

# Vesmír

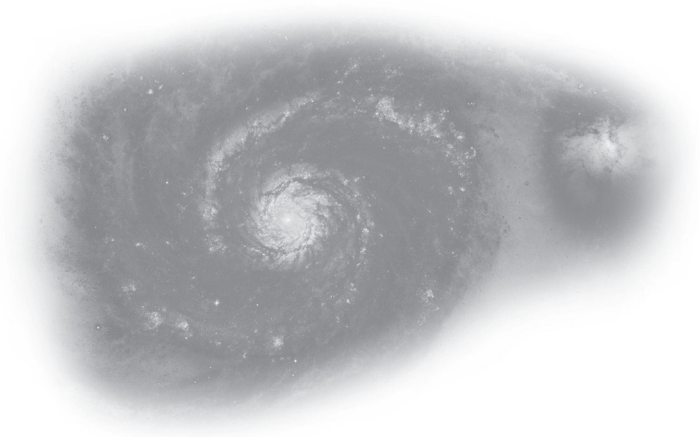
50 myšlenek,  
které musíte znát



Joanne Bakerová

# Vesmír

## 50 myšlenek, které musíte znát



Joanne Bakerová

**slovařt**

# Obsah

Úvod 3

## ODHALOVÁNÍ VESMÍRU

- 01 Planety 4
- 02 Heliocentrismus 8
- 03 Keplerovy zákony 12
- 04 Newtonův gravitační zákon 16
- 05 Newtonova optika 20
- 06 Dalekohled 24
- 07 Fraunhoferovy čáry 28
- 08 Dopplerův jev 32
- 09 Paralaxa 36
- 10 Velká debata 40

## KOSMOLOGIE

- 11 Olbersův paradox 44
- 12 Hubbleův zákon 48
- 13 Vzdálenosti ve vesmíru 52
- 14 Velký třesk 56
- 15 Reliktní záření 60
- 16 Tvorba prvků při velkém třesku 64
- 17 Antihmota 68
- 18 Temná hmota 72
- 19 Kosmická inflace 76
- 20 Temná energie 80

## ČASOPROSTOR A SPOL.

- 21 Machův princip 84
- 22 Speciální relativita 88
- 23 Obecná relativita 92
- 24 Černé díry 96
- 25 Částicová astrofyzika 100

- 26 Higgsův boson 104
- 27 Teorie strun 108
- 28 Antropický princip 112

## GALAXIE

- 29 Hubbleovo třídění galaxií 116
- 30 Galaktické kupy 120
- 31 Velkorozměrové struktury 124
- 32 Radioastronomie 128
- 33 Kvasary 132
- 34 Rentgenové pozadí 136
- 35 Obří černé díry 140
- 36 Vývoj galaxií 144
- 37 Gravitační čočky 148

## HVĚZDY

- 38 Klasifikace hvězd 152
- 39 Hvězdný vývoj 156
- 40 Zrození hvězd 160
- 41 Smrt hvězd 164
- 42 Pulsary 168
- 43 Gama záblesky 172
- 44 Proměnné hvězdy 176
- 45 Slunce 180
- 46 Exoplanety 184
- 47 Vznik sluneční soustavy 188
- 48 Měsíce 192
- 49 Astrobiologie 196
- 50 Fermiho paradox 200
- Slovníček pojmů 204

Rejstřík 206

# Úvod

Astronomie je jednou z nejstarších a nejrozvinutějších věd. Od té doby, co naši předkové začali sledovat na obloze pohyby Slunce a hvězd, jsme se o vesmíru naučili mnohé. Tyto znalosti radikálně změnily pohled na to, jaké nám v něm patří místo. Každý pokrok měl dopad i na naši společnost: Galileo byl odsouzen za to, že v 17. století obhajoval myšlenku heliocentrismu. Objev faktu, že se naše sluneční soustava nenachází ve středu Mléčné dráhy, vyvolal v lidech úžas. A Edwin Hubble umlčel aktéry debaty o povaze naší Galaxie, když ve dvacátých letech 20. století ukázal, že Mléčná dráha je jen jednou z mnoha miliard galaxií rozptýlených v celém bezbřehém a rozpínajícím se vesmíru, starém 14 miliard let.

V průběhu 20. století došlo k rozvoji technologií, což umožnilo prudký rozmach pozorovací astronomie, následovaný sérií objevů. V první polovině 20. století jsme zjistili, proč svítí hvězdy, zároveň jsme pronikli do podstaty hmoty a záření, rovněž jsme postavili atomovou bombu. Poválečná léta znamenala vznik a rozvoj radioastronomie, objev pulsarů, kvasarů a černých děr. Otevřela se nám nová okna do vesmíru, takže jsme ho mohli začít zkoumat v oboru mikrovlňného, rentgenového i gama záření. A všude jsme učinili nové objevy.

Tato kniha je přehledem astrofyzikálních témat z moderní perspektivy. První kapitoly popisují uvedené skoky v myšlení člověka při poznávání velikosti vesmíru a zároveň podávají přehled o základních principech jako gravitace nebo fungování dalekohledů. Další kapitoly shrnují naše poznatky z kosmologie, která zkoumá vesmír jako celek – studuje, z čeho je složen, jak vznikl, jak se vyvíjel a bude vyvíjet. Následuje přehled zajímavých aspektů vesmírů, jako jsou teorie relativity, černé díry nebo paralelní světy. V poslední části jsou shrnuty naše poznatky o galaxiích, hvězdách a planetárních soustavách, od kvasarů a vývoje galaxií po exoplanety a astrobiologii. Objevy stále přibývají rychlým tempem: třeba budeme již v příštích desetiletích svědky dalšího velkého posunu paradigmatu – objevu života mimo planetu Zemi.

