikatá cesta je tak složitá, že mu trvá 30 000 let!

Dnešní sluneční světlo je tedy staré přibližně 30 000 let. Vzniklo na vrcholu poslední doby ledové.

Pokud před 29 000 lety vyhasly jaderné zdroje generující sluneční světlo, my se o tom ještě dalších 1000 let nedozvíme.

Vlastně je to krapet jinak. Slunce by akumulované teplo ztrácelo milion let. Díky jeho tepelné kapacitě bychom nějakou dobu byli v bezpečí.

Fotony se po 30 000 letech vynoří z povrchu Slunce a rychlostí 300 000 km/s se rozletí přímo k Zemi.

Urazit 150 milionů km na Zem jim při této rychlosti trvá jen 8,3 minuty (kdyby Slunce najednou zmizelo, 8,3 minuty bychom o tom nevěděli).

Sluneční fotosféra je definována jako vrstva, kde se klikatá cesta fotonů mění na přímou, neboli „končí chůze a začíná let“.

Ačkoli fotosféra nepředstavuje pevný povrch, je dost výrazná na to, aby Slunce (při pohledu přes bezpečný filtr) vypadalo jako kotouč.

## 36. Proč je Slunce žhavé?

Slunce je žhavé z jednoho prostého důvodu – je ohromně těžké. Jeho hmota podléhá strašlivé gravitaci a doslova drtí sluneční jádro.

Každý, kdo někdy hustil pumpičkou kolo, ví, že se stlačený plyn ohřeje. Ve slunečním jádru má stlačený plyn teplotu přibližně 15 milionů °C.

Při tak vysoké teplotě se hmota dostává do neurčitého skupenství – „plazmatu“. Chová se stejně, ať se děje, co se děje.

Slunce je složeno hlavně z miliard miliard miliard tun plynného vodíku. Ale stejně velká masa banánů na jednom místě by byla stejně žhavá.

Zákl. fakt: teplota Slunce závisí na *množství* obsažené hmoty, nikoli na složení (to má jen nepatrný vliv na zakonzervování tepla uvnitř).

Hmota mačkající se na jádro však vysvětluje pouze to, proč je Slunce žhavé právě teď, nikoli už to, proč nechladne. To je úplně jiná otázka.

Slunce neustále ztrácí teplo do vesmíru, přesto nevychládá. Něco proto musí nahrazovat teplo tak rychle, jak se ztrácí. Ale co?

Jaderná energie. Na Slunci dochází k „fúzi“ jader vodíku, nejlehčího prvku, na druhý nejlehčí, helium. Vedlejší produkt: sluneční světlo.

Méně efektivní jadernou reakci aby pohledal. Než se na Slunci setkají a sloučí dvě vodíková jádra, trvá to v průměru 10 miliard let.

Budme vděčni. Díky tomu, že je fúze tak pomalá, jí palivo vydrží 10 mld. let, dost na to, aby se vyvinul inteligentní život našeho typu.

Srovnání: představte si svůj žaludek a stejně velký výsek slunečního jádra. Slunce má tak nízký výkon, že více tepla vygeneruje váš žaludek.

Je-li výroba slunečního tepla tak neefektivní, proč je Slunce žhavé? Protože kusů o velikosti žaludku je zde naskládáných obrovská spousta!



## 37. Jak to vypadá uvnitř Slunce?

Slunce je koule plynu o průměru 1,4 milionu km. Dominují vodík (75 %) a helium (24 %). Směrem do středu nesmírně roste hustota a teplota.

Žádné neutrální atomy. Atomová jádra (kladný náboj) zbavená elektronů (záporný). Tomuto plynu složenému z nabitých částic se říká plazma.

Teplota v jádru Slunce: 15,7M °C, hustota: 160x větší než voda. Obojí společně stačí ke spuštění termojaderné fúze tvořící sluneční světlo.

Průměr jádra je 350 000 km (25 % Slunce, 27x Země). V této oblasti se tvoří 99 % sluneční energie (v úplném středu 275 wattů/m<sup>3</sup>).

Kolem jádra: 315 000 km silná „vrstva v zářivé rovnováze“. Teplota klesá ze 7 na 2 miliony °C. Energie proudí ven ve formě záření (světlo).

Jádro a vrstva v zářivé rovnováze rotují jako pevná tělesa, rovnoměrně v celém objemu. Jádro však zřejmě rotuje nepatrně rychleji.

Vnější oblast Slunce, silná 210 000 km: konvektivní zóna. Vře jako voda v hrnci. Horké plazma stoupá, vydává energii, chladné plazma klesá.

Rychlost, jakou se zóna otáčí, se mění s hloubkou a zeměpisnou šířkou (rychleji na rovníku, pomaleji u pólů) – tzv. diferenciální rotace.

„Meridionální proudění“ pod povrchem – „řeky ohně“ – přenáší plazma od rovníku k pólům (nízko pod povrchem) a zase zpět (ve větší hloubce).

Pohybující se plazma unáší, svírá, napíná a kroutí magnetická pole. Takto zadržovaná magnetická pole pohánějí sluneční erupce atd.

## 38. Co jsou sluneční skvrny?

Sluneční skvrny jsou krátkodobé tmavé fleky na Slunci. Tmavá barva je důsledkem toho, že jsou mnohem chladnější než okolí (ale pořád žhavé).

Největší skvrny mohou mít průměr 80 000 km, víc než šestinásobek toho zemského. Často se objevují ve skupinách a mohou trvat několik týdnů.

Největší sluneční skvrny jsou viditelné pouhým okem, když Slunce při západu/svítání potemní. Psali o nich čínští hvězdáři a evropští mniši.

Prvním, kdo pozoroval sluneční skvrny dalekohledem, byl v červnu 1611 německý amatér Johannes Fabricius. O něco předběhl Galilea.

Sledováním slunečních skvrn se podařilo určit, že se Slunce otočí jednou za 25 dní. Skutečná povaha skvrn však zůstávala záhadou.

Oproti teplotě slunečního povrchu (5500 °C) je teplota slunečních skvrn 3000–4000 °C. Sluneční skvrny leží asi o 1000 km hlouběji než okolí.

Sluneční skvrna vzniká tam, kde místní magnetické pole zastaví výměnu tepla prouděním. Horké plazma nestoupá vzhůru, povrch chladne a klesá.

Větší sluneční skvrny mají tmavou střední část zvanou umbra a světlejší okolí, tzv. penumbru.

Měřítkem sluneční aktivity je Wolfovo číslo, nazvané po švýcarském vědci:  $10g + f$  ( $f$  je počet slunečních skvrn a  $g$  počet jejich skupin).

Kolem skupin slunečních skvrn (aktivní oblasti) se často objevují jasné „fakule“, sluneční erupce a jiné výbušné úkazy. Vše magnetické jevy.

Další rotující hvězdy (obzvláště červení trpaslíci, též hvězdy podobné Slunci) periodicky mění jasnost. Doklad existence „hvězdných skvrn“.

## 39. Co je sluneční cyklus?

Heinrich Schwabe nepřetržitě pozoroval Slunce a hledal mezi ním a Merkurem novou planetu, která by přes Slunce přecházela jako temná skvrna.

Místo toho Schwabe vypožoroval změny v počtu slunečních skvrn. 1828/1829: každý den. 139 dní z r. 1833 beze skvrn. V příští dekádě to samé.

V roce 1843 publikoval Schwabe teorii o desetiletém cyklu slunečních skvrn. Potvrdila ji starší pozorování táhnoucí se již od Galilea.

Později bylo zjištěno, že skutečná doba slunečního cyklu je spíše 11 let. Od roku 1755 jsou cykly číslovány, ten současný má číslo 24.

Cyklus začíná malými skvrnami ve vysokých zeměpisných šířkách. Později vznikne blíž k rovníku více aktivních oblastí se skvrnami a erupcemi.

Při „slunečním maximu“ Slunce vyzařuje nepatrně více energie (i přes větší počet tmavých skvrn), zejména ve formě UV a rentgenového záření.

Sluneční cyklus zřejmě souvisí s podpovrchovými proudy magnetizovaného plazmatu a pravidelným nakupením magnetické energie; detaily nejasné.

1893: skotský astronom Edward Maunder zjistil, že sluneční aktivita byla mezi lety 1645 a 1710 nezvykle nízká. Nazváno Maunderovým minimem.

Příčina Maunderova minima je neznámá. Analýza letokruhů odhalila podobně dlouhé minimum mezi lety 1420 a 1550. Opakovat se může kdykoliv.

Během 20. století bylo Slunce nezvykle aktivní, silná maxima. Sluneční minimum minulého cyklu (č. 23) bylo nicméně velmi markantní a dlouhé.

Sluneční aktivita cyklu č. 24 by měla vrcholit v létě 2013. Cyklus nastoupil pozdě a sílí pomalu, nejspíš nás čeká slabé maximum.

## 40. Co je sluneční vítr?

Slunce vypouští do vesmíru nabitě částice, především protony (+) a elektrony (-). Tento hurikán o rychlosti milionu km/h je sluneční vítr.

S myšlenkou poprvé přišel Richard Carrington (1859), teorii publikoval E. Parker (1958) a potvrdila ji sovětská družice Luna 1 (1959).

Slunečním větrem ztrácí Slunce 1,8 milionu tun/s, čili 1 hmotnost Země za 150 milionů let. Ve srovnání s hmotností Slunce jako když plivne.

Sluneční vítr vzniká ve sluneční koróně (latinský výraz pro „korunu“): velmi horká (1–3 miliony °C) tenká vnější „atmosféra“ Slunce.

Koróna září milionkrát slaběji než povrch Slunce. Vidět je pouze speciálním přístrojem (koronografem) či během úplného zatmění Slunce.

Za vysokou teplotou koróny zřejmě stojí rázové vlny, mechanismus je nejasný. Částice díky ní letí tak rychle, že gravitaci Slunce uniknou.

Vítr má 2 složky. Pomalý sluneční vítr (400 km/s, 1,5 milionu °C, z koróny) a vítr rychlý (750 km/s, 0,8 milionu °C, ze slunečního povrchu).

Většina rychlého větru urychleného magnetickou energií vylétá ven skrz „koronální díry“, kde siločáry magnetického pole vybíhají do vesmíru.

Z výbuchů na Slunci také plynou „výrony koronální hmoty“ (CME): obří oblaka plazmy o váze mld. tun, vržená do vesmíru jako sluneční bouře.

V blízkosti Země víří sluneční vítr a sluneční bouře její magnetické pole. Tvoří velkolepé polární záře, ale mohou poničit elektrickou síť.

Sluneční vítr vyfukuje do prostoru bublinu o průměru ~3 miliard km. Tato „heliosféra“ je oblastí, kde dominuje magnetické pole Slunce.

Okraj heliosféry a tedy hranici mezihvězdného prostoru nedávno překonala sonda Voyager, vyslaná ke hvězdám v roce 1977.



## 41. Jak nebezpečné jsou sluneční erupce?

Silná sluneční erupce může zničit elektrickou infrastrukturu, což by nás vrátilo do století páry. Taková super-erupce je naštěstí vzácnost.

První zaznamenaná sluneční erupce byla zároveň nejsilnější: 1. září 1859 (Richard Carrington, Londýn). Telegrafisté dostávali elektrošoky!

Sluneční erupce jsou prudké energetické výboje na povrchu Slunce způsobené magnetickou silou. Při slunečním maximu bývají častější.

Celková energie uvolněná při silné sluneční erupci může být až milionkrát vyšší, než je celosvětová roční spotřeba elektrické energie.

Sluneční erupce produkují rentgenové záření. V kosmu mohou poškodit elektroniku a ublížit astronautům, které nechrání atmosféra.

Sluneční erupce snižují životnost umělých družic. Ohřívají horní vrstvu atmosféry, ta se rozpíná a brzdí pohybující se tělesa.

Protože astronauty nechrání magnetický štít Země, ohrožují je také poryvy protonů s vysokou energií, pohybujících se téměř rychlostí světla.

Erupce často doprovází pomalejší výron koronální hmoty, ačkoli nikdo neví proč. Částice z něj mohou doputovat k Zemi o několik dní později.

Nabitě částice pronikající magnetickým polem Země mohou způsobit „geomagnetické bouře“. Vizuálním projevem bývá fantastická polární záře.

Mnohem horší je, že erupce narušují GPS signál a rádiové spojení; proudy indukované ve vodičích mohou vyřadit rozvodné a počítačové sítě.

Technika je choulostivá: dnes by nás erupce z roku 1859 mohla na několik týdnů či měsíců odsoudit k temným nocím bez elektřiny.

Ztráta energie by narušila spojení, zásobování palivem a potravinami, zdravotnictví, ekonomiku. Hladomor, epidemie, obří ztráty na životech.

Jak se bránit? Umístit do vesmíru systém varující před erupcemi. Rozvodné a komunikační sítě by pak bylo možné včas vypnout a ochránit.

## 42. Ovlivňuje Slunce podnebí na Zemi?

Sluneční energie pohání zemské klima. Drobné změny slunečního výkonu by měly na počasí a podnebí dramatický dopad.

Jako všechny hvězdy je Slunce v průběhu své existence stále jasnější a žhavější. V budoucnu se i Země stane pro život příliš horkou.

V kratším časovém rámci je efekt méně zřejmý, měření však ukazují, že Slunce během slunečního maxima produkuje o něco více energie (0,1 %).

Sluneční cyklus trvá v průměru jen 11 let, zemské klima tedy nejspíš reaguje příliš pomalu, než aby změny měly větší význam.

Maunderovo období nízké sluneční aktivity (1645 až 1715) se však překrývalo s malou dobou ledovou. Evropa o 1 °C chladnější než obvykle.

Ve 20. století mohla také nadprůměrná sluneční aktivita přispět ke globálnímu oteplování, o tom se však ostře polemizuje.

Kromě přímého působení Slunce (záření) nízká sluneční aktivita ochlazuje planetu tím, že podporuje vznik mraků odrážejících sluneční světlo.

Teorie: při slunečním minimu sluneční vítr slábne, do zemské atmosféry může vstoupit víc vysokoenergetického kosmického záření.

Kosmické záření vytrhává elektrony z atomů vzduchu; nabití ionty fungují jako drobná „zrnka“, kolem nichž kondenzují kapičky vody z mraků.

Vědecký konsensus: za globální oteplování může hlavně spalování fosilních paliv. Slunce může hrát vedlejší roli nejasného rozsahu.

Dlouhá období vysoké/nízké sluneční aktivity klima téměř jistě ovlivňují: další Maunderovo minimum by globální oteplování dočasně vyrušilo.

Ve velmi dlouhodobém horizontu Země zažije stejně překotný skleníkový efekt jako Venuše. Oceány se vyvaří, planeta se upeče.

### 43. Bude tu Slunce navždy?

Jak se říká, nic netrvá věčně. Pro Slunce to platí stejně jako pro všechno ostatní.

Každou sekundu přemění Slunce 400 milionů tun vodíku v helium, přičemž vedlejším produktem je sluneční světlo. Jednoho dne mu vodík dojde.

Při „spalování“ vodíku na helium se heliový „popel“ propadá do středu Slunce. Asi za 5 miliard let už v jádru žádný vodík nezbude.

Slunce je 4,55 miliardy let staré. Cca stejnou dobu ještě bude rovnoměrným tempem spalovat vodík, což je znak „hvězd hlavní posloupnosti“.

Hromadění heliového popela činí jádro hustším a žhavějším (helium je těžší než vodík). Slunce je tedy tím žhavější, čím víc ztrácí teplo!

Slunce je již o 30 % jasnější než při svém vzniku. (Proč tedy novorozená Země nezamrzla? Planetu mohly ohřívat skleníkové plyny.)

Sluneční jádro bude stále hustší/žhavější. Přibude unikajícího tepla, to nafoukne vnější obal hvězdy do ohromné dálky a vznikne „rudý obr“.

Rudý obr je chladný jako uhlík, díky své obrovské ploše však může vyzařovat desetitisíckrát více tepla než Slunce.

Země se usmaží, shoří na troud. Ale spolkně ji rostoucí Slunce doopravdy? To není jisté.

Rudí obři odfukují vnější vrstvy do vesmíru. Slunce tak sníží svou hmotnost a povolí gravitační sevření. Země se oddálí.

I když se tedy Slunce pravděpodobně zvětší tak, že pojme oběžnou dráhu Země, než se tak stane, Země už bude pryč!

Ve fázi rudého obra bude Slunce hýřit teplem. Nakonec se ochladí a smrští až na superhustého „bílého trpaslíka“.

Ten je velký asi jako Země. Kostka cukru o jeho hustotě by vážila jako rodinné auto. Coby hvězdný oharek stydne a hasne až k neviditelnosti.

Slovy básníka T. S. Eliota: až Slunce dospěje ke konci života, „ne bouchne to, jen to zakňourá“.

# SLUNEČNÍ SOUSTAVA





## 44. Jaký je původ sluneční soustavy?

Na počátku byl chladný ( $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), temný mrak mezihvězdného plynu a prachu, který proti hvězdám vypadal jako tmavomodrá skvrna.

Oblak tam mohl jen tak pro nic za nic viset, kdyby nepřišel počáteční impuls, snad tlaková vlna od explodující hvězdy (supernovy).

Asi před 4,55 miliardami let se mrak začal vlastní gravitací smršťovat a plyn houstl a houstl.

Stlačený plyn se ohřívá a vyvíjí protiběžnou sílu, která by měla smršťování zastavit.

Vodík, oxid uhelnatý atd. však ztrácejí teplo ve formě světla (mikrovln). Ty z mraku unikly a nechaly ho tak napospas vlastní gravitaci.

Mrak se nejprve otáčel zvolna (protože Mléčná dráha rotuje pomalu), ale jak se smršťil, rotace se zrychlila, jako když krasobruslař připaží.

Vzdálenost mezi póly klesala rychleji než obvod „rovníku“, kde proti gravitaci působila odstředivá síla. Vznikl plochý, rotující lívanec.

Stlačený plyn se uprostřed mraku ohřál na miliony stupňů. Nastartovaly se nukleární reakce tvořící sluneční světlo. Vzniklo Slunce.

V disku kolem novorozeného Slunce se prachová zrna shlukují do stále větších celků, až vytvoří „planetesimály“ o velikosti několika km.

V poslední, dramatické fázi vzniku sluneční soustavy do sebe planetesimály opakovaně narážejí. Tím se postupně formují planety včetně Země.

Při simulacích často vzniká deset těles o hmotnosti Země. Střety s obřími zárodečnými planetami odmrštily tyto sourozence do vesmíru.

Sluneční soustava se však nenarodila sama. Jako v obrovské hvězdné porodnici přišly v mračnu na svět také další hvězdy a planety.

Mladou sluneční soustavou otřásaly exploze blízkých supernov, obřích krátkodechých hvězd. Jejich radioaktivní zbytky nalézáme v meteoritech.

## 45. Co je planeta?

Slovo „planeta“ pochází z řeckého *planētēs*, poutník. Planety jsou nebeská tělesa putující na pozadí hvězd.

Ve starověku bylo známo sedm planet: Slunce, Měsíc, Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn. Země za planetu považována nebyla.

V „heliocentrickém“ pojetí Mikuláše Koperníka (1543) je planeta těleso obíhající kolem Slunce: Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter a Saturn.

Rozdíl mezi hvězdou a planetou: hvězda bývá velká a žhavá, vydává světlo a teplo, planeta malá a chladná, světlo a teplo přijímá z hvězdy.

Rozdíl na noční obloze: planety obvykle vypadají zářivější, nemihotají tolik jako hvězdy a pomalu mezi hvězdami mění polohu.

Ne všechno, co obíhá kolem Slunce, je však považováno za planetu. Výraznými výjimkami jsou komety a asteroidy, známé též jako planetky.

Když ale bylo v Kuiperově pásu za oběžnou dráhou Neptunu objeveno mnoho ledových těles podobných Plutu, musela se definice planety upřesnit.

Planeta: 1) obíhá kolem Slunce; 2) má vlivem vlastní gravitace zaoblený tvar; 3) „vyčistila si“ oběžnou dráhu od dalších objektů.

Tato kritéria splňuje pouze osm objektů sluneční soustavy: Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun.

Několik těles splňuje kritéria 1 a 2, ale ne 3. Nazýváme je trpasličími planetami (především planetku Ceres a Pluto, část Kuiperova pásu).

Návrh 4. kritéria: planeta nesmí být větší než cca 14 Jupiterů. Nad touto hranicí jde o hnědé trpaslíky, vykazující už termojadernou fúzi.

Někteří astronomové přišli s 5. kritériem: planeta se musela vytvořit nahromaděním hmoty ve zbytkovém disku obíhající kolem nově zrozenou hvězdu.

V naší soustavě známe planet jen osm, ale objevili jsme už na 500 „exoplanet“, obíhající kolem dalších hvězd.

## 46. Proč jsou planety kulaté?

Gravitace: univerzální přitažlivá síla působící mezi všemi tělesy. U velkých objektů tak k sobě každá jednotlivá část táhne všechny ostatní.

Pokud je materiál tekutý, těleso vytvoří kouli – tvar, který zajišťuje, že každá jednotlivá složka je co nejbližší každé další.

Obří planety jako Jupiter a Saturn jsou tvořeny plynem (a hluboko uvnitř, kde je plyn stlačen, jsou kapalné). Odtud jejich kulatý tvar.

Ve skutečnosti jsou Jupiter i Saturn o něco širší kolem rovníku, kde jejich rychlá rotace žene plyn do větší dálky.

Kamenná a ledová tělesa jsou odlišná. Jsou-li moc malá, gravitace dostatečně nestlačí jádro a to tím pádem nezkapalní.

Proto mají nepravidelné tvary jako brambory. Čím je však těleso větší, tím silnější gravitační síla táhne jeho materiál k sobě a mačká jej.

Při určité velikosti už gravitace dokáže jádro zkapalnit. U kamenného tělesa je tato hranice ~400 km v průměru, u ledového ~600 km.

V důsledku toho jsou ve sluneční soustavě všechna kamenná tělesa o průměru větším než ~400 km a ledová tělesa větší než ~600 km kulatá.

Gravitace, která hmotu drtí, tak svádí boj s elektromagnetickou (EM) silou, která činí hmotu nepoddajnou a přitažlivosti tím vzdoruje.

EM síla, kterou se vzájemně odpuzují elektrony v sousedních atomech, je více než 1000 bilionů bilionů bilionkrát větší než gravitace.

K vítězství proto gravitace potřebuje pořádně velký shluk atomů, čili astronomické těleso jak má být.

Při dostatečné hmotnosti gravitace převáží a nic ve vesmíru jí nedokáže vzdorovat. Výsledek: černá díra. Ale to už je jiný příběh!

## 47. Která planeta je nejmenší?

Nejmenší planetou v naší sluneční soustavě je Merkur. S průměrem pouhých 4880 km je jen o 40 % větší než náš Měsíc.

Merkur drží mnoho rekordů: nejmenší, nejrychlejší, nejhustší, nejbližší Slunci, největší výkyvy teplot, nejprotáhlejší a nejzkosenější dráha.

Jelikož je Merkur tak blízko Slunce (58 M km), je za soumraku či za úsvitu vidět přímo nad obzorem, pokud ho necloní budovy/stromy.

Zkoumání planetárního povrchu dalekohledem naznačovalo, že se Merkur ke Slunci obrací stále stejnou stranou.

Radarová pozorování z 60. let 20. století však ukázala, že se Merkur otočí jednou za 59 dnů – 2/3 z 88 dnů, během kterých oběhne Slunce.

Jako na Měsíci, i na Merkuru nacházíme krátery vyryté četnými srážkami. Kdysi aktivní sopky vyhasly před několika miliardami let.

Vzhledem k vysoké teplotě a slabé gravitaci (37 % zemské) nemá Merkur žádnou atmosféru. Teplota: +450 °C (ve dne) a -185 °C (v noci).

Kupodivu je na Merkuru led. Osa planety není nakloněna jako zemská, dna hlubokých kráterů na pólech tedy neustále zůstávají ve stínu.

Jádro Merkuru (Fe/Ni) je v poměru k celé planetě obrovské. Magnetické pole lze vysvětlit částečně roztaveným jádrem s kolujícími proudy.

Možná je železné jádro tak velké proto, že byl i Merkur v minulosti mnohem větší. Obří náraz ho mohl připravit o většinu kamenného pláště.

1. sonda zkoumající Merkur: Mariner 10. Během 3 přeletů v letech 1974 a 1975 zmapoval půl planety. Většina kráterů pojmenována po umělcích.

V březnu 2011 dorazila na oběžnou dráhu sonda Messenger (NASA). Studuje povrchové složení, magnetické pole a vnitřní strukturu Merkuru.



## 48. Proč je Venuše hotové peklo?

Venuše je po Slunci a Měsíci nejjasnějším objektem na obloze. Pro svůj okouzující, nádherný vzhled byla pojmenována po římské bohyni lásky.

Venuše je blíže k Slunci než Země (108 milionů km), lze ji tedy vidět pouze po jeho západu (jako večernici) nebo před východem (jitřenka).

Venuše je s průměrem 12 103 km jen o málo menší než Země. Vnitřní strukturou – železné jádro, kamenný plášť – jsou si zřejmě velmi podobné.

Venuše nejspíš nemá pohyblivé „desky“ jako Země. Má však mladý povrch, asi kvůli globální sopečné činnosti nebo jiným geologickým změnám.

Venuše se otáčí, jako by byla vzhůru nohama. Její den (243 pozemských dní) je navíc delší než její rok (225 dní), neznámo proč.

Povrchovou výheň o teplotě 500 °C odhalil v roce 1962 Mariner 2, první meziplanetární sonda vůbec. Příčina: silný skleníkový efekt.

Hustá atmosféra (především CO<sub>2</sub>): tlak na povrchu 90x větší než na Zemi. Povrch zahalen hustými mraky, které obsahují kyselinu sírovou.

Teplota, která stačí na roztavení železa, drtivý tlak na povrchu, kyselé mraky a bijící blesky dělají z Venuše hotové peklo.

V 70. l. 20. st. se sem na padácích snesly sovětské sondy Veněra a vyfotografovaly povrch. Nepřátelské prostředí je rychle zničilo.

1990–94 obíhala planetu sonda Magellan (NASA). Mapovala povrch radarem, čímž na mraky vyzrála. „Viděla“ zvlněné plně, krátery, sopky.

Od dubna 2006 je na oběžné dráze evropská sonda Venus Express, zkoumající atmosféru a klima. Tepelnými senzory vyhledává aktivní sopky.

Pro zeměpisné názvy se na Venuši volí jen ženská jména, až na pohří Maxwell (skotský vědec z 19. stol., jehož dílo umožnilo vznik radaru).

## 49. Proč je Mars červený?

Vzhledem ke své výrazně červené barvě byl Mars pojmenován po římském bohu války. Oběhne Slunce jednou za 1,88 roku.

Mars obíhá vně oběžné dráhy Země, 228 milionů km od Slunce. Když jej Země každých 26 měsíců předbíhá, je Mars vidět celou noc.

V dalekohledu se Mars podobá Zemi: tmavá kresba na povrchu, polární čepičky, nakloněná osa rotace, den trvá 24,6 hodiny.

Hlavní rozdíl: Mars je mnohem menší (ø 6794 km). Povrchová gravitace pouze 38 % zemské. Udrží jen velmi tenkou atmosféru, především z CO<sub>2</sub>.

Zatímco Merkur a Venuše nemají žádné přirozené satelity a Země má jeden, Mars má dva: Phobos (27 km) a Deimos (15 km), objevené v roce 1877.

V r. 1972 mapovala Mars z oběžné dráhy sonda Mariner 9. Nalezla ohromné kaňony, obří sopky, suchá koryta řek, vodou vymleté kanály a duny.

Valles Marineris (délka 4000 km, hloubka 6 km): největší kaňon sluneční soustavy. Olympus Mons (ø 500 km, výška 25 km): nejvyšší hora.

Teplota na Marsu je mezi +10 a -80 °C. Většinu planety pokrývá studená, vyprahlá a skalnatá poušť bičovaná globálními prachovými bouřemi.

Červená barva Marsu je způsobena korozí (oxidy železa). První barevné snímky povrchu pořídila po přistání v roce 1976 dvojice sond Viking.

Rudou planetu zkoumalo mnoho sond. Některé dosud fungují: Mars Reconnaissance Orbiter, Mars Odyssey (obě NASA) a Mars Express (ESA).

A pak vozítka: Spirit a Opportunity přistály v roce 2004. Opportunity stále aktivní. Našly důkaz o někdejších oceánech a řekách.

Lidé na Marsu? Vzdálený sen. Skromnější cíl: přivést horniny z Marsu na Zem, kde mohou být vyšetřeny na obsah fosilních mikroorganismů.

## 50. Proč se Venuše, Země a Mars tolik liší?

Venuše je blíže ke Slunci než Země; Mars dál a menší. Geologicky vzato tyto tři planety zas tak odlišné nejsou.

Brzy po svém vzniku nejspíš všechny tři planety vykazovaly mírné teploty, povrchovou vodu a poměrně hustou atmosféru s metanem a amoniakem.

Dnes jsou Venuše, Země a Mars velmi odlišné. Venuše se varem vysušila. Mars zmrzl. Země jako jediná zůstala příznivá pro život.

Sopečná činnost na mladé Venuši produkovala  $\text{CO}_2$ . Skleníkový efekt vedl k nárůstu teplot, oceány se vypařovaly.

Vodní pára skleníkový efekt posilovala. Veškeré kapaliny se vypařily. UV záření ze Slunce způsobilo rozpad vodních molekul v atmosféře.

Výsledný vodík unikl do vesmíru; kyslík se navázal na povrchové horniny. Koloběh vody ustal, a tak se v atmosféře dál hromadil  $\text{CO}_2$ .

Pokud by Venuše měla tektonickou činnost jako Země, skály obsahující uhlík by se částečně obnovovaly a  $\text{CO}_2$  by se hromadil pomaleji.

Deskovou tektoniku však mohl na Venuši zastavit nedostatek vody, která by jí napomáhala. Připočtete blízkost Slunce a rozpoutalo se peklo.

Mars je naopak menší než Země a přišel o teplo rychleji. Tuhnutím jádra ustaly geologické procesy a povrch planety zamrzl.

Bez sopek chrlících skleníkový plyn  $\text{CO}_2$  ztratila planeta obal, který by teplo zachytil. Teplota prudce klesla. Voda zamrzla.

Atmosféru nechránilo magnetické pole a držela ji jenom slaboučká gravitace, takže si s ní sluneční vítr rychle poradil.

Pokud by byl Mars větší (více tepla, silnější gravitace) nebo by obíhal blíže ke Slunci, mohl svému mrazivému osudu uniknout.

Pokud by byla blíže ke Slunci Země, vyvařila by se stejně jako Venuše. Kdyby byla menší, zamrzla by a ztratila by svou atmosféru jako Mars.

Venuše je kvůli velkému množství  $\text{CO}_2$  žhavá. Z Marsu je patrné, že příliš málo  $\text{CO}_2$  planetu velmi ochladí. Oba případy nám budiž varováním.

Život i voda mají na Zemi přesně ty správné podmínky. Jaké štěstí, že žijeme v tzv. obyvatelné zóně!

## 51. Je na Marsu voda?

Spousta, ale všechna je zmrzlá na led, většinou ve vysokých zeměpisných šířkách a pod povrchem. Hodně ledu obsahují také polární čepičky.

Koncem 19. st. si Giovanni Schiaparelli všiml na Marsu rovných čar. Nazval je *canali*, řečiště. Nepřesným překladem se z nich staly „kanály“.

Percival Lowell se domníval, že jde o umělá vodní koryta, jimiž Marťané odvádějí vodu z polárních čepiček do suchých rovníkových oblastí.

Kanály na Marsu jsou jen optický klam. Sondy však později našly vyschlá koryta, vymletá patrně přeháňkami nebo jednorázovými přívaly vody.

Sondy Viking (NASA) vodu z oběžné dráhy potvrdily. Polární čepičky tvoří hlavně zmrzlý  $\text{CO}_2$ , obsahují ale i významné množství vodního ledu.

Podpovrchový led, zřejmě permafrost, odhalen díky sondám Mars Odyssey (data z neutronového spektrometru) a Mars Express (radarová měření).

Vzorky podpovrchového ledu odebrala sonda Phoenix, která dosedla v polární oblasti. Zbývá otázka: byla dřív voda na Marsu kapalná?

Kanály a další náznaky řek napovídají, že byla – před několika miliardami let, kdy měl Mars silnější atmosféru a planeta byla teplejší.

Vozítko Opportunity našlo minerály vzniklé ve vodě a potvrdilo tak skutečnost, že se na Marsu v dávné minulosti nacházela jezera a moře.

