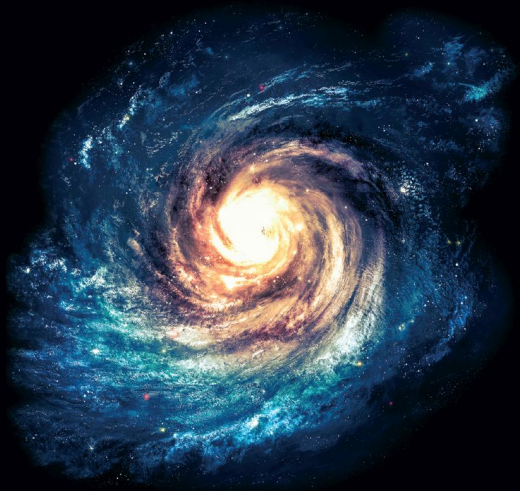


# Vesmír

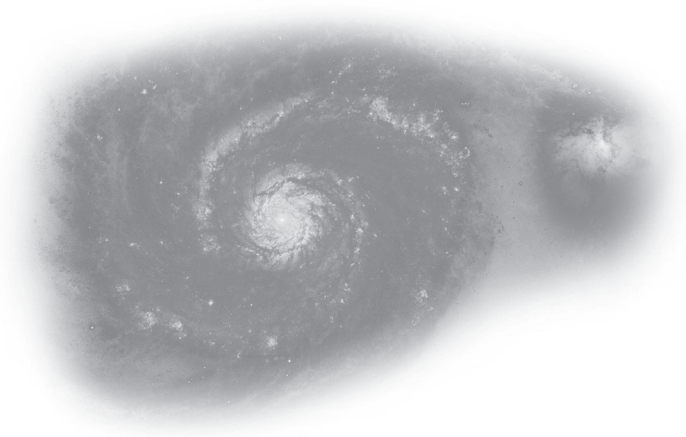
50 myšlienok,  
ktoré by ste mali poznať



Joanne Baker

# Vesmír

## 50 myšlienok, ktoré by ste mali poznať



Joanne Baker

**slovar**

# Obsah

Úvod 3

## ODHAĽOVANIE VESMÍRU

- 01 Planéty 4
- 02 Heliocentrizmus 8
- 03 Keplerove zákony 12
- 04 Newtonov gravitačný zákon 16
- 05 Newtonova teória optiky 20
- 06 Ďalekohľad 24
- 07 Fraunhoferove čiary 28
- 08 Dopplerov jav 32
- 09 Paralaxa 36
- 10 Veľká debata 40

## KOZMOLÓGIA

- 11 Olbersov paradox 44
- 12 Hubblov zákon 48
- 13 Vzdialenosti vo vesmíre 52
- 14 Veľký tresk 56
- 15 Reliktové žiarenie 60
- 16 Prvotná nukleosyntéza 64
- 17 Antihmota 68
- 18 Tmavá hmota 72
- 19 Kozmická inflácia 76
- 20 Tmavá energia 80

## ŽIVOT V ČASOPRIESTORE

- 21 Machov princíp 84
- 22 Špeciálna teória relativity 88
- 23 Všeobecná teória relativity 92
- 24 Čierne diery 96
- 25 Časticová astrofyzika 100

- 26 Higgsov bozón 104
- 27 Strunová teória 108
- 28 Antropický princíp 112

## GALAXIE

- 29 Klasifikácia galaxií 116
- 30 Kopy galaxií 120
- 31 Veľkorozmerné štruktúry 124
- 32 Rádiová astronómia 128
- 33 Kvazary 132
- 34 Röntgenové pozadie 136
- 35 Supermasívne čierne diery 140
- 36 Vývoj galaxií 144
- 37 Gravitačné šošovky 148

## HVIEZDY

- 38 Klasifikácia hviezd 152
- 39 Hviezdna evolúcia 156
- 40 Zrod hviezd 160
- 41 Zánik hviezd 164
- 42 Pulzary 168
- 43 Gama záblesky 172
- 44 Premenné hviezdy 176
- 45 Slnko 180
- 46 Extrasolárne planéty 184
- 47 Vznik Slnčnej sústavy 188
- 48 Mesiace 192
- 49 Astrobiológia 196
- 50 Fermiho paradox 200
- Slovník 204

Register 206

# Úvod

Astronómia je jednou z najstarších a najrozvinutejších vied. Poznatky, ktoré sme získali, odkedy naši predkovia začali sledovať pohyby Slnka a hviezd, radikálne zmenili náš pohľad na postavenie človeka vo vesmíre. Každý prelomový objav ovplyvnil aj spoločnosť: v 17. storočí Galilea odsúdili za to, že hlásal kontroverznú myšlienku pohybu Zeme okolo Slnka, a dôkazy, že Slnčná sústava neleží v centre Mliečnej cesty, vyvolali podobný nesúhlas. V dvadsiatych rokoch 20. storočia Edwin Hubble umlčal účastníkov debaty o našej Galaxii zistením, že Mliečna cesta je iba jednou z miliárd galaxií roztrúsených v nesmierne veľkom rozpínaní – sa vesmíre, starom takmer 14 miliárd rokov.