# 01 Planety

**Kolik je planet? Před několika lety to byla jednoduchá otázka. Uměl na ni odpovědět každý – přece devět. Dnes už to tak snadné není. Astronomové si situaci značně zkomplikovali tím, že ve vzdálených mrazivých končinách sluneční soustavy objevili skalnatá tělesa, která konkurují Plutu, a dále objevem stovek planet obíhajících kolem vzdálených hvězd. Museli proto přehodnotit definici planety, takže dnes máme v naší sluneční soustavě osm „skutečných“ planet a několik trpasličích planet jako Pluto.**

Už v minulosti jsme zjistili, že se planety od hvězd liší. Slovo planeta pochází z řeckého výrazu pro tuláka, putujícího noční oblohou na neměnném pozadí hvězd. Hvězdy na obloze tvoří každou noc stejné obrazce – souhvězdí. Všechna souhvězdí se pomalu otáčejí kolem severního a jižního pólu, každá hvězda vykreslí na obloze během celého dne kruh. Ale polohy planet se vůči hvězdám každý den malinko mění. Všechny planety obíhají kolem Slunce prakticky v jedné rovině, kterou nazýváme ekliptika. Tato rovina se promítá na oblohu jako skloněná dráha a planety se pohybují právě podél ní.

Planety Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn byly známy po tisíciletí. Pozorovali jsme je pouhým okem, často přezařovaly své hvězdné sousedy a vykazovaly trochu záhadný zpětný pohyb. Ale teprve objev dalekohledu v 17. století vyvolal na tváři člověka úžas: Saturn je opásán nádherným prstencem; Jupiter se chlubí početnou rodinou měsíců a povrch Marsu je protkán tmavými kanály.

**Planeta X** Touto nebeskou jistotou otrásl v roce 1781 britský astronom William Herschel, když objevil planetu Uran. Slabě svítící Uran, pohybující se pomaleji než jakákoli známá planeta, byl původně považován za pouhou hvězdu. Bylo to Herschelovo pečlivé pozorování, které vedlo k nezvratnému závěru, že

## časová osa

**350 PŘ. N. L.**

Aristoteles říká, že Země je kulatá

**1543**

Koperník publikuje heliocentrickou teorii

**1610**

Galileo Galilei objevuje pomocí dalekohledu Jupiterovy měsíce

**1781**

William Herschel objevuje Uran

toto těleso obíhá okolo Slunce a že se tedy jedná o planetu. Díky tomuto objevu se Herschel stal slavným, nově objevenou planetu původně dokonce pojmenoval Georgium Sidus (Hvězda krále Jiřího), aby si zajistil přízeň anglického krále Jiřího III.

Následovaly další objevy. Nepatrné nepravidelnosti v pohybu Uranu vedly k předpovědi, že jeho dráha je rušena nějakým dalším tělesem nacházejícím se za ním. Několik astronomů prohledávalo příslušnou oblast oblohy a pátralo po toulavém vetřelci. Parametry dráhy pak nezávisle na sobě spočítali podle poruch pohybu Uranu Francouz Urbain Jean Joseph Le Verrier a britský astronom John Couch Adams. Vlastní planetu Neptun objevil v blízkosti předpovězené polohy 23. září 1846 Johann Gottfried Galle.

V roce 1930 byl objeven Pluto. Stejně jako v případě Neptunu ho prozradily drobné odchylky mezi očekávaným a skutečným pohybem planety, z čehož se dalo odvodit, že se za Neptunem nachází další těleso, které bylo pojmenováno Planeta X. Těleso objevil Clyde Tombaugh z Lowellovy observatoře, a to na fotografiích oblohy pořízených v různých časech. Planeta se prozradila pohybem oproti hvězdnému pozadí. Pojmenování planety ale připadlo školačce Venetii Burneyové z Oxfordu, která vyhrála soutěž se jménem římského boha podsvětí. Planeta Pluto inspirovala i kulturu té doby, dala například jméno psu z populárního kresleného seriálu i nově objevenému prvku – plutoniu.

**Pluto sesazen z trůnu** Naše sluneční soustava čítající devět planet existovala dalších 75 let, do doby, než Michael Brown z Caltechu se svými spolupracovníky objevil, že Pluto není za dráhou Neptunu sám. Na chladném okraji sluneční soustavy našel pár těles velikostí podobných Plutu a ležících nedaleko jeho oběžné dráhy. Jedno těleso se dokonce zdálo být větší

## Co je planeta

Nebeské těleso, které: (a) obíhá okolo Slunce, (b) má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, dosáhne tedy tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (zhruba kulatého) a (c) vyčistilo okolí své dráhy od podobných těles.

**„Planety jsou, podobně jako kontinenty, definovány více tím, jak o nich přemýšlíme, než jak je někdo určí na základě faktů.“**