Mars byl kdysi vodní planetou, většinu nížin na severní polokouli pokrýval rozsáhlý oceán. Mars mohl vypadat přesně jako Země.

Vodní strouhy na vnitřních svazích kráterů naznačují, že dokonce i dnes může podpovrchový led občas roztát a vytéct na povrch.

Při atmosférickém tlaku odpovídajícím pouze 0,7 % toho pozemského se veškerá voda uvolněná na povrch Marsu bohužel okamžitě vypaří.



## 52. Je „tvář na Marsu“ dílem nepozemské civilizace?

To se rovnou ptejte, jestli mimozemšťané vytvořili Ayers Rock v Austrálii. „Tvář na Marsu“ vypadá přízračně, jedná se však o přírodní útvar.

Známe ji ze zrnité fotografie pořízené sondou Viking. Jde o samotný kopec, který připomíná lidskou tvář s ústy, očima a nosními dírkami.

Iluzi vytváří hra světla a stínu a špatná kvalita pořízeného obrázku. Ostré fotografie později odhalily, že „tvář na Marsu“ je stolová hora.

Přesto někteří stále věří, že NASA důkazy o existenci ztracené marťanské civilizace utajuje, a nikdo jim to nevymluví.

Inteligentní život na Marsu – často zelený a slizký – je významným tématem žánru sci-fi. Vzpomeňme například *Válku světů* od H. G. Wellse.

Astronomové si až do 60. let na Marsu představovali lišejníky a jednoduché rostliny. I A. C. Clarke donedávna věřil v marťanské banyány.

Přistávací moduly Viking (1976) hledaly život a objevily zvláštní chemické složení půdy. Autor pokusu dál tvrdí, že našly na Marsu mikroby.

Někdejší teplo a vlhko mohlo na Marsu vést ke vzniku života. Budoucí mise k rudé planetě budou hledat důkaz o přítomnosti mikrobů.

Některé mikroorganismy mohly dokonce dodnes přežít v podpovrchových vodních kapsách, skryté před kosmickým a slunečním UV zářením.

O přítomnosti života svědčí metan, a ten se na Marsu překvapivě našel. Mohl by dokazovat, že se tam život udržel dodnes.

Pokud na Marsu život v dávné době vznikl, mohly se mikroby přenést na Zemi, a to v meteoritech vymrštěných do prostoru kosmickými srážkami.

Život na Zemi tak může pocházet z Marsu. V jistém smyslu si tedy tvář z Marsu nejlépe prohlédnete při pohledu do zrcadla.

## 53. Jak nebezpečný je průlet pásem asteroidů?

Známe víc než půl milionu planetek. Většina obíhá kolem Slunce mezi drahami Marsu a Jupiteru. Řeklo by se, že tam bude narváno a nebezpečno.

Nevěřte však sci-fi. Průměrná vzdálenost mezi asteroidy je srovnatelná se vzdáleností Země–Měsíc. Pás asteroidů je hlavně prázdný prostor.

Většina asteroidů je navíc malá. Jen 200 z nich má v průměru více než 100 km. Jejich celková hmotnost vydá za pouhých 4 % váhy Měsíce.

Ke srážkám nicméně v pásu asteroidů dochází. Vznikají tak tzv. rodiny menších objektů s podobnými oběžnými drahami a stejným složením.

Od roku 1973 pásem asteroidů hladce proletělo několik kosmických sond. Některé z nich dokonce mířily přímo k planetkám.

První planetku, Ceres, objevil Giuseppe Piazzi v r. 1801. Pokládali ji tehdy za chybějící planetu, kterou hledali mezi Marsem a Jupiterem.

Ve stejné oblasti však byly brzy nalezeny další 3 „planety“: Pallas, Juno, Vesta. Do 40. l. 19. st. již bylo ve sluneční soustavě planet 11.

Brzy přibyly stovky těles. Astronomové si uvědomili, že Ceres je pouze největším zástupcem nové kategorie: planetek neboli asteroidů.

Ceres má průměr 975 km. Planetka je dost velká, aby ji vlastní gravitace zakulatila. Oficiálně jde o „trpasličí planetu“.

Většina planetek jsou nepravidelné balvany či porézní slepence kamínků a prachu. Mnohé mají 1 či dokonce 2 malé měsíce. Těž „dvojplanetky“.

Kosmické sondy navštívily tyto planetky: Gaspra, Ida (a měsíc Dactyl), Mathilde, Braille, Eros, Annefrank, Itokawa, Steins, Vesta a Lutetia.

V září 2007 NASA vyslala sondu Dawn. Ta v červenci 2011 vstoupila na oběžnou dráhu Vesty. Následuje Ceres, kam dorazí v roce 2015.

Planetky jsou pozůstatky z dob vzniku sluneční soustavy. Podobají se planetesimálám a protoplanetám, z nichž vznikly terestrické planety.

## 54. Vyhubil dinosaury asteroid zabiják?

Většina asteroidů obíhá Slunce v pásu mezi Marsem a Jupiterem. Tento „hlavní pás“ asteroidů pro Zemi nepředstavuje žádné riziko.

Kvůli srážkám nebo gravitačním postrkům od Jupiteru však některé zamíří dovnitř sluneční soustavy a mohou oběžnou dráhu Země zkřížit.

Tyto blízké objekty (Near-Earth Objects, NEO), včetně komet, mohou zasáhnout Zemi a zpusťit ji. Již k tomu došlo – a zase dojde.

Tunguská katastrofa na Sibiři v roce 1908 srovnala se zemí 2000 km<sup>2</sup> lesa. Zpusťil ji fragment komety o velikosti několika domů (30 m).

Arizonský Meteor Crater o více než kilometrovém průměru vznikl dopadem železného meteoritu velikosti menšího domovního bloku (50 m).

Dopady větších těles mnohem vzácnější. Asteroidy o rozměru 1 km zasáhnou Zemi přibližně každých 500 000 let. 10km či větší za 100 mil. let.

Dinosaury a mnohé další druhy byly vyhubeny před 65 miliony let. Přibližně v té době Zemi zasáhla kometa nebo asteroid o průměru 10km.

Vymírání nemusel nutně zpusťit náraz. Mohlo to být důsledkem extrémního výronu sopečné lávy, který vytvořil „Dekánské trapy“ v Indii.

Stále hrozí, že NEO zpusťí celosvětové požáry či vlny cunami. Kvůli prachu ve stratosféře by na zem celá léta nepronikly sluneční paprsky.

Specializované dalekohledy hledají na obloze potenciálně nebezpečné objekty (PHO). Cíl: odhalit do roku 2020 většinu PHO větších než 140 m.

Pokud zabijácký asteroid nalezneme, bude jeho dráhu možné změnit raketami, jaderným výbuchem nebo gravitačním působením obří kosmické lodi.

Vyhynutí dinosaurů mělo svou světlou stránku. Zanechalo mezeru, kterou vyplnili savci. Bez vražedného asteroidu bychom tu zřejmě nebyli.

## 55. Je Jupiter nevydařeným sluncem?

Ve filmu *2010: Druhá vesmírná odysea* mimozemšťané přemění Jupiter na druhé slunce, aby pomohli vznikajícímu životu na jeho měsíci Europě.

Opravdu se Jupiter mohl stát hvězdou? Jak blízko dospěl k tomu, aby zažehl termojadernou fúzi a jeho paprsky zazářily na pozemské obloze?

Základní fakt č. 1: zahájení fúze vodíku na helium – zdroj sluneční energie – vyžaduje v jádru teplotu přes 10 milionů stupňů.

Základní fakt č. 2: gravitace obří koule plynu stlačuje a tím ohřívá. Čím větší hmotnost, tím větší tlak a vyšší teplota.

K dosažení teploty kolem 10 milionů stupňů je zapotřebí hmoty odpovídající asi 8 % hmotnosti našeho Slunce nebo osmdesáti Jupiterům.

Jupiteru tak do druhého Slunce hodně chybělo. Ale ne tak rychle!

Jupiter vydává více než 2x tolik tepla, než kolik dostává od Slunce (jádro se pomalu stlačuje a přeměňuje tak gravitační energii na teplo).

Jupiter není v souladu s přísnou definicí planety jako objektu, jenž nevyzařuje vlastní světlo a teplo, nýbrž jen odráží to sluneční.

Jak tedy mimozemšťané ve *2010* udělali z Jupiteru slunce? Jelikož gravitace účinkuje z nitra a nedostačuje, museli planetu stlačit zvenčí.

Jupiter je pátou planetou od Slunce. Se svým rovníkovým průměrem 143 000 km je největší planetou sluneční soustavy.

Jupiter oběhne Slunce za 11,86 let. Přestože je od něj vzdálen 778,5 milionu km, je po Venuši nejjasnější planetou na noční obloze.



## 56. Mění Jupiter svůj vzhled?

Jupiter je plynná planeta, tvořená vlastně jen atmosférou. Zvenčí vidíme vrstvy mraků, které se neustále prudce mění.

Rychlá rotace planety (jedno otočení trvá 9 h 55 m, což na rovníku odpovídá 45 300 km/h) roztahuje mraky do pásů a pruhů.

Již malý dalekohled odhalí dva tmavé pásy mraků po obou stranách rovníku. Ani ty však nejsou trvalé: jižní pás v roce 2010 zmizel.

Velká rudá skvrna (GRS), také zřetelná již v malém dalekohledu, je obří anticyklonální bouře, zakotvená zčásti v jižním rovníkovém pásu.

GRS poprvé popsal Robert Hooke v roce 1664. Nepřetržitě je sledována od první poloviny 19. století. Její velikost a barva se mění.

Průměrné rozměry 30 000 x 13 000 km (2x větší než Země). Barva: obvykle lososová, mění se od velmi světlé až po sytě oranžovou/červenou.

GRS rotuje proti směru ručiček, otočí se za 6 dní. Vršky prostředních mraků chladnější a o ~8 km výše než okolí. Rychlost větru až 450 km/h.

Původ červené barvy nevysvětlen. Asi důsledek organických fosforečných a sirnatých látek, vynášených z nižších vrstev Jupiterovy atmosféry.

Větší dalekohledy/kosmické sondy odhalují i menší flíčky: bílé ovály. Některé časem splývají a rostou, možná z nich budou nové rudé skvrny.

V červenci 1994 do atmosféry Jupiteru dopadly zbytky komety Shoemaker-Levy 9 a přechodně zde vytvořily tmavé skvrny, které časem vybledly.

Amatérští astronomové v nedávných letech odhalili dalších dočasně tmavé skvrny a náhlé jasné záblesky, patrně po kosmických srážkách.

Planeta nikdy nevypadá úplně stejně, proto nemá smysl vytvářet atlas Jupiteru. Většina změn je však malým dalekohledem obtížné viditelná.

Sonda Juno, kterou vyslala NASA, má k Jupiteru dorazit v červenci 2016 a bude proměnlivou atmosféru zkoumat podrobněji.

## 57. Čím jsou Jupiterovy měsíce výjimečné?

Čtyři největší měsíce Jupiteru objevil Galileo roku 1610 v Padově. Dostaly název „Galileovy měsíce“. Jsou vidět i malým dalekohledem.

Odhalil tak další těleso s vlastními oběžnicemi a osudově podkopal církví prosazovanou představu, že Země tvoří střed vesmíru.

Jupiterovy obří měsíce poprvé umožnily přesně odhadnout rychlost světla (která milionkrát překonává rychlost zvuku, takže to není jen tak).

1676: Ole Christensen Rømer si všiml, že je-li Země od Slunce na opačné straně než Jupiter, zacházejí měsíce za Jupiter o 22 minut později.

Světlo tak průměr zemské orbity protne za 22 min. Ze známých vzdáleností spočítal Rømer rychlost na 225 000 km/s (moderní hodnota: 300 000).

Nejžhavějším tělesem sluneční soustavy je Io, jeden z Galileových měsíců. Na jednotku objemu kupodivu vytváří více tepla než Slunce.

Pokud budete neustále mačkat míček na squash, rozpálí se. Io je horký ze stejného důvodu, ale místo ruky ho mačká obří gravitace Jupiteru.

Io je nejaktivnějším tělesem ve sluneční soustavě. Uvnitř roztavený, zvenčí posetý sopkami. Ročně vyvrhne do vesmíru 10 mld. tun hmoty.

Ve skutečnosti jsou na měsíci Io gejzíry, ne sopky. Stovky km do vesmíru tak netryská láva, ale plynný oxid siřičitý.

Další masivní měsíc, Europa, je největším kluzištem sluneční soustavy. Největší oceán tak možná není na Zemi, ale pod ledem na Europě.

Také Europu Jupiter svojí gravitací hněte a roztahuje. Ledové útroby vzniklým teplem tají a pod deseti km ledu leží 100 km hluboký oceán.

Europa skýtá velkou naději. Oceán je zcela tmavý, život by však mohl existovat v okolí sopečných jícnu na jeho dně, jako na Zemi.

Třetí Galileův měsíc, Ganymed, je největším satelitem sluneční soustavy. Se svými 5262 km v průměru je dokonce větší než planeta Merkur.

Nejvzdálenější velký měsíc, Callisto, obíhá až za smrtícími radiačními pásy Jupiteru. Ideální základna pro studium Jupiteru a okolí.

## 58. Plaval by Saturn ve vodě?

Saturn je obrovská plynná planeta, stejně jako Jupiter. Ale menší: 120 500 km. Obíhá Slunce ve vzdálenosti 1,4 mld. km, jednou za 29,5 roku.

Ve starověku byl Saturn nejpomalejší a nejevzdálenější známou planetou. Pojmenován po římském bohu, synovi Země a nebe, Jupiterově otci.

Saturn proslul svými prstenci, jež lze vidět již malým dalekohledem. Poprvé je spatřil r. 1610 Galileo, ale nepoznal, na co se dívá.

Pravou podstatu prstenců objevil v roce 1655 nizozemský vědec Christiaan Huygens, který odhalil též Saturnův největší měsíc, Titan.

Na rozdíl od Jupiteru má Saturn nakloněnou osu ( $27^\circ$ ) a střídání ročních období – o to ostřejší, že zimní polokouli ochlazuje stín prstenců.

Saturn má ke Slunci dál než Jupiter a je tak chladnější. Mraky se tvoří hlouběji v atmosféře, jsou méně zřetelné, planeta působí nevýrazně.

Výjimky: Velká bílá skvrna, již roku 1933 našel Will Hay, anglický komik a amatérský astronom. Aktuálně: obrovská bouře, prosinec 2010.

Saturn má na severním pólu tajemný, 25 000 km široký šestiúhelník. Objevila jej sonda Cassini, která planetu obíhá od roku 2004.

Saturn se otočí jednou za 10h 39m, kolem rovníku je tak tlustší, přes póly má o desetinu menší průměr. Větry vanou rychlostí až 1800 km/h.

Saturn se skládá převážně z lehkých plynů: vodík/helium. I tak je 95x těžší než Země. Průměrná hustota dosahuje pouhých  $0,69 \text{ g/cm}^3$ .

Hustota je srovnatelná s hustotou jilmového dřeva. Pokud byste tedy našli dostatečně velkou vodní nádrž, Saturn by v ní plaval.

## 59. Jak tenké jsou Saturnovy prstence?

Neuvěřitelně tenké. Sice jsou od vnitřního k vnějšímu okraji roztaženy do více než 100 000 km, tloušťka ale nemusí přesahovat 20 metrů.

Jinak řečeno: kdyby průměr prstenců odpovídal jednomu kilometru, byly by tenčí než nejostřejší žiletka.

Galileo je velikán vědecké historie. Uvědomil si, že je pohyb kyvadla pravidelný, i to, že všechna tělesa padají stejnou rychlostí.

Slabou chvílí v jeho kariéře bylo, když v r. 1610 obrátil svůj tehdy hypermoderní dalekohled k Saturnu a prohlásil jej za „planetu s ušima“.

Rok nato se Galileo rozhodl, že Saturn má dva velké měsíce – na každé straně jeden. Měsíce však později zmizely a Galileo zemřel zmaten.

Záhada vyřešena v roce 1655, kdy Christiaan Huygens z pozorování Saturnu větším dalekohledem vyvodil, že planetu obklopuje systém prstenců.

Jak Saturn obíhá kolem Slunce, poloha prstenců se při pohledu ze Země mění. Směřují-li k nám hranou, mizí; v náklonu vážně připomínají uši.

1858: James Clerk Maxwell prokázal, že pevné nebo kapalně prstence by byly nestabilní a musí tedy jít o houf nezávisle obíhajících částíček.

Částičky tvoří z 99 % led, proto se prstence třpytí. Typická velikost částíček je 1 cm, ale sahá od zrníček prachu k rozměrům domu.

Stáří prstenců je odhadováno na přibližně 400 M let. Vznikly zřejmě, když se 250km ledový měsíc zatoulal moc blízko Saturnu a rozprskl se.

Sonda Voyager (NASA) na počátku 80. let 20. st. zjistila, že Saturnovy prstence se skládají z tisíců a tisíců tenkých kroužků.

Saturn vlastně nemá kruhové prstence, ale několik spirál, které se podobají drážkám na staré gramodesce.

Vibrace úlomků vedou ke spirálním „hustotním vlnám“. Ty zevnitř prochází prstencem, cestou stlačují jeho hmotu a tvoří tak „dočasné“ drážky.

Stejná vlna vytváří i spirální ramena Mléčné dráhy. Je to k nevíře, ale Saturnovy prstence jsou zhuštěnou obdobou spirálních galaxií.



## 60. Dá se na Titanu plavat?

Titan, objevený Christiaanem Huygensem v roce 1655, je větší než Merkur. Z měsíců Saturnu je největší, ve sluneční soustavě celkově druhý.

Gerard Kuiper v roce 1944 odhalil na Titanu metan. Definitivní důkaz atmosféry. Titan je jediný satelit s atmosférou, která stojí za řeč.

Sonda Voyager potvrdila, že atmosféra sahá velmi vysoko. Převažuje v ní dusík. Povrch se skrývá pod oparem organických molekul.

Atmosféra na Titanu připomíná atmosféru na mladé Zemi. Tlak na povrchu dosahuje 1,45 toho zemského, teplota je však mnohem nižší:  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

14. ledna 2005 na Titanu měkce přistála evropská sonda Huygens. Zjistila, že je tu místo hornin led a místo vody kapalný metan.

Kosmická sonda Cassini mapovala části Titanu pomocí radaru. Objevila jezera kapalného metanu a etanu a známky metanových dešťových bouří.

Kromě povrchu Země už tekutiny najdete jen na povrchu Titanu. Sice byste si tam zaplavali, ale vašemu zdraví by to rozhodně neprospělo.

Malý a ledový Saturnův měsíc Enceladus (500 km) je též zajímavý. Gejzíry chrlí vodu, led a prach a naznačují přítomnost oceánu pod povrchem.

Gravitace malých vnitřních měsíců ovlivňuje prstencový systém. Příklad: 4700 km široké Cassiniho dělení, způsobené gravitací měsíce Mimas.

Další drobné měsíce obíhající kolem prstenců nebo přímo v nich vytvářejí i další útvary, jako jsou menší mezery nebo úzký prstenec F.

Iapetus je podivný měsíc dvou tváří, má tmavou a světlou polokouli. Na rovníku se táhne obří horský hřbet, snad materiál nabraný z prstenců.

Malý měsíc Phoebe (230 km) je pravděpodobně „kentaur“, objekt z Kuiperova pásu přitažený gravitací Saturnu až zpoza oběžné dráhy Neptunu.

Hyperion (328 km) je podivný, velice porézní objekt, složený zejména ze zmrzlé vody. Pripomíná pemzu: asi 40 % objemu je prázdný prostor.

## 61. Proč leží Uran na boku?

Všechny planety vznikly z disku kroužícího kolem novorozeného Slunce, měly by tedy rotovat kolem svislé osy, s rovníky v rovině s orbitami.

Dvě výjimky: Venuše, která je převrácená a rotuje v opačném směru než obíhá, a Uran, jenž rotuje na boku.

Uran oběhne Slunce každých 84,3 let. Severní pól tak 42 let směřuje ke Slunci a přijímá sluneční záření, poté se odvrátí a je 42 let ve tmě.

Otázka: Proč je Uran jako překocená káča? Odpověď: Možná jej povalila srážka s velkým tělesem (při podobné srážce vznikl zemský Měsíc).

Měsíce Uranu jsou ale překocené úplně stejně; obíhají kolem rovníku. Náráz, který překlopil Uran i s měsíci, si těžko představit.

Gwenaël Boué a Jacques Laskar z Pařížské observatoře navrhli v roce 2009 alternativní teorii.

Disk hmoty rotující kolem mladého Slunce možná svou gravitací přivedl osu zárodečného Uranu k tzv. „precesi“ (kolísání zpomalující káči).

Pokud planeta kdysi měla obří měsíc o tisícině hmotnosti Uranu, kývání mohlo nakonec být tak divoké, že naklonilo planetu na stranu.

Kde však ten obří měsíc je? Boué a Laskar tvrdí, že byl ukraden! Konkrétně prohlašují, že tření mezi protoplanetárním diskem a Uranem...

...způsobilo, že planeta diskem „putovala“ sem a tam. Cestou mījela další obří planetu, jejíž gravitace měsíc uchvátila.

Zní to přitažené za vlasy? Astronomy však již dlouho mate, že Uranu jako jedině ze 4 obřích planet sluneční soustavy chybí velký měsíc.

Uran byl mimochodem první objevenou planetou, již neznali už ve starověku. William Herschel ji objevil ze své zahrady (Bath, Anglie, 1781).

Herschel, původem Němec, planetu pojmenoval „Hvězda krále Jiřího“ podle Jiřího III. Francouzi se ohradili, a tak Němci navrhli Uran.

Herschelův objev zdvojnásobil velikost sluneční soustavy. Uran, který má 4x větší průměr než Země, obíhá Slunce asi 20x dále než ona.

Navzdory tomu, že Uran leží na boku, je celkem nezajímavý a fádni. Většina astronomů by ho označila za nejnudnější planetu.

## 62. Byl Neptun vždy nejvzdálenější planetou?

Prvním, kdo Neptun viděl a písemně zaznamenal, byl v roce 1612 Galileo Galilei. Spatřil jej blízko Jupiteru, mylně však usuzoval na hvězdu.

Na existenci další planety ukazovaly výkyvy v dráze Uranu, způsobené její gravitací. Poloha se určila podle Newtonova gravitačního zákona.

Nepřesné výpočty provedl v polovině 40. let 19. st. v Anglii John Couch Adams, mnohem přesnější pak Urbain Le Verrier ve Francii.

Blízko Le Verrierem vypočtené pozice pak planetu 23. září 1846 objevil berlíňan Johann Galle. Neptun pojmenoval po římském bohu moře.

První (a jedinou) sondou, jež Neptun navštívila, byl 25. 8. 1989 Voyager 2 (NASA). Objevil nové měsíce a tmavé, úzké prstence kolem planety.

Stejně jako Země je Neptun modrou planetou – příčinou je metan v atmosféře. Podnebí: silné větry, obří bouře a řídké mraky podobné cirrům.

Neptun má průměr 49 530 km, nejmenší ze 4 obřích planet. Otočí se za 16 h 07 m, Slunce oběhne za ~165 let a dělí ho od něj 4,48 mld. km.

1846: Lassell objevil největší měsíc, Triton. Obíhá v opačném směru, než Neptun rotuje. Podobně jako Pluto zřejmě pochází z Kuiperova pásu.

Neptun je v současné době nejvzdálenější planetou sluneční soustavy. Nicméně tomu tak nebylo vždycky, a to ze tří důvodů...

1) Ve starověku byl nejvzdálenější planetou Saturn. 2) Až do srpna 2006 byl za planetu považován i vzdálenější Pluto (objeven 1930).

3) Simulace ukazují, že tah „migrujícího“ Jupiteru mohl způsobit, že si Uran s Neptunem po vzniku sluneční soustavy prohodily místa.

## 63. Proč již Pluto není považován za planetu?

I když se vzala v úvahu přitažlivost Neptunu, pohyb Uranu byl stále nepravidelný. Americký astronom Percival Lowell začal hledat 9. planetu.

Po Lowellově smrti najala observatoř Clydea Tombaugh, farmářského synka z Kansasu, aby exponoval fotografické desky a hledal „Planetu X“.

18. února 1930 Tombaugh boduje. Na deskách pořízených o několik týdnů dříve nachází nový objekt. Objev Planety X oznámen 13. března 1930.

Název Pluto (římský bůh podsvětí) navrhla 11letá Venetia Burneyová z anglického Oxfordu. První dvě písmena jsou iniciály Percivala Lowella.

Oběžná dráha Pluta je podivně nakloněná k orbitám ostatních planet ( $17^\circ$ ) a velmi protáhlá: vzdálenost ke Slunci sahá od 4,4 do 7,4 mld. km.

Pluto temnější/menší/lehčí, než se od 9. planety čekalo. Hmotnost, odvozená podle měsíce Charonu (objeven 1974), odpovídá jen 18 % Měsíce.

Od r. 1992 nalezeny za orbitou Neptunu stovky ledových objektů: Kuiperův pás. Vědcům došlo, že do něj Pluto patří a jen se vymyká velikostí.

Eris, další „objekt Kuiperova pásu“ (KBO), je možná dokonce trochu větší než Pluto. Při průměru 2300 km má i vlastní měsíc (Dysnomia).

Dráhy některých KBO jsou extrémně dlouhé, nachýlené či elipsovité. Např. Sedna oběhne Slunce za 12 000 let (oproti tomu Pluto za 248).

KBO jsou ledové zbytky z doby vzniku sluneční soustavy. Celkový počet KBO větších než 100 km se nyní odhaduje asi na 100 000.

Status Pluta změnilo pražské setkání Mezinárodní astronomické unie v srpnu 2006, které ho z planety degradovalo na „trpasličí planetu“.

Clyde Tombaugh se naštěstí potupné deklasifikace své milované planety nedožil. Zemřel v roce 1997 ve věku 90 let.

Sonda New Horizons (NASA), vyslána v lednu 2006, bude kolem Pluta a Charonu prolétat v červnu 2015. Pak se vydá alespoň ke dvěma dalším KBO.



## 64. Co jsou komety?

Dřív se „vlasatice“ považovaly za hvězdy s ohonem. Název pochází z latinského *coma*, vlasy. Na noční obloze může kometa zářit týdny.

Aristoteles se domníval, že komety jsou pára zářící v atmosféře. Tycho Brahe si uvědomil, že jsou dál než Měsíc a pohybují se až ve vesmíru.

Edmond Halley odhalil u komet z roku 1531, 1607 a 1682 identickou dráhu. Tentýž objekt! Návrat Halleyovy komety předpověděl na rok 1758.

Komety obíhají kolem Slunce po vysoce eliptických drahách. Cykly sahají od několika roků až po tisíce let. Perioda Halleyovy komety: 76 let.

Komety jsou porézní kusy ledu/prachu o průměru několika km, pozůstatky z dob vzniku sluneční soustavy. Pro vědce materiál k nezaplacení.

Blízko Slunce se led vypaří a prach uvolní. Kometě naroste modrý ohon plynů a žlutý ohon prachu, podobný větrnému vaku otočenému od Slunce.

Ohon je velmi řídký, ale mnohdy působivý. Za kometou zůstává prach, a pokud jí Země proletí, projeví se v její atmosféře jako roj meteorů.

Při zrodu sluneční soustavy vzniklo na jejím okraji bezpočet komet. Mnoho jich skončilo v ledových jádrech obřích planet nebo KBO.

Blízká setkání s embryonálními obřími planetami však odmrštila většinu komet do „Oortova oblaku“, zdroje dnešních dlouhoperiodických komet.

Malé komety často narazí do Slunce či do Jupiteru, jako např. kometa Shoemaker-Levy 9 (1994). Další zas postupně podlehnou slunečnímu žáru.

V počátcích sluneční soustavy mohly dopadající komety zanést na Zemi většinu vody. Pak ale jejich dopady pro změnu působily masová vymírání.

Několik komet je detailně prostudováno, sondy dokonce sebraly i vzorky. V roce 2014 vysadí Evropská sonda Rosetta na kometu modul Philae.

## 65. Kde končí sluneční soustava?

Sluneční soustava žádný ostře ohraničený konec nemá. To je jako byste se ptali, kde leží okraj Skalistých hor.

Definujeme-li sluneční soustavu jako Slunce a planety, okraj je 4,5 mld. km od Slunce (vzdálenost Neptunu). Taková definice je však úzká.

Malá ledová KBO se rozprostírají od Neptunu až do vzdálenosti 7 mld. km od Slunce. Pás ostře končí, ale některá se toulají i dál.

Například Sedna (1500 km), objevená v roce 2003, se na své velmi protáhlé dráze pohybuje až do vzdálenosti 143,7 mld. km od Slunce.

Oortův oblak kometárních „jader“ se rozprostírá až do vzdálenosti 1 světelného roku (9,46 bilionu km). To je 25 % cesty k nejbližší hvězdě.

Nizozemský astronom Oort z oběžných drah dlouhoperiodických komet odvodil, že vznikají v zásobárně daleko od Slunce: Oortově oblaku (1950).

Oortův oblak může obsahovat několik bilionů komet nad 1 km. I přes toto obrovské množství je od sebe v průměru dělí alespoň 1 mld. km.

Oortův oblak více či méně vyznačuje, kam sahá sluneční gravitace. Většinou se považuje za součást sluneční soustavy.

Postrčí-li kometu gravitace jiné komety/hvězdy, může ji posunout na oběžnou dráhu unášející ji ke Slunci jako dlouhoperiodickou kometu.

Dlouhoperiodická kometa zachycená gravitací obří planety (Jupiteru) ve vnitřní sluneční soustavě se může stát krátkoperiodickou (Halleyova).

Další okraj sluneční soustavy je definován jako hranice „heliosféry“, kam sahá sluneční magnetismus: ~15 miliard km od Slunce.

Většina částic v heliosféře pochází ze slunečního větru, nositele magnetického pole. Za hranicí heliosféry leží mezihvězdný prostor.

Slunce se pohybuje galaxií a heliosféra má proto tvar kapky. Očekává se, že sondy Voyager opustí heliosféru kolem roku 2014.

HVĚZDY



## 66. Co jsou hvězdy?

Hvězdy jsou další slunce. Protože od nás ale leží ve vzdálenosti, nad kterou zůstává rozum stát, vypadají jen jako malinké světelné tečky.

Kvůli tvrzení, že hvězdy jsou další slunce, byl italský filosof Giordano Bruno v roce 1600 upálen katolickou církví.

Hvězda je obří koule plynu složená téměř výhradně ze dvou nejlehčích prvků, vodíku a helia. Pohromadě ji drží vlastní gravitace.

Jádro je tíhou celé hvězdy stlačené natolik, že se ohřívá na více než 10 milionů °C.

Ultravysoké teploty spouštějí jaderné reakce, při nichž nejprve dochází k „fúzi“ vodíku na helium. Vedlejší produkt: teplo+sluneční záření.

Rozdíl mezi hvězdou a planetou je v tom, že hvězda vytváří své vlastní teplo a světlo, zatímco planeta svítí jen díky světlu odraženému.

Svitivost hvězdy (a to, jak rychle vyplývá své jaderné palivo) je dána hmotností. Masivní hvězdy hoří jasně a jejich životnost je krátká.

Naše Galaxie obsahuje více než 100 000 000 000 hvězd. Ve vesmíru je jich 10 000 000 000 000 000 000 (plus mínus pár).

Přibližně 6000 hvězd je viditelných pouhým okem. Téměř všechny jsou mnohem jasnější než Slunce, které je samo o sobě jasnější než průměr.

Většina blízkých hvězd paradoxně pouhým okem viditelná není. Patří mezi chladné, mdlé „červené trpaslíky“, kteří tvoří ~70 % všech hvězd.

Červení trpaslíci při spalování šesti jaderným palivem natolik, že se mnozí dožijí až 10 bilionů let, žijí tedy 1000krát déle než Slunce.

Nejbližší hvězdou je Slunce, jehož světlo k nám letí 8,3 minuty. Druhou nejbližší hvězdou je Alfa Centauri, vzdálená 4,2 světelných let.

Alfa Centauri je ve skutečnosti trojhvězdou. Dvoj- či trojčetných je většina hvězd. Slunce je výjimkou, vzácně osamělou hvězdou.

Jedním z ústředních cílů astronomie je nahlédnout do hluboké minulosti, kdy se ve vesmíru rozsvěcely první hvězdy.



## 67. Proč se hvězdy chvějí?

„Twinkle, twinkle, little star...“ Učili jste se tuhle anglickou říkanku o blikající hvězdičce? Roku 1806 ji napsala Jane Taylorová.