Rozvoj technológií v minulom storočí podstatne zvýšil rýchlosť objavov. V prvej tretine 20. storočia sme zistili, prečo a ako vlastne hviezdy svietia, rozšírili sme si poznatky o jadrovej energii a rádioaktívnom žiarení, a dokonca sme vyrobili atómovú bombu. Obdobie druhej svetovej vojny a po nej prinieslo rozvoj rádiovej astronómie, objav pulzarov, kvazarov a čiernych dier. Otvorili sa nové okná do vesmíru, takže sme ho mohli začať skúmať od mikrovlnnej oblasti reliktového kozmického žiarenia až po röntgenové a gama žiarenie. A v každej oblasti sme urobili nové objavy.

Táto kniha ponúka prehľad myšlienok astrofyziky z modernej perspektívy. Prvé kapitoly opisujú veľké skoky v myslení človeka pri poznávaní veľkosti vesmíru a obsahujú súhrn základných princípov od gravitácie až po princíp fungovania ďalekohľadu. Ďalšie kapitoly sú súhrnom doterajších poznatkov z kozmológie, vedy, ktorá skúma vesmír ako celok – študuje, z čoho sa skladá, ako vznikol a ako sa postupne vyvíja. Nasleduje prehľad teoretických konceptov vesmíru vrátane teórie relativity, čiernych dier a paralelných svetov. Záver knihy tvoria aktuálne poznatky o galaxiách, hviezdach a planetárnych sústavách od kvazarov a vývoja galaxií až po extrasolárne planéty a astrobiológiu. Nové objavy rýchlo pribúdajú a možno už v najbližších desaťročiach budeme svedkami ďalšieho veľkého posunu – objavu života mimo planéty Zem.

# 01 Planéty

**Koľko planét existuje? Ešte pred niekoľkými rokmi to bola jednoduchá otázka, na ktorú vedel odpovedať každý žiak tretej triedy – deväť. Dnes je ich počet diskutabilný. Astronómovia skomplikovali situáciu tým, že vo vzdialených mrazivých končinách Slnecnej sústavy objavili skalnaté telesá, ktoré konkurujú Plutu, ako aj stovky planét obiehajúcich okolo vzdialených hviezd. Museli teda prehodnotiť definíciu planéty, podľa ktorej máme v súčasnosti v Slnecnej sústave osem „pravých“ planét a niekoľko trpasličích planét, ako je Pluto.**

Už z prehistórie vieme, že planéty sa od hviezd odlišujú. Planéty, ktorých pomenovanie pochádza z gréckeho slova označujúceho pútnika, putujú naprieč nehybnou hviezdou oblohou. Hviezdy totiž vytvárajú na oblohe každú noc rovnaké obrazy. Súhvezdia sa pomaly otáčajú okolo severného a južného pólu, pričom každá hviezda vykreslí na oblohe počas 24 hodín kružnicu. Poloha planét voči hviezdám sa však každý deň mierne posúva naprieč oblohou, sledujúce naklonenú dráhu, ktorá sa nazýva rovina ekliptiky. Všetky planéty obiehajúce okolo Slnka sa pohybujú v rámci tejto roviny, ktorá sa na oblohu premieta ako čiara.

Veľké planéty – Merkúr, Venuša, Mars, Jupiter a Saturn – sú známe už tisícročia. Sú dobre viditeľné voľným okom, často prežarujú svojich hviezdnych susedov a ich spätné pohyby im prepožičiavali mýtické postavenie. Ďalekohľad, vynájdený v 17. storočí, nám o nich prezradil viac: Saturn lemujú nádherné prstence, okolo Jupitera obieha mnoho mesiacov a na povrchu Marsu sa nachádzajú tmavé kanály.

**Planéta X** Nebeskou istotou otriasla planéta Urán, ktorú v roku 1781 objavil britský astronóm William Herschel. Nevýrazný a pohybujúci sa pomalšie ako ktorákoľvek iná známa planéta bol Urán pôvodne považovaný za túľajúcu sa hviezdu. Herschelovo dôsledné pozorovanie však dokázalo, že Urán obieha okolo Slnka,

## časová os

**350 PRED N. L.**

Aristoteles tvrdil, že Zem je guľatá.

**1543**

Kopernik zverejnil svoju heliocentrickú teóriu.

**1610**

Galileo Galilei objavil pomocou ďalekohľadu Jupiterove mesiace.

**1781**

William Herschel objavil Urán.

a tak dostal status planéty. Vďaka svojmu objavu si Herschel získal priazeň kráľa Juraja III. Aby si ju udržal, planétu podľa panovníka aj pomenoval.

Nasledovali ďalšie objavy. Mierne nepravidelnosti v obežnej dráhe Uránu viedli k úsudku, že jeho dráhu čiastočne narúša ďalšie nebeské teleso ležiace za ním. Niekoľko astronómov teda prehľadávalo prislušnú oblasť oblohy a pátralo po túlajúcom sa votrelcovi. Písal sa rok 1846, keď Francúz Urbain Jean Joseph Le Verrier objavil Neptún, čím tesne predbehol britského astronóma Johna Coucha Adamsa.