**Michael Brown, 2006**

**1843–1846**

Adams a Le Verrier předpovídají existenci Neptunu

**1930**

Clyde Tombaugh objevuje Pluto

**1962**

První snímky povrchu jiné planety, Venuše, ze sondy Mariner 2

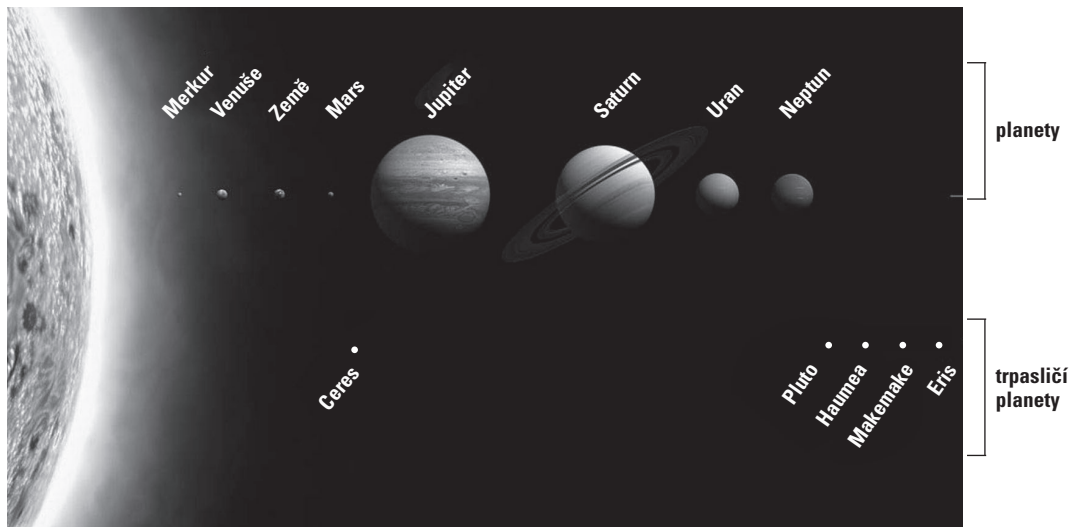
**1992**

Objev první exoplanety

**2005**

Michael Brown objevuje Eris





než samotný Pluto. Bylo pojmenováno Eris. Před astronomy tak vyvstala otázka: měl by být Brownův objev kvalifikován jako desátá planeta?

A jak je to s ostatními ledovými tělesy vedle Pluta a Eris? Planetární status Pluta se otřásl v základech. Vnější oblasti sluneční soustavy jsou totiž plné smetí v podobě ledovo-kamenných těles, z nichž Pluto a Eris jsou jednoduše největší. Navíc kamenné planetky podobných velikostí byly známé i z jiných částí sluneční soustavy. Například planetka Ceres s průměrem 950 kilometrů byla objevena v roce 1801 na dráze mezi Marsem a Jupiterem.

### FREDERICK WILLIAM HERSCHEL (1738–1822)

Herschel se narodil v německém Hannoveru, ale v roce 1757 emigroval do Anglie, kde se živil jako hudebník. Chtěl se dále vzdělávat v hudební teorii, a proto studoval matematiku. Ta ho přivedla k zájmu o astronomii, který sdílel se svou sestrou Caroline (v roce 1772 ji pozval do Anglie). Herschel pro svá astronomická pozorování sestrojil dalekohled. S jeho po-

mocí katalogizoval stovky dvojhvězd a tisíce mlhovin. Objevil planetu Uran a pojmenoval ji Georgium Sidus (Hvězda krále Jiřího) na počest anglického krále Jiřího III., jenž ho pak jmenoval královským astronomem. Mezi Herschelovy objevy patří i binární povaha mnoha dvojhvězd, sezonní změny polárních čepiček na Marsu a objevy měsíců Uranu a Saturnu.

V roce 2005 se komise Mezinárodní astronomické unie, organizace profesionálních astronomů, rozhodla problém Pluta vyřešit. Brown a někteří další astronomové se z historických důvodů snažili status Pluta jako planety zachránit. Podle nich by měla být za planetu považována i Eris. Jiní astronomové ale cítili, že ledová tělesa za dráhou Neptunu nejsou skutečnými planetami. Na zasedání Mezinárodní astronomické unie v Praze v roce 2006 došlo k hlasování a vytvoření nové definice planety. Do té doby nebyl pojem planeta jasně definován. Někteří astronomové byli vyvedeni z míry a konstatovali, že hledání definice planety je stejné, jako kdybychom se ptali po přesné definici kontinentu. Je-li Austrálie kontinent, jak je to potom s Grónskem? A kde končí Evropa a začíná Asie? Astrofyzikové se ale na souboru pravidel shodli.

Planeta je nebeské těleso, které obíhá okolo Slunce, má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa (dosáhne tedy tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze, přibližně kulatého) a vyčistí okolí své dráhy. Podle těchto pravidel není Pluto planetou, protože nevyčistilo okolí své dráhy od dalších těles. Pluto a Eris byly zařazeny do nově vytvořené kategorie trpasličích planet spolu s Ceres. Menší tělesa, kromě měsíců, zůstala blíže nspecifikována.

**Mimo vliv Slunce** Tato definice planety byla vytvořena pro naši sluneční soustavu. Můžeme ji ale stejně dobře použít i mimo ni. Dnes známe už téměř dva tisíce planet obíhajících cizí hvězdy. Byly nalezeny hlavně díky nepatrnému zeslabení záření jejich mateřské hvězdy. Většina z nich jsou hmotní plynní obři, podobně jako náš Jupiter. Ale nová družice Kepler, vypuštěná v roce 2009, se snaží zaznamenat i menší planety, které by mohly být podobné naší Zemi.

Další definice, která se začala řešit později, je definice hvězdy. Hvězdy jsou koule žhavých plynů (jako Slunce) dostatečně hmotné na to, aby v jejich jádrech došlo k zažehnutí termonukleárních reakcí. Vyrobená energie způsobuje, že hvězda září. Ale stále není zřejmé, kde je hranice mezi koulemi plynu planetárních rozměrů, jako je Jupiter, a nejmenšími slabými hvězdami, jako jsou hnědí trpasličí. Nezažehnutých hvězd, a dokonce volně putujících planet může být plný vesmír.