Již ve starověku si všimli, že se hvězdy chvějí a planety ne, a také toho, že hvězdy na obloze mají pevnou pozici, zatímco planety putují.

Vysvětlením je v obou případech vzdálenost. Hvězdy jsou tak nesmírně daleko, že se jeví jako tečky a jejich pohyb je neznatelný...

Planety jsou na naopak poměrně blízko, takže se v dalekohledu jeví jako malé terčiky a jejich pohyb po obloze je zřetelný.

Dívat se na hvězdy a planety skrz turbulentní atmosféru je jako sledovat ze dna plaveckého bazénu světla na stropě.

Vlnící se voda způsobí, že se malá světýlka chvějí a mihotají. Větší světla se vlní jen kolem okrajů, a tak zůstávají klidná.

Podobně se chvějí hvězdy, protože jsou ve srovnání s nerovnoměrnostmi v atmosféře malé. Planety jsou velké a zůstávají v klidu.

Snímky z dalekohledů jsou kvůli chvění hvězd rozmazané. Ostřejší snímky lze získat vystoupaním nad atmosféru (Hubbleův vesmírný dalekohled).

Dalším způsobem, jak chvění kompenzovat, je pozměnit mnohokrát za sekundu tvar tenkého zrcadla v dalekohledu (adaptivní optika).

Bodové zdroje rádiových vln, jako jsou „pulsary“, vlivem vířícího plynu mezi hvězdami také kolísají (mezihvězdná scintilace).

## 68. Jak zjistíme vzdálenost ke hvězdám?

Podívejte se na nějaký předmět nejdřív z jednoho a pak z druhého místa. Pohnul se hodně? Pak bude blízko. Hnul se jen o kousek? Bude daleko.

Přesvědčte se. Dejte si prst před oči a sledujte jej nejprve 1 okem, potom druhým. Posune se hodně. Oddalte ho a zopakujte. Posune se málo.

Tento jev (paralaxa) pomáhá určit vzdálenost hvězd: pozorujeme je ze 2 míst na opačných stranách zemské oběžné dráhy (6 měsíců od sebe).

Hvězda je vzdálena 1 parsek (3,26 světelných let) v případě, kdy se při pozorování po 6 měsících posune o 1 obloukovou vteřinu ( $1/3600^\circ$ ).

Turbulence v atmosféře však snímek rozostří o 0,5 vteřiny i více, paralaxa tak může stanovit jen vzdálenosti nejbližších hvězd.

Řešení: pohled z vesmíru. Evropský satelit Hipparcos určil pomocí paralaxy vzdálenost 100 000 hvězd, překonávající někdy 100 světelných let.

K měření větších vzdáleností potřebujeme vyčlenit hvězdy, u nichž známe skutečnou svítivost. Pokud je jedna z nich slabší než jiná, je dál.

Známe takové hvězdy? Ano. Proměnné hvězdy zvané cefeidy jsou velmi jasné a pulzují, jako když tluče srdce.

Henrietta Leavittová učinila v roce 1912 zásadní objev: čím vyšší skutečná svítivost, tím pozvolněji světlo cefeidy pulzuje.

Jak určit vzdálenost k cefeidě: 1) Z pulzování odvodíme skutečnou svítivost, 2) tu srovnáme s tou zdánlivou a dostaneme vzdálenost.

1923: Edwin Hubble našel cefeidy v mlhovině Andromeda a odhalil, že jde o samostatnou galaxii asi 2,5 mil. světelných let od Mléčné dráhy.

Hubbleův dalekohled našel cefeidy v galaxii M100 a určil díky tomu vzdálenost hvězd, které leží celých 56 milionů světelných let od Slunce.

## 69. Jak víme, čím jsou tvořeny hvězdy?

V roce 1835 prohlašoval filozof Auguste Comte za zcela zřejmé, že jednou z věcí, které se věda nikdy nedozví, je složení hvězd. Mýlil se.

Příroda je k nám laskavá. Atomy každého prvku emitují světlo charakteristické barvy/vlnové délky, čímž lze prvky ve hvězdách identifikovat.

Unikátní „spektrální“ charakteristika pochází z toho, že se atomy konkrétních prvků vyznačují jedinečným uspořádáním obíhajících elektronů.

Pokud elektron přeskočí z jednoho orbitalu do druhého, vzniká světlo, jehož energie odpovídá energetickému rozdílu oněch orbitalů.

Komplikace: hvězdy jsou tak žhavé, že některým atomům odmrštily všechny elektrony (nebo většinu). Proto se ani běžný prvek nemusí ukázat.

Než si lidé tento fakt uvědomili, žili v iluzi, že je Slunce složeno ze železa, protože spektrální otisk železa byl zastoupen nejvíce.

Průlom přišel v roce 1925 od Cecilie Payneové. Ze slunečního záření usoudila, že 98 % Slunce tvoří vodík a helium, dva na Zemi vzácné plyny.

Objev se dá rozšířit i na složení vesmíru. Vodík a helium tvoří 98 % všech atomů v kosmu. Ostatní prvky se podílí pouhými 2 %.

Přestože napsala nejdůležitější astronomickou dizertaci 20. st., zůstává Payneová prakticky neznámá – trudný osud ženy v mužském odvětví.

Lidé si postupně uvědomovali, že prvky jsou všude přítomné ve stejném poměru. To znamená, že je jim způsob vzniku společný.

Kde se tedy nachází ona „pec“, která vytvořila prvky v našem těle? Nejdřív se mluvilo o hvězdách, pak o velkém třesku a pak zas o hvězdách.

Fred Hoyle a kol. v monumentálním článku z roku 1957 přesně objasnili jaderné procesy, kterými uvnitř hvězd vznikly prvky.

Ve vesmíru je však víc helia, než mohly vytvořit hvězdy. Příroda není jednoduchá. Těžké prvky vznikly v hvězdách, lehké při velkém třesku.

Nobelovu cenu za rok 1983 obdržel za velmi přesné určení původu prvků Hoyleův kolega Willy Fowler. Hoyleova zásluha hanebně ignorována.

## 70. Jsou všechny hvězdy sólo jako Slunce?

Ve své osamělosti je Slunce výjimečné. Více než polovina hvězd Mléčné dráhy je součástí dvoj-, troj- nebo dokonce čtyřhvězd.

Nejbližší takový systém je Alfa Centauri, vzdálená 4,2 světelných let od Slunce. Skládá se ze 3 hvězd, nejbližší z nich je Proxima Centauri.

U „vizuálních dvojhvězd“ kolem sebe vidíme obíhat dvě hvězdy. U „spektroskopických dvojhvězd“ nám dvojici odhalí analýza spektra.

Nikdo neví, proč je většina hvězd složených. Zřejmě to vypovídá o procesech v mezihvězdných oblacích (porodnicích), kde se hvězdy rodí.

O existenci planet poblíž dvojhvězd se pochybovalo, ale dnes víme, že jsou-li 2 hvězdy blízko sebe, mohou je obíhat „cirkumbinární“ planety.

Pokud jinde v Mléčné dráze existuje život, je možné, že většina mimozemšťanů žije na planetách, kde na obloze svítí dvě či více sluncí.

David Raup a John Sepkosky v článku z roku 1984 zvažují, zda Slunce může mít ultraslabého souputníka s extrادلouhou oběžnou dobou 27 M let.

Doprovodná hvězda „Nemesis“ by pomohla vysvětlit periodicitu masového vymírání (podle paleontologických záznamů každých 27 milionů let).

Článek tvrdil, že Nemesis každých 27 M let zvíří kometární oblak kolem sluneční soustavy, pošle komety směrem k Zemi a způsobí vymírání.

Nemesis nenalezena. Gravitační působení okolních hvězd by beztak způsobovalo kolísání oběžné doby, což teorii vyvrací.

Je však klidně možné, že čerstvě zrozené Slunce mělo v hvězdné porodnici bratříčka, jehož mu ukradla prolétající hvězda.

## 71. Jak hvězdy fungují?

Hvězda je obří koule plynu. Vzniká, když se začne vlivem vlastní gravitace smršťovat mezihvězdný oblak složený hlavně z vodíku a helia.

Smršťování pokračuje, až je jádro natolik stlačené a žhavé, že se nastartuje „termojaderná fúze“ vodíku na helium. Vedlejší produkt: teplo.

Horký plyn se tlačí ven. Vyrovná gravitaci a smršťování zastaví. Koule plynu začne navíc žhnout a máme hvězdu.

Základní fakt: termojaderná fúze je nesmírně citlivá na teplotu. Zvýšená teplota ji zrychlí, snížená přibrzdí.

Pokud tedy produkce tepla poklesne, jádro se smrští/zahřeje a fúzi oživí. Stoupne-li produkce, jádro expanduje/ochladí se a fúzi přibrzdí.

Hvězda má tudíž zabudovaný přirozený termostat, který ji neustále drží v rovnováze mezi smrštěním a expanzí.

Nic není navždy. Fúzní reakce mění vodík na helium. To je těžší a klesá tím pádem k jádru, které tím stlačuje a ohřívá.

Vnitřní struktura hvězdy se proto pozvolna mění. Hvězda se vyvíjí, dříve nebo později dojde k narušení její stabilní rovnováhy.

Když hvězdě o nižší hmotnosti (např. Slunci) dochází vodík, mění se v hýřivého rudého obra a pak pomalu skomírá jako bílý trpaslík.



Hvězda o vysoké hmotnosti vyvíjí stále extrémnější podmínky, přičemž spouští nové fúze a prochází řadou dalších rovnovážných stavů.

Gravitace však nikdy nezmizí. Každá nová rovnováha je krátkodobá. Hvězda může proti gravitaci vyhrát pár bitev, nikdy však nevyhraje válku.

Gravitace nakonec způsobí zhroucení jádra v černou díru nebo neutronovou kouli. To vyvolá katastrofickou explozi – „supernovu“.

## 72. Jsme složeni z hvězdného prachu?

Mohlo by se zdát, že vesmír a jeho černé díry, mlhoviny a explodující hvězdy s našimi životy nesouvisí. Nic nemůže být dále od pravdy.

Železo v krvi, vápník v kostech, kyslík plnicí naše plíce... to vše vzniklo uvnitř hvězd, které zemřely ještě dříve, než se zrodila Země.

Hvězdy jsou pece, ve kterých z nejjednoduššího dílku přírodního lega, vodíku, vznikají těžké prvky jako například měď.

To, že hvězdy přeměňují jeden prvek na jiný, ovlivňuje jejich chemickou i celkovou strukturu. Jejich nitra se mění a ony se „vyvíjejí“.

Prvky tak drží klíč k tajemství hvězd a hvězdy zase k tajemství prvků.

Nejdále – až po železo – probíhá fúze prvků v nejmasivnějších hvězdách, jejichž nestabilita pak způsobí, že explodují jako supernovy.

Prvky ještě těžší než železo, například uran, vznikají jadernou reakcí, která běsní přímo při pekelném výbuchu supernovy.

Během katastrofického řádění při výbuchu supernovy jsou produkty hvězdných pecí nazdařbůh vrženy do prostoru.

Zbytky supernovy se mísí s plynem v mezihvězdných mračnecích. Když v těchto mračnecích vzniknou hvězdy, jsou díky tomu obohaceny o těžší prvky.

Každá další generace hvězd má těžkých prvků víc a víc. Předpokládá se, že Slunce je hvězdou 3. generace – než vzniklo, dvě generace zanikly.

Zatímco se však těžké prvky tvoří uvnitř hvězd, nejlehčí prvky typu helia vznikly ve výhni během prvních deseti minut po velkém třesku.

Hojnost helia ve vesmíru (10 % všech atomů) je v přesném souladu s teorií. Přesvědčivá známka toho, že vesmír začal velkým třeskem.

Astrologové nechybili v tom, že uvažovali moc bláznivě, ale že se naopak drželi při zemi. S hvězdami nás toho pojí víc, než je kdy napadlo.

Chcete vidět kousek hvězdy? Zvedněte ruku. Hvězdný prach byl učiněn tělem; doslova jste byli stvořeni na nebesích.

## 73. Jaké jsou mezi hvězdami rozdíly?

Recept na hvězdu je jednoduchý: koule plynu držená pohromadě vlastní gravitací. Je s podivem, jak rozmanité hvězdy přesto vznikají.

Některé hvězdy žijí 10 bilionů let, 1000krát déle, než je aktuální věk vesmíru, zatímco jiné explodují již po několika milionech let.

Životnost hvězdy je dána hmotností. Masivní hvězdy jsou žhavé, spalují palivo překotným tempem. Hvězdy o nízké hmotnosti stěží doutnají.

Některé hvězdy nejsou větší než Mount Everest (pulsar v Krabí mlhovině); jiné by pohltily deset miliard Sluncí (VY Canis Majoris).

Pokud by VY Canis Majoris nahradil Slunce, pohltil by všechny planety až k oběžné dráze Saturnu, šesté nejvzdálenější planety od Slunce.

Některé hvězdy jsou prudce modrobílé, jiné žlutobílé (jako Slunce). Některé jsou matně třešňově červené a vyhasínají až do černé.

Barvu hvězdy určuje její teplota. Modrobílé jsou superhorké (některé mají více než 100 000 °C), červené jsou chladné (několik tisíc °C).

Některé hvězdy jsou stálé, jiné kolísají v jasnosti či dokonce explodují. Nestabilitu velkých hvězd způsobují nevyzpytatelné jaderné reakce.

Některé hvězdy jsou bohaté na těžké prvky jako železo, jiné ne. Tyto prvky mají vliv na strukturu/vzhled, uzavírají totiž teplo uvnitř.

Složení hvězdy prozrazuje, kdy vznikla. Ty nejstarší se zrodily ještě před tím, než supernovy obohatily galaxii o produkty jaderné fúze.

Některé hvězdy planety mají, jiné ne. Nejméně 10 % je má, a vždycky několik (nikdy jen jednu), takže planet může být stejně jako hvězd.

Dosud není jasné, proč některé hvězdy planety mají a některé ne. Zdá se však, že ke vzniku kamenných planet mohou být zapotřebí těžké prvky.

Vzhledem k tomu, že ve vesmíru je asi 10 000 000 000 000 000 000 000 hvězd, jakých dalších podivností se v této hvězdné zoo ještě dočkáme?

## 74. Proč hvězdy explodují?

Většina hvězd spaluje vodík na helium (i Slunce), nikdy však nedosáhne dostatečné hustoty/teploty, aby přešla ke spalování helia na uhlík.

Většina hvězd spotřebuje vodík, krátce zalapá po dechu jako rozmařilý rudý obr a pak pomalu bledne jako mizející bílý trpaslík.

U masivních hvězd je tomu jinak. Po přeměně lehčího prvku na těžší se vždy rozpálí a zahustí na takovou míru, že přejdou k dalšímu kroku.

Nejmasivnější hvězdy končí spalováním křemíku, při kterém se zběsilou rychlostí tvoří nové prvky a jádro se mění na železo/nikl.

Železoniklové jádro je předzvěst pohromy. Tvorba složitějších prvků už energii nevytváří, ale spotřebovává: vysává z hvězdy teplo jako upír.

Plynné jádro už nedokáže vyprodukovat teplo, kterým by se ochránilo před svou nesmírnou gravitací, a imploduje.

Implozi zastaví až vznik „neutronového jádra“, superhusté koule neutronů, která je tak tvrdá, až se od ní hroučící se hvězda odrazí.

Imploze se změni v explozi (supernova). „Neutrína“, subatomární částice vzniklé při zrození neutronového jádra, odfouknou obal hvězdy.

Supernova může svým jasnem krátkodobě překonat celou galaxii se 100 miliardami hvězd, takže je ve vesmíru vidět na obrovskou vzdálenost.

Jasně světlo ze supernovy tvoří mimochodem méně než 1 % uvolněné energie. 99 % se uvolní ve formě neutrin.

Kromě supernovy se „zhrouceným jádrem“ je tu druhý důležitý typ. Vyskytuje se u dvojhvězd, kde z jedné hvězdy vznikl bílý trpaslík.

Bílý trpaslík odsává hmotu z druhé hvězdy, což vede k překotné jaderné reakci. Hvězda se rozprskne jako supernova.

Klíčový význam druhého typu supernovy – technicky se jedná o typ Ia – je ten, že svítivost jejich exploze je zřejmě vždy stejná.

Typ Ia sehrál klíčovou roli při měření vzdáleností ve vesmíru. V roce 1998 poukázal na existenci záhadné „temné energie“.

## 75. Co kdyby poblíž vybuchla supernova?

Jelikož supernova může snadno hořet jasně jako 10 miliard Sluncí, kdyby nám vybuchla za humny, byl by na ni pěkně děsivý pohled.

Pokud by supernova detonovala do 30 světelných let od Země, stala by se oslnivě jasnou hvězdou, nejméně 100krát jasnější než Měsíc v úplňku.

Nejenže by byla viditelná i ve dne, ale slábla by ještě několik měsíců. Zahнала by tak tmou, což by značně ztížilo lov nočním tvorům.

Ale ačkoli by se k nám světlo dostalo s pouhým 30letým zpožděním, po něm by nás 300 let bombardoval smrtící déšť subatomárních částic.

Částice by zasáhly atmosféru a sloupily z ní ozonovou vrstvu, která chrání život před smrtícím ultrafialovým zářením ze Slunce.

Život na zemském povrchu by nebyl možný. Přežili by jedině tvorové v mořích, jeskyních nebo pod zemí.

Nelze odhadnout, jak běžné jsou v Mléčné dráze supernovy, protože jsou často skryté za oponou mezihvězdného prachu. Ale...

...v galaxiích, jako je ta naše, vidíme asi 1 supernovu za 50 let. To v historii Mléčné dráhy (10 miliard let) znamená 200 milionů supernov.

Od vzniku Země muselo v okruhu 30 světelných let explodovat několik supernov. Snadno mohly způsobit rozsáhlé vymírání.



Nejbližší známá supernova za posledních 400 let (SN1987A) byla naštěstí vzdálena 170 000 světelných let v satelitní galaxii Mléčné dráhy.

Špatná zpráva: Betelgeuse, výrazná hvězda v Orionu, stojí těsně před fází supernovy. Dobrá zpráva: může si ještě počkat miliony let!

Betelgeuse je naštěstí vzdálena 650 světelných let. Pokud by explodovala, byla by ~500krát slabší než supernova vzdálená 30 světelných let.

Obyčejná supernova však bledne před „gama zábleskem“, zvláště silnou supernovou, z níž se zrodí černá díra.

Jde o to, že energie vysokoenergetického gama záblesku směřuje jen jedním směrem, jako kužel světla z majáku: hotový paprsek smrti.

I na vzdálenost 10 000 světelných let by gama paprsek očesal („ionizoval“) atomy v atmosféře, narušil ozonovou vrstvu a ohrozil život.

## 76. Co jsou neutronové hvězdy a pulsary?

Neuvěřitelný fakt: celé lidstvo by se vměstnalo do objemu kostky cukru. Jak to? Protože hmota je nepředstavitelným způsobem prázdná.

O atomu lze s nadsázkou uvažovat jako o miniaturní sluneční soustavě, kde elektrony obíhají jako planety kolem malého „jádra“, Slunce.

Ani představa atomu jako miniaturní sluneční soustavy však nevyjádří, jak nesmírně prázdný atom je. 99,999999999999 % tvoří jen prostor.

Pokud by se ze všech atomů, co jich v lidech je, dala vymáčknout prázdnota, lidstvo by se skutečně vměstnalo do jedné kostky cukru.

Není to jen šílená teorie. Objekty, z jejichž atomů se veškeré prázdné místo vytlačilo, ve vesmíru skutečně nacházíme: neutronové hvězdy.

Neutronová hvězda je implodované jádro, které zbude po supernově. Představte si Slunce stlačené na objem hory.

Pokud by se dal z neutronové hvězdy jen tak vydlabat kus velký jako kostka cukru, vážil by skutečně stejně jako celá lidská rasa.

Hvězda smršťující se na neutronovou hvězdu zrychluje rotaci, jako když krasobruslař připaží. Rotující neutronové hvězdy křičí „Tady jsem!“

24letá studentka Jocelyn Bellová používala v r. 1967 na Cambridgi radioteleskop. Z objektu CP1919 zachytila pravidelné pulzy rádiových vln.

Brzy našla další zdroje. Nejprve si lidé mysleli, že k nám mimozemšťané vysílají signály, a mluvili o „zelených mužičkách“.

T. Gold a F. Pacini si v r. 1968 uvědomili, že Bellová našla rotující neutronové hvězdy, vysílající rádiové vlny, jako maják vysílá světlo.

Dostaly název „pulzující neutronové hvězdy“ neboli pulsary. Gravitace na povrchu neutronové hvězdy je 100miliardkrát větší než na Zemi.

Za pulsary byly už uděleny tři Nobelovy ceny, žádná však J. Bellové Burnellové (drží jen Řád britského impéria). Obecně pokládáno za křivdu.

## 77. Co jsou černé díry?

Černá díra je místo, kde je gravitace tak silná, že z ní ani světlo – nejrychlejší věc ve vesmíru – nemůže uniknout. Odtud její černota.

O černé díře (black hole, BH) se domníváme, že vzniká z velice hmotných hvězd, které skončí jako tzv. supernovy, tedy katastrofální explozí.

Když hvězda odhodí vnější vrstvy, její jádro paradoxně imploduje. Rychle se smršťuje, čímž prudce roste jeho hustota a teplota.

Je-li jádro dostatečně masivní, neexistuje síla, jež by mu zabránila smrštít se až k „singularitě“, hrůznému, nekonečně hustému bodu.

Černá díra se skládá ze singularity obklopené „horizontem událostí“, jak se označuje hranice, odkud pro hmotu padající do díry není návratu.

Pokud by se v černou díru změnilo Slunce (bez obav, není na to dost masivní), jeho horizont událostí by měřil pouhé 3 kilometry v průměru.

Přitažlivost černé díry je tak obrovská, že se v jejím okolí ohýbá světlo a zpomaluje čas, v souladu s Einsteinovou teorií gravitace.

Pokud byste se vznášeli poblíž, viděli byste vlastní zátylek – odražené světlo by se totiž kolem černé díry ohnulo zpátky.

V blízkosti horizontu se navíc zpomalí čas, takže by kolem vás budoucí historie vesmíru proletěla jako při rychlém převíjení.

Černé díry není možné vidět přímo (zatím), protože jsou 1) malé a 2) černé. Na jejich existenci usuzujeme nepřímě z jejich gravitace.

Např. Cygnus X-1 je masivní hvězda rotující kolem neviditelného souputníka (BH). Hmota vtahovaná do černé díry rentgenově září.

Vznik černé díry by měl provázet poryv gravitačních vln (zčeří prostor jako vlnky na rybníce). Zaznamenáme-li je, dokážeme existenci BH.

Vesmír obsahuje jak černé díry „hvězdné“, tak „supermasivní“ (v galaktických jádrech), několikamilionkrát až -miliardkrát těžší než Slunce.

Existuje nevelká možnost, že ve vesmíru jsou také miniaturní černé díry, pozůstatky zuřivých okamžiků po velkém třesku.

Černé díry nejsou ve skutečnosti úplně černé! Stephen Hawking zjistil, že díky „kvantovým“ efektům produkují tzv. „Hawkingovo záření“.

## 78. Jsou hvězdy umělé?

Je to naprosto hloupá otázka, nemyslíte? Jenže ve skutečnosti se dotýká zásadního vědeckého problému: Jak poznáme mimozemšťany (ET)?

Projekt SETI se snaží z nebes zachytit vysílání omezené na jednu určitou frekvenci, jakýsi mimozemský ekvivalent radiostanice.

Takový signál je pravidelný, opakuje se, je v něm určitý systém. Pevný vzor ale znamená redundanci, jež se dá dále komprimovat.

Závěr: opravdu efektivní signál nebude pravidelně uspořádaný. Bude vypadat náhodně, asi jako rádiový šum ze Slunce nebo z bouřky.

Přesně tak nyní přenášejí data naše mobilní telefony a počítače. Za účelem efektivity se opakování/pravidelnost odstranily.

Závěr: signál vyspělé mimozemské civilizace bude vypadat náhodně, jako přírodní. Těžko ho rozlišit od kosmického rádiového „šumu“.

A stejně jako se mimozemské přenosy nebudou podobat našim běžným signálům, ani jejich výtvoři nebudou vypadat jako naše.

Podle Stephena Wolframa, tvůrce počítačového jazyka Mathematica, budou mimozemské artefakty vypadat přírodně – jako stromy... a hvězdy.

Wolfram se vši vážností klade otázku: „Jsou hvězdy umělé?“ Ačkoli se to může zdát nepravděpodobné, odpovědi si být jisti nemůžeme.

MLÉČNÁ DRÁHA





## 79. Jak vypadá naše galaxie, Mléčná dráha?

Mléčná dráha je mlhavě bílé pásmo rozlité do černoty. Prastarým národům připadala jako mléko rozlité po černé obloze – odtud lyrický název.

V roce 1610, kdy Galileo obrátil svůj dalekohled k nebi, zjistil, že Mléčnou dráhu ve skutečnosti tvoří nespočet hvězd natěsnaných k sobě.

1922: objev, že „spirální mlhoviny“ jsou ostrovy hvězd v oceánu vesmíru, naznačil, že i Mléčná dráha je takovým ostrovem, neboli „galaxií“.

Ukázalo se však, že je velmi obtížné rozeznat detailní strukturu Mléčné dráhy z pohledu od Slunce, které vězí hluboko v ní.

Viditelné světlo ze vzdálených hvězd v Mléčné dráze absorbuje opona prachu zavěšená v mezihvězdném prostoru.

Abyste strukturu Mléčné dráhy odhalili, potřebujete typ světla, které tímto prachem proniká. I tak se struktura zevnitř špatně poznává.

Rádiové vlny prachem pronikají a odhalují, že Mléčná dráha je skutečně spirální galaxie, obří větrník o ~200 mld. hvězd, rotující vesmírem.

Hvězdy Mléčné dráhy jsou soustředěny ve zploštělém disku. Při pohledu z boku má galaxie tvar dvou volských ok slepených plochou stranou.

Jako všechny spirální galaxie má i Mléčná dráha centrální sférickou „výduť“ hvězd, ze které se vinou hvězdnatá „spirální ramena“.

Zploštělý disk Mléčné dráhy má asi 100 000 světelných let v průměru, je však tenký – odshora dolů měří pouze něco přes 2000 světelných let.

Slunce se nachází ve „výběžku Perseova ramene“, asi 27 000 světelných let od středu Mléčné dráhy a přibližně v půli cesty k jejímu okraji.

Slunce oběhne střed galaxie přibližně jednou za 220 milionů let. Když bylo ve své současné pozici naposled, vládli na Zemi dinosauři.

## 80. Kde se v Mléčné dráze rodí hvězdy?

Vodítko k tomu, kde se rodí hvězdy, našel Walter Baade za 2. sv. války nad zatemněným Los Angeles (pomocí 2,5 m teleskopu na Mt. Wilson).

Baade (německý exulant, vyloučený jako občan nepřátelské mocnosti z válečných aktivit) objevil v Mléčné dráze dvě různé „populace“ hvězd.

Populaci I, ve spirálních ramenech, dominují horké modré hvězdy. Populaci II, ve „výduti“ Mléčné dráhy, dominují chladní rudí obři.

Zásadní věc: červené hvězdy jsou staré, modré hvězdy mladé. Díky tomu Baade přišel na to, že jsou spirální ramena hvězdnými porodnicemi.

Důvod, proč se hvězdy rodí ve spirálních ramenech, se vyjasnil až tehdy, když si astronomové uvědomili, čím přesně spirální ramena jsou.

Spirální ramena nejsou pevné, neměnné útvary. Pokud by byly, otáčecí galaxie by je nevyhnutelně „navinulo“.

Ukázalo se, že se plynný disk Mléčné dráhy vlní jako povrch rybníka. Od středu ven prochází galaxií „spirální hustotní vlna“.

Hustotní vlna při pohybu směrem ven stlačuje mezihvězdný plyn, čímž se spustí proces smršťování „globulí“ a tím vznik hvězd.

Průchod hustotní vlny tak způsobuje bouřlivé formování hvězd a spirální ramena se díky němu stávají hvězdnou porodnicí.

Spirála Mléčné dráhy připomíná mexickou vlnu! Trvalá se nám zdá jen kvůli tomu, jak jsou naše životy proti trvání vlny krátké.

Stejně jako spirální ramena jsou spirálami i prstence Saturnu. Ač jsou těsněji svinuté, obojí způsobuje stejný jev: spirální hustotní vlna.

## 81. Co jsou otevřené a kulové hvězdokupy?

Hvězdy se nerodí jednotlivě, nýbrž po desítkách či tisících. Jejich prudké teplo ujídá plyn na okraji „obřího molekulárního mračka“.

Nově zrozené hvězdy se postupně rozptýlí, jelikož hvězdné porodnice jsou nevlídná místa, zmítaná nelítostnými hvězdnými větry a explozemi.

Po několika stamilionech let se mohou hvězdy z této volné, „otevřené“ hvězdokupy odloučit tak, že není poznat, že byly původně sourozenci.

Někteří sourozenci Slunce se mohou stále nacházet v jeho okolí. Slunce však vzniklo před 4,55 miliardami let, takže těžko říct.

Mladé otevřené hvězdokupy jdou ale spatřit snadno. Novorozené, horké hvězdy v Plejádách v souhvězdí Býka stále halí placentární mlhovina.

Otevřené hvězdokupy tvořené vzdalujícími se, společně vzniklými slunci ale nejsou v galaxii samy. Známe i nerozptýlené „hvězdokupy kulové“.

Kulová hvězdokupa je pevné seskupení mnoha hvězd (od 100 000 po několik milionů), jehož průměr nepřesahuje několik desítek světelných let.

Kulové hvězdokupy se kolem disku Mléčné dráhy rojí jako včely. Spirální disk je obklopen gigantickým kulatým hejnem, kde jich je 150–200.

Jiné galaxie, jako je obří eliptická galaxie M87, neoplývají jen pár stovkami kulových hvězdokup, ale víc než deseti tisíci.

Hvězdy jsou v kulové hvězdokupě namačkané tak těsně, že se mohou i srazit, což je u široce rozptýlených hvězd typu Slunce prakticky nemožné.

Na planetách v kulové hvězdokupě není obloha poseta tisíci hvězd jako na Zemi, ale desetitisíci. To musí být teprve pohled!

Kulová hvězdokupa se od otevřené neliší jen tím, že je semknutá, nikoli rozptýlená, ale i tím, že obsahuje prastaré hvězdy místo mladých.

Stáří těchto hvězd je klíčem k původu kulových hvězdokup. Vznikly před 10 mld. let, kdy se koule plynu teprve smršťovala v Mléčnou dráhu.

Otázka, jak a proč za mladých časů naší galaxie došlo k tomu, že se kulové hvězdokupy zrodily, však stále zůstává nezodpovězena.

## 82. Kolik satelitních galaxií kolem naší Mléčné dráhy krouží?

Stejně jako mají planety satelity (měsíce), i galaxie mají své satelitní galaxie. Mléčná dráha jich v gravitačním zajetí drží asi 25.

Dva největší satelity Mléčné dráhy – Velké a Malé Magellanovo mračno (LMC a SMC) – jsou z jižní polokoule snadno viditelné pouhým okem.

LMC vypadá na noční obloze jako slabá, mraku podobná šmouha, asi 10x větší než měsíc. SMC je podobná šmouha o velikosti přibližně 5 měsíců.

Magellanova mračna se jmenují po Ferdinandu Magellanovi, prvním Evropanovi, který je popsals, a to při plavbě kolem světa v letech 1519–21.

LMC leží cca 170 000 světelných let daleko a je asi 10x lehčí než Mléčná dráha; SMC je vzdálené 200 000 světelných let a 20x lehčí.

SN1987A, první okem viditelná supernova od „Keplerovy hvězdy“ (1604), zaplála r. 1987 právě v LMC a asi měsíc žhnula jako 100 mil. Sluncí.

LMC a SMC jsou pouze největší a nejjasnější ze satelitních galaxií, které poletují kolem Mléčné dráhy jako můry kolem plamene svíčky.

Většinou jsou matné a tvoří je hrstka hvězd. Největší měří napříč asi 1000 světelných let (ani ne 1 % toho, co Mléčná dráha), nejmenší ~150.

I jiné galaxie mají takové satelity. O obřím sousedovi Mléčné dráhy, Andromedě, je například známo, že jich má nejméně patnáct.

Satelitní galaxie Mléčné dráhy představují velikou záhadu, protože by jich mělo být asi 100krát více, než jich astronomové zaznamenali.

Dle teorie o původu galaxií tvoří temná hmota shluky, na něž se nabaluje hmota normální. Shluk se nazývá halo a nabývá rozličných velikostí.