”Možná je tento svět dalším planetárním peklem.“

Aldous Huxley

**v kostce**  
Vesmír je přeplněný planetami



# 02 Heliocentrismus

**Ačkoli dnes víme, že Země a planety obíhají kolem Slunce, byla tato skutečnost do 17. století zcela nepřijatelnou a otrásla tehdejším pohledem na svět: člověk není středem vesmíru, což odporovalo převládající filozofii a náboženským představám. Podobně byly velice pestré i debaty o postavení člověka ve vesmíru, od kreacionistických dogmat až k racionálním aspektům kosmologie.**

Společnost v minulosti prostě chtěla, aby se vesmír otáčel kolem ní. Modely vesmíru ve starověku situovaly Zemi do jeho středu. Všechno ostatní se rozbíhalo od ní. Veškerá nebeská tělesa, která lidé znali, umístili na pevné křišťálové sféry, jež kolem Země rotují a způsobují, že se na nich přišpendlené hvězdy a planety každou noc pohybují kolem severního a jižního pólu, nebo prosvítají nepatrnými otvory v těchto sférách. Místo člověka jako klíčového hybatele vesmíru tak bylo zaručeno.

Přesto se vyskytovaly náznaky toho, že je tento model nesprávný – a ty pak přírodní filozofové skládali dohromady po generace. Nápad, že se obloha otáčí kolem Slunce, a nikoli kolem Země – heliocentrický model, pojmenovaný podle řeckého výrazu pro Slunce (*helios*) –, pochází od řeckých filozofů již z roku 270 př. n. l. Tvůrcem heliocentrického modelu vesmíru byl Aristarchos ze Samu. Po vypočítání relativních velikostí Země a Slunce si Aristarchos uvědomil, že je Slunce mnohem větší než Země. A tak dávalo mnohem větší smysl, že se menší Země pohybuje kolem většího Slunce, a ne naopak.

Ve 2. století se Ptolemaios snažil vypočítat pohyb hvězd a planet a předpovědět tak jejich polohu. Postupoval poměrně správně, ale existovaly zjevné pohyby planet, které jeho rovnice popsat nedokázaly. Nejméně pochopitelný byl tzv. retrográdní pohyb planet, tedy skutečnost, že se planety občas pohy-

## časová osa

**270 PŘ. N. L.**

Starověcí Řekové navrhují jako první heliocentrický model

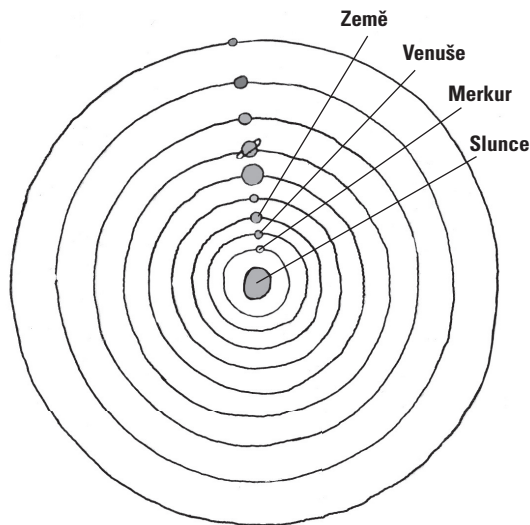
**2. století**

Ptolemaios vymýšlí epicykly, aby jimi vysvětlil retrográdní pohyb

bovaly opačným směrem. Ptolemaios, který si představoval, stejně jako mnozí před ním, že se planety na obloze pohybují po obrovských ozubených kolech, poskytl vysvětlení tím, že přidal na jejich oběžné dráhy další ozubené kolo. Tvrdil, že se planety pohybují po menších kružích, jejichž středy obíhají po hlavních kružnicích, stejně jako v obrovském hodinovém strojků. Tyto naskládané „epicykly“ umožňují příležitostný pohyb planet zpět po smyčkách.

Teorie epicyklů se ujala a později byla ještě zdokonalena. Filozofy tato myšlenka lákala, neboť příroda preferuje perfektní geometrii. Nicméně s vyšší přesností měření pohybu planet se zvětšovaly i nepřesnosti vypočítané pomocí tohoto matematického aparátu. Zpřesňováním naměřených údajů pak rozdíl jen dále narůstaly.

**Koperníkův model** Heliocentrické modely se během staletí objevovaly průběžně, ale nikdo je nebral příliš vážně. Instinktivně převládala pohled na vesmír, v jehož středu je Země, alternativní teorie byly považovány jen za myšlenkovou hru. Tento stav trval až do 16. století, kdy byl model, v jehož středu leží Slunce, doveden do konečných důsledků. V roce 1543 popsal polský astronom Mikuláš Koperník ve svém díle *De revolutionibus* matematické detaily heliocentrického modelu, který vysvětloval zpětný pohyb planet jako projekci jejich pohybu kolem Slunce při pohledu z podobně se pohybující Země.



„Nakonec bychom měli samotné Slunce  
umístit do středu vesmíru.“

Mikuláš Koperník

1543

Koperník popisuje svůj heliocentrický model

1609

Galileo objevuje Jupiterovy měsíce, Kepler definuje oběžné dráhy jako elipsy

1633

Galileo je souzen pro hlásání heliocentrismu

### MIKULÁŠ KOPERNÍK (1473–1543)

Mikuláš Koperník se narodil v Toruni na severu Polska. Studoval církevní školu, práva, medicínu, astronomii a astrologii. Fascinoval ho (ale spíše v kritickém slova smyslu) Ptolemaiov systém týkající se uspořádání vesmíru, a proto vypracoval svůj vlastní, v němž Země a další planety

obíhají kolem Slunce. Své dílo *De revolutionibus orbium coelestium (O oběžích nebeských sfér)* publikoval v březnu 1543, pouhé dva měsíce před smrtí ve věku 70 let. Jednalo se o průkopnické dílo, přestože mělo ještě poměrně daleko k myšlenkám moderní astronomie.

Koperníkův model, který zpochybnil výsadní postavení člověka, měl nedozírné následky. Církev a společnost preferovala Ptolemaiov geocentrický model. Koperník byl ale opatrný a publikování výsledků své práce pozdržel až do své smrti. Jeho argumenty byly pak sice zveřejněny, ale posléze byly opět tiše uloženy k ledu. Úkol nést pochodeň poznání dále připadl až dalším výrazným osobnostem.

**Galileiho přesvědčení** Italský astronom Galileo Galilei byl neustále napadán římskokatolickou církví za propagování heliocentrismu. Jeho odvaha byla podpořena možnostmi, které mu dával nově zkonstruovaný přístroj – dalekohled. Díky těmto pozorováním, jež byla mnohem kvalitnější než v případě jeho předchůdců, našel Galileo důkaz, že Země není středem všehomíra. Kolem Jupiteru obíhají měsíce a Venuše vykazuje fáze podobně jako Měsíc. Tyto objevy Galileo publikoval v roce 1610 v knize *Siderius nuncius (Hvězdný posel)*.

Jistý si svou pravdou týkající se heliocentrického pohledu na svět, vložil Galileo své názory v dopise adresovaném toskánské vévodkyni Kristýně. Poté, co prohlásil, že za zdánlivý pohyb Slunce po obloze může rotace Země, byl povolán do Říma. Vatikán uznal, že jeho pozorování jsou pravdivá, protože jezuitští astronomové viděli ve svých dalekohledech totéž, co Galileo. Nicméně i přesto církev odmítla jeho teorii přijmout s tím, že se jedná pouze o model a nelze jej brát doslova, jakkoli byl svou jednoduchostí přitažlivý. V roce 1616 církev Galileiho učení heliocentrismu zakázala a zabránila mu, aby tyto sporné myšlenky zastával a obhajoval.

## ” Je jistě nebezpečné pro duši člověka činit kacířství z víry v to, co je prokázané. “

Galileo Galilei

**Keplerův důvod** Mezitím na problematice matematického popisu pohybu planet pracoval německý astronom Johannes Kepler, který své závěry týkající se pohybu Marsu publikoval v roce 1609 v knize *Astronomia nova* (*Nová astronomie*) – tedy v témže roce, v němž Galileo namířil k obloze svůj dalekohled. Kepler zjistil, že pro popis oběžné dráhy planety Marsu kolem Slunce se lépe hodí elipsa než kružnice. Osvobozením se od předpokladu pohybu planet po pravidelných kružnicích se Kepler posunul daleko za Koperníkův model a zpřesnil předpovědi pohybů planet. Přestože dnes jsou Keplerovy vize považovány za základní fyzikální zákony, ve své době platily za příliš pokrokové a trvalo dlouhou dobu, než byly přijaty. Například Galileo si jich ani nevšiml.

Ačkoli bylo jeho učení zakázáno, byl si Galileo nadále jist, že umístění Slunce do středu je správné. Se svolením papeže Urbana VIII. napsal knihu *Dialogy o dvou největších systémech světa*, kde se zaměřil na argumentaci zastánců obou systémů. Dílo ovšem vyznělo jednoznačně ve prospěch jeho vlastních názorů. Proto byl Galileo opět povolán do Říma a v roce 1633 postaven před soudní tribunál, který ho odsoudil k domácímu vězení, v němž setrval až do své smrti v roce 1642. Formální omluvy se od Vatikánu dočkal až po téměř čtyřech stoletích, v předvečer výročí publikování své kontroverzní knihy.

**Postupné přijetí** Důkazy, že je heliocentrický pohled na sluneční soustavu správný, se plynule hromadily po staletí. Keplerův mechanismus oběžných drah ovlivnil i Newtonovu teorii gravitace. Jak byly objeovány vzdálenější planety, stával se fakt, že obíhají kolem Slunce, stále očividnějším. Místo člověka v centru dění již nebylo dále udržitelné.

# v kostce

## V centru se nachází Slunce

# 03 Keplerovy zákony

**Tři Keplerovy zákony o pohybu planet jsou základními stavebními kameny moderní fyziky. Popisují eliptické dráhy, po nichž planety obíhají kolem Slunce, čas, který potřebují na jeden oběh kolem Slunce, a skutečnost, že planety vzdálenější od Slunce obíhají pomaleji než ty bližší. Přestože Kepler svým dílem předběhl dobu, těžko si mohl představit, že jeho zákony dnes budou aplikovány na výpočet planet kroužících kolem vzdálených hvězd a sloužit k detekci přítomnosti temné hmoty ve vesmíru.**

Moderní astronomie vznikla v roce 1609, když Johannes Kepler publikoval svou práci *Astronomia nova*. Německý matematik odvodil rovnice popisující oběžné dráhy planet na základě pečlivých měření pohybu Marsu, pořízených dánským šlechticem a astronomem Tychonem Brahe, u něhož Kepler pracoval jako jeho asistent. Tycho byl talentovaný pozorovatel a jeho měření pohybu červené planety byla mnohem přesnější než jakákoli jiná měření té doby. Ale až Kepler dal všechna data dohromady a vytvořil novou teorii.