Velké halo, jako to, na jaké se nabalila Mléčná dráha, mělo nashromáždit asi 1000 minihal, zárodků malých satelitních galaxií.

Kde tedy satelitní galaxie Mléčné dráhy jsou? Zastánci temné hmoty tvrdí, že jsme je zatím pouze neobjevili, protože jsou velice slabé.

Zbývá však možnost, že problematika chybějících satelitních galaxií poukazuje na to, že s teorií temné hmoty není něco v pořádku.



### 83. Co je hlavní složkou Mléčné dráhy?

Jako všechny galaxie je Mléčná dráha ostrov složený z hvězd a mlhovin, sedí? Nesedí. Stejně jako u ledové kry není většina galaxie vidět.

Chybějící materiál vyšel najevo, když lidé studovali hvězdy při okrajích Mléčné dráhy a měřili, jak rychle obíhají kolem středu.

Daleko od centra galaxie rotují hvězdy příliš rychle, takže by měly uletět do prostoru, asi jako děti na zrychlujícím kolotoči.

Astronomové tuto anomálii vysvětlují hypotézou, že galaxie obsahuje neviditelnou „temnou“ hmotu, jejíž gravitace pomáhá hvězdy udržet.

Závěr: zploštělá spirála Mléčné dráhy je zasazena v obrovském kulovém „halu“ něčeho temného, odhadem 10x masivnějším než viditelná galaxie.

Co temná hmota vlastně je? Kdo ví, klidně vyrukujte s vlastní teorií. Současný nejžhavější kandidát: dosud neobjevené subatomární částice.

Pokud temná hmota tvoří většinu galaxie, musí nás obklopovat i v tuto chvíli. Hledá ji nespočet experimentů, nálezce nemine Nobelova cena.

I zpoza Mléčné dráhy přicházejí známky toho, že vesmír temnou hmotu obsahuje. Ta dokonce 6krát až 7krát převažuje nad hmotou viditelnou.

Temná hmota je však nejpřízemnějším vysvětlením toho, proč krajní hvězdy Mléčné dráhy obíhají příliš rychle. Existuje i jiná teorie: MOND.

MOND (Modifikovaná Newtonova dynamika) navrhl v r. 1983 Mordechaj Milgrom. Může vysvětlit rychlý pohyb hvězd ve všech spirálních galaxiích.

Princip: hvězdy nejsou uchváčeny zvláštní gravitací temné hmoty, ale gravitací, jež je na okrajích galaxie silnější, než předpovídal Newton.

Početná menšina astronomů MOND přijala, ale nikdo nedodal přesné fyzikální vysvětlení. Dokud nepřijde, bude většina fyziků skeptická.

Teorii temné hmoty by podpořilo, kdyby se Velkému hadronovému urychlovači nedaleko Ženevy podařilo hledanou částici najít.

## 84. Co je skryto v srdci Mléčné dráhy?

V centru Mléčné dráhy jsou k sobě hvězdy namačkány několiksetkrát blíže než v okolí Slunce.

Na planetě obíhající kolem hvězdy v galaktickém středu by byly na noční obloze vidět stovky tisíc hvězd.

Střed galaxie je extrémně bouřlivý. Narážejí zde do sebe velké cunami mezihvězdného plynu, vyvolané výbuchy supernov.

27 000 světelných let od Slunce leží v temném srdci Mléčné dráhy Sagittarius A\*, zahalený do dusivého mezihvězdného prachu.

Sagittarius A\* je černá díra 4,3 milionkrát hmotnější než Slunce, monstrum, které jako černá vdova požírá plyn a roztrhané hvězdy.

Horizont událostí Sagittaria A\* (zóna, odkud pro hmotu padající dovnitř není návratu) má napříč asi 15 M km (1/10 vzdálenosti Země–Slunce).

Původ Sagittaria A\* není znám. Jak se však zdá, „supermasivní“ černé díry (leckteré až 1000krát větší) se skrývají v centru většiny galaxií.

Černé díry vzniklé z hvězd jsou příliš malé, ty supermasivní zase moc vzdálené, než abychom na ně dokázali zaostřit současné dalekohledy.

Sagittarius A\*, který je středně veliký a poměrně blízko, je jedinou černou dírou, kterou máme reálnou šanci zaznamenat.

Interferometrie s velmi dlouhou základnou (VLBI), která simuluje dalekohled o velikosti Země, už na Sagittarius A\* ostří.

VLBI potřebuje 2x až 3x vyšší rozlišení, aby horizont Sagittaria A\* spatřila. Docílí ho snad do několika let a existenci černé díry prokáže.

## 85. Jací jsou naši nejbližší galaktičtí sousedé?

Mléčná dráha je jednou z největších galaxií v minikupě, která jich čítá asi třicet a kterou astronomové nazývají Místní skupina galaxií.

Jedinou velikostně srovnatelnou galaxií ve skupině je Galaxie v Andromedě, gigantická spirála podobná naší Mléčné dráze.

Velké spirály (Mléčná dráha/Andromeda) tvoří v Místní skupině výjimku. Zbylé galaxie jsou zpravidla trpaslíci, počtem hvězd max. desetinní.

Andromeda je nejvzdálenější objekt viditelný pouhým okem. Na obloze se jeví jako protáhlá skvrna velká jako šest Měsíců.

Ze vzdálenosti 2,5 mil. světelných let vidíme Andromedu tak, jak vypadala, když po africké planině pobíhali naši předci-lidoopové.

Andromeda se v současnosti přibližuje k Mléčné dráze. Za 2,3 miliardy let prolétne kolem a její gravitace zamíchá hvězdami naší galaxie.

Ale stejně jako se kyvadlo vrací do nejnižšího bodu, zhoupne se Andromeda zpět a za 5 miliard let do Mléčné dráhy narazí.

Vznikne obří eliptická galaxie přezdíváná Milkomeda. Slunce bude ze stávajících 27 000 světelných let od středu odmrštěno na 52 000.

Nejbližší velkou kupou je Kupa galaxií v Panně, vzdálená asi 50 milionů světelných let a sestávající přibližně z 1300 galaxií.

Místní skupina je ve skutečnosti odlehlou součástí Kupy v Panně. Obíhá po klidném předměstí toho, co astronomové nazývají „Místní



GALAXIE





## 86. Co jsou galaxie?

Galaxie, velké hvězdné ostrovy unášené oceánem prostoru, jsou základními stavebními kameny vesmíru. Je jich asi 100 miliard.

V důsledku gigantické exploze – velkého třesku – se od sebe galaxie vzdalují jako úlomky kosmického šrapnelu.

Kdybyste vesmír zdrcli do koule o průměru jednoho kilometru, každá ze 100 miliard galaxií by měla přibližně velikost aspirinu.

Některé galaxie mají pravidelný tvar, jiné jsou amorfními shluky hvězd. Dva nejběžnější typy: spirální (např. Mléčná dráha) a eliptické.

Počet hvězd v galaxiích sahá od několika milionů v těch trpasličích až po biliony v těch obřích eliptických.

Eliptické galaxie připomínají včelí roj složený z hvězd a jsou kulaté nebo mírně protáhlé. Spirální galaxie si snadno představíme dle názvu.

Spirální galaxie mají centrální „výduť“ ze starých červených hvězd a „spirální ramena“, kde z plynu vznikají čerstvé, nové hvězdy.

Eliptické na rozdíl od spirálních neobsahují plyn téměř žádný. Ten dávno padl na vznik hvězd, které už jsou tím pádem všechny rudé a staré.

Vztah mezi spirálními a eliptickými je nejasný. Zdá se ale, že eliptické vzniknou při kolizi dvou spirálních, kdy pohyb hvězd ztratí řád.

Některé spirální mají uvnitř zvláštní „příčku“, ze které ramena vyběhají. Existují náznaky, že Mléčná dráha je spirální galaxií s příčkou.

Snad vám takový model nepřijde příliš složitý a představa příčky se vám nepříčí.

## 87. Jak se na galaxie přišlo?

V 18. st. byli astronomové posedlí honbou za kometami. Noční obloha však obsahuje mnoho mlhavých obláčků, které si s kometami mohli splést.

1784: Charles Messier chtěl lovcům usnadnit práci a vydal seznam této „nebeské havěti“. Netušil, že některé z jeho „mlhovin“ jsou galaxie.

1845: William Parsons postavil v irském Birru „Leviathan“, největší dalekohled světa (1,8 m). Odhalení: mnohé mlhoviny mají tvar spirály.

Nejkrásnější spirální mlhovinou je M51, později pojmenovaná jako „Vírová galaxie“.

Spirální mlhoviny se jeví „mlhavé“, protože vlastně vidíme nespočet rozpitých hvězd, jak ukázaly větší dalekohledy pozdější konstrukce.

1920: vzrušená debata. Tvoří spirální mlhoviny součást Mléčné dráhy? Nebo jde o odlehlé „ostrovní vesmíry“ v kosmickém oceánu?

Podle Harlowa Shapleyho ležely spirální mlhoviny uvnitř Mléčné dráhy, podle Hebera Curtise daleko za jejími hranicemi. 1922: spor vyřešen.

Ve 2,5metrovém Hookerově dalekohledu na Mt. Wilson u Los Angeles spatřil Edwin Hubble ve Velké mlhovině v Andromedě proměnné hvězdy cefeidy.

Rychlost pulzování cefeid souvisí s jejich skutečnou svítivostí. Hubble odvodil, že Andromeda leží ~1 mil. světelných let od Mléčné dráhy.

Andromeda a další spirální mlhoviny jsou tedy od Mléčné dráhy ohromně vzdálené. Samostatné ostrovy složené z miliard hvězd.

Hubble objevil základní stavební kameny vesmíru. Galaxie jsou v kosmu hustě rozesety, kam až největší teleskopy dohlédnou.

Lidstvo konečně poznalo skutečný rozsah vesmíru, ve kterém se ztrácí. Byl až k neuvěření větší, než si kdo představoval.

## 88. Odkud víme, jak jsou galaxie vzdálené?

Galaxie jsou stavebními kameny vesmíru, takže když se ptáme, jak jsou daleko, ptáme se zároveň na jeho velikost.

Chceme-li zjistit vzdálenost galaxie, musíme najít „standardní svíčku“ – objekt, jehož svítivost lze porovnat s podobným předmětem v okolí.

U blízkých galaxií astronomům slouží proměnné hvězdy cefeidy. To, jak rychle mění svůj jas, souvisí s jejich skutečnou svítivostí.

V galaxii M100 se našly ultrasvítivé cefeidy, čímž se její vzdálenost stanovila na 56 milionů světelných let od Mléčné dráhy.

Ve větší vzdálenosti musejí astronomové najít dokonce ještě jasnější standardní svíčky než cefeidy: supernovy typu Ia.

Supernovy typu Ia vznikají z dvojhvězd, kde jedna hvězda předává hmotu superhutnému „bílému trpaslíkovi“ velikosti Země a ten pak exploduje.

Všeobecně se má za to, že když tito bílí trpaslíci nakonec vybuchnou jako supernovy, činí tak vždy s přesně stejnou svítivostí.

Supernovy typu Ia jsou tak jasné, že jsou viditelné až k okraji vesmíru. Umožnily tak odhadnout vzdálenost těch nejodlehlejších galaxií.

Měření kosmických vzdáleností umožňuje odhadnout „Hubbleovu konstantu“, rychlost rozpínání vesmíru. Současný nejlepší odhad: 73 km/s/Mpc.

Význam: galaxie ležící o 1 megaparsek (3,26 M světelných let) dál se díky rozpínání způsobenému velkým třeskem vzdaluje o 73 km/s rychleji.

Rychlost galaxie odvodíme z toho, jak se prodlužují její světelné vlny (rudý posuv); z rychlosti a Hubbleovy konstanty odhadneme vzdálenost.

Poznámka: vzdálenost není nijak extra významná. Vzhledem k rychlosti světla vždy měříme vzdálenost k objektu existujícímu v minulosti.

Spíše než na vzdálenost galaxie astronomové rádi odkazují na její rudý posuv, který smysluplněji udává, jak je od nás daleko.

## 89. Co jsou kvasary?

Kvasary (KVASi-stelÁRní zdroje) jsou světelné tečky, které se sice podobají hvězdám, avšak leží ve vzdálenosti, kde už hvězdy vidět nemáme.

Objevil je v roce 1963 nizozemsko-americký astronom Maarten Schmidt. Viděli je i jiní, on si však jako první uvědomil jejich význam.

Pokud na tak ohromnou vzdálenost září takto oslnivě, musí být jejich svítivost přímo fenomenální.

Typický kvasar vyzařuje 100x více energie než galaxie typu Mléčné dráhy, ale přitom je menší než naše sluneční soustava. Věřili byste tomu?

Jaderná energie na to zdaleka nestačí. Jediným možným zdrojem je „gravitační energie“ uvolněná hmotou padající do černé díry uprostřed.

Rozžhavenou a zářící hmotu vtahuje kvasar po spirále připomínající vodní vír, takže se kolem něj vytváří tzv. akreční disk.

Nebavíme se o normální černé díře vzniklé z hvězdy, ale o díře „supermasivní“. V nejjasnějších kvasarech může mít hmotnost 30 mld. Sluncí.

Až dlouho po objevu kvasarů se ukázalo, že jsou obklopené „chmýřím“ hvězd. Kvasar tvoří jádro galaxie, ale jasnou září zastíní vše ostatní.

Kvasary jsou krajním příkladem „aktivních galaxií“, které za svoje světlo nevďečí v první řadě hvězdám, ale supermasivní černé díře.

Aktivních galaxií je zhruba 1%. Kromě kvasarů jsou dalšími typy eliptické „rádiové galaxie“ a „Seyfertovy spirální galaxie“.

Většina galaxií, včetně té naší, možná v raném věku prošla aktivní (kvasarovou) fází, jež skončila, když černé díře uprostřed došlo palivo.

V blízkém okolí už dnes kvasary nenacházíme, jejich slavné období pominulo. Dnešní teleskopy je vidí zářit jako majáky na úsvitu času.



## 90. Ukrývají se obří černé díry jen v některých galaxiích?

Ještě dlouho po objevení kvasarů se na ně pohlíželo jako na anomálie, kosmické kuriozity, které s normálními galaxiemi nijak nesouvisejí.

Postupně se ukázalo, že většina galaxií (ne-li všechny) má uprostřed supermasivní černou díru o hmotnosti několika milionů až mld. Sluncí.

Většina supermasivních černých děr je klidná. Jsou nečinné a často špatně viditelné, protože je halí mezihvězdný prach.

Dokonce i Mléčná dráha ukrývá supermasivní černou díru, třebaže nevelkou. Sagittarius A\* váží asi jako 4,3 milionu Sluncí.

Existuje podezření, že většina galaxií, včetně té naší, prošla v raném věku bouřlivou fází kvasaru, jež skončila po vyčerpání plynu.

V raném vesmíru mohly kvasary vzniknout, protože měly v okolí dost potravy, pak ale všechn plyn padl na vznik hvězd.

Galaxie byly tehdy blíže u sebe (vesmír se rozpíná). Galaktické srážky mohly centrální černé díry zásobovat další potravou.

Supermasivní díry jsou drobné, galaxie obří. Kupodivu jsou jejich vlastnosti propojeny a díra váží 1/700 toho, co centrální hvězdná výduť.

To naznačuje úzký vztah mezi černými dírami a galaxiemi. První mohly vzniknout z druhých, druhé z prvních, nebo se mohly zrodit současně.

Přesná povaha vztahu mezi supermasivními černými dírami a galaxiemi je v kosmologii jednou z velkých a nedořešených hádanek.

## 91. Proč jsou v galaxiích obří černé díry?

Podle standardní představy vznikly galaxie jako první. Později přišly obří černé díry, nacházející se v samém srdci možná všech galaxií.

Průběh: nitra prvních galaxií (menší než dnes) byla přeplněná hvězdami. Ty vybuchly a nechaly po sobě černé díry, jež se srazily/sloučily.

V přeplněném raném vesmíru spolu galaxie kolidovaly, vznikaly větší. Při tom se slučovaly a rostly i středové černé díry.

Za posledních 10 miliard let tyto takzvaně supermasivní černé díry (SMBH) nadále rostly, jak hltaly plyn a hvězdy z galaktického okolí.

Problém tohoto scénáře: chaotičnost. Nevysvětluje, proč hmotnost středových děr odpovídá právě 1/700 hvězdné výduti v každé galaxii.

Možné vysvětlení: „jety“ (výtrysky). Supermasivní černé díry se otáčejí a z pólů rotace často tryskají provázkově tenká vlákna hmoty.

Jety by měla pohánět nahromaděná energie ze strašidelně zohýbaných magnetických polí ve žhavém akrečním disku vířícím kolem černé díry.

Jety odnášejí plyn, z něhož pak nemohou vznikat další hvězdy. To může vysvětlit vztah mezi hmotnostmi supermasivních děr a hvězdných výdutí.

Někteří, včetně Joe Silka z Oxfordu, se však domnívají, že čteme scénář odzadu. Supermasivní díry se nerodí z galaxií, ale naopak.

Podle Silka ztuhly chladnoucí trosky po velkém třesku do obrovských plynných oblaků (předchůdců galaxií), ale jen se tak vznášely a nic víc.

Jádra některých byla tak hustá, že se vlastní gravitací smrštily, vznikly supermasivní díry a jety vytryskly na miliony světelných let.

Tam, kde jety narazily na oblak nehybného plynu, stlačily jej, což spustilo překotný zrod hvězd a vznik nové galaxie.

Důkaz: kvasar HE0450-2958, vznášející se asi 23 000 světelných let od jedné galaxie (zhruba tak daleko, jako Slunce od středu Mléčné dráhy).

Zdá se, že HE0450-2958 nemá vlastní galaxii. Jde o jediný „nahý kvasar“, který známe, o supermasivní černou díru visící uprostřed ničeho.

Co je zásadní: jeho jet je do blízké galaxie zabodnutý jako laserový paprsek a existuje domněnka, že může za její zrod.

## 92. Jak mohly obří černé díry tak rychle vyrůst?

Černé díry těžké jako 10 mld. Sluncí se však někdy nacházely už uvnitř nejstarších kvasarů, vzniklých krátce po velkém třesku.

Pokud ale takové monstrózní černé díry existovaly už v takto mladém vesmíru, vyvstává obtížná otázka: Jak se mohly zvětšit tak rychle?

Standardní představa: v prvních galaxiích se hvězdné černé díry spojovaly a vznikaly větší. Při srážkách galaxií díry splývaly.

Aby takový několikastupňový proces vysvětlil obří černé díry v nejvzdálenějších a nejstarších kvasarech, musel probíhat vskutku překotně.

Americký astrofyzik Mitchell Begelman navrhl jiný a rychlejší způsob, jak mohlo k vytvoření supermasivní černé díry dojít.

V útrobách plynného oblaku, z něhož vznikala jedna z prvních galaxií, zhoustl plyn tak, že obří černou díru vytvořil ještě dřív než hvězdy.

Středová černá díra rychle roste a živí se při tom okolním plynem, kterým jí smršťující se oblak zásobuje jako na podnose.

Postupně se tak nabaluje obří koule zářícího plynu (Begelman jí říká „kvazihvězda“), v jejímž nitru se rozpíná černá díra.

Pokud se běžná černá díra dost rozroste, její teplo plyn odfoukne a růst se zpomalí. Begelmanova černá díra však může růst ohromným tempem.

Podle Begelmana si černá díra postupně projídá cestu ven ze zámotku, jako parazitující voska z housenky.

Poslední zbytky okolního plynu nakonec odvane, a pak abrakadabra, máme před sebou obří černou díru se vším všudy.

Prokázat tuto teorii nebude jen tak, kvazihvězdy však mají produkovat nesmírné množství tepla (infračerveného záření).

Je možné, že je najde vesmírný dalekohled Jamese Webba, který bude snímkovat v infračerveném spektru. Do vesmíru má vzlétnout v roce 2018.

### 93. Co největšího ve vesmíru najdeme?

Galaxie, kterých je celkem 100 miliard, nejsou ve vesmíru rozprostřeny rovnoměrně. Místo toho vytvářejí shluky neboli „kupy“.

Ale kupy, do kterých se galaxie shlukují, pak samy vytvářejí takzvané „nadkupy“.

Mléčná dráha tvoří spolu s 30 dalšími galaxiemi tzv. Místní skupinu. Ta patří do tzv. Místní nadkupy, zvané též Nadkupa galaxií v Panně.

Ani nadkupy však nejsou rovnoměrně rozprostřeny po celém vesmíru. I ony se k sobě těsnají do ještě větších seskupení.

Někde se vesmírem vinou dlouhé řetězce nadkup. Jinde nadkupy přehrazují prostor jako závěsy či zdi.

Sloanova velká zeď má hmotnost asi 10 000 běžných galaxií a dlouhá je 1,4 mld. světelných let (1/60 průměru pozorovatelného vesmíru).

V roce 2006 si Sloanova velká zeď dokonce vysloužila zápis do *Guinesovy knihy rekordů* jako největší útvar ve vesmíru.

Existence velkých útvarů od prvopočátků kosmu vyvolává v astronomii otázku. Jak se mohly zformovat tak brzy po velkém třesku?

Největší útvary vzešly okamžitě po velkém třesku z náhodných „kvan-  
tových fluktuací“ energie a pak se rozrostly do ohromných rozměrů.

Největší galaktické útvary v dnešním vesmíru tak kupodivu vzešly z událostí, jež se při velkém třesku odehrály na škále menší než atom.

## 94. Mohou být galaxie, které vidíme, pouhou iluzí?

Síť radioteleskopů MERLIN s ústředím v bristkém Jodrell Bank zachytila v roce 1977 dva kvasary, které si byly nápadně podobné.

Kvasary označené QSO 0957+561 si nebyly jen podobné – byly stejné. Dvojitý kvasar jako první objekt prokázal fungování „gravitační čočky“.

Gravitační čočka vzniká, když gravitace ohýbá světlo, jak to v r. 1915 předpověděla Einsteinova teorie gravitace (obecná teorie relativity).

Je-li mezi námi a vzdáleným objektem (kvasarem) velký objekt (galaktická kupa), jeho gravitace světlo ze vzdáleného objektu ohne/zaostří.

Protože může světlo čočku obejít několika cestami, vzniká víc obrazů, maximálně pět. Některé jsou moc slabé, než aby je bylo snadno vidět.

Gravitační čočka (objekt uprostřed) světlo ze vzdáleného objektu nejen zaostřuje, ale i koncentruje a zesiluje, tzn. zvyšuje jeho jas.

Gravitační čočka tak funguje jako přírodní dalekohled a zvyšuje jasnost objektů, které by jinak pro samou dálku nebyly vidět.

Blízké galaxie opravdu vidíme tak, jak jsou. Se vzdáleností ale roste šance, že se do cesty vloží grav. čočka. Vzdálený vesmír může klamat.

Gravitační čočka mimochodem ne vždy přenáší čistý obraz. Kupy galaxií a jejich gravitace ohýbají vzdálené objekty do oblouku.



Gravitační čočku lze využít i opačně, totiž k odhalení objektů, které ji způsobují a mohou být natolik temné, že nejdou pozorovat přímo.

Large Synoptic Survey Telescope (Chile) bude pomocí „slabého čočkování“ odhalovat, jak je ve vesmíru rozložená hmota, obzvlášť ta temná.

Dalekohledy byly vynalezeny, aby zpracovávaly světlo. Ironií je, že Large Synoptic Survey Telescope bude zpracovávat tmu!

Claudio Maccone navrhl použít jako čočku Slunce. Ohnisko „gravitačního dalekohledu“ by však leželo daleko za Plutem. Těžký úkol!

## 95. Proč jsou dalekohledy považovány za stroje času?

Světlo je rychlé, ale ne zas nekonečně. Trvá mu, než k nám od předmětů doletí, takže je vidíme takové, jaké byly v minulosti.

U všedních věcí je vliv zpoždění neznatelný, protože rychlost světla je obrovská – 300 000 km/s (milionkrát rychlejší než dopravní letadlo).

Ale vesmír je VELKÝ a vzdálenosti ohromné. Od kosmických těles k nám světlo cestuje dlouho. Dalekohledy jsou prakticky „stroje času“.

Měsíc vidíme, jak vypadal před 1,3 s, Slunce před 8,3 min, nejvzdálenější okem viditelný objekt (Galaxie v Andromedě) před 2,5 miliony let.

Není možné zjistit, jak určitý astronomický objekt vypadá „nyní“ (to je nesmysl), jen jak vypadal, když od něj světlo vyrazilo.

Kdyby světlo bylo tak pomalé, že by přes ulici letělo 100 let, dům naproti může být již dávno pryč. Stejně tak vzdálené galaxie.

Vzdálené galaxie pravděpodobně již neexistují. Vidíme je tak, jak vypadaly před více než 13 miliardami let, dávno předtím, než vznikla Země.

Světlem (ovšem ve formě rádiových vln) dohlédneme nejdál 13,7 miliardy let do minulosti, což je 380 000 let po zrození vesmíru.

Světlo staré 13,7 miliardy let je „dosvitem“ velkého třesku. Do té doby byl vesmír plný „mlhy“, jež světlu bránila v přímočarém pohybu.

1 % šumu naladěného mezi televizními stanicemi je „dosvitem“ velkého třesku – úplně prvním světlem. Tvoří 99,9 % všech fotonů ve vesmíru.



VESMÍR



## 96. Jak veliký je vesmír?

Aby bylo možné otázku po velikosti vesmíru zodpovědět, je třeba nejprve definovat, co přesně slovem „vesmír“ myslíme.

Základní fakt: vesmír tu není odjakživa. Zrodil se. Začal existovat před 13,7 miliardami let při obrovském výbuchu zvaném velký třesk.

Protože má vesmír daný počátek v čase, vidíme jen galaxie, z nichž k nám světlo letělo 13,7 mld. let a méně. Jsou-li dál, světlo teprve letí.

Objekty, které vidíme (asi 100 miliard galaxií), tvoří v prostoru obří „bublinu“ se středem na Zemi, známou jako „pozorovatelný vesmír“.

Vzdálenost k okraji pozorovatelného vesmíru je asi 42 mld. světelných let, průměr pozorovatelného vesmíru tedy asi 84 mld. světelných let.

Jak může být okraj vzdálen 42 mld. světelných let, když je vesmír starý jen 13,7 mld. let? Zpočátku se vesmír rozpínal rychleji než světlo!

Rychlost světla je nepřekročitelná jen ve speciální teorii relativity (1905), v té obecné (1915) může prostor expandovat libovolně rychle.

Pozorovatelný vesmír je ohraničen pomyslnou hranicí zvanou „světelný horizont“. Ten vyznačuje, kam nejdál lze dohlédnout dalekohledem.

S „kosmickým horizontem“ je to stejné jako s mořským. Víme, že oceán za horizontem pokračuje, a ani vesmír za kosmickým horizontem nekončí.

Podle teorie „inflace“ nemusí mít prostor ležící za horizontem hranice. Nekonečný vesmír!



## 97. Co byl velký třesk?

Přibližně před 13,7 miliardami let veškerý prostor, čas, energie a hmota začaly existovat při kolosální explozi zvané velký třesk.

Od dob velkého třesku se vesmír rozpíná a z chladnoucích pozůstatků se shlukují galaxie včetně Mléčné dráhy.

Historie: v roce 1916 uplatnil Albert Einstein svou gravitační teorii (obecnou teorii relativity) na ten nehmotnější objekt vůbec, vesmír.

Jeho teorie tvrdí, že vesmír musí být v pohybu. Einstein však věřil, že je neměnný, a proto přehlédl, co z jeho vlastních rovnic vyplývá.

Pravdu nezávisle na sobě poznali Alexandr Fridman (1922) a Georges Lemaître (1927). Vesmír není statický, od velkého třesku se vyvíjí.

Lemaître, belgický katolický kněz, viděl paralelu mezi velkým třeskem a biblickým příběhem z knihy Genesis („Budiž světlo.“).

1929: Edwin Hubble zjišťuje, že se vesmír rozpíná a všechny galaxie kromě nejbližších od nás unikají tím rychleji, čím jsou vzdálenější.

Pokud se od sebe galaxie vzdalují, měly k sobě v minulosti blíže. Před 13,7 miliardami let se na sebe mačkaly a to byl velký třesk.

Když byl vesmír menší, byl také žhavější (jako se ohřívá vzduch stlačený cyklistickou pumpičkou). Proto bylo při velkém třesku „horko“.

Hoyle, Bondi a Gold navrhli v r. 1948 „teorii ustáleného stavu“. Vesmír se rozpíná, ale v mezerách vzniká nová hmota, je tedy stále stejný.

Ironií je, že termín „velký třesk“ poprvé zazněl v roce 1949 na BBC z úst Freda Hoylea, který v teorii velkého třesku nevěřil.

Radioteleskopy odhalily v 60. l. vzdálené kvasary, které už dnešní vesmír neobsahuje. Vyvíjející se vesmír podporuje teorii velkého třesku.

1965: Arno Penzias a Robert Wilson objevují tepelný „dosvit“ velkého třesku, kosmické radiační pozadí. Teorie velkého třesku vítězí.

## 98. Kde k velkému třesku došlo?

Termín „velký třesk“ snad po všech stránkách vyvolává špatnou představu. Zejména tím, že vzbuzuje dojem exploze.

Když vybuchne třeba dynamit, stane se to na určitém místě, ale neexistuje, že byste někam ukázali a řekli „Zde došlo k velkému třesku“.

Při velkém třesku jediným rázem vznikl vesmír a okamžitě začal růst všemi směry. Událo se to všude zároveň.

Představte si rozinky v kynoucím koláči. Z pohledu každé z nich se všechny ostatní vzdalují (uvažujme nekonečný koláč bez okraje).

Galaxie v rozšiřujícím se prostoru jsou jako rozinky v kynoucím koláči. Z pohledu jakékoli galaxie se všechny ostatní galaxie vzdalují.

Rozpínající se vesmír tak všem nabízí stejný výhled. Každému se zdá, že je v centru exploze (ačkoli nikdo není).

Dynamitová patrona navíc exploduje v již existujícím prostoru, před velkým třeskem však vůbec žádný prostor nebyl.

Vesmír neměl, do čeho by se rozpínal. Prostor se jednoduše objevil a každý jednotlivý bod se v něm začal vzdalovat od ostatních.

Opět si představme koláč. Je-li nekonečný, není žádné „vně“, kam by expandoval. Rozpíná se tak, že se jednotlivé body uvnitř vzdalují.

Je jistě možné, že se vesmír plynule stáčí jako povrch mnohazměrného balonu. Ani tak neexistuje žádné „vně“, do nějž by mohl expandovat.

Třeští vám hlava? Nezoufejte: velký třesk proběhl ve 4 rozměrech (3 prostor, 1 čas) a pro 3D bytosti jako my je z podstaty nepředstavitelný.

O velkém třesku můžeme získat jen matnou představu, nikdy ho neuchopíme jako celek. To dokáže jen matematická teorie obecné relativity.

## 99. Jak víme, že k velkému třesku došlo?

Vesmír se rozpíná, kdysi tedy musel být menší. Množství helia (10 % všech atomů) lze vysvětlit jen tak, že vzniklo v peci velkého třesku.

Každodenní důkaz: 1 % televizního šumu („zrnění“ mezi stanicemi) pochází přímo z velkého třesku.

Velký třesk je jako výbuch vodíkové bomby. Její teplo se však rozptýlí do okolí, což u velkého třesku nepřipadá v úvahu.

Teplo z velkého třesku nemělo kam unikat, zůstalo utěsněné ve vesmíru, kromě kterého už z podstaty věci nic neexistuje.

Teplo z třesku přetrvává, jenom rozpínáním vesmíru za posledních 13,7 mld. let velmi ochladlo. Nyní jen 3 °C nad absolutní nulou (-270 °C).

„Dosvit“ velkého třesku se nejvíce jeví jako viditelné světlo, ale jako mikrovlny a EHF vlny, neviditelné světlo zachycované vaším televizorem.

Než zasáhly vaši TV anténu, putovaly mikrovlny z velkého třesku 13,7 mld. let a poslední, čeho se předtím dotkly, bylo jádro velkého třesku.

Neuvěřitelných 99,9 % všech fotonů (světelných částic) ve vesmíru nepochází z hvězd a galaxií, ale z dosvitu velkého třesku.

Kdybychom mohli na vesmír pohlédnout zvenčí, „dosvit stvoření“ by byl jeho nejvýraznějším rysem. Veškerý prostor září jako vnitřek žárovky.

Atmosféra a všechny chladné objekty (i vy) září mikrovlnami. Nejběžnější formu světla ve vesmíru tak je ironií osudu obtížné spatřit.