**Oběžné dráhy jsou elipsy** Keplerovo pojednání obsahovalo dva zákony o oběžných drahách; třetí zákon byl publikován v roce 1619. Keplerův první zákon říká, že planety obíhají kolem Slunce po eliptických drahách, přičemž Slunce se nachází v jednom z ohnisek elipsy. Tato skutečnost byla mnohem radikálnější, než se na první pohled zdá, neboť do té doby se astronomové domnívali, že oběžné dráhy musí být přesné kružnice. Do té doby totiž antičtí Řekové považovali útvary jako kruh, čtverec, čtyřlístek a další jednoduché geometrické tvary za dokonalé. Domnívali se, že příroda tyto perfektní tvary

## časová osa

**ASI 580 PŘ. N. L.**

Pythagoras soudí, že planety obíhají po dokonalých sférách

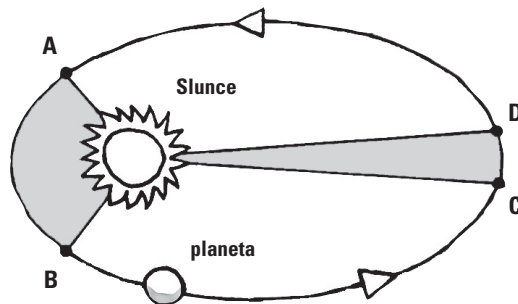
**ASI 150 N. L.**

Ptolemaios vysvětluje retrográdní pohyb pomocí epicyklů

**1543**

Koperník přichází s myšlenkou, že planety obíhají kolem Slunce

preferuje a jakékoli odchylky od nich nesnese. Kepler tyto názory zpočátku sdílel a představoval si, že se planety kolem Slunce nacházejí v řadách křišťálových sfér, které jsou do sebe vloženy a umístěny podle matematického poměru odvozeného z polygonů, ale Tychohem shromážděné údaje ho přiměly názor změnit.



Klíč našel v pohybu Marsu. Jeho oběžná dráha je protáhlejší než u všech ostatních planet (s výjimkou Merkuru), takže jeho pohyb na obloze je nepravidelný. Při pohledu ze Země se rychlost pohybu Marsu značně mění a planeta někdy udělá velký krok zpět, takže na obloze vykreslí smyčku. Astronomové před Keplerem se snažili vysvětlit tento zvláštní retrográdní pohyb přidáním malého kruhu zvaného epicykl na velký kruh oběžné dráhy. Kepler ale zjistil, že elipsa pro vysvětlení zvláštního pohybu Marsu poslouží lépe než epicykl. Je to proto, že se na sluneční soustavu díváme z pohybuující se Země, takže se nám zdá, že se ostatní planety občas pohybují opačným směrem. Takto Kepler vyřešil problém, který astronomové trápil po staletí.

V druhém zákonu Kepler popisuje, jak rychle se planety na svých oběžných drahách pohybují. Při pohybu po eliptické dráze opíše průvodič planety – tedy spojnice mezi Sluncem a planetou – za stejný čas stejnou plochu.

**” Výuka vědy by měla být také experimentální. Pohled na planety v dalekohledu vydá za všechny kurzy astronomie; zásah elektrickým proudem do ruky předčí všechny teorie; chuť oxidu dusného nebo výbuch umělé sopky jsou lepší než knihy zabývající se chemií. “**

Ralph Waldo Emerson

**1576**

Tycho Brahe mapuje polohy planet

**1609**

Kepler publikuje svůj první a druhý zákon

**1619**

Kepler publikuje třetí zákon

**1687**

Newton formuluje teorii gravitace

**2009**

NASA vypouští družici Kepler, jejímž úkolem je hledání planet u cizích hvězd



## Keplerovy zákony

První zákon: Planety obíhají po eliptických drahách a v jejich jednom ohnisku se nachází Slunce.

Druhý zákon: Plochy opsané průvodičem planety za jednotku času jsou stejné.

Třetí zákon: Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet je roven poměru třetích mocnin velikých poloos jejich eliptických drah.

Plocha podobná výseči koláče bude stejná za jednotku času mezi body A a B nebo C a D. Když se planeta nachází blízko Slunce, pohybuje se rychleji a její průvodič opíše širší kus koláče; je-li dále od Slunce, pohybuje se pomaleji a průvodič opíše za stejný čas menší úhel. Keplerův druhý zákon říká, že plocha dlouhého a tenkého kusu koláče je stejná jako plocha krátkého a širokého kusu. Kepler zjistil tuto skutečnost z pozorování, jak rychle se Mars pohybuje mezi různými body své oběžné dráhy.

Keplerův třetí zákon jde ještě dále a popisuje, jak se periody oběhu planet mění se vzdáleností eliptické dráhy od Slunce. Říká, že poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet je roven poměru třetích mocnin velikých poloos jejich eliptických drah. Čím větší je vzdálenost dráhy planety od Slunce, tím větší čas potřebuje planeta k tomu, aby tuto dráhu proběhla – takže planety pohybující se ve větších vzdálenostech od Slunce obíhají pomaleji než planety bližší. Mars potřebuje ke svému oběhu okolo Slunce necelé 2 roky, Saturn 29 let a Neptun 165 let. Merkur oběhne Slunce za 80 pozemských dní. Kdyby se Jupiter pohyboval stejnou rychlostí, stačilo by mu na jeden oběh 3,5 roku, ale ve skutečnosti jich potřebuje téměř 12.

**Moderní člověk** Keplerovy zákony o čtyři století později hravě obstály ve zkoušce času. Můžeme je aplikovat na každé těleso, které obíhá kolem jiného: od komet, planetek a měsíců v naší sluneční soustavě až po planety obíhající kolem cizích hvězd, a dokonce i na umělé družice na oběžné dráze kolem

**”Měřil jsem nebe, nyní měřím stíny,  
myšlenkami ve hvězdách, tělem na zemi.”**

Keplerův epitaf

**”Princip vesmíru je jednoduchý. Je to stejné jako naše zákony: ukazuje se, že jsou jednoduché, ačkoli ve skutečnosti popisují složité věci.“**

**Richard P. Feynman**

Země. Navíc byl Kepler jedním z prvních lidí, kteří použili vědecké metody, jež používáme dnes my – aby mohl otestovat teorie platné v celém vesmíru, nejprve pozoroval, pak analyzoval data.

Kepler uspěl při popisu drah geometrickými zákony, nevěděl však, proč tyto zákony platí. Věřil, že jsou důsledkem geometrických principů popisujících naši přírodu. Ve skutečnosti jsou důsledkem zákonů gravitace a pohybu, které formuloval Newton.

### **JOHANNES KEPLER (1571–1630)**

Kepler vyrůstal v Německu se svou matkou v dědečkově hostinci. Astronomii miloval odmalička. Jeho záznamy o kometě a zatmění Měsíce pocházejí z doby, kdy mu nebylo ani deset let. Po studiu na univerzitě v Tübingenu učil matematiku v Grazu. Kepler byl zbožný člověk, který věřil, že Bůh stvořil vesmír podle matematického plánu. Svou kosmologickou teorii publikoval v díle *Mysterium cosmographicum* (*Kosmografické mystérium*). Později asistoval Tychonovi Brahe v astronomické

observatoři v Benátkách nad Jizerou, v roce 1601 po něm zdědil post císařského matematika u dvora Rudolfa II. Kepler vytvářel pro panovníka horoskopy a analyzoval Tychonovy astronomické tabulky. Na jejich základě publikoval v díle *Astronomia nova* (*Nová astronomie*) své teorie o nekruhových oběžných drahách a první a druhý zákon o pohybu planet. Třetí zákon o pohybu planet pak popsal v díle *Harmonices mundi* (*Harmonie světů*).

**v kostce**  
**Zákon světů**

# 04 Newtonův gravitační zákon

**Isaac Newton tvrdil, že se všechna tělesa navzájem přitahují kvůli gravitační síle, jejíž velikost klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Jeho myšlenka propojující nebe se Zemí vysvětluje oběžné dráhy planet a zároveň říká, proč věci padají na zem. Ačkoli byl gravitační zákon později nahrazen obecnou relativitou, zůstává jedním z nejvýznamnějších zákonů fyziky, neboť vysvětluje pohyb v našem světě i v okolním vesmíru.**

Newton údajně přišel na myšlenku gravitace při přemítání nad tím, proč jablko padá ze stromu na zem. Ve své knize *A treatise of the system of the world* (*Pojednání o světovém systému*), vydané v roce 1728, popisuje různé myšlenkové experimenty – například dělo na vysoké hoře. Jestliže dělovou kouli vystřelíme pomalu, dopadne na zem nedaleko místa výstřelu. Jestliže ji ale vystřelíme rychle, dopadne dále. Existuje určitá kritická rychlost, při níž se koule dostane na oběžnou dráhu kolem Země, bude ji obíhat a na povrch nikdy nedopadne. Při ještě větší rychlosti odletí do vesmíru.

**Centrální síla** Ze svých dřívějších zákonů pohybu, které popisují, jak se těleso chová, působí-li na něj síly, Newton věděl, že nebudou-li na dělo při odpálení působit žádné vnější síly, měla by se koule pohybovat po přímce. Pokud na hmotné těleso působí síla, mění jeho směr nebo rychlost, uděluje mu zrychlení úměrné velikosti síly. Jestliže se dělová koule pohybuje po zakřivené trajektorii, musí na ni působit síla. Tato síla, která působí směrem do středu Země, se jmenuje gravitace. Každé na zem padající těleso tak získává každou sekundu zrychlení 9,81 metru za sekundu.

## Časová osa

**350 PŘ. N. L.**

Aristoteles řeší, proč tělesa padají

**1609**

Kepler objevuje zákony pohybu planet

**ISSAC NEWTON (1643–1727)**

Newton byl prvním anglickým vědcem, který získal šlechtický titul. Přestože byl ve škole „ledabylý“ a na univerzitě v Cambridgi ničím nevyňikal, v době, kdy ho epidemie moru v létě roku 1665 přinutila opustit univerzitu, v sobě náhle objevil vědecké zanícení. Vrátil se domů do Lincolnshiru a začal se věnovat matematice, fyzice a astronomii. Formuloval zde základy diferenciálního a integrálního počtu, vytvořil i první verzi svých tří pohybových zákonů a vyvodil, že gravitace je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti. V roce 1669 se Newton ve věku 26 let stal v Cambridgi profesorem matematiky. Zájem soustředil na optiku a objevil, že se světlo po průchodu hranolem rozkládá na

barvy duhy, které lze opět složit v bílé světlo. Jeho teorie, že se světlo skládá z drobných částic, vedla k proslulé roztržce s Robertem Hookem a Christiaanem Huygensem. Newton je autorem dvou významných prací – *Matematické základy přírodní filozofie (Philosophiae naturalis principia mathematica, zkráceně Principia)* a *Optika*. Později byl i politicky aktivní: hájil akademickou svobodu, když se král Jakub II. pokusil zasahovat do správy univerzit, v roce 1689 dokonce vstoupil do parlamentu. Měl rozporuplnou povahu. Dychtil po pozornosti a zároveň byl uzavřený do sebe, aby unikl kritice. Využíval své vlivné postavení k ostrému boji proti vědeckým konkurentům.

Když se na olympiádě vrhač kladivem roztáčí na patách, je to právě tah struny, co nutí kladivo rotovat. Bez tohoto tahu by kladivo odletělo po přímce, což udělá ve chvíli, kdy jej sportovec pustí. Stejně je to s Newtonovou dělovou koulí: bez dostředivé síly, která ji přitahuje k Zemi, by koule odletěla do vesmíru. Výsledek tohoto myšlenkového pokusu aplikoval Newton i na Měsíc, který obíhá Zemi proto, že je přitahován neviditelnou gravitací. Země a planety jsou drženy na oběžných drahách kolem Slunce podobným způsobem. Bez působení gravitace by odletěly do vesmíru. To, co platí pro obyčejné jablko na Zemi, zobecnil Newton svým gravitačním zákonem na pohyby v celém vesmíru.