„Reliktní záření“ objeveno až v r. 1965. Toto radiační pozadí objevili náhodou dva radioastronomové z Bellových laboratoří v New Jersey.

Nejdřív Arno Penzias a Robert Wilson mysleli, že mikrovlny vysílá trus holubů hnízdících v trychtýřové anténě; přesto získali Nobelovu cenu.

Záření poskytuje nedocenitelný snímek z batolecího věku, kdy bylo vesmíru pouhých 380 000 let.

Místa, kde je dosvit oproti průměru teplejší/chladnější, odhalují první houstnutí hmoty po velkém třesku – zárodky galaxií.

Za přínos k pátrání po „zárodcích“, z nichž vzešly první vesmírné útvary, získali Nobelovu cenu v roce 2006 i John Mather a George Smoot.

## 100. Co se dělo před velkým třeskem?

Stávající model: na počátku bylo „falešné vakuum“, vyznačující se neobvyklou „odpudivou gravitací“, díky které se „rozpínalo“.

Čím více se vytvořilo vakua, tím větší byla odpudivá gravitace a tím rapidněji vakuum expandovalo, stále rychleji a rychleji.

Čím více vakua se vytvořilo, tím více bylo také energie. Energie z ničeho – další neobvyklá vlastnost, normálně nula od nuly pojde...

Ale falešné vakuum nebylo stabilní. Kousky se nahodile „rozpadaly“ na „pravé“ (naše) vakuum, jako když se v obřím oceánu tvoří bubliny.

Energie falešného vakua se musela projevit: stvořila v bublinových vesmírech hmotu a nesmírně ji zahřála, až spustila žhavé velké třesky.

Podle této „inflační“ teorie je náš vesmír jen jedním z mnoha, navždy oddělených stále narůstající plochou falešného vakua.

Když inflaci došly síly, začalo běžné rozpínání, které se k ní má asi jako výbuch dynamitové patrony k vodíkové bombě.

Odkud vysokoenergetické falešné vakuum pochází? Kvantová teorie vznik energie jen tak z ničeho umožňuje (Heisenbergův princip neurčitosti).

Asi vznikl malý kousek falešného vakua a nastalo rozpínání. Inlace je nezastavitelná, protože vakuum roste rychleji, než ubývá.

To okamžitě vede k otázce: Odkud se vzaly fyzikální zákony (kvantová teorie), které zrod energie z ničeho umožnily?

Otázky neberou konce. Možná to máte úplně jako s tvrzením, že vesmír leží na želvím krunýři – pak se také musíte ptát, na čem si hoví želva.

Jak řekla jedna dáma na kosmologické přednášce Bertranda Russella: „Jste velmi chytrý mladý muž, ale prostě tam stojí jedna želva na druhé!“



## 101. Jak rychle se vesmír rozpíná?

Rychlost expanze vesmíru se udává Hubbleovou konstantou. Aktuální odhad: 73 km/s/Mpc (1 Mpc = 3,26 milionu světelných let).

To znamená, že pokud je galaxie o 3,26 milionu světelných let dál, vzdaluje se následkem expanze po velkém třesku o 73 km/s rychleji.

Vesmír se vždycky nerozpínal tak rychle jako dnes, jeho expanze má ve skutečnosti pestrou minulost.

Jeden by řekl, že se vesmír po velkém třesku rozpínal rychle a zpomaloval, jak ztrácel energii. Je to však složitější.

Na počátku bylo jen vakuum rozpínající se fenomenální rychlostí – v prvním zlomku sekundy znásobilo svou velikost přinejmenším trilionkrát.

Když „inlace“ ustala, nesmírná energie vakua se vynaložila na vznik hmoty a její ohřátí na obrovskou teplotu. Nastal žhavý velký třesk.

Po inflaci se již vesmír rozpínal mnohem klidnější rychlostí a z důvodu vzájemného brzdícího účinku galaxií postupně zpomaloval.

Ovšem nedávno (rozumějte za posledních několik miliard let) nastalo velké překvapení a expanze vesmíru místo zpomalování znovu zrychlila.

Astronomové soudí, že se v prázdném prostoru nachází zvláštní „temná energie“, která rozpínání svou „odpudivou gravitací“ urychluje.

Nabízí se otázka, zda existuje souvislost mezi urychleným rozpínáním při inflaci a tím, jak rozpínání urychluje temná energie. Nikdo neví.

Pokud by expanze způsobená temnou energií pokračovala, do 100 miliard let bude Mléčná dráha jedinou galaxií v pozorovatelném vesmíru.

## 102. Proč je obloha v noci tmavá?

Prvním, kdo si tuto otázku položil, byl v roce 1610 Johannes Kepler, matematik u císařského dvora Svaté říše římské.

Z Padovy odhalil Galileův hypermoderní dalekohled hvězdy, které nebyly vidět pouhým okem. „Co když se táhnou do nekonečna?“ řekl si Kepler.

Tak jako při pohledu do borového háje nevidíte nic než stromy, neměli byste při pohledu na oblohu vidět nic než hvězdy.

Kepler usoudil, že by noční obloha neměla být černá, jak by řekl každý, nýbrž tak jasná jako povrch typické hvězdy, jasná jako Slunce!

Typickou hvězdou je ovšem červený trpaslík (ti tvoří 70 % všech hvězd), a tak by měla noční obloha být od obzoru k obzoru krvavě rudá.

Záhada toho, proč je noční obloha tmavá a ne jasná, je známá jako Olbersův paradox, podle německého astronoma, který ji v 19. st. proslavil.

Nejpřijatelnější vysvětlení nabídl E. A. Poe. Možná, že je obloha temná, protože světlo z nejvzdálenějších hvězd na Zemi dosud nedorazilo.

Poeovu myšlenku podporuje objev konečného stáří vesmíru. Vidíme jen objekty, jejichž světlo k nám stihlo doletět za méně než 13,7 mld. let.

Velký třesk však paradox nevysvětluje, protože se vlastně žádný paradox nekoná! Noční obloha by nebyla jasná ani v nekonečně starém vesmíru.

Kepler učinil nevyšlovený předpoklad, že hvězdy mohou hořet navěky a mohou do prostoru vyslat neomezené množství světla. To není pravda.

I kdyby všechny hvězdy přeměnily veškeré své palivo na světlo, k vyplnění prostoru a přeměně tmavé oblohy na zářivou by to nestačilo.

Představte si, že vám nevystačí voda na plnou vanu. S vesmírem je to stejné, hvězdy zkrátka nemají dost energie, aby ho naplnily světlem.

Kdo by si byl pomyslel, že tmavá noční obloha bude 400 let záhadou a vyvolá tolik kosmického přemýšlení!

## 103. Co je temná hmota?

Nikdo neví. Na rozdíl od běžné hmoty (atomy) nevyzařuje světlo buď vůbec, nebo moc málo na to, aby ho zachytily nejlepší dnešní přístroje.

Ve vesmíru převažuje šestkrát nebo sedmkrát nad hmotou viditelnou, tedy hvězdami a galaxiemi.

O její existenci víme z toho, že svou gravitací působí na hvězdy a ty se pak pohybují, jako by je neovlivňovala jen viditelná hmota.

První náznak „chybějící hmoty“: příliš rychlý vertikální pohyb hvězd v Mléčné dráze. Jan Oort označil za příčinu neviditelnou hmotu (1932).

V roce 1934 pak Fritz Zwicky zjistil, že galaxie v kupách obíhají střed kupy příliš rychle. Reagují na gravitaci neviditelného materiálu.

1980: Vera Rubinová nachází na okraji spirálních galaxií hvězdy obíhající příliš rychle. Měly by uletět, jako děti ze splašeného kolotoče.

Astronomové tvrdí, že hvězdy do mezigalaktického prostoru neodlétnou, protože je drží gravitace neviditelné „temné“ hmoty.

Spirální galaxie (včetně Mléčné dráhy) jsou zřejmě uzavřeny v obrovském kulovém „halu“ temné hmoty, jehož hmotnost výrazně překonává hvězdy.

Identita temné hmoty je jednou z největších hádanek ve fyzice. Většina vědců sází na dosud neobjevenou subatomární částici.

Vzhledem k tomu, že temná hmota je všudypřítomná, musí procházet Zemí. Za účelem jejího nalezení se rozběhlo několik pokusů v dolech.

Existuje reálná šance, že kandidáta na temnou hmotu nalezne Velký hadronový urychlovač, obří zařízení nedaleko Ženevy.

Ať už záhadu temné hmoty vyluští kdokoli, Nobelova cena ho jistě nemine.

## 104. Co je temná energie?

Je neviditelná. Vyplňuje veškerý prostor. A svou odpudivou gravitací zrychluje rozpínání vesmíru.

Temná energie byla objevena v roce 1998 dvěma týmy – jeden vedl Američan Saul Perlmutter, druhý Australané Nick Suntzeff a Brian Schmidt.

„Standardní svíčky“ supernov v dalekém vesmíru jsou slabší, než se očekávalo. Něco je zahnal dále, než by to zvládlo běžné rozpínání kosmu.

Rozpínání vesmíru se navzdory všemu očekávání zrychluje (mělo by zpomalovat, protože ho brzdí vzájemná přitažlivost galaxií).

Ve vesmíru musí existovat cosi (temná energie), co jako napnutá pružina působí proti gravitaci, která by jinak táhla galaxie k sobě.

Temná energie je hlavní složkou vesmíru. Tvoří 73 % veškeré kosmické energie/hmoty (temná hmota 23 %, normální hmota 4 %).

Hlavní složka vesmíru se našla až v roce 1998! Fyzici, kteří v 19. st. tvrdili, že už ve fyzice moc objevů nezbyvá, tak dostali za vyučenou.

Temná energie je velmi zředěná, její účinek se ale hromadí. To vysvětluje, proč je na Zemi neznatelná, zatímco v kosmickém měřítku převládá.

Není pochyb o tom, že objev temné energie je jedním z nejnečekanějších v historii vědy, a také jedním z nejzáhadnějších.

Kvantová teorie nám dala počítače, lasery a jaderné reaktory, pochopili jsme díky ní, proč Slunce svítí a pod nohama máme pevnou půdu...

...avšak když kvantovou teorii aplikujeme na výpočet energie vakua, temné energie, dostáváme číslo o 120 řádů vyšší, než pozorujeme.

Temná energie představuje v historii vědy největší rozpor mezi výpočtem a pozorováním. Není snad něco v pořádku?

Většina fyziků je přesvědčena, že se čeká na jakýsi „velký nápad“. A teprve až s ním někdo přijde, konečně temné energii porozumíme.



## 105. Je vesmír jako stvořený pro život?

Rozhodně tak vypadá. Měli bychom však být velmi opatrní, protože ve vědě může zdání klamat.

Být gravitace o pár % silnější, stlačené/rozpálené sluneční jádro by dohořelo za 1 mld. let, což na vývoj inteligentního života nestačí.

Pokud by byla gravitace o pár % slabší, sluneční jádro by nebylo dostatečně stlačené/zahřáté, aby vůbec hořelo. Život na Zemi by nevznikl.

Nebo jaderná síla: být o pár % silnější, Slunce by neplanulo 10 mld. let, ale shořelo by a explodovalo za méně než 1 s!

Kamkoli se v přírodě podíváme, tam se zdá, že jsou fyzikální zákony jemně vyladěny přesně pro nás. Otázka je, co si o tom máme myslet?

Jedna z možností, byť nevědecká: fyzikální zákony doladil Bůh. Pro nadpřirozené síly řídící běh vesmíru nicméně neexistuje důkaz.

Další možnost: existuje mnoho vesmírů, v každém platí jiné fyzikální zákony a ten náš je vyladěný pro život. Aby také ne!

Jak praví „antropický princip“: fyzikální zákony jsou, jaké jsou, protože jinak bychom tu nebyli a nemohli je pozorovat.

Pozor, zatím neexistuje „teorie všeho“, která by všechny přírodní zákony spojila a třeba i ukázala, že se zas tak moc ladit nemusely.

Pro jednu věc, a to neuvěřitelně malé množství temné energie, se nicméně antropické vysvětlení zdá být nevyhnutelné.

Odpudivá temná energie musí být extrémně malá, aby nebránila smršťování oblaků plynu při vzniku galaxií. To je podmínka naší existence.

## 106. Existuje více než jeden vesmír?

Vypadá to, že nás příroda mlátí po hlavě a křičí na nás, že tento vesmír není jediný. Důkazy přicházejí z mnoha směrů.

Na „multiverzum“ panují různé názory, zatím není jasné, jak by se daly spojit. Jednotné pojetí tématu se teprve rozvíjí.

Rozhodně víme, že vesmír pokračuje i za kosmickým „horizontem“. Inflační kosmologie říká, že vesmírů, jako je ten náš, bude nekonečně mnoho.

Každý z nich by za sebou měl velký třesk, ale z chladnoucích pozůstatků by vznikly jiné galaxie a hvězdy s odlišnou historií.

Dojem, že jsou fyzikální zákony přizpůsobené naší existenci, vede k domněnce, že existují další vesmíry, v nichž jsou zákony odlišné.

Rámcem pro mnoho vesmírů s odlišnými pravidly je teorie strun, v níž jsou částice vibrujícími strunami hmoty/energie.

Teorie strun indikuje, že počet vesmírů může vyjadřovat jednička s pěti sty nulami. (Nejasnost: Proč jsme v tomto a ne v jiném?)

Jelikož teorie strun říká, že vesmír má 10 rozměrů, nechává prostor nejen pro vesmíry s různými pravidly, ale i s různým počtem rozměrů.

Kvantová teorie též říká, že atomy existují v mnoha paralelních realitách, nebo se tak alespoň chovají (většina fyziků věří druhé možnosti).

Existuje silné podezření, že kvantová teorie mnoha světů souvisí s alternativními historiemi odehrávajícími se za horizontem našeho vesmíru.

Fyzik Max Tegmark dokonce věří, že nemusí existovat jen jeden multivesmír, ale celá hierarchie, poskládaná jako ruská matřjoška.

# ŽIVOT VE VESMÍRU



## 107. Jak vznikl život?

Definovat život je těžké, ale následující definice ob stojí: život je soběstačný chemický systém schopný vývoje darwinovskou evolucí.

Život ve vesmíru vzniknout může, o tom není pochyb. Pohlédněte do zrcadla. Při velkém třesku byl vesmír bez života. Teď jsme tu alespoň my.

Vesmír vznikl s atomy vodíku (nejjednodušší) a helia (kterému není slučování po chuti). To ke vzniku složitých organických molekul nestačí.

Jaderná fúze ve hvězdách poskytla atomy těžších prvků, hlavně uhlíku, kyslíku a dusíku. Pak už bylo možné sestavit složité „uhlovodíky“.

Tyto „organické“ molekuly, mezi nimi zřejmě i aminokyseliny, se nacházejí všude v mezihvězdném prostoru. Jsou to stavební kameny života.

První samoreprodukující molekuly se na mladé Zemi vytvořily v ka-lužích s vodou, pod první atmosférou. Jak přesně k tomu došlo, není známo.

První byla zřejmě jednoduchá RNA (ribonukleová kyselina), později složitá DNA (deoxyribonukleová kys.). První množící se buňky přišly potom.

Populace organismů se měnily a ty, které měly optimální vlastnosti pro přežití, zanechaly nejvíce potomstva (evoluce přirozeným výběrem).

Život se na Zemi vyskytl rychle, téměř jakmile mladá Země vychladla. Přechod od neživého k živému působí lehce, ale in vitro se nám nedaří.

Jsou třeba molekulární stavební kameny života, energie pro jejich vzájemné reakce, rozpouštědlo (voda), ve kterém mohou reakce probíhat...

Mladou Zemi bombardovaly komety s molekulárními stavebními kameny života, například aminokyselinami, takže byla zřejmě ideálním prostředím.

Mohl by život existovat bez vody? Možná. Voda je nicméně nejběžnější kapalinou ve vesmíru. Její jedinečné vlastnosti je těžké nahradit.

Je základem života vždy uhlík? Možná ne, je to však 4. nejhojnější prvek a vyskytuje se 7x víc než křemík, jenž je též chemicky komplexní.



## 108. Mohl by život existovat jinde ve sluneční soustavě?

Vesmír je nevlídný. Vakuum, extrémní chlad a horko, smrtící UV záření a vysokoenergetické částice, to vše je pro živé buňky velmi škodlivé.

Složité molekuly se v přílišném horku rozpadnou, v chladu zas moc zpomalí metabolické procesy. Také je nutná ochrana proti částicím/radiaci.

Těla bez vzduchu (Měsíc, Merkur) jsou téměř jistě mrtvá. Totéž platí i pro většinu těles v zamrzlých vnějších částech sluneční soustavy.

V dávné minulosti se Mars mnohem víc podobal Zemi: hustší atmosféra, vyšší teploty, oceány... Život může mít původ na Marsu.

Před nepříznivými podmínkami na povrchu by se marsovské mikroorganismy mohly skrývat v ledových nebo vodních kapsách pod povrchem.

Budoucí výpravy by měly sebrat vzorky a přinést odpověď. Odlišné životní formy nalezené na Marsu by měly pro vědce velký význam.

Na Venuši a Jupiteru by bakterie mohly přežít v určitých vrstvách atmosféry, ale těžko si představit, jak by tam život vznikl.

Jupiterův měsíc Europa má ledem pokrytý oceán, energii ze slapových jevů a biomolekuly z komet; mohl by chovat i vyšší formy života.

Totéž může platit pro Jupiterův měsíc Ganymed a Saturnovy měsíce Enceladus a Titan. Prokázat pravdu bude těžké a nákladné.

Objev „extrémofilů“ (bakterií v horninách, tmě, vřelé vodě atd.) svědčí o tom, že životu by se ve sluneční soustavě mohlo dařit leckde.

Dosud však nebylo nalezeno nic. Realita: v celém vesmíru je Země zatím jediným známým útočištěm života.

## 109. Mohl život přijít z vesmíru?

Není to nepravděpodobné. Vezměme sousední Mars. Je menší než Země, po svém vzniku se tedy z roztaveného stavu ochladil rychleji než ona.

Na povrchu Marsu jsou známky vyschlých oceánů a řek. Prvních 500 milionů let byl možná Mars rájem, kde se život mohl ujmout.

Přidejme k tomu skutečnost, že na Zemi nacházíme meteority, které se z Marsu odštípily po velkých srážkách a Země je později zachytila.

Je zde tedy možnost, že Země byla „naočkována“ mikroorganismy přenesenými uvnitř martánských meteoritů. Možná jsme všichni Marťané!

Představa přesunu života mezi planetami („planetární panspermie“) je všeobecně uznávaná. O přenosu mezi hvězdami se však vedou spory.

Č. Vikramasingha a F. Hoyle zkoumali, jak vesmírná mračna absorbují světlo z dalekých hvězd; výsledky prý naznačovaly přítomnost bakterií.

Vikramasingha a Hoyle přišli s kontroverzním tvrzením, že mračna mezihvězdného plynu jsou hřbitovem nespočetných mrtvých bakterií.

Když houstnutím mračen vzniknou hvězdy a planety, bakterie se zachovají v dočasně roztavených jádrech komet, pár jich ožije a rozmnoží se.

Pokud kometu něco postrčí ke slunci, může bakterie přenést na povrch planet typu Země. Zapomeňte na Martány, možná jsme sami přišli z hvězd!

„Mezihvězdná panspermie“ vysvětluje, jak mohl život na Zemi začít tak rychle, i když ho zatím nezvládáme laboratorně stvořit z neživé hmoty.

Pokud mají Vikramasingha a Hoyle pravdu, je život vesmíru vlastní. Všude po galaxii najdeme život na bázi DNA, jak jej známe.

Ještě extrémnější názor: Francis Crick a Leslie Orgel v r. 1970 navrhli, že život na Zemi (a v celé galaxii) úmyslně „zaseli“ mimozemšťané.

# 110. Je naše sluneční soustava unikátní?

Sluneční soustava má své uspořádání: všechny planety obíhají stejným směrem a víceméně v jedné rovině. Vysvětlením bude původ soustavy.

Filozof Immanuel Kant (1724–1804) a astronom Pierre-Simon Laplace (1749–1827) dospěli takovými úvahami k „mlhovinové hypotéze“.

Princip: planety vznikly z plochého disku hmoty vířícího kolem nově vzniklého Slunce. Velký otazník: stalo se u jiných hvězd totéž?

Nizozemsko-americká družice IRAS zkoumala infračervené spektrum a v r. 1980 našla hvězdy, k jejichž teplu zřejmě přispívá i prachový disk.

U hvězdy Beta Pictoris, vzdálené 63 světelných let, byl disk později zachycen pozemním dalekohledem. Zřejmě obsahuje prachová zrna/kamínky.

Začátkem 90. let našel Hubbleův dalekohled protoplanetární disky kolem rodících se hvězd v mlhovině v Orionu. Ukázalo se, že jsou běžné.

Prachové protoplanetární disky lze odhalit snáze než plnohodnotné planety: rozptylují světlo hvězd + vysílají infračervené záření (teplo).

Velmi mladé hvězdy mohou mít kolem sebe skutečné protoplanetární disky, disky u starších hvězd mohou být z trosk po srážkách velkých těles.

Některé disky jsou osekáné nebo mají prázdné středy, příp. mezery, způsobené asi gravitací větších těles, tak jako u prstenců Saturnu.

Počítačové simulace napovídají, že plyn a prach v plochých, rotujících discích se shlukují do větších celků. Nakonec vzniknou planety.

Všechny důkazy ukazují jedním směrem: ačkoli jiné planetární systémy mohou být méně uspořádané, naše sluneční soustava není jedinečná.

## 111. Co je exoplaneta?

„Exo“ znamená „vnější“, tj. mimo naši sluneční soustavu. Planety naší soustavy obíhají kolem Slunce, exoplanety obíhají kolem jiných hvězd.

Počet planet v naší sluneční soustavě: 8. Počet známých a potvrzených exoplanet (jaro 2011): více než 500.

Exoplanety je obtížné spatřit. Jsou malé, tmavé, leží blízko své mateřské hvězdy a odrážejí jen velmi malou část jejího světla.

Přímá detekce je tedy téměř nemožná. Namísto toho je většina exoplanet objevena díky jejich nepřímému vlivu na mateřské hvězdy.

Gravitace obíhající exoplanety hvězdu rozkolísá. Na obloze (astrometricky) se to pozoruje těžko, snáz to poznáme ze světla oné hvězdy.

Hvězda se střídavě vzdaluje a přibližuje. Výsledek: mírný periodický posun ve vlnové délce jejího světla (Dopplerův jev).

Tím se odhalí oběžná doba, elipsovitost oběžné dráhy a u hvězd se známou hmotností i to, jakou musí mít planeta minimální hmotnost.

51 Pegasi b, první exoplaneta obíhající hvězdu podobnou Slunci, byla v roce 1995 objevena švýcarským týmem pod vedením Michela Mayor.

Jiný způsob: vidíme-li dráhu „z boku“, planeta pravidelně prochází přes přední stranu hvězdy. Během těchto „přechodů“ hvězdu lehce zacloní.

Pokud známe velikost hvězdy, odhalí pokles jasů velikost planety a ta v kombinaci s hmotností (zjištěnou z Dopplerova jevu) udá hustotu.

Abychom takovou z boku viděnou orbitu našli, musíme sledovat mnoho hvězd (to obstarává NASA sondou Kepler). Dosud více než 1200 kandidátů.

Svatý grál: Země podobná exoplaneta na srovnatelné dráze kolem hvězdy podobné Slunci. Mohla by nést život. Pár let a Kepler ji možná najde.



## 112. Jaké jsou dosud nejpodivnější objevené exoplanety?

Téměř každá dosud objevená exoplaneta je něčím zvláštní. Exoplanety jsou úžasně rozmanité.

1992: 1. objevené exoplanety obíhaly pulsar (hvězdná mrtvola). Původ nejasný. Život je tu kvůli silnému rentgenovému záření pulsaru nemožný.

První planety v okolí hvězd podobných Slunci byly „horké Jupitery“. Váží víc než Jupiter, ale jsou ke své hvězdě blíže než Merkur ke Slunci.

Je to samozřejmě tím, jak snadno si jich všimneme: masivní planety na těsných orbitách hvězdu víc rozkolísají. Dosud jich známe stovky.

Nejžhavější exoplaneta: WASP-12b, 2240 °C. Možná se pomalu vypařuje, jako obří kometa. U planety HD 209458b vypařování pozorujeme určitě.

Nejužší orbita: GJ 1214b (2,1 M km), nejkratší oběžná doba: 55 Cancri e (17 h 40 m). Dráhy některých planet velmi nakloněné či protáhlé.

Mnohé hvězdy mají soustavy dvou nebo více planet. 55 Cancri má planet pět, Gliese 581 a Kepler-11 mají obě po šesti.

Dalekohled sondy Kepler dokonce objevil systém se dvěma planetami sdílejícími stejnou oběžnou dráhu: druhá obíhá 60° za tou první.

Některé kamenné planety jsou tak horké, že musí mít roztavený povrch. Další mohou být zcela pokryty oceánem a horkou, zapářenou atmosférou.

CoRoT-7b a Kepler-10b: kamenné planety o trochu větší a robustnější než Země. Obě obíhají blízko svých hvězd, proto jsou to planety lávové.

Gliese 581g je větší. Také obíhá blízko, ale kolem chladného červeného trpaslíka, takže na jejím povrchu mohou ležet jezera či moře.

Podle teoretiků mohou být některé exoplanety tvořeny hlavně uhlíkatými sloučeninami nebo železem/niklem, jiné jen skálou bez kového jádra.

Extrasolární systémy se od sluneční soustavy velmi liší. Planeta s oceány a životem na orbitě kolem hvězdy podobné Slunci bude spíš vzácná.

## 113. Existuje způsob, jak komunikovat s mimozemskými civilizacemi?

V 19. století spočívala vědci navrhovaná komunikace s Marťany v sázení stromů do geometrických obrazců či zakládání velkých ohňů na Sahaře.

1959: Giuseppe Cocconi a Philip Morrison představují v časopise *Nature* nejlepší způsob mezihvězdné komunikace, rádiové vlny o délce 21 cm.

V r. 1960 zahájil Frank Drake projekt Ozma, který se snažil zachytit rádiové signály z hvězd Epsilon Eridani a Tau Ceti.

Od roku 1960 máme k hledání mimozemské inteligence (SETI) stále citlivější prostředky, mimozemský signál však zůstává nezaznamenán.

Poselství jsme vyslali též pomocí sond (destička na sondě Pioneer a zlatá LP na Voyagerech) a kódovaných rádiových zpráv k cizím hvězdám.

Také rozhlasové a televizní vysílání změnilo Zemi na „přirozený“ zdroj silných umělých rádiových vln, které by mimozemšťané mohli zachytit.

Prostřednictvím projektu SETI@Home se do hledání můžete zapojit i vy. Astronomové hledají i na viditelných vlnových délkách (optické SETI).

Komunikace, jak ji známe, není možná: i v případě nejbližší hvězdy by mezi otázkou a odpovědí uplynulo 8 let.

Dalším problémem je jazyk. Matematici vymysleli „univerzální jazyky“, kterým by mimozemšťané mohli porozumět, pokud se budou dost snažit.

Úspěch SETI závisí na počtu planet podobných Zemi, na tom, jak běžný je život/inteligence atd. Tyto faktory shrnuje „Drakeova rovnice“.

„Děsivé ticho“ (termín zavedený Paulem Daviesem) může znamenat, že mimozemské civilizace jsou vzácné či neexistují. My můžeme být anomálií.

Vědci ze SETI jsou nicméně tvrdošíjní – kdo nehledá, ten nenajde. A padesát let je ve vesmíru okamžik.

## 114. Navštívily nás již někdy mimozemské civilizace?

V díle *2001: Vesmírná odysea* ukryli mimozemšťané na Měsíci „alarm“, aby je varoval, pokud by lidstvo přežilo a odvážilo se do vesmíru.

Pokud se v Mléčné dráze někdy vyskytli mimozemšťané cestující vesmírem, je víc než možné, že navštívili naši sluneční soustavu.

Enrico Fermi byl italsko-americký fyzik, který na opuštěném squashovém kurtu Chicagské univerzity sestavil první jaderný reaktor (1942).

Podle Fermiho by se naše galaxie nejnáz zkoumala pomocí „samoreprodukčních sond“. Jedna doletí k nejbližší hvězdě, z tamních prostředků...

...sestaví 2 kopie sebe sama a další sondy „infikují“ galaxii jako virus. Na průzkum veškerých jejích hvězd by stačily desítky milionů let.

Navštívit všechny planetární systémy Mléčné dráhy by proto trvalo jen asi 0,1 % z 10 miliard let, po které naše galaxie existuje.

„Fermiho paradox“: pokud by byli v Galaxii mimozemšťané, museli by na nás narazit. Řečeno nesmrtelnými Enricovými slovy: „Kde všichni jsou?“

Někdo tvrdí, že mimozemšťané nejsou, protože naše civilizace vznikla jako první a je odsouzená k vesmírné samotě; s nikým si nepovídá.

Jiné možnosti: někdo vyhledá každou civilizaci, která jako my začne cestovat do vesmíru. Těž můžeme být v ohrazené „školce“, kam ET nesmějí.

Nedostatek důkazů však nemusí nic znamenat. Pokud mimozemšťané Zemi navštívili, třeba stopy zahladilo počasí a geologické procesy.

Nejpravděpodobnější místo k nalezení mimozemského artefaktu je mrtvé těleso (například Měsíc), kde by přežil věky – jako „monolit“ v *Odysee*.

Dráha Neptunu však ohraničuje prostor o objemu 200 mld. mld. mld. km<sup>3</sup>. Nepochybujeme dost na to, abychom návštěvu mimozemšťanů vyloučili.

# DĚJINY ASTRONOMIE





## 115. Kdo byli první astronomové?

Astronomie je nejstarší vědou – alespoň to tvrdí astronomové. Prvními hvězdáři byli pralidé, kteří přemýšleli, co je slunce, měsíc a hvězdy.

Denní pohyb slunce umožnil vznik hodin. Fáze měsíce a rytmus ročních období nám daly kalendář. Podle hvězd se dalo orientovat.

Rytiny na zvířecí kosti (Francie, 30 000 př. n. l.) mohly být 1. kalendář. Jeskynní malby v Lascaux (15 300 př. n. l.) možná obsahují souhvězdí.

Stonehenge (3100–1600 př. n. l.): primitivní hvězdárna pro sledování ročních období. Při letním slunovratu dál svítá přímo za jedním z menhirů.

Každá kultura ztotožňovala nebeská tělesa s božstvy a jejich pohyb se zdál být jediným vodítkem k odhalení božích plánů.

Výsledek: astrologie – pověra, že události na Zemi jsou řízeny událostmi na nebi. Mnoho lidí tomu stále věří.

V zatmění Slunce a Měsíce, konjunkcích planet, meteorických deštích či průletu komet byla obvykle spatřována předzvěst války nebo hladomoru.

Ve všech kulturách hrají nebeská tělesa významnou roli v mýtech o stvoření. Po tisíce let byla astronomie úzce spjata s náboženstvím.

Na jednom se první astronomové shodli: Země je středem vesmíru. Jděte ven, pohlédněte vzhůru a pochopíte proč.

## 116. Jaké znalosti měly o vesmíru starověké civilizace?

Chabé. Jinak řečeno: stejné, jako byste měli vy, kdybyste se zvědavě rozhlíželi kolem, ale bez optických pomůcek a předběžných znalostí.

Podle Egypťanů byla Země plochá a nebe byla bohyně Nút sehnutá nad bohem Gebem (zemí). Bůh slunce Re její tělo denně přeplouval na lodi.

Jasná hvězda Sirius souvisí s bohyní Isis. Zemědělský význam: poprvé je vidět na ranní obloze v červnu a předznamenává záplavy na Nilu.

Pyramidy jsou orientovány na S, J, V, Z, pozorovací účel ale nemají. Rozšířená představa, že jejich půdorys zrcadlí Orion, bude mylná.

Babyloňané stavěli chrámové věže (zikkuraty) k náboženským účelům, ale i k pozorování noční oblohy. Nechali záznamy psané klínovým písmem.

Nejstarší záznamy: zatmění Měsíce (více než 2000 př. n. l.) a 21leté pozorování Venuše (zvané Ištar) – ta je vidět jako jitřenka a večernice.

V průběhu staletí Babyloňané objevili cyklickou povahu nebeských dějů, jako jsou zatmění a pohyby planet. Tím se je naučili předvídat.

Babyloňané nám zanechali také rozdělení dne na 24 hodin, kruhu na 360 stupňů a zvěrokruhu na dvanáct souhvězdí.

V Číně a Koreji sledovali nebeské události dvorní astrologové. Dochovalo se mnoho záznamů o kometách a „hvězdných hostech“ (supernovách).

Žádná z těchto kultur se nesnažila pochopit, jakými mechanismy se pohyb nebeských těles řídí, brala ho jako něco nadpřirozeného a božského.

## 117. Jaký byl řecký pohled na vesmír?

Řekové věděli mnohem víc. Thalés z Milétu předpověděl zatmění Slunce 28. května 585 př. n. l., které ukončilo médsko-lýdijskou válku.

Parmenidés došel ~500 př. n. l. k závěru, že je Země kulatá. Důvod: stín Země při zatmění Měsíce je vždy kruhový. To dokáže jen koule.

Pythagoras a Platón položili matematikou a geometrií základ pro řecký pohled na svět. Koule a kruh jako dokonalé tvary, důležitá role čísel.

Platónův student Aristotelés (384–322 př. n. l.) přišel s úvahou, že Zemi obklopují neviditelné křišťálové sféry, nesoucí nebeská tělesa.

Aristarchos ze Samu (310–230 př. n. l.) určil, že je Slunce 19x dál než Měsíc. Špatně, zaslouží si však body za snahu.

Pozorováním Slunce v Alexandrii a Syéné (dnešní Asuán) získal Eratosthenés z Kyrény (276–194 př. n. l.) poměrně přesný odhad obvodu Země.

Hipparchos z Nikaie (190–120 př. n. l.) objevil pomalé změny v orientaci zemské osy a sestavil první hvězdný katalog, čítající ~80 hvězd.

Řecký pohled: Zemi obklopuje sedm „planet“ (Měsíc, Merkur, Venuše, Slunce, Mars, Jupiter, Saturn) a nejbzdálenější sféra stálic.

Geocentrické pojetí, kde je Země středem, vylepšil/rozšířil Klaudios Ptolemaios (90–168 n. l.), který žil a působil v Alexandrii.

Složité pohyby planet, které pozoroval, vysvětloval Ptolemaios pomocí „epicyklů“: planeta se pohybuje po kruhu, jehož střed obíhá Zemi.

Země by také nemusela ležet přesně ve středu kruhových oběžných drah. Ptolemaios nakonec potřeboval desítky epicyklů a jiné figle.

Kolem roku 150 n. l. publikoval své představy o zatmění, pohybu planet atd. v souboru 13 svazků, nazvaném *Matematická soustava*.

Ptolemiova kniha (též známá jako *Almagest*) obsahovala také katalog 1022 hvězd a seznam 48 souhvězdí, která se dodnes používají.

## 118. Jak řecké myšlenky přežily středověk?

Ptolemaiova představa geocentrického vesmíru, kde Slunce, Měsíc a planety obíhají uprostřed ležící Zemi, se udržela 1400 let.

Většinu té doby procházela Evropa dobou intelektuálního temna. Řecký odkaz však stále udržovali, ba vylepšovali arabští astronomové.

Islámský zlatý věk (rozkvět umění a vědy, především na panovnických dvorech) trval od 8. století do roku 1258, kdy Bagdád zničili Mongolové.

Chalífa Hárún ar-Rašíd (763–809) dal přeložit řecké texty do arabštiny. Ptolemaiova kniha získala jméno *Almagest* (neboli „velkolepá“).

Mnoho hvězd také nese arabská jména: Aldebaran (následovník), Betelgeuse (podpaží prostředního), Deneb (slepičí ocas), Altair (letící orel).

Perský astronom Abdurrahmán ibn Umar as-Súfí (903–986) publikoval *Knihu stálic*, objevil Galaxii v Andromedě a Velké Magellanovo mračno.

Skvělý pozorovatel byl Abú ar-Rajhán (973–1048). Vynalezl astronomické přístroje, vyvrátil astrologii a tvrdil, že Země obíhá Slunce.

Az-Zarkálí (1029–1087) žil v maurském Toledu ve Španělsku. Sestavil tabulky pro výpočet polohy Slunce, Měsíce a planet.

Gerard z Cremony a další pořídili kolem roku 1175 latinské překlady arabských knih z toledské knihovny, včetně Ptolemaiova *Almagestu*.

Až ve 12. stol. tak evropští učenci získali přístup ke starověkým arabským, řeckým a židovským textům o astronomii, matematice a medicíně.

Arabská astronomie mezitím žila dál. Ulugbek (1394–1449) vybudoval v Samarkandu observatoř. Pouhým okem pořizoval velmi přesná měření.

## 119. Proč mayský kalendář končí rokem 2012?

Prvně je třeba říci: nepropadejte panice. Svět 21. 12. 2012 neskončí. Nedojde ke srážkám planet ani obřím povodním či slunečním superbouřím.

Ano, je to pravda: kalendář starých Mayů praví, že velký cyklus 13 baktunů (144 000 dní jeden) skončí k tomuto datu, a s ním „čtvrtý svět“.

Podle starého mayského přesvědčení předtím podobně skončily už tři světy. Současní Mayové z Guatemaly se však vůbec neznepokojují.

Mayská kultura zažila vrchol kolem 900 n. l., pád po dobytí Španěly v 16. stol. Měla složitou číselnou soustavu a písmo podobné hieroglyfům.

Věděli o „temných souhvězdích“ (prachová mračna v Mléčné dráze), jako je Kondor, Jaguár a Malá lama. Chrámy možná byly též observatořemi.

Žili na jih od obratníku Raka, Slunce tedy 2x do roka procházelo nadhlavníkem. Důležitým datem byl např. každoroční návrat Plejád nad obzor.

Mayové měli také velký zájem o jasnou planetu Venuši s jejími 584denními a 8letými cykly. Jejich znalost astronomie byla však velmi chabá.

Kromě Tzolkinu a Haabu (posvátného a občanského kalendáře) používali pro historické účely tzv. Dlouhého počtu, používaného od 5. století.



Dlouhý počet: 1 baktun = 20 katun, 1 katun = 20 tun, 1 tun = 18 uinal (360 dní), 1 uinal = 20 kin, 1 kin = 1 den. Tj. baktun = 144 000 dní.

Aktuální velký cyklus 13 baktunů (~5125 let) začal 11. srpna 3114 př. n. l. a skončí 21. prosince 2012, kdy začne nový velký cyklus.

Není však žádný důvod k tomu, aby se vesmír řídil kalendářním systémem jedné pozemské kultury. 22. prosince 2012 bude obyčejná sobota.

## 120. Kdo přišel s myšlenkou Slunce jako středu vesmíru?

Mikuláš Koperník (1473–1543) představil heliocentrický systém (středem je Slunce). Vyvolal tím astronomickou revoluci a nahradil Ptolemaia.

Koperník však nebyl první. S touto myšlenkou si pohrával Aristarchos, stejně jako al-Birúní. Aristarchovu práci Koperník téměř jistě znal.

Niklaus Koppernigk (rodné jméno) se narodil v polské Toruni. V deseti přišel o otce. Vychoval ho strýc, biskup Lukáš Watzenrode.

Koperník studoval astronomii, teologii, kanonické právo a medicínu na univerzitách v polském Krakově a v italské Boloni a Padově.

Po návratu do Polska (1497) se stal kanovníkem fromborské katedrály. Měl dost času pracovat na svém pojetí heliocentrického vesmíru.

Kolem roku 1530 dokončil rukopis své knihy *De revolutionibus orbium coelestium* („Oběhy nebeských sfér“).

V roce 1539, kdy bylo Koperníkovi 66 let, jej jeho žák, Georg Joachim von Lauchen (Rheticus), nabádal k její publikaci a našel i tiskárnu.

Knihy vyšla v Norimberku v roce 1543. Legenda praví, že její první výtisk Koperník viděl 24. května, v den své smrti.

Koperníkovo chápání světa: kolem Slunce obíhá Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter a Saturn. Za Saturnem je sféra stálic.

Koperník kupodivu potřeboval stejnou spoustu epicyklů jako Ptolemaios. Proč? Stále se držel řecké představy dokonale kruhových drah.

2005: ve fromborské katedrále objeven Koperníkův hrob. Zveřejněno v r. 2008. Dne 22. května 2010 se mu dostalo druhého, slavnostního pohřbu.

## 121. Kdy se astronomie změnila ve skutečnou vědu?

Evropští astronomové Koperníkův heliocentrický pohled přijali. Pohyby některých planet, zvláště Marsu, však zůstávaly těžko vysvětlitelné.

1609: Johannes Kepler (1571–1630) využil záznamy svého učitele Tycha Braha a problém vyřešil: dráhy planet nejsou kruhy, ale elipsy.

Galileo (1564–1642) jako první zveřejnil, co na nebi odhalí dalekohled. Jupiterovy měsíce a fáze Venuše heliocentrickou teorii podpořily.

V roce 1687 publikoval Isaac Newton (1642–1727) *Philosophiae naturalis principia mathematica*, popisující jeho gravitačního zákon.

Závěr: padající jablko se řídí stejnými zákony jako obíhající planety. Newton poskytl fyzikální základ pro Keplerovy zákony pohybu planet.

Objevy 18. století: pravidelný návrat komet, „vlastní“ pohyb hvězd na obloze a jejich zdánlivý posun („aberrace“, způsobená pohybem Země).

Větší dalekohledy odhalily další hvězdy a mlhoviny a 13. března 1781 i novou planetu: Uran, který objevil William Herschel (1738–1822).

První asteroid: 1801. Vzdálenosti ke hvězdám: 1838. Spirální mlhoviny: 1845. Neptun: 23. září 1846. Sluneční erupce: 1859. Století objevů.

Nové nástroje: fotografie a spektroskopie (rozklad hvězdného světla). Připravily půdu astrofyzice, studiu fyzikálních vlastností hvězd.

V letech 1920–1940 se přišlo se na rozpínání vesmíru, zdroj energie v Slunci a hvězdách a na skutečnou povahu spirálních mlhovin (galaxií).

Současný náhled: lidé jsou částí ohromného, provázaného vesmíru. Tvoří nás hvězdná hmota, bez předchozího vývoje vesmíru bychom tu nebyli.



DALEKOHLED





## 122. Kdo vynalezl dalekohled?

Nikdo přesně neví. První primitivní dalekohledy se mohly objevit koncem 16. století, možná i dříve. Jejich kvalita však byla velmi špatná.

První zmínka o dalekohledu („trubici k vidění do dálky“) je na patentové přihlášce nizozemského optika Hanse Lippersheyho z 25. září 1608.

Lippershey se narodil ~1570 v německém Weselu. Žil v Middelburgu, nizozemském přístavu proslaveném sklářstvím, takže mu řemeslo vzkvétalo.

2. října 1608 předvedl Lippershey svůj dalekohled v Haagu princovi Mořicovi a nizozemským generálním stavům. Princ byl nadšený.

Důvod? Válka mezi Nizozemskem (republika) a Španělskem. Dalekohled na věži mohl odhalit nepřátelská vojska již z dálky a pomoci i na moři.

Jiní ale tvrdí, že vynálezcem byl Zacharias Janssen (další optik a brusič čoček z Middelburgu) či vědec Jacob Metius z Alkmaaru.

Výsledek: patent nebyl nikdy udělen. Díky Lippersheyovi a jeho názorné ukázce se však zpráva o vynálezu rychle rozšířila po celé Evropě.

Léto 1609: anglický astronom Thomas Harriot pořídil první kresby Měsíce podle dalekohledu. Nezveřejnil je, objeveny až ve 20. století.

Jen o trochu později se o nizozemském vynálezu doslechl italský fyzik a astronom Galileo Galilei. Rychle sestrojil mnohem lepší dalekohledy.

Galileo objevil měsíční hory, sluneční skvrny, Jupiterovy měsíce, fáze Venuše, Saturnovy „uši“ (ukázalo se, že jde o prstence) aj.

Zveřejnění Galileových objevů v knize *Sidereus nuncius* („Hvězdný posel“, březen 1610) se označuje za vznik moderní teleskopické astronomie.

Dalekohled byl postupně vylepšován. Zasloužil se o to zejména Johannes Kepler (Němec) a Christiaan Huygens (Nizozemec). Objevy pokračovaly.

## 123. Jak dalekohled funguje?

Dalekohled nabízí ostrý pohled na hvězdy. Čočka v oku dělá to samé, dalekohled však nahromadí více světla a obraz je jasnější/detailnější.

První dalekohledy zaostřovaly světlo hvězd konkávní čočkou. Sklo světelné paprsky ohýbá, proto se takovému dalekohledu říká „refraktor“.

Dobrý příklad: lupa. Čočka soustřeďuje sluneční světlo. V ohnisku je intenzita dostatečná na zapálení papíru nebo tkaničky.

Ve skutečnosti čočka ve své „ohniskové rovině“ tvoří malý obrázek Slunce (či jiného zdroje světla). Zkuste si to s lupou a stolní lampou.

I objektiv dalekohledu promítá do ohniskové roviny obraz sledovaného objektu. Chceme-li jej vidět detailně, musíme použít lupu (okulár).

Refraktor má 2 hlavní prvky, obvykle na opačných koncích tubusu: čočku objektivu (ta obraz zaostří) a lupu/okulár (tou si ho prohlížíme).

Nevýhoda refraktoru: zaostřování se pro různé barvy mírně liší, takže hvězdy vykazují barevné lemování (chromatickou aberaci).

V roce 1668 Isaac Newton vynalezl „reflektor“. Jeho objektiv ostří na hvězdy konkávním zrcadlem místo čoček a odstraňuje tak barevné vady.

Zrcadlo dalekohledu je zakřivené jako zrcátko na holení. Obraz světelného zdroje vzniká také v ohniskové rovině. Zkuste s lampou v koupelně.

Zrcadlo navíc A) potřebuje jedinou dokonale vybroušenou plochu, B) dosáhne bez prohýbání větších rozměrů, protože jde podepřít ze zadu.

Proto jsou všechny velké dalekohledy reflektory. Největší refraktor se 102cm čočkou postaven v r. 1897 v Yerkesově observatoři u Chicaga.

Pro pohodlné sledování lze použít přídavná plochá zrcátka. Hlavním principem dalekohledu je ale vždy objektiv + okulár (či fotoaparát).

Dalekohled je třeba pevně přimontovat. Ideálně by měl být schopný sledovat hvězdu, která kvůli zemské rotaci putuje po obloze.

Ekvatoriální montáž: snadný pohyb, ale velká váha. Azimutální montáž je menší, ale otáčení dalekohledu kolem dvou os musí řídit počítač.

## 124. Proč je větší dalekohled vždy lepší?

Nejde jen o nějaké chlapské poměřování velikostí. Větší dalekohledy (s větší čočkou či zrcadlem) umí odhalit více detailů a slabší objekty.

Zornice, kterou světlo vstupuje do oka, je malá (max. 5 mm). Hvězda tedy musí být jasná, aby poskytla dost světla a sítnice ji zaznamenala.

Pokud by zornice byla mnohem větší, oko by shromáždilo více hvězdného světla a vidělo by mnohem slabší hvězdy. Větší zornicí je dalekohled.

Představte si prázdnou láhev od vína stojící na dešti. Trvá věky, než se naplní. Vložte jí však do hrdla trychtýř a přeteče vám dřív.

Velké čočky nebo zrcadla shromažďují více světla, proto velké dalekohledy vidí slabší objekty (nebo stejně jasné, ale vzdálenější).

Větší teleskopy rozeznají jemnější detaily (lepší prostorové rozlišení). Obyčejná hvězda se v nich může proměnit v dvojhvězdu...

Vyvstanou detaily Měsíce/Marsu, struktura vzdálených galaxií (spirální ramena, plynová mračna, hvězdokupy). Čím víc detailů, tím lépe.

Zvětšení ve skutečnosti není tak důležité. Řekne vám jen to, jak velký obraz se vám promítne na sítnici, ale už ne jak podrobný.

Pokud chcete zapůsobit na majitele dalekohledu, neptejte se „Jaké je zvětšení?“, ale „Jaká je apertura?“ (tj. velikost čočky nebo zrcadla).

To, jak podrobně lze dalekohledem vidět, mimochodem určuje vlnění atmosféry. Světlosběrná plocha zrcadla je proto vždy důležitější.

10m Keckův dalekohled na Havaji je ~650krát větší než 1. dalekohled Galileův. Vidí 650x jemnější detaily a více než 400 000x slabší hvězdy.

## 125. Jak astronomové korigují chvění hvězd?

Chcete-li vidět hvězdy, musí být bezmračná noc. Ani křišťálově jasná obloha však není ideální. Výhled zhoršuje nepokojná atmosféra Země.

Světlo prochází pohyblivými vzduchovými bublinami o různých teplotách (atmosférická turbulence). Bubliny světlo ohýbají podobně jako čočky.

Výsledek: hvězdy se chvějí, mihotají, třpytí a dokonce mohou i měnit barvu. Pro zamilované romantiky krása, pro astronomy však katastrofa.

Bez ohledu na velikost dalekohledu omezuje turbulence rozlišení – přinejlepším na 1 obloukovou vteřinu, což na vzdálenost 1 km činí 5 mm.

Překvapující fakt: slušný amatérský dalekohled má stejné rozlišení jako 10m Keckův dalekohled. Keck samozřejmě zachytí víc světla.

Korekce chvění hvězd se provádí „adaptivní optikou“. Princip: změřit účinky turbulence a průběžně obraz v dalekohledu korigovat.

Senzor 100krát za sekundu změří deformaci vlnoplochy (to, jak je hvězdné světlo chvěním ovlivněno), a rychlý počítač řeší potřebné korekce.

Povrch malého „gumového“ zrcadla lze v blízkosti ohniska deformovat pomocí piezoelektrických krystalů (v reakci na proud se roztahují).

Gumové zrcadlo se tím zvlíná tak, jak je třeba pro eliminaci atmosférického zkreslení. Jako bychom tím atmosféru vlastně odstranili!

Velké dalekohledy pomocí adaptivní optiky (AO) dosahují ostřížního vidění. V současné době jsou AO vybaveny téměř všechny velké dalekohledy.

Vysoko v atmosféře někdy sodíkovým laserem vytvoříme umělou „referenční hvězdu“, která atmosférické zkreslení pomůže odhalit.

AO původně vyvinula americká armáda: špionážní satelity se musí také dívat skrz bouřlivou atmosféru, třebaže dolů a ne nahoru.



## 126. Proč astronomové dalekohledy spojují?

Větší dalekohledy poskytnou ostřejší pohled na vesmír. Stejného výsledku však lze dosáhnout spojením dvou nebo více menších dalekohledů.

Trik této techniky zvané interferometrie je v tom, aby detektor uvěřil, že jsou ona dvě zrcadla součástí jednoho velkého.

Pro lepší pochopení si představme zrcadlo o průměru 100 metrů. Mělo by obrovskou schopnost soustřeďovat světlo a extrémně vysoké rozlišení.

Namalujme na zrcadlo černé skvrny. Zachytí se tak méně světla, ale rozlišení udržíme, pokud zůstanou funkční plochy vzdálené od sebe 100 m.

Zamalujeme-li pak černě celé zrcadlo kromě 2 kruhových 10m skvrn na opačných koncích, výsledný obraz bude tmavý, stále však velmi ostrý.

Nyní černé části odřízněme. Zůstanou dva 10m dalekohledy 100 m od sebe. Dohromady vidí stejně ostře jako pomyslný obří dalekohled.

Trik funguje jen v případě, že detektor v ohnisku dostává světlo z obou dalekohledů „ve fázi“ – vrcholy/minima světelných vln jsou sladěné.

Aby hvězdné světlo vždy dorazilo ve fázi, jsou u dvou pozemních dalekohledů nutné supermoderní „zpožďovací linky“ s přesností na nanometry.

Delší vlnové délky (např. rádiové vlny) tuto přesnost zdaleka nevyžadují. Příkladem radiointerferometru je Very Large Array v Novém Mexiku.

Interferometrii už využívají i velké optické/infračervené dalekohledy. Keckův interferometr spojuje dva 10m dalekohledy ve vzdálenosti 85 m.

European Very Large Telescope v Chile: čtyři stejné dalekohledy (8,2 m) se mohou spojit tak, že poskytnou rozlišení jako 120m dalekohled.

## 127. Jaké jsou největší pozemní dalekohledy?

K roku 2011 bylo na zemském povrchu čtrnáct optických dalekohledů s aperturou větší než 8 metrů. Šest z nich se nachází na jižní polokouli.

Největším je Gran Telescopio Canarias (GTC) na španělském ostrově La Palma. Jeho 10,4m zrcadlo sestává z 36 šestiúhelníkových segmentů.

GTC je navržen podle dvojice 10m Keckových dalekohledů na havajské sopce Mauna Kea, kde dvě kalifornské instituce a NASA vedou observatoř.

Na této 4200m vysoké sopce stojí i japonský 8,3m dalekohled Subaru (japonsky „Plejády“) a mezinárodní 8,1m dalekohled Gemini sever.

Jak název napovídá, Gemini má dvojče (Gemini jih) na Cerro Pachón v severním Chile. Subaru a Gemini mají monolitická (jednodílná) zrcadla.

Několik set kilometrů severně od C. Pachón leží C. Paranal (2635 m), kde stojí Very Large Telescope (VLT) Evropské jižní observatoře (ESO).

VLT je soustavou čtyř identických 8,2m dalekohledů: Antu, Kueyen, Melipal a Yepun (v jazyce Mapučů Slunce, Měsíc, Jižní kříž a Sirius).

Na Mt. Graham v Arizoně je usazen Large Binocular Telescope: dvě 8,4m zrcadla na stejné hoře společně fungují jako interferometr.

Dvěma zbývajícími obřími dalekohledy jsou Hobby-Eberly Telescope (Mt. Fowlkes, Texas) a Southern African Large Telescope (Jižní Afrika).

Oba mají segmentovaná zrcadla o průměru 11 m, kvůli konstrukci je z nich však využíváno jen 9–10 m. Mají navíc omezený výhled na oblohu.

Odlehlé vrcholky hor velkým dalekohledům svědčí: nebe je jasné, suché, tmavé (nízké světelné znečištění) a klidné (vzduch se málo přelévá).

## 128. Kdy bude nahrazen Hubbleův dalekohled?

Hubbleův vesmírný dalekohled na nízké zemské orbitě se jmenuje po americkém kosmologovi Edwinu Hubbleovi. Uvedení do provozu: duben 1990.

Výhody vesmíru? 1) Věčně černá obloha. 2) Atmosféra neobtěžuje turbulencemi. 3) Lze pozorovat infračervené a UV záření (necloní ho vzduch).

Stinná stránka: extrémní náklady, náročná údržba a opravy, a aby šel dalekohled vynést, musel být dost malý. Zrcadlo má průměr jen 2,4 m.

Posádky raketoplánů ho kvůli údržbě navštívily pětkrát. Opravily či vyměnily rozbité díly a namontovaly nové, citlivější fotoaparáty.

Dnes je tak Hubble mnohem lepší než před 20 lety. V astronomii bez přehánění způsobil revoluci. A navíc pořídil úžasné obrázky.

Servisní mise v květnu 2009 však byla poslední. Hubble může klidně fungovat dalších 10 let, ale pokud něco důležitého selže, doslouží.

Hubble se mimochodem nevrátí na Zemi v nedotčeném stavu. Poté, co doslouží, provede řízený sestup do atmosféry a dopadne do oceánu.

NASA buduje Hubbleova nástupce, vesmírný dalekohled Jamese Webba. Projekt je však již léta ve skluzu a velmi výrazně přesahuje rozpočet.

Webb má daleko větší, 6,5 metrové segmentované zrcadlo. Aby citlivé zrcadlo a přístroje uchránil, bude osazený velkou protisluneční clonou.

Webb nebude Zemi obíhat. Místo toho bude umístěn v bodě vzdáleném od ní 1,5 milionu km, na opačné straně než Slunce.

Webb bude sledovat infračervené vlny (teplo), musí tedy operovat daleko od horké Země. Evropská raketa Ariane ho má vynést v roce 2018.

## 129. Jak budou vypadat budoucí dalekohledy?

Od současných dalekohledů se nebudou příliš lišit, jen budou větší, mnohem, mnohem větší. Tak alespoň vypadají na rýsovacím prkně.

Pomocí rotačních pecí je do dalekohledu možné odlít obří, až 8,4 m široká zrcadla z jednoho kusu. Na větší apertury už se musí od lesa.

Jeden z triků (více zrcadel na jednom teleskopu) bude použit při stavbě Obřího Magellanova dalekohledu (GMT) na Cerro Las Campanas v Chile.

GMT bude mít sedm zrcadel o průměru 8,4 m, jedno uprostřed a šest kolem dokola. Společně dosáhnou téhož, co 24,5 m dalekohled.

Další dva plánované dalekohledy budou mít segmentovaná zrcadla jako ten Keckův, jenom tentokrát segmentů nebude 36, ale stovky.

USA a Kanada vedou mezinárodní projekt Thirty Meter Telescope (TMT). Plánované umístění: Mauna Kea na Havaji, poblíž Keckových dalekohledů.

Na Cerro Armazones v severním Chile, blízko Cerro Paranal, plánuje ESO (Evropská jižní observatoř) ještě větší dalekohled o průměru 39,2 m.

ESO již má „opravdu velký“ Very Large Telescope, nový dalekohled tedy nazývá „extrémně velkým“: (European) Extremely Large Telescope, E-ELT.

Při šířce 39,2 m se zrcadlo E-ELT bude pyšnit plochou (a tedy citlivostí) o 70 % větší než třicetimetrový Thirty Meter Telescope.

Budoucí obří dalekohledy mají vesměs stát v letech 2018 až 2022. Nejdříve však musí projít schválením a zajistit si kompletní financování.

V daleké budoucnosti může ESO postavit kolosální 100m dalekohled. Ano, i pro něj už mají neskromný název: Overwhelmingly Large Telescope.



## 130. Jak funguje neutrinový „dalekohled“?

Neutrino: subatomární částice z jaderných reakcí vyrábějících sluneční záření. Zvedněte palec: za sekundu ho prostřelí 100 bilionů neutrin.

Neutrino se vyznačují tím, jak se straní společnosti. Atomy běžné hmoty je nezastaví, přesto s ní neutrino reagují – velmi, velmi zřídka.

Pro detekci neutrin existuje trik: postavit jim do cesty velké množství atomů. To zvyšuje šanci, že se jedno nebo dvě zarazí.

Neutrinový „dalekohled“, např. Super-Kamiokande v útrobách hory v Japonských Alpách, je vlastně desetipodlažní „konzerva“ naplněná vodou.

Neutrino příležitostně interaguje s protonem v molekule vody. Subatomární šrapnel vytvoří ve vodě světelný ekvivalent sonického třesku.

Vzniká „Čerenkovovo záření“ (může i za modré světlo v nádržích jaderných reaktorů) a to zachycují detektory na stěnách konzervy.

Neutrinové dalekohledy musí být hluboko pod zemí, aby byly chráněné před „miony“, kosmickým zářením, které se jako neutrino tváří.

Super-Kamiokande „vyfotografoval“ Slunce – v noci, takže musel sklopit pohled a podívat se skrz 13 000 km horniny na opačnou stranu Země.

Experimenty v Japonsku a USA zachytily neutrino ze supernovy 1987A. První zaznamenaná neutrino zpoza sluneční soustavy.

3 typy, neboli „vůně“ neutrina. Sudbury Neutrino Observatory v Kanadě potvrdila, že neutrina na cestě od Slunce svůj typ za letu mění.

„Oscilace“ vyjasnila, proč průkopnický detektor Roye Davise naplněný „čistící kapalinou“ našel tak málo neutrin. Davis dostal Nobelovu cenu.

Nejnovější, nejcitlivější neutrinový dalekohled: IceCube. Jako detektor používá 1 km<sup>3</sup> antarktického ledu. Dokončen počátkem roku 2011.

Neutrinové dalekohledy budí nadšení. Víme, jak vypadá viditelný vesmír, ale jak vypadá ten neutrinový, o tom dosud nemáme ani ponětí.

# POHLED DO VESMÍRU



## 131. Co je světlo?

Isaac Newton (1643–1727): světlo se skládá z drobných částic, pohybujících se po přímých linkách. Svou teorii popsal v díle *Optika*, 1704.

Christiaan Huygens (1629–1695) nesouhlasil. Tvrdil, že světlo je vlna, stejně jako zvuk. 1690: publikoval teorii ve vlastním spisu o světle.

1801: Thomas Young v Londýně předvedl, že dva světelné paprsky se mohou navzájem zesilovat či rušit (interference) – typická vlastnost vln.

M. Faraday a James C. Maxwell v 19. století zjistili, že světlo je „elektromagnetická“ vlna, pohybující se prostorem rychlostí 300 000 km/s.

Přes zjevně vlnovou povahu světla A. Einstein a R. Millikan prokázali, že se světlo skládá z energetických balíčků („kvant“) zvaných fotony.

V kvantové fyzice má světlo vlastnosti částice i vlny. Energie fotonu souvisí s jeho vlnovou délkou; fotony vykazují interferenci.

Vlnová délka viditelného světla: 380 nm (fialové/vysoká energie) až 780 nm (červené/nízká energie). Sluneční svit se skládá ze všech barev.

Bílé světlo se dá rozložit na celé spektrum jednotlivých barev, buď hranolem, nebo vodními kapkami (vzniká duha).

Pokud zřídlý plyn září, pak jen na určitých vlnových délkách: oranžové světlo sodíkových výbojek, narůžovělá mračna kosmického prachu.

Plyny ve sluneční atmosféře absorbují specifické vlnové délky. Ve spektru se objevují tmavé Fraunhoferovy čáry, nesoucí informaci o složení.

Polarizace světla podává informaci o magnetických polích. Červený nebo modrý posuv spektrálních čar poskytuje informaci o pohybech.

Energetické složení světla (je víc do modra či do červena?) vypovídá o teplotě zářícího tělesa. Světlo zkrátka nese spoustu informací.

Viditelné světlo tvoří jen malou část celého elektromagnetického spektra. Astronomové pomocí přístrojů studují i jiné druhy záření.

## 132. Jaká je rychlost světla a proč je důležitá?

Rychlost světla ( $c$ ) plní ve vesmíru roli nekonečné rychlosti. Tak jako nekonečno zůstává nedosažitelné, nemohou hmotné objekty dosáhnout  $c$ .

Proč je  $c$  nedosažitelná? Energie znamená hmotnost. Pokud se těleso pohybuje rychleji, roste jeho kinetická energie, a tím i hmotnost.

Při rychlosti blížící se  $c$  hmotnost raketově vzroste k nekonečnu. Pokud se něco pohybuje nekonečně rychle, vaše rychlost je zanedbatelná...

Ono cosi se bez ohledu na vaši rychlost jeví nekonečně rychlé. Nezávisle na vaší rychlosti vůči zdroji světla také vždy naměříte stejnou  $c$ .

I když se k vám někdo blíží poloviční rychlostí, než je  $c$ , a svítí vám baterkou do očí, světlo vás nezasáhne rychlostí  $1,5 c$ , ale  $c$ .

Aby každý naměřil světlu stejnou rychlost (vzdálenost za čas), musí se různá vnímání vzdálenosti (prostoru) a času různit.

To, jak se u kolemjdoucího pozorovatele mění prostorová a časová měřítka, závisí čistě na tom, jak rychle se vůči vám pohybuje.

„Pohybující se hodiny jdou pomaleji, pravítka se zkracují“. Procházející osoba se jeví zpomalená a zploštělá ve směru pohybu.

„Dilatace času“ a „Lorentzova kontrakce“ jsou však pozorovatelné, pouze pokud se vůči vám někdo pohybuje rychlostí zdatelně blízkou  $c$ .

$c$  je více než milionkrát rychlejší než dopravní letadlo (300 000 km/s), účinky „speciální relativity“ jsou tak ve všedním životě neznatelné.

Kdybychom však letěli ke hvězdám a zpět rychlostí blízkou  $c$ , čas by nám plynul tak pomalu, že by mezitím na Zemi mohly uplynout miliony let.



## 133. Čemu naslouchají radioteleskopy?

Rádiové vlny jsou elektromagnetické vlnění o vlnové délce větší než 1 cm. Z celého elektromagnetického spektra mají nejnižší energii.

1930: Karl Jansky, radioinženýr v Bellových telefonních laboratořích, objevil rádiové vlny původem z Mléčné dráhy. Vznikla radioastronomie.

1937: Grote Reber (USA) si na dvorku postavil otočnou parabolickou anténu. Sestavil s ní rádiovou mapu oblohy včetně jednotlivých zdrojů.

Výhoda radioastronomie: kosmické rádiové vlny se dají studovat za jasného denního světla, dokonce i za lijáků či chumelení.

Za 2. světové války nizozemský astronom Henk van de Hulst odhalil, že chladný, neutrální vodíkový plyn má emitovat slabé, 21cm rádiové vlny.