Postupným odhalováním detailů odvodil Newton univerzální zákon gravitace. Zjistil, že gravitační přitažlivá síla je úměrná hmotnosti tělesa. Obrov-

„**Za přitažlivost mezi lidmi gravitace nemůže.**“

**Albert Einstein**

**1687**

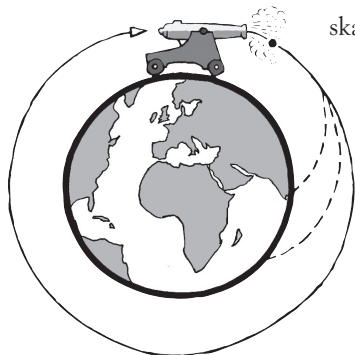
Newton publikuje *Principia*

**1905**

Einstein formuluje speciální teorii relativity

**1915**

Einstein publikuje obecnou teorii relativity



ská hmotnost Země způsobuje, že účinek její gravitace míří do středu je mnohem silnější než účinek opačné síly, kterou jakékoli těleso na jejím povrchu, ať už se jedná o mravence, nebo člověka, působí na Zemi. Obě tělesa na sebe působí stejnou silou, ale hmotnější Země vítězí: protože je o tolik hmotnější, její zrychlení způsobené touto silou je mnohem menší. Měsíc má značný vliv na pozemská moře, svou gravitací natahuje Zemi a způsobuje příliv a odliv. Jupiter je tak hmotný, že nepatrně ovlivňuje oběžné dráhy všech ostatních planet a přitahuje komety, které poté padají do jeho bouřlivé atmosféry.

**Váha** Je to právě gravitace, která dává význam pojmu váha. Když si stoupneme na váhu, měříme sílu, kterou na váhu tlačíme. To by se ale na Měsíci nebo na Marsu změnilo, neboť gravitace menších těles je slabší. Na Měsíci byste vážili šestkrát méně než na Zemi, a to je důvod, proč si astronauti na Měsíci užívali vysokých skoků a hraní golfu. Na Marsu byste byli také lehčí, měli byste asi jen 40 procent své váhy na Zemi. Ovšem na Jupiteru byste se cítili více než dvakrát těžší. Kvůli těmto změnám používají fyzikové raději termín hmotnost, tedy veličinu, jež odpovídá množství a hmotnosti atomů, které těleso tvoří, nebo množství energie, jež je potřeba k uvedení tělesa do pohybu. Zatímco váha závisí na tom, kde se nacházíte, hmotnost je na místě nezávislá.

Newton také zjistil, že gravitace funguje na velké vzdálenosti – Měsíc působí na Zemi, přestože se jí nedotýká. Vypočítal, že gravitační síla je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti tělesa, tedy s touto mocninou klesá. Kdyby byl

## Změny gravitace

Pokud se podíváme pečlivě, můžeme na Zemi vidět nepatrné změny v lokální síle gravitace. Protože masivní pohoří a horniny s rozdílnou hustotou mohou ve své blízkosti zvyšovat nebo snižovat sílu gravitace, je možné pomocí gravimetru mapovat terén a zkoumat strukturu zemské kůry. Archeologové někdy využívají nepatrných změn gravitace k nalezení sídliště pohřbených pod povrchem. V poslední době zase vědci používají měření gravitace umělých družic k zaznamenání (klesajícího) množství ledové pokrývky na zemských pólech a také k detekci změn v zemské kůře, k nimž dochází po velkých zemětřeseních.



**„Každé těleso ve vesmíru přitahuje každé jiné těleso ve směru přímky spojující jejich středy, a to úměrně jejich hmotnosti a nepřímo úměrně čtverci jejich vzdálenosti.“**

Isaac Newton

Měsíc od Země dvakrát dále, cítil by čtvrtinové přitahování, pokud by byl dále třikrát, přitažlivá síla by se rovnala pouze jedné devítině.

Newtonův gravitační zákon spolu s pohybovými zákony vysvětluje to, co Johannes Kepler popsal ve svých třech zákonech (viz stranu 14). Planety se v blízkosti Slunce po svých eliptických drahách pohybují rychleji, protože pocítují větší přitažlivost gravitační síly. Planeta obíhající vysokou rychlostí se poté od Slunce vzdaluje a postupně zpomaluje až do doby, než se k němu začne znovu přibližovat.

Newton shrnul své poznatky o gravitaci v knize *Philosophiae naturalis principia mathematica*, známé jako *Principia*. Dílo publikované v roce 1687 je stále považováno za milník dějin vědy. Newtonův univerzální gravitační zákon vysvětluje pohyb nejen planet a měsíců, ale také nábojů, kyvadla a jablek. Popisuje oběžné dráhy komet, vysvětluje příliv a odliv a precesi zemské osy. Toto dílo zajistilo Newtonovi pověst jednoho z největších vědců všech dob.

Newtonův zákon gravitace je možné použít pro většinu těles, která vidíme, pro výpočet chování planet, komet a planetek ve sluneční soustavě, jež se nacházejí dále od Slunce, kde je jeho gravitace poměrně slabá. Pomocí Newtonova gravitačního zákona byla předpovězena existence a poloha planety Neptun; byl objeven v roce 1846 na očekávaném místě za dráhou Uranu. Ale byla to oběžná dráha planety Merkur, která si vynutila další posun fyzikálního poznání. K vysvětlení problémů v místech, kde je gravitace velmi silná, jako například v blízkosti Slunce, hvězd a černých děr, je zapotřebí obecná teorie relativity.

## Zrychlení

Zrychlení tělesa padajícího na povrch Země způsobené gravitací označujeme jako  $g$ , jeho hodnota je 9,81 metru za sekundu každou sekundu.

**v kostce**  
**Hmota se navzájem přitahuje**