21cm vlnění zaznamenali jako první v březnu 1951 Harold Ewen a Edward Purcell na Harvardu, hned v květnu se totéž povedlo Nizozemcům.

Brzy byly postaveny velké radioteleskopy v nizozemském Dwingeloo (1956, průměr 25 m) a v anglickém Jodrell Bank (1957, 76 m).

Pomocí radioteleskopů dokázali astronomové zmapovat spirální strukturu naší galaxie a chladné vnější oblasti jiných galaxií.

Radioteleskopy zachytily i „synchrotronové záření“ (na mnoha vln. délkách): záření rychlých elektronů kroužících kolem magnetických

Radioastronomie tedy umožňuje studium rychle rotujících pulsarů, aktivních galaxií, dalekých kvasarů i proudů energie z černých děr.

Největší radioanténa (305 m): v údolí ve tvaru mísy v portorickém Arecibu. Největší pohyblivá anténa: Green Bank, Virginie (100 x 110 m).

Very Large Array (Nové Mexiko) a Westerbork Array (Nizozemsko) patří mezi největší interferometry: menší, síťově propojené antény.

Na jižní polokouli se chystá Square Kilometre Array (SKA) s tisíci malých antén o úhrnné ploše 1 km<sup>2</sup>, největší radiová observatoř všech dob.

## 134. Jak vypadá mikrovlnná obloha?

Když se podíváte na noční oblohu, uvidíte rozesté hvězdy. Nejnápadnějším rysem noční oblohy však je její převážně černá barva.

Viditelné světlo je jen výsečí „elektromagnetického spektra“. Neviditelné světlo, to je mj. rentgenové záření, infračervené+rádiové vlny...

Představte si, že máte „magické brýle“ a jen otáčením knoflíku na obroučkách můžete měnit typ světla, které uvidíte.

Naladíte-li brýle na rentgenové paprsky, uvidíte např. černé díry, obloha však zůstane převážně temná. Pro ostatní typy světla je to stejné.

S výjimkou mikrovln (rádiových vln o krátké vlnové délce), „světla“ využívaného mobilními telefony, televizemi a samozřejmě mikrovlnkami.

Pokud brýle naladíte na mikrovlny, na obloze přestane převládat černá; naopak nastoupí jednolitá, oslňující bílá.

To, co vidíte, je „dosvit“ velkého třesku, který i po neuvěřitelných 13,7 miliardách let prostupuje celým vesmírem.

„Reliktní záření“, rozpínáním vesmíru ochlazené na  $-270$  °C, tvoří 99,9 % všech fotonů ve vesmíru.

Dívejte se však pozorně a zjistíte, že dosvit není stejnoměrně bílý. Některá místa jsou o trochu jasnější nebo tmavší než průměr.

„Dosvit stvoření“ dává chladnými a horkými oblastmi najevo, jak se po velkém třesku začala hmota shlukovat do vůbec prvních galaxií.

Dosvit velkého třesku nám ukazuje vesmír 380 000 let po jeho vzniku. Hlub do minulosti už pomocí světla nedohlédneme.

Skutečnost, že vesmír – veškerý prostor – stále září zbytkovým teplem, je nejvýraznějším důkazem, že začal velkým třeskem.

## 135. Jak astronomové měří teplotu vesmíru?

Infračervené záření o vlnové délce v rozmezí mezi 700 nanometry a 1 milimetrem objevil v roce 1800 William Herschel (1738–1822).

Herschel hranolem rozložil spektrum slunečního světla od červené po modrou a pomocí teploměrů změřil energii jednotlivých barev.

Zjistil, že energii naměří i teploměr umístěný až za červenou část spektra, za což patrně může neviditelné záření o velké vlnové délce.

Dnes je tepelné infračervené záření (IČ) dobře známé. Využití: brýle pro noční vidění či běžně dostupné kamery pro záznam nočních scén.

Chladné objekty, např. tmavá prachová mračna, vyzařují většinu své energie na IČ vlnových délkách. IČ astronomie odhaluje zaprášený vesmír.

V IČ světle je prach průhledný. IČ dalekohledy odhalují protohvězdy zasazené v oblacích prachu, i když je viditelné světlo absorbováno.

Potíž: v zemské atmosféře IČ záření částečně absorbuje vodní pára. Dalekohled musí být na vysoké hoře nebo ve vesmíru.

Obří pozemní dalekohledy (Keckův, VLT) dnes kromě aparátů pro viditelné světlo mívají rovněž detektory „blízkého infračerveného záření“.

První IČ detektory nešly zaměřit přesným směrem, takže místo ostrého IČ snímkování oblohy poskytovaly jen rozmazané obrázky.

Dnes už i ve své kameře naleznete CCD detektor citlivý na IČ záření. Technologie se vyrovnala té, která se používá pro viditelné světlo.

Aby bylo slabé IČ záření z vesmíru „vidět“, musí být detektory vždy ochlazeny na hodnotu blízkou absolutní nule (např. tekutým heliem).

První IČ mapy oblohy poskytla družice IRAS (1983). Označila 350 000 zdrojů, včetně protoplanetárních disků a vzdálených prашných galaxií.

Četní následníci, mj. Spitzerův vesmírný dalekohled (NASA, 2003) a Herschelova vesm. observatoř (ESA, 2009). I Hubble snímkuje v blízkém IČ.

Budoucí 6,5m vesmírný dalekohled Jamese Webba (NASA/ESA, Hubbleův nástupce, start 2018) bude zejména pozorovat v IČ vlnových délkách.

## 136. Jak vypadá ultrafialová obloha?

Ultrafialové (UV) světlo má vlnovou délku v rozmezí 10 až 400 nm. Lidem je neviditelné, ale některá zvířata, například včely, UV vidí.

UV fotony přenášejí mnohem více energie než fotony viditelného světla. Proto UV světlo ze Slunce způsobuje spálení či dokonce rakovinu kůže.

Většina UV záření se absorbuje v zemské atmosféře, hlavně díky ozonu. Proto bylo ztenčování ozonové vrstvy působením freonů znepokojující.

Jen velmi horké objekty, jako jsou mladé, masivní hvězdy a zhuštění bílí trpaslíci, vyzařují většinu své energie na UV vlnových délkách.

Většina hvězd je v UV oblasti slabší než ve viditelném světle. Pokud by naše oči byly citlivé na UV, noční obloha by byla značně nezajímavá.

Kosmické UV záření může být studováno pouze z vesmíru. Slavné UV satelity: International Ultraviolet Explorer (IUE, 1978–1996), FUSE (1999).

I Hubble má UV spektrograf/fotoaparát zvaný STIS. Instalován byl v roce 1997, v roce 2004 se porouchal a roku 2009 jej astronauti opravili.

Dnes je nejaktivnějším vesmírným UV dalekohledem GALEX (Galaxy Evolution Explorer, vypuštěn 2003). Studuje vznik hvězd v dalekých galaxiích.

UV dalekohledy možná odhalí „teplou až horkou mezigalaktickou hmotu“ (WHIM), velmi řídký plyn mezi galaxiemi a jejich kupami.

Atomy kyslíku a dusíku přicházejí ve WHIM o elektrony a prozradí se tím, že vstřebají určité UV vlnové délky ze světla vzdálených kvasarů.

UV aparáty, součást slunečních kosmických dalekohledů jako SOHO a Solar Dynamics Observatory, mezitím sledují explozivní sluneční erupce.



## 137. Jak astronomové rentgenují vesmír?

Rentgenové záření (vlnová délka 0,01 až 10 nanometrů) a gama záření (0,01 nm a méně) mají ze všeho přírodního záření nejvyšší energii.

Rentgenové záření se používá pro lékařské účely. Má dost energie, aby prošlo lidskou tkání a v příliš vysokých dávkách způsobilo rakovinu.

Záření gama má energie ještě víc. Vzniká při jaderných reakcích. Může být smrtelné. Atmosféra nás naštěstí před oběma typy záření chrání.

1949: raketa s detektorem zaznamenala rentgenové paprsky ze Slunce. 1962: další raketa odhalila Scorpius X-1, 1. rentgenový zdroj v kosmu.

Od té doby se rentgenovému záření věnovalo mnoho družic, např. Chandra (NASA) a XMM-Newton (ESA), z nichž obě fungují i dnes.

Zrcadlem dalekohledu by rentgenové paprsky prošly, pro měření spekter či pořizování snímků je tedy nutná speciální optika nebo detektory.

Rentgenové paprsky produkuje extrémně horký plyn o milionech stupňů, pokud je např. tažen do černé díry nebo ho zasáhne výbuch supernovy.

Ke gama družicím patří Comptonova gama observatoř (1991–2000) nebo INTEGRAL (ESA) a Fermi (NASA), obě v současnosti v provozu.

Zásadní je výzkum gama záblesků. Žádná jiná událost nevydá tolik energie; doprovázejí výbuchy obřích hvězd či slučování hvězd neutronových.

Vzájemná anihilace hmoty a antihmoty a rozpad hypotetických částic temné hmoty mají také za následek vznik difúzního záření gama.

Vysokoenergetické fotony gama záření produkují v zemské atmosféře spršky sekundárních částic, pozorovatelné pomocí pozemních přístrojů.

Gama a rentgenové záření odkrývají zapáleným astronomům vysokoenergetický vesmír: nejžhavější, nejdramatičtější a nejprudší přírodní děje.

## 138. Co je kosmické záření?

Jedná se o průrazné, elektricky nabitě částice z vesmíru, jejichž původ je poměrně nejasný.

Rakušan Victor Hess vypustil v roce 1912 balón do výšky 5300 m a zjistil, že ve větších výškách chybí atomům vzduchu více elektronů.

Americký fyzik Robert Millikan se mylně domníval, že tuto „ionizaci“ způsobují vysokoenergetické fotony. Zavedl termín „kosmické záření“.

Přibližně 90 % částic kosmického záření jsou protony (jádra atomů vodíku), 9 % jsou částice alfa (jádra helia), 1 % tvoří těžší jádra.

Když kosmické záření koliduje s molekulami vzduchu, vyvolá spršky sekundárních částic a velmi slabou záři známou jako Čerenkovovo záření.

Pozemní detektory částic, rozesté na velké ploše, tyto spršky zaznamenají, a citlivé světelné detektory zachytí i Čerenkovovo záření.

Observatoř Pierra Augera v Argentině je dnes nejlepší observatoří pro výzkum kosmického záření: 1600 detektorů na ploše 3000 km<sup>2</sup>.

Nabitě částice jsou bohužel odchylovány magnetickým polem Mléčné dráhy, takže směr jejich dopadu na Zemi nezávisí na místě jejich původu.

Tzv. kosmické záření o extrémních energiích tvoří protony pohybující se téměř  $c$ . Energií se rovnají tenisovému míčku při dobrém podání.

Toto záření (UHECR) může dosáhnout až padesátimilionkrát větší energie než jakákoli částice stvořená v našich částicových urychlovačích.

UHECR je velmi vzácné a je těžké ho vychýlit. Může pocházet z blízkých aktivních galaxií s černými dírami ve středu.

Kosmické záření o menší energii je pravděpodobně urychlováno tlakovými vlnami z explozí supernov, přesný mechanismus však zůstává nejasný.

## 139. Co o vesmíru prozrazují kosmická neutrina?

Neutrina jsou téměř nehmotné subatomární částice. Jen zřídka interagují s jinými částicemi, což je činí těžko odhalitelnými.

Postuloval je v r. 1930 Wolfgang Pauli, aby vysvětlil částicové experimenty. K jejich první detekci došlo v jaderném reaktoru v roce 1956.

Neutrina vyplňují vesmír. Každou sekundu vaše tělo rychlostí světla zaplaví přibližně 400 bilionů neutrin.

Mnoho neutrin vzniklo během velkého třesku. Ostatní jsou tvořena při jaderných reakcích v hvězdných jádrech a během výbuchů supernov.

Neutrina můžeme detekovat, pokud sledujeme velké množství vody: velmi zřídka interagují s atomy, při čemž vznikají drobné záblesky světla.

Detektory jsou pod zemí, chráněné před kosmickým zářením. Některé velké neutrinové detektory: Super-Kamiokande (Japonsko), Sudbury (Kanada).

Dosud největším je „neutrinová observatoř IceCube“ na jižním pólu: 1 krychlový kilometr ledu, obsahující tisíce optických detektorů.

Většina neutrin směřujících k Zemi pochází ze slunečního jádra. V roce 1987 byla neočekávaně detekována neutrina z exploze blízké supernovy.

Při cestování vesmírem neutrina mění „typ“ (elektronové/mionové/tauonové neutrimo). To je možné pouze tehdy, pokud mají nenulovou hmotnost.

Neutrína jsou nicméně tak lehká, že ani zbytková neutrína z velkého třesku nemohou vysvětlit temnou hmotu, ačkoliv jich je velmi mnoho.

Neutrína jsou jedinými přímými „posly“ ze slunečního jádra. Studium kosmických neutrin může také vnést světlo do výbuchů supernov.

Nicméně hlavním cílem neutrinové astronomie je dozvědět se více o základních vlastnostech přírody, možná dokonce i o záhadné temné hmotě.

## 140. Co jsou gravitační vlny?

Gravitační vlny jsou hypotetická zvlnění v látce časoprostoru. Pohybují se rychlostí světla a šíří se podobně jako vlnky na vodní hladině.

Podle Einsteinovy obecné teorie relativity může být pevná 4rozměrná struktura časoprostoru přítomností hmoty deformována/zakřivena.

Zrychlující hmota pak vysílá časoprostorem vlny, které jí berou energii. Tento proces se někdy nazývá gravitační záření.

1974: Russell Hulse a Joe Taylor přišli na to, že binární pulsar B1913+16 ztrácí oběžnou energii a dráha se mu zužuje cca o 3,5 m za rok.

Ztráta energie je v přesné shodě s výpočty obecné relativity. Binární pulsar podle všeho vyzařuje gravitační vlny.

Kvůli malé amplitudě vlny je nicméně přímá detekce velmi obtížná. Detektory používají laserové paprsky v kilometrových vakuových trubcích.

Ani citlivé americké detektory LIGO se nikdy nesetkaly s úspěchem. Zvýšení jejich citlivosti v roce 2014 to však může změnit.

Předpokládané zdroje gravitačních vln: obíhající masivní tělesa, výbuchy supernov, gama záblesky, černé díry pohlcující hvězdy.

Budoucí vesmírné detektory by také mohly být schopny zaznamenat vysokofrekvenční gravitační vlny, které jsou pozůstatky po velkém třesku.

Gravitační vlny otvírají astronomii zcela nové okno do vesmíru. Mohou odhalit jevy, které člověk nikdy předtím nepozoroval. Není to skvělé?





## **Poděkování**

Govert by rád poděkovat svým fanouškům na Twitteru za to, že se vždy po týdnu se zájmem vraceli k jeho astronomické „twýuce“, jež vyústila v tuto knihu. A Marcusovi za jeho nadšení pro spolupráci na *Vesmíru v tweetech*.

Marcus by chtěl za důvěru a podporu poděkovat Neilu Beltonovi, Henrymu Volansovi, Stephenu Pageovi, Felicity Bryanové a Karen Chilverové. A Govertovi, jak jinak.

**Marcus Shown**

# **KVANTOVÁ TEORIE NIKOHO NEZABIJE**

**Průvodce vesmírem**



„Poté, co jsem přečetl nespočet knih, které údajně vysvětlují kvantovou teorii a teorii relativity i naprostým laikům, a nebyl jsem z nich příliš moudrý, jsem se rozhodl, že to přece musí jít i jinak – a napsal jsem tuto knihu,“ tvrdí autor. Po Vesmíru hned vedle (2003) a Čarodějné peci (2005) se tak českým čtenářům se dostává do rukou již třetí kniha Marcuse Chowna, známého

popularizátora kosmologie a v současné době odborného poradce časopisu New Scientist. Chcete pochopit základní principy vesmíru, v němž žijeme? Chcete se dozvědět, jak je možné, že se celé lidstvo vejde do jediné kostky cukru? Proč každé vaše nadechnutí obsahuje atom, který vydechla Marilyn Monroe? Proč v nejvyšším patře budovy stárnete rychleji než v přízemí? Kvantová teorie, obecná i specifická teorie relativity, velký třesk, pravděpodobnostní vlny, kvantová „zapletenost“... To vše, slovy Jiřího Grygara, v podání „autora s mimořádným smyslem pro paradoxy a provokace všeho druhu (...), který umí čtenáře doslova přikovat ke svému textu.“

## UKÁZKA

### Vdechujeme Einsteina

JAK JSME PŘIŠLI NA TO, ŽE SE VŠE SKLÁDÁ Z ATOMŮ A ŽE ATOMY JSOU PŘEVÁŽNĚ PRÁZDNÝ PROSTOR

*Atom vodíku, který je součástí buňky na pokožce mého nosu, kdysi patřil třeba do chobotu nějakého slona.*

Jostein Gaarder

*Nikdy jsme neměli v úmyslu tu zbraň použít. Ale oni byli tak nesnesitelná rasa! Navzdory všem našim snahám je uklidnit trvali na tom, že v nás budou vidět „nepřítele“. Když na naši vesmírnou loď, obíhající vysoko nad jejich modrou planetou, vypálili celý arzenál svých jaderných zbraní, byla naše trpělivost zkrátka u konce.*



Démokritos tento hypotetický stavební prvek veškeré hmoty atom.

Atomy byly příliš malé, než abychom je mohli vnímat našimi smysly, a tak dokázat jejich existenci bylo vždycky obtížné. Na způsob, jak to provést, nakonec přece jen přišel v osmnáctém století švýcarský matematik Daniel Bernoulli. Uvědomil si, že když atomy nemůžeme pozorovat přímo, mohli bychom je pozorovat nepřímo. Zejména se domníval, že pokud bude dostatečně velké množství atomů působit společně, mohl by účinek jejich působení být v každodenním světě pozorovatelný. Teď bylo jen třeba najít místo, kde k tomu v přírodě dochází. Bernoulli takové místo objevil – byl jím „plyn“.

Představoval si plyn, například vzduch či páru, jako shluk miliard miliard atomů v neustálém zběsilém pohybu, něco jako roj rozzuřených včel. Tato barvitá představa okamžitě nabízela vysvětlení pro „tlak“ plynu, který působí na stěny nafouknutého balonu nebo tlačí na píst parního stroje. Pokud je uzavřeme do nějaké nádoby, budou atomy plynu neustále bubnovat na stěny podobně jako kroupy na plechovou střechu. Výsledkem jejich společného působení bude kolísavá síla, která bude našim nedokonalým smyslům připadat jako konstantní tlak působící na stěny.

Bernoulliho mikroskopické vysvětlení tlaku však nabízelo více než jen uspokojujivý mentální obraz toho, co se děje uvnitř plynu. Především vedlo ke konkrétní předpovědi. Pokud plyn stlačíme do poloviny původního objemu, urazí atomy plynu jen poloviční vzdálenost, než narazí na stěny nádoby. Budou se uvnitř nádoby srážet dvakrát tak často a tlak se zdvojnásobí. Pokud objem zmenšíme na třetinu, budou se srážet třikrát častěji a tlak bude trojnásobný. A tak dále.

A přesně takové chování pozoroval anglický vědec Robert Boyle v roce 1660. Potvrzovalo Bernoulliho představu o povaze plynu. A protože Bernoulli si představoval maličké, zrnkům podobné atomy poletující sem a tam, teorie o existenci atomů tím byla podpořena. Navzdory tomuto úspěchu přišel definitivní důkaz až na začátku dvacátého století. Skrýval se pod poněkud záhadným jevem zvaným Brownův pohyb.

Brownův pohyb dostal své jméno po Robertu Brownovi, botanikovi plavícím se roku 1801 s Flindersovou výpravou do Austrálie. Během doby strávené u protinožců pojmenoval a zařadil 4 000 druhů tamějších rostlin a objevil při tom jádro živé buňky. Nejvíce se ale proslavil svým pozorováním zrněk pylu vznášejících se ve vodě z roku 1827. Brownovi, mžourajícímu do okuláru mikroskopu, připadalo, že se zrnka pohybují zvláštním trhavým pohybem, štrádují si to tekutinou sem a tam jako opilci na cestě domů z hospody.

Brown tajemství neukázněných pylových zrněk nikdy nevyřešil. Tento objev čekal až na šestadvacetiletého Alberta Einsteina během možná největší exploze kreativity v historii vědy. Ve svém „záračném roce“ 1905 Einstein nejen svrhl z trůnu Newtona a nahradil newtonovské představy o pohybu těles svou speciální teorií relativity, ale ještě konečně rozlouskl osmdesát let starou záhadu Brownova pohybu.

Podle Einsteina byla důvodem bláznivého tance pylových zrněk skutečnost, že jsou pod neustálou palbou vodních molekul. Představme si ohromný nafukovací balon, větší než člověk, který po poli kutálí velké množství lidí. Pokud každý človíček tlačí svým směrem bez ohledu na ostatní, vždy bude na jedné straně o něco více lidí než na druhé. V důsledku této nerovnováhy se bude balon po poli pohybovat nepředvídatelně.

Stejně tak může za chaotickým pohybem pylového zrnka vést to, že z jedné strany do něj naráží více molekul vody než z druhé.

Einstein vypracoval matematickou teorii popisující Brownův pohyb. Předpovídala, jak daleko a jak rychle by se mělo průměrné pylové zrnko pohybovat v reakci na neustálé bombardování molekulami vody všude kolem. Všechno závisí na velikosti vodních molekul: čím jsou větší, tím větší je nerovnováha sil působících na pylové zrnko a tím výraznější bude výsledný Brownův pohyb.

Francouzský fyzik Jean Baptist Perrin porovnal svá pozorování ve vodě rozptýlených částic „gumiguty“, lepkavé žluté pryskyřice z kambodžského gumovníku, s předpověďmi Einsteinovy teorie. Dokázal odvodit velikost vodních molekul a tím pádem i atomů, z nichž se skládají. Došel k závěru, že atomy mají průměr jen deset miliardtin metru ( $10^{-8}$ ) – jsou tedy tak malé, že by bylo třeba naskládat jich vedle sebe 10 milionů, aby utvořily jedinou tečku na konci věty.

Atomy jsou ve skutečnosti tak malé, že kdyby se miliardy miliard atomů obsažené v jediném vydechnutí rovnoměrně rozprostřely v zemské atmosféře, každý kousek atmosféry o objemu jediného nadechnutí by musel několik těchto atomů obsahovat. Jinými slovy, každý váš nádech obsahuje alespoň jeden atom, který vydechl Albert Einstein – nebo Julius Caesar, Marilyn Monroe či dokonce poslední Tyrannosaurus Rex procházející se po Zemi!

Atomy zemské biosféry se navíc neustále recyklují. Když nějaký organismus zemře, rozloží se. Atomy, které ho tvořily, se vracejí do půdy i do atmosféry a stávají se součástí rostlin, které později zvířata a lidé zkonzumují. „Atom uhlíku v mém srdečním

svalu třeba někdy vězel v kůži dinosaura,“ píše norský spisovatel Jostein Gaarder v *Sofiině světě*.

Brownův pohyb byl nejpádnejším důkazem existence atomů. Nikdo, kdo sledoval v mikroskopu bláznivý taneček neustále bombardovaných pylových zrněk, nemohl pochybovat o tom, že se svět skládá z nepatrných, kulkám podobných částíček. Ale sledovat trhaný pohyb pylových zrněk – účinek atomů – není totéž jako *vidět* samotné atomy. Na to bylo třeba si počkat do roku 1980, do vynálezu pozoruhodného přístroje zvaného řádkovací tunelový mikroskop (též STM podle anglického Scanning Tunelling Microscope).

Nápad, který stál za zrodem STM, jak se mu dnes říká, byl velmi prostý. Slepý člověk „vidí“ tváře ostatních lidí prostě tak, že po nich přejede prsty a v myslí si vytvoří jejich obraz. Podobně funguje i STM. Rozdíl je v tom, že tentokrát jde o kovový „prst“, maličký hrot sondy, který připomíná dnes už zastaralou gramofonovou jehlu. Když přejedeme jehlou po povrchu materiálu a její pohyb nahoru a dolů načteme do počítače, můžeme sestavit podrobný obraz vlnitého terénu atomů, jeho hor a údolí.

Tak prosté to samozřejmě není. Princip vynálezu je sice velmi jednoduchý, jeho realizaci však stály v cestě ohromné praktické překážky. Například bylo nutné nalézt dostatečně jemnou jehlu, která by dokázala „nahmatat“ atomy. Výbor udělující Nobelovu cenu si jistě byl těchto potíží dobře vědom. Gerdu Binnigovi a Heinrichu Rohrerovi, výzkumným pracovníkům IBM, kteří stáli za zrodem STM, přiškl v roce 1986 Nobelovu cenu za fyziku.

Binnig a Rohrer byli první lidé v historii, kteří doopravdy „viděli“ atom. Jejich obrazy z STM bezesporu patřily k těm nejpozoruhodnějším v historii vědy, spolu s fotografií Země



vycházející nad šedou pustinou Měsíce nebo záznamem strmého točitého schodiště dvojité šroubovice DNA. Atomy vypadaly jako miniaturní fotbalové míče, jako pomeranče vyrovnané v řadách v přepravce. Ze všeho nejvíc však připomínaly maličká tvrdá zrnka hmoty, která Démokritos viděl tak zřetelně ve své mysli před necelými dvěma a půl tisíci lety. Nikdo zatím nevyslovil vědeckou předpověď, která by byla experimentálně potvrzena po tak dlouhé době.

Ale STM odhalil jen jednu stránku atomu. Jak si uvědomoval už Démokritos, atomy jsou mnohem více než jen maličká zrnka v nekonečném pohybu.

### ***Přírodní kostky lega***

Atomy jsou přírodní kostky lega. Mají různé velikosti i tvary, a když je pospojujeme nekonečným počtem způsobů, můžeme vytvořit růži, zlatou cihlu nebo lidskou bytost. Vše je jen otázka různých kombinací.

Americký držitel Nobelovy ceny Richard Feynman prohlásil: „Kdyby při nějaké katastrofě měly být zničeny veškeré vědecké poznatky a pro budoucí generace mohla být zachována jediná věta, které tvrzení by předalo nejvíce informací co nejméně slovy?“ Nezaváhal ani na chvíli: „Všechno se skládá z atomů.“

Nejdůležitějším krokem k důkazu, že atomy jsou přírodní kostky lega, byla identifikace různých druhů atomů. Skutečnost, že atomy jsou příliš malé pro přímé pozorování našimi smysly, však činila takový úkol přinejmenším stejně obrovský jako dokázat, že atomy jsou nepatrná zrnka hmoty v nekonečném pohybu. Jediný způsob, jak identifikovat různé typy atomů, bylo nalézt látky skládající se výlučně z atomů téhož druhu.

V roce 1789 sestavil francouzský šlechtic Antoine Lavoisier seznam látek, o nichž se domníval, že je nelze v žádném případě rozdělit na látky jednodušší. Na jeho seznamu bylo 23 „prvků“. I když se později ukázalo, že některé z nich prvky nejsou, mnohé, včetně zlata, stříbra, železa a rtuti, elementární skutečně byly. Do čtyřiceti let po Lavoisierově smrti pod gilotinou v roce 1794 se seznam prvků rozrostl téměř k padesátce. Dnes známe 92 v přírodě se vyskytujících prvků, od nejlehčího vodíku až po nejtěžší uran.

Čím se ale jeden atom liší od druhého? Jak se například atom vodíku liší od atomu uranu? Odpověď by nám mohlo dát jen zkoumání jejich vnitřní struktury. Jenže atomy jsou tak neskutečně malé. Zdálo se nemožné, že by někdo mohl objevit způsob, jak se do nich podívat. A přece se jeden takový člověk našel – Novozélandčan Ernest Rutherford. Přišel na geniální myšlenku: využít atomy k nahlédnutí do jiných atomů.

### *Mol v katedrále*

Stavbu atomu nám odhalil jev objevený francouzským chemikem Henrim Becquerelem v roce 1896: radioaktivita. Mezi lety 1901 a 1903 našel Rutherford společně s anglickým chemikem Frederickem Soddyem přesvědčivé důkazy, že radioaktivní atom je zkrátka těžký atom, ve kterém to vše přebytečnou energií. Nakonec se této nadbytečné energie nevyhnutelně zbavuje, za vteřinu, za rok či za milion let, a to tak, že ve vysoké rychlosti uvolní nějakou částici. Fyzikové říkají, že se atom rozpadá na atom lehčího prvku.

Jednou z částic rozpadu byla alfa částice, což, jak dokázali Rutherford a mladý německý fyzik Hans Geiger, není nic jiného než atom helia, druhý nejlehčí prvek po vodíku.

V roce 1903 Rutherford změřil rychlost alfa částic uvolňovaných z atomů radioaktivního radia. Byla neuvěřitelných 25 000 kilometrů za sekundu – tedy stotisíckrát vyšší než rychlost moderního tryskového letadla. Rutherford si uvědomil, že tady se mu nabízí perfektní kulka, kterou může vpálit do atomů a zjistit, co se skrývá v jejich nitru.

Myšlenka to byla prostá: ostřelujte atomy alfa částicemi. Pokud narazí na něco tvrdého, co jim bude stát v cestě, odkloní se ze své dráhy. Když vypálíme tisíce a tisíce alfa částic a budeme pozorovat, jak a kam se odrážejí, dostaneme podrobný obrázek nitra atomu.

Rutherfordův experiment provedli v roce 1909 Geiger a mladý novozélandský fyzik Ernest Marsden. Při svém rozptylovém experimentu s alfa částicemi použili malý vzorek radia, z něhož vyletovaly alfa částice jako mikroskopický ohňostroj. Vzorek umístili za olověnou clonu s tenkou štěrbinou, takže na vzdálenější straně vždy vyletoval uzoučký svazek alfa částic. Šlo vlastně o nejmenší samopal na světě, pálicí mikroskopickými střelami.

Do palební linie umístili Geiger a Marsden zlatou fólii o tloušťce pouhých několik tisíc atomů. Byla natolik tenká, aby jí všechny alfa částice z miniaturního samopalu prošly. Zároveň však byla dostatečně silná na to, aby se některé částice při průchodu fólií ocitly dostatečně blízko atomům zlata, a mírně se tak odchýlily od své dráhy.

V době Geigerova a Marsdenova experimentu už byla jedna částice atomu známa. V roce 1895 objevil britský fyzik J. J. Thomson elektron. Ukázalo se, že právě tyto směšně malé částice (každá z nich je asi dvoutisíckrát menší než atom vodíku) jsou nepolapitelnými částicemi elektřiny. Vytržené z atomů

proudí spolu s miliardami dalších měděným drátem a tvoří elektrický proud.

Elektron tak byl první známou subatomární částicí. Nesl záporný elektrický náboj. Nikdo přesně neví, co vlastně elektrický náboj je, ví se jen, že se vyskytuje ve dvou formách: jako záporný a kladný. Obyčejná hmota, která se skládá z atomů, nemá žádný úhrnný elektrický náboj. V běžných atomech je tedy záporný náboj elektronů vždy dokonale vyvážen kladným nábojem něčeho jiného. Pro elektrický náboj je charakteristické, že opačné náboje se přitahují, stejné odpuzují. V důsledku toho musí existovat přitažlivá síla mezi záporně nabitými elektrony atomu a čímsi kladně nabitým. Tato přitažlivost drží celý atom pohromadě.

Zanedlouho po objevení elektronu použil Thomson tyto informace k sestavení prvního vědeckého obrazu atomu. Představoval si ho jako velké množství maličkých elektronů, uvízlých jako „rozinky ve švestkovém pudinku“ v kouli rovnoměrně rozptýleného kladného elektrického náboje. Geiger a Marsden očekávali, že se jim při jejich rozptylovém experimentu s částicemi alfa podaří tento Thomsonův model potvrdit.

Ale byli zklamáni.

Jev, který měl na svědomí zánik „pudinkového“ modelu, se sice neodehrával často, ale stál za to. Jedna z každých 8 000 alfa částic vypálených miniaturním samopalem se od zlaté fólie odrazila zpátky!

Podle Thomsonova pudinkového modelu se atom skládal ze spousty maličkých elektronů, zasazených do koule s rovnoměrně rozptýleným kladným nábojem. Alfa částice, které Geiger a Marsden pálili do této poměrně řídké kaše, byly naopak

nezadržitelné subatomární rychlíky, každý zhruba o váze 8 000 elektronů. Pravděpodobnost, že se tak těžká částice prudce odchýlí od své dráhy, je zhruba stejná, jako že skutečný rychlík vykolejí po nárazu do dětského kočárku pro panenky. Rutherford to shrnul takto: „Bylo to skoro stejně neuvěřitelné, jako kdybyste vypálili bezmála čtyřicetimetřovou střelu proti papírovému ubrusku a ona se vám vrátila zpátky a zasáhla vás!“

Geigerův a Marsdenův překvapivý výsledek mohl znamenat jediné: atom nebude ani zdaleka tak řídká substance. Něco dobře ukrytého uvnitř dokázalo zastavit rozjetý subatomární rychlík a poslat ho nazpátek. To něco mohla být jediné maličká pecka kladného náboje v klidném centru atomu, odpuzující kladný náboj přilétající alfa částice. Protože tato pecka ustojí úder masivní alfa částice, aniž by se ocitla na onom světě, musí být také masivní. Vlastně v ní musí být soustředěna téměř veškerá hmotnost atomu.

Rutherford objevil atomové jádro.

Nyní se rýsoval obrázek atomu, který od Thomsonova pudinkového modelu ani odlišnější být nemohl. Byla to miniaturní sluneční soustava, v níž jsou záporně nabitě elektrony přitahovány ke kladně nabitému jádru a obíhají kolem něj jako planety kolem Slunce. Jádro muselo mít přinejmenším stejnou hmotnost jako alfa částice – a pravděpodobně mnohem vyšší –, jinak by ho srážka s ní katapultovala z atomu ven. Muselo obsahovat více než 99,9 procent hmotnosti celého atomu.

Jádro bylo nesmírně malé. Jen pokud by příroda natěsnala ohromný kladný náboj do velmi malého objemu, mohlo by jádro vyvinout odpudivou sílu tak výraznou, že by donutila alfa částici udělat čelem vzad. Na Rutherfordově modelu atomu nejvíce zaráží děsivá prázdnota. Dramatik Tom Stoppard to ve své

hře *Hapgoodová* popsal velmi trefně: „Zatni ruku v pěst a představ si, že kdyby byla tvá pěst velká jako nukleon atomu, byl by atom velký jako katedrála svatého Pavla, a kdyby to byl náhodou atom vodíku, pak by se jeho elektron třepotal prázdnou katedrálou jako mol, hned u kopule, hned zas u oltáře...“ Zdánlivě tak pevný, nám důvěrně známý svět není ve skutečnosti o mnoho hmotnější než pouhý přízrak. Hmotu, ať už jde o křeslo, člověka nebo hvězdu, tvoří téměř výhradně prázdný prostor. Veškerá hmota atomu je soustředěna v jeho neuvěřitelně malém jádru – stotisíckrát menším než celý atom.

Jinými slovy, hmota je distribuována nesmírně řídko. Kdyby bylo možné vymáčkout z ní všechn prázdný prostor, nezabírala by skoro žádné místo. A vlastně to možné je. Sice zřejmě neexistuje snadný způsob, jak vtěsnat celé lidstvo do jediné kostky cukru, ale existuje způsob, jak stěsnat hmotu masivní hvězdy do co nejmenšího možného objemu. Příčinou je nesmírně silná gravitace, důsledkem je neutronová hvězda. Ta dokáže pojmout ohromnou hmotnost tělesa o velikosti Slunce do objemu ne většího než Mount Everest.

### ***Neuvěřitelný atom***

Rutherfordův obraz atomu coby miniaturní sluneční soustavy s maličkými elektrony poletujícími kolem hustého atomového jádra jako planety kolem Slunce byl triumfem experimentální vědy. Bohužel tu byl jeden drobný problém: tento model byl naprosto neslučitelný s veškerou dosud známou fyzikou!

Podle Maxwellovy teorie elektromagnetismu popisující všechny elektrické a magnetické jevy platí, že kdykoli kladně nabitá částice zrychlí, změní rychlost nebo směr pohybu, vydává elektromagnetické vlny – světlo. Elektron je nabitá částice. Když

obíhá kolem jádra, mění směr neustále. Měl by tedy jako maličký maják neustále vysílat do prostoru světelné vlny. Háček je v tom, že pro každý atom by to znamenalo katastrofu. Energie vyzářená v podobě světla musí koneckonců vždycky odněkud pocházet a zde by jejím zdrojem nemohlo být nic jiného než sám elektron. Elektron, neustále ochuzovaný o energii, by se ve spirále neustále přibližoval středu atomu. Podle výpočtů by musel narazit do jádra atomu během jediné stomiliontiny sekundy. Atomy by tak podle všech pravidel vůbec neměly existovat.

A přece existují. My i svět okolo nás jsme toho dostatečným důkazem. Atomy nejeví nejmenší tendenci vypařit se během stomiliontiny sekundy, přežívají bez úhony od nejranějších počátků vesmíru už skoro 14 miliard let. Rutherfordův model atomu musí mít nějaký zásadní nedostatek. Ukázalo se, že to, co v něm chybí, je revolučně nový druh fyziky: kvantová teorie.

## **Proč Bůh hraje s vesmírem v kostky**

**JAK JSME PŘIŠLI NA TO, ŽE VE SVĚTĚ ATOMŮ SE VĚCI DĚJÍ NAPROSTO BEZDŮVODNĚ**

*Jeden filozof kdysi řekl: „Pro existenci vědy je naprosto nezbytné, aby tytéž podmínky vedly k týmž výsledkům.“ A vida – nevedou!*

Richard Feynman

*Je rok 2025. Vysoko na opuštěném vrcholu hory propátrává ohromný stometrový teleskop noční oblohu. Zaměří se na protogalaxii na hranici pozorovatelného vesmíru a zrcadlo teleskopu soustředí slabé světlo, které cestovalo vesmírem dlouho před vznikem Země, na ultrasenzitivní elektronické*

*detektory. V kopuli teleskopu u kontrolního panelu, ne  
nepodobného konzoli hvězdné lodi Enterprise, sledují  
astronomové, jak se na monitoru počítače vynořuje rozmazaný  
obraz galaxie. Někdo zapne reproduktor a kontrolní místnost  
zaplní ohlušující praskot. Zní to jako střelba ze samopalu; jako  
bubnování deště na plechovou střechu. Ve skutečnosti je to zvuk  
nepatrných světelných částic, které prší na detektory teleskopu  
z hlubin vesmíru.*

Pro tyto astronomy, v jejichž popisu práce je pokoušet se objevit  
nejslabší zdroje světla ve vesmíru, je zcela evidentní, že světlo  
je proud maličkých, kulkám podobných částic – fotonů. Ještě  
přednedávnem se ale mnozí vědci takové představě zuby nehty  
bránili. Je třeba to říci na rovinu: objev, že světlo přichází  
v diskrétních (nespojitéch) balíčcích či porcích, kvantech,  
představoval největší šok v historii vědy. Pohodlné a přehledné  
kulisy vědy před rokem 1900 byly strženy a fyzici najednou stáli  
před drsnou realitou vesmíru podobného Alenčině říši divů, kde  
se věci dějí, protože se dějí, naprosto bez ohledu na zažité  
zákony příčiny a důsledku.

První člověk, který přišel na to, že světlo se skládá z fotonů,  
byl Einstein. Jen pokud si světlo představil jako proud  
nepatrných částic, byl schopen vysvětlit úkaz známý jako  
fotoelektrický jev. S fotoelektrickým jevem se setkáváte například  
tehdy, když vstupujete do supermarketu a dveře se před vámi  
automaticky otevřou. Některé kovy reagují na působení světla  
uvolňováním částíček elektřiny – elektronů. Pokud je kov  
součástí fotobuňky, generuje slabý elektrický proud tak dlouho,



dokud na něj dopadá paprsek světla. Zákazník paprsek zastaví, přeruší elektrický proud a dá dveřím znamení, že se mají otevřít.

Jednou z mnoha pozoruhodných vlastností fotoelektrického jevu je, že i když použijeme velmi slabé světlo, elektrony jsou z kovu uvolněny okamžitě – bez sebemenší prodlevy. Pokud je světlo vlnou, je to nevysvětlitelné. Vlna je rozložená v prostoru a dostane se do interakce s mnoha elektrony. Některé z nich budou nutně vyraženy z atomu později než ostatní. Některé elektrony by ve skutečnosti mohly být z kovu „vykopnuty“ až nějakých deset minut poté, co na něj dopadl paprsek světla.

Jak je tedy možné, že se elektrony z kovu uvolní okamžitě? Existuje jediné vysvětlení: každý elektron je z kovu vyražen *jedinou částicí světla*.

Ještě pádnějším důkazem, že světlo se skládá z částic podobných kulkám, je Comptonův jev (zvaný též Comptonův rozptyl). Když vystavíme elektrony rentgenovému záření – což je světlo s vysokým obsahem energie –, odrážejí se naprosto stejně jako kulečnickové koule zasažené jinými kulečnickovými koulemi.

Na první pohled se nám objev, že se světlo chová jako proud částic, nemusí zdát až tak pozoruhodný nebo překvapivý. Jenže je. Protože existuje také spousta přesvědčivých důkazů, že světlo je něco úplně jiného a od proudu částic tak odlišného, jak si jen lze představit: vlna.

### ***Vlnky na vesmírném moři***

Anglický lékař Thomas Young, který se proslavil tím, že nezávisle na Francouzi Jeanu Francoisi Champollionovi rozluštil texty na Rosettské desce, vzal na počátku devatenáctého století neprostupnou překážku, neprůhledné stínítko, na dvou místech

velmi blízko u sebe ho vertikálně rozřízl a posvítil na obě štěrby světlem stejné barvy. Pokud je světlo vlna, uvažoval, bude každá štěrbina fungovat jako nový zdroj vln, které se budou šířit ke vzdálenějšímu konci stínítka jako soustředné kruhy na vodě.

Charakteristickou vlastností vln je interference. Pokud se setkají dvě podobné vlny, zesilují se tam, kde se jejich hřebeny střetnou, a ruší se tam, kde se hřeben jedné vlny setkává s údolím vlny druhé. Podívejte se na louži vody, když prší, a uvidíte, jak se od každé dešťové kapky šíří kruhové vlnky a „konstruktivně“ i „destruktivně“ na sebe působí.

Světlu vycházejícímu ze štěrbin postavil Young do cesty další, bílé stínítko. Okamžitě se na něm objevily tmavé a světlé vertikální pruhy, podobně jako na čárovém kódu na zboží v supermarketu. Tento tzv. interferenční obrazec přinesl nezvratný důkaz, že světlo je vlnění. Tam, kde se vlny vycházející z obou štěrbin shodovaly a jejich hřebeny se střetávaly, získalo světlo na síle; tam, kde se neshodovaly, se navzájem vyrušilo.

Pomocí svého „dvojštěrbínového“ přístroje dokázal Young určit vlnovou délku světla. Zjistil, že je to pouhá tisícina milimetru – tisíckrát méně než tloušťka lidského vlasu –, což vysvětlovalo, proč s tímto objevem nepřišel nikdo před ním.

Během následujících dvou století kraloval Youngův obraz světla coby vlnek na vesmírném moři světa fyziky a jeho pomocí se vysvětlovaly veškeré známé jevy týkající se světla. Ale na sklonku devatenáctého století se začaly objevovat první problémy. I když si toho zpočátku málokdo všiml, obraz světla jako vlny byl neslučitelný s obrazem atomu jako nepatrného zrníčka hmoty. Problémy vznikaly na rozhraní, tam, kde se světlo setkává s hmotou.

## ***Dvě strany téže mince***

Vzájemné působení světla a hmoty je pro náš každodenní život nesmírně důležité. Kdyby atomy ve vláknu žárovky nevysílaly světlo, nemohli bychom si doma rozsvítit. Kdyby atomy na sítnici vašeho oka světlo nepohlcovaly, nečetli byste tato slova. Problém spočívá v tom, že emisi a absorpci světla není možné pochopit, pokud je světlo vlna.

Atom je vysoce lokalizovaný objekt, zabírající jen nepatrný zlomek prostoru, zatímco vlna je prostorově rozlehlá, zabírá spoustu místa. Takže jestli atom pohlcuje světlo, jak se tak velká věc může nacpat do něčeho tak maličkého? A pokud atom vyzařuje světlo, jak může tak nepatrná věčička vyplivnout něco tak velkého?

Zdravý rozum napovídá, že světlo může být pohlceno nebo vyzářeno malou lokalizovanou věcí jen tehdy, pokud je samo malá lokalizovaná věc. „Nic se nevejde dovnitř hada tak dobře jako další had,“ říká se. Víme ale, že světlo je vlna. Fyzikům zbyl jediný způsob, jak tento hlavolam rozlousknout: zoufale rezignovat a neochotně přiznat, že světlo je jak vlna, tak částice. Ale přece něco nemůže být současně lokalizované i rozložené v prostoru? V našem každodenním světě jistě ne. Důležité ale je, že tady není řeč o našem každodenním světě: mluvíme o světě mikroskopickém.

Ukazuje se, že mikrosvět atomů a fotonů se vůbec nepodobá světu stromů, mraků a lidí, jak ho známe. A protože jde o svět milionkrát menší než svět nám známých objektů, proč by se mu podobat měl? Světlo je skutečně jak částice, tak vlna. Nebo, přesněji řečeno, světlo je „něco jiného“, něco, pro co nemáme v obyčejném světě slovo ani přirovnání. Stejně jako u mince

o dvou stranách vidíme jen její částicovou (korpuskulární) a vlnovou stranu. Čím je světlo ve *skutečnosti*, to je pro nás stejně nepoznatelné jako pro slepého modrá barva.

Světlo se někdy chová jako vlna a někdy jako proud částic. To bylo pro fyziky na počátku dvacátého století nesmírně těžké přijmout. Jenže neměli na vybranou, tvrdila jim to sama příroda. „V pondělí, ve středu a v pátek přednášíme vlnovou teorii a v úterý, ve čtvrtek a v sobotu teorii částic,“ vtipkoval anglický fyzik William Bragg v roce 1921.

Braggův pragmatismus byl obdivuhodný. Bohužel ale fyziky před katastrofou nezachránil. Einstein si uvědomil jako první, že duální, vlnově-částicová povaha světla znamená katastrofu. Nejen že si ji nikdo nedokázal vizualizovat, navíc byla naprosto neslučitelná s veškerou v té době známou fyzikou.

## **Sbohem, jistoto**

Vezměte si takové okno. Když se do něj podíváte zblízka, uvidíte slabý odraz své tváře. To proto, že sklo není zcela průsvitné. Propouští asi 95 procent světla, které na něj dopadá, a zbylých 5 procent odráží. Pokud je světlo vlna, dá se to pochopit velice snadno. Vlna se prostě rozdělí na velkou vlnu, která oknem projde, a na mnohem menší vlnu, která se vrátí. Představte si vlnu před přídí motorového člunu. Když narazí na napůl ponořený kus dřeva, větší část vlny pokračuje v cestě, zatímco mnohem menší část se vrací zpátky.

Jenže zatímco takové chování je snadno vysvětlitelné, pokud je světlo vlna, nesmírně obtížně se vysvětluje, pokud je proudem identických, kulkám podobných částic. Vždyť jestli jsou fotony stejné, dá rozum, že by střetnutí s oknem mělo působit na všechny stejně. Představte si třeba Davida Beckhama, jak

provádí znovu a znovu tentýž volný kop. Pokud jsou fotbalové míče identické a on každý vykopne naprosto stejným způsobem, všechny poletí vzduchem stejně a skončí na stejném místě vzadu v brance. Je těžké si představit, že většina míčů dopadne na stejné místo, ale pár jich odletí do rohu.

Jak je tedy možné, že proud naprosto identických fotonů narazí na okno a 95 procent z nich jím projde, zatímco 5 procent se vrátí? Einstein si uvědomil, že je to možné v jediném případě: pokud má slovo „identický“ v mikroskopickém světě úplně jiný význam než v našem každodenním světě – význam značně oslabený.

Ukazuje se, že v mikroskopickém světě se stejné věci za stejných okolností nechovají stejně. Místo toho mají jen stejnou *pravděpodobnost*, že se budou jistým způsobem chovat. Každý foton, který dorazí k oknu, má přesně stejnou *pravděpodobnost*, že jím projde, jako jeho kolegové – 95 procent; a přesně stejnou *pravděpodobnost*, že se odrazí – 5 procent. Ale neexistuje způsob, jak zjistit, co se stane s jedním konkrétním fotonem. Závisí čistě na náhodě, zda projde, nebo se odrazí.

Na počátku dvacátého století byla tato nepředvídatelnost světa něčím zcela novým. Představme si otáčející se ruletu, po níž poskakuje kulička. Číslo, na kterém se nakonec zastaví, považujeme za nepředpověditelné. Jenže to tak ve skutečnosti není. Kdyby bylo možné znát počáteční dráhu kuličky, počáteční rychlost kola rulety, to, jak se z vteřiny na vteřinu mění vzdušné proudy v kasinu atd., zákony fyziky by nám umožnily se stoprocentní jistotou předpovědět, kde kulička nakonec skončí. Totéž platí, když si hodíme mincí. Kdybychom mohli vědět, jako silou ji házíme, znali přesný tvar mince atd., fyzikální zákony by

nám se stoprocentní jistotou předpověděly, zda padne panna, nebo orel.

V každodenním světě není nic v zásadě nepředpověditelného. Nic není čistě náhodné. Výsledek rulety v kasinu nebo vrhu mincí nedokážeme předpovědět jen proto, že bychom museli zpracovat příliš mnoho informací. Ale v zásadě – a o to jde – nám nic nebrání obojí předpovědět.

A teď to srovnajte s mikroskopickým světem fotonů. Ani v nejmenším nezáleží na tom, kolik informací máme k dispozici. Je nemožné předpovědět, jestli konkrétní foton oknem projde, nebo se odrazí – ani v principu. Kulička v kole rulety má jisté důvody chovat se tak, jak se chová – vzájemné působení nespočetného množství drobných sil. Foton se chová tak, jak se chová, naprosto bezdůvodně! Nepředvídatelnost mikroskopického světa je jeho podstatou, je fundamentální. Jde o něco radikálně nového.

Co platí pro fotony, platí i pro všechny ostatní obyvatele mikroskopického světa. Bomba vybuchne, protože jí k tomu dá impuls časový spínač, nějaký otřes nebo protože chemikálie v ní se určitým způsobem proměnily. Nestabilní, radioaktivní atom prostě vybuchne. Neexistuje naprosto žádný zaznamenateľný rozdíl mezi atomem, který vybuchne okamžitě, a tím, který tiše čeká 10 milionů let, než se rozletí na kusy. Kdykoli se podíváte na okno, do tváře vám zírání ohromující pravda, že celý vesmír je založen na náhodě. Einsteina ta myšlenka natolik rozčílila, že se jí vzeprel a uraženě prohlásil: „Bůh nehraje s vesmírem v kostky!“

Potíž je v tom, že hraje. Britský fyzik Stephen Hawking suše poznamenal: „Nejen že Bůh hraje s vesmírem v kostky, navíc vrhá kostky i tam, kde je nemůžeme vidět!“

V roce 1921 nedostal Einstein Nobelovu cenu za fyziku za svou proslulejší teorii relativity, ale za vysvětlení fotoelektrického jevu. Od výboru pro udílení Nobelových cen to nebyl žádný lapsus. Sám Einstein považoval svůj výzkum „kvant“ za vlastní jediný skutečně revoluční příspěvek vědě. Výbor pro udílení Nobelových cen mu dal zcela za pravdu.

Kvantová teorie, zrozená ze zápasu o smíření světla a hmoty, se zásadně rozcházela se vším, k čemu věda doposud dospěla. Před rokem 1900 byla fyzika v podstatě receptem na to, jak předpovědět budoucnost s naprostou určitostí. Pokud se planeta právě nachází na určitém místě, za den se posune na jiné místo, které je možno pomocí Newtonových zákonů o pohybu a gravitaci předpovědět se stoprocentní jistotou. A teď to srovnáme s atomem, který letí prostorem. Nic nevíme s určitostí. Můžeme jen předpovědět jeho pravděpodobnou dráhu a kde pravděpodobně skončí.

Zatímco kvantová teorie je založena na neurčitosti, zbytek fyziky je založen na určitosti. Říci, že to pro fyziky představuje problém, je skutečně eufemismus! „Fyzika rezignovala a přestala se snažit předpovídat, co se za daných okolností stane,“ řekl Richard Feynman. „Můžeme jen předpovědět pravděpodobnost.“

Všechno ale není ztraceno. Kdyby byl mikrosvět naprosto nepředvídatelný, šlo by o říši totálního chaosu. Tak zlé to není. To, co mají atomy a jejich příbuzní za lubem, je skutečně nepředvídatelné, ale ukazuje se, že alespoň tuto nepředvídatelnost je možné předpovědět!

## ***Předpovídání nepředpověditelnosti***

Vezměme si znovu naše okno. Každý foton má devadesátipětiprocentní šanci, že projde, a pětiprocentní šanci, že se odrazí. Čím je ale tato pravděpodobnost dána?

Dva různé obrazy světla, vlnový a částicový, musí vést ke stejnému výsledku. Pokud polovina vlny projde a druhá polovina se odrazí, lze sladit vlnové a částicové pojetí jen tehdy, když každá částice světla má padesátiprocentní pravděpodobnost, že sklem projde, a padesátiprocentní pravděpodobnost, že se odrazí. Stejně tak má-li projít 95 procent vlny a 5 procent se odrazit, odpovídající pravděpodobnosti pro průchod či odraz jednotlivých fotonů musí být 95 a 5 procent.

Aby došlo ke shodě, částicová stránka světla musí být od té vlnové nějak „informována“, jak se zachovat. Jinými slovy, nejen že se v mikrosvětě vlny chovají jako částice, ale také částice se chovají jako vlny! Je tu dokonalá symetrie. A tohle, až na pár dalších detailů, je vlastně svým způsobem všechno, co potřebujete vědět o kvantové teorii. Vše ostatní se od tohoto tvrzení nevyhnutelně odvíjí. Bizarnost i neuvěřitelná různorodost mikroskopického světa jsou přímým důsledkem vlnově-částicové duality základních stavebních kamenů skutečnosti.

Jak přesně ale vlnový charakter světla informuje jeho částicový charakter o tom, jak se chovat? Odpověď se nehledá lehko.

Světlo se nám jeví buď jako proud částic, nebo jako vlna. Nikdy nemůžeme spatřit obě strany mince současně. Takže když pozorujeme světlo jako proud částic, neexistuje žádná vlna, která by mohla informovat částice o tom, jak se mají chovat. Fyzikům se obtížně vysvětluje, jak je možné, že fotony se chovají tak, jako by je řídila vlna (např. prolétávají okny).



A tak vyřešili tento problém pozoruhodným způsobem. Místo skutečné vlny si představí vlnu abstraktní – matematickou. Jestli vám to připadá směšné, vězte, že podobně reagovali i vědci, když s touto myšlenkou ve dvacátých letech dvacátého století poprvé přišel rakouský fyzik Erwin Schrödinger. Schrödinger si představil abstraktní matematickou vlnu, která se rozlévá prostorem, naráží na překážky, odráží se a postupuje stejně jako vodní vlna na hladině jezera. Na místech, kde byla vlna nejvyšší, byla největší pravděpodobnost výskytu částice, tam, kde byla nízká, byla tato pravděpodobnost nejmenší. Schrödingerova pravděpodobnostní vlna se stala kmotříčkou vlnové funkce instruující částici, co dělat; nejen foton, ale jakoukoli mikroskopickou částici, od atomu až po jeho složky, například elektron.

Je tu jeden drobný háček. Fyzikové mohou Schrödingerův obraz uvést do souladu se skutečností jen tehdy, pokud pravděpodobnost výskytu částice v libovolném bodě vztáhnou k druhé mocnině velikosti pravděpodobnostní vlny v tomto bodě. Jinými slovy, pokud je pravděpodobnostní vlna v prostoru v nějakém bodě dvakrát vyšší než v jiném bodě, je čtyřikrát vyšší pravděpodobnost, že zde hledanou částici nalezneme.

Fakt, že se jedná o druhou mocninu pravděpodobnostní vlny, a ne o vlnu samotnou, se skutečným fyzikálním významem, dodnes vede k diskusím, jestli je tato vlna skutečnost, kterou jsme zahlédli pod slupkou světa, nebo jenom praktická matematická pomůcka pro lepší výpočet. Většina lidí, i když ne všichni, se kloní k druhému názoru.

Pravděpodobnostní vlna má zásadní význam, protože představuje spojení mezi vlnovým charakterem hmoty a známým vlněním všeho druhu, ať již jde o vlny vodní, zvukové nebo

zemětřesné. Všechny se řídí takzvanou vlnovou rovnicí. Ta popisuje jejich šíření prostorem a umožňuje fyzikům předpovědět výšku vlny v jakémkoli místě i čase. Objev rovnice popisující chování pravděpodobnostní vlny atomu a jeho příbuzných byl Schrödingerovým velkým vítězstvím.

Schrödingerova rovnice nám umožňuje určit pravděpodobnost, s jakou nalezneme částici v libovolném místě i čase. Lze ji využít například k popisu fotonů narážejících na překážku, okenní tabulku, a předpovědět devadesátipětiprocentní pravděpodobnost, že se foton octne na její druhé straně. Pomocí Schrödingerovy rovnice můžeme vlastně u jakékoli částice spočítat pravděpodobnost, že udělá cokoli. Je pro nás oním klíčovým mostem do mikroskopického světa, umožňujícím fyzikům předpovědět veškeré děje v něm – když ne se stoprocentní určitostí, tedy alespoň s předvídatelnou neurčitostí!

Kam všechno to povídání o pravděpodobnosti směřuje? Skutečnost, že se vlny v mikrosvětě chovají jako částice, nevyhnutelně vede ke zjištění, že tento svět tančí na úplně jinou melodii, než na jakou jsme zvyklí my v našem světě. Vládne mu náhoda, nepředvídatelnost. Už to samo o sobě byl šok a také rána pro sebevědomí fyziků, kteří do té doby věřili v předvídatelný vesmír podobný hodinovému strojku. Ale ukazuje se, že to je pořád jenom začátek. Příroda pro nás nachystala ještě další otřesy. Skutečnost, že nejen že vlny se chovají jako částice, ale že i tyto částice se chovají jako vlny, vede ke zjištění, že všechno, co mohou dělat obyčejné (vodní, zvukové) vlny, dokáží i pravděpodobnostní vlny informující atomy, fotony a jejich příbuzenstvo, jak se chovat.

A co má být, namítáte? Jen to, že vlny mohou vyvádět různé kousky. A každý z nich má v mikroskopickém světě téměř zázračné důsledky. Tou nejjednodušší věcí, kterou vlny umí, je existovat v superpozicích. I když to zní neuvěřitelně, tato vlastnost vln umožňuje atomu být na dvou místech najednou, asi jako kdybyste vy byli v New Yorku a v Londýně zároveň.



# Obsah

9	Předmluva
13	Obloha
39	Země
57	Měsíc
77	Vesmírný prostor
83	Slunce
103	Sluneční soustava
149	Hvězdy
175	Mléčná dráha
191	Galaxie
213	Vesmír
237	Život ve vesmíru
255	Dějiny astronomie
271	Dalekohled
291	Pohled do vesmíru
313	Poděkování

Edice TEMA, svazek 13.

marcus chown & govert schilling

# vesmír v tweetech

VELKÉ MYŠLENKY A JEJICH STRUČNÁ OBJASNĚNÍ

Z anglického originálu Tweeting the Universe: Tiny Explanations of Very Big Ideas přeložila Lucie Kudlejová

Z Eliotovy básně Dutí lidé citujeme v překladu Jiřího Valji

Odpovědný redaktor Pavel Bakič

Typograficky upravila a obálku navrhla Lucie Mrázová

Vydalo nakladatelství Kniha Zlín,

Ing. Marek Turňa, Na Drahách 369, 760 01 Zlín,

v roce 2012

Vytiskla tiskárna CPI Moravia Books, s. r. o.

Vydání první

Všechna práva vyhrazena

**[www.knihazlin.cz](http://www.knihazlin.cz)**

**[info@knihazlin.cz](mailto:info@knihazlin.cz)**

ISBN 978-80-87497-17-3

## **Další tituly z nakladatelství Kniha Zlín:**

### **Edice FLEET**

Armin Müller-Stahl: Hannah

Aglaja Veteranyi: Proč se dítě vaří v kaši

Pavel Vilikovský: Kouzelný papoušek a jiné kýchče

John Fowles: Aristos

Olga Tokarczuková: Anna In v hrobech světa

Michel Faber: Fahrenheitova dvojčata

Michel Faber: Někdy prostě prší

Jerzy Pilch: Moje první sebevražda

Martin Vopěnka: Pátý rozměr

Claire Keeganová: Modrá pole

Claire Keeganová: Třetí světlo

Simon Mawer: Skleněný pokoj

Simon Mawer: Mendelův trpaslík

Joseph O'Neill: Nizozemě

Lojze Kovačič: Křišťálová doba

Zdeněk Zapletal: Best of vol. I.

Andrew O'Hagan: Buď se mnou

Andrew O'Hagan: Život a názory Mafa, psa, a jeho  
přítelkyně Marilyn Monroe

Mike Perry: Klec pro majáky

Kader Abdolah: Dům u mešity

Jo Nesbø: Nemesis

Jo Nesbø: Pentagram

Jo Nesbø: Lovci hlav

Jo Nesbø: Spasitel

M. J. Hylandová: Co se stalo

Stephen Weeks: Daniela

Mari Jungstedtová: Neviditelný

Antti Tuomainen: Léčitel

## **Edice TRACK**

Ante Tomić: Co by byl chlap bez fousů

Peter Pišťanek: Muzika

Peter Pišťanek: Rivers of Babylon I.

Peter Pišťanek: Rivers of Babylon II.

Stig Sæterbakken: Siamská dvojčata

Catherine O'Flynnová: Co se ztratilo

Catherine O'Flynnová: Zprávy o tobě

Éilís Ní Dhuibhne: Lišák, vlaštovka a strašák do zelí

Tanja Dückerová: Nejdelsí den v roce

Gabriella Håkanssonová: Mozkoman

Milena Fucimanová: Denní menu

Silke Scheuermannová: Hodina mezi psem a vlkem

Philip Ó Ceallaigh: Zápisky z tureckého bordelu

Anne B. Ragdeová: Topoly berlínské

Peter Henisch: O touze stát se indiánem

Geling Yan: Příživník

Steven Galloway: Sarajevský cellista

Katharina Hackerová: Necitové

Magdalena Wagnerová: Krajina nedělní

Lotta Lotassová: Třetí kosmická rychlost

Joanna Kavennová: Ostuda ostudná

Paul Torday: Mezipatro

Linda Grantová: Když jsem žila v moderní době

Linda Grantová: Nic než šaty

Gerard Donovan: Za irských nocí

Gerard Donovan: Julius Winsome

Nick Laird: Gloverův omyl

Deborah Kay Daviesová: Jaká jsem

Eleanor Cattonová: Na scéně

Elena Ferrante: Dny opuštění

Gunther Geltinger: Člověk Anděl

Kristýna Vorlíčková: Flying foxes



## **Edice NEEWIT**

Michal Hvorecký: Silný pocit čistoty

Márius Kopcsay: Ztracené roky

Anca Maria Mosora: Reality Game show

Krisztián Grecsó: Taneční škola

Express Ukrajina – antologie moderní ukrajinské prózy

Ondřej Macura: Netopýři

Jurij Vynnyčuk: Chachacha

Inga Ābele: Vítr proměnlivých směrů

Markus Orth: Pokojská

Roman Sovák: Zastřelte růžového medvěda

Wells Tower: Všechno zpusťšené, všechno spálené

Annelies Verbeke: Spi!

Hana Lundiaková: Vrhnout

Paweł Huelle: Mercedes-Benz

Vesna Tvrtković: Ani ve snu

Hana Pachtová: Adam a Ema

Mikko Rimminen: Igelitkové pivo

Milan Šťastný: Klid a rozvaha

Pál Ficsku: Továrna na děti

Andrus Kivirähk: Muž, který rozuměl hadí řeči

Ilja Bojašov: Mourkova cesta

Natalka Sňadanko: Sbírka vášní

Matthieu Jung: Princip předběžné opatrnosti

## **Edice TEMA**

Adrián Paenza: Matematiko, jsi to ty?

Marcus Chown: Kvantová teorie nikoho nezabije

Marcus Chown: Musíme si promluvit o Kelvinovi

Don Thompson: Jak prodat vycpaného žraloka

Alain de Botton: Architektura štěstí

Alain de Botton: Umění cestovat

Alain de Botton: Útěcha z filozofie

Alain de Botton: Náboženství pro ateisty

Richard H. Thaler a Cass R. Sunstein: Nudge (Šťouch)

Nick Lane: Vývoj života

Lars Fr. H. Svendsen: Malá filosofie nudy

Ole Martin Høystad: Historie srdce