V roku 1930 bolo objavené Pluto. Jeho existenciu naznačovali, rovnako ako v prípade Neptúna, mierne odchýlky medzi očakávanými a skutočnými pohybmi vonkajších planét. Pluto objavil Clyde Tombaugh z Lowellovho observatória v Spojených štátoch amerických, keď porovnával fotografie nočnej oblohy zhotovené v rôznych časových úsekoch: novú planétu prezradil jej pohyb. V čase objavu dostala názov Planéta X. Autorkou dnešného názvu planéty je oxfordská školáčka Venetia Burneyová. Novému vesmírnemu telesu vymyslela názov Pluto podľa rímskeho boha podsvetia. Planéta Pluto inšpirovala v tom čase vedu aj kultúru, podľa nej napríklad dostal meno novoobjavený prvok plutónium, ale aj rozprávková kreslená postavička psa.

**Pluto zosadené z trónu** Slnecná sústava zložená z deviatich planét pretrvala 75 rokov, kým Michael Brown z Kalifornskej technickej univerzity spolu so svojimi spolupracovníkmi nezistil, že Pluto nie je osamelé. Na chladnom okraji Slnecnej sústavy neďaleko od obežnej dráhy tejto planéty objavili niekoľko podobne veľkých telies. Jedno z nich bolo dokonca väčšie ako Pluto. Nazvali ho Eris. Astronómovia stáli pred zložitou otázkou: má byť Brownov objav uznaný ako desiatu planéta?

## Definícia planéty

Planéta je nebeské teleso, ktoré: a) obieha okolo Slnka, b) má dostatočnú hmotnosť na to, aby jeho gravitácia prekonalala vnútorné sily pevného telesa, vďaka čomu nadobudlo guľovitý tvar, c) vyčistilo okolie svojej obežnej dráhy od malých telies.

” Planéty sú, podobne ako kontinenty, definované viac tým, ako o nich premýšľame, než tým, čo niekto vysloví na základe faktov. “

Michael Brown, 2006

**1843 – 1846**

Adams a Le Verrier predpovedali a následne objavili Neptún.

**1930**

Clyde Tombaugh objavil Pluto.

**1962**

Sonda Mariner 2 priniesla prvé zábery z povrchu Venuše.

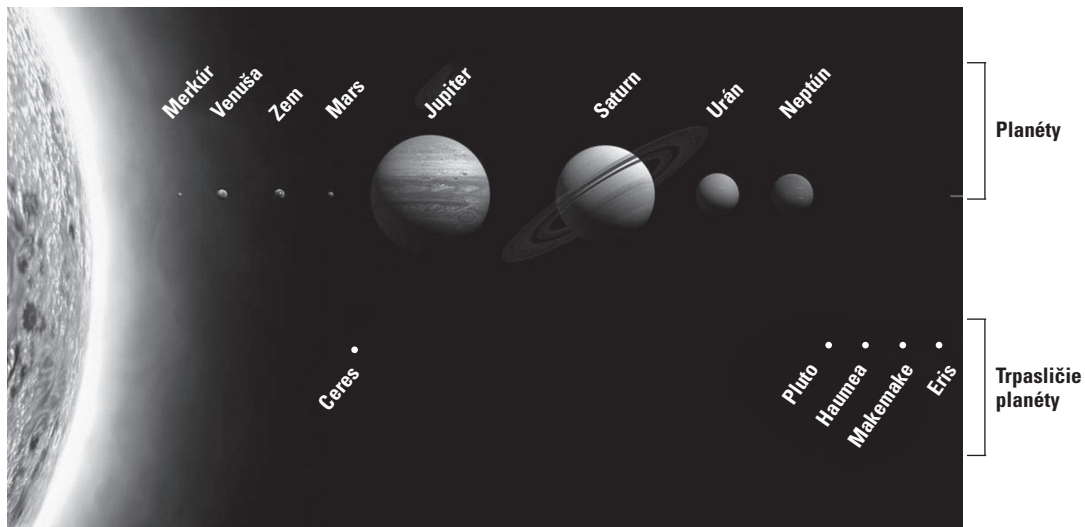
**1992**

Objav prvej planéty mimo Slnecnej sústavy

**2005**

Brown objavil Eris.





A čo ostatné ľadové telesá v blízkosti Pluta a Erisu? Status Pluta ako planéty bol spochybnený. Okraj Slnecnej sústavy je v skutočnosti posiaty množstvom zľadovatených telies, z ktorých boli Pluto a Eris jednoducho najväčšie. Ba čo viac, skalnaté asteroidy podobnej veľkosti boli známe aj z iných častí Slnecnej sústavy. Napríklad Ceres, asteroid s priemerom 950 kilometrov, bol objavený v roku 1801 medzi Marsom a Jupiterom pri hľadaní Neptúna.

V roku 2005 sa zišla komisia Medzinárodnej astronomickej únie, organizácia profesionálnych astronómov, aby rozhodla o osude Pluta. Brown a niekoľko

### WILLIAM HERSCHEL (1738 – 1822)

Frederick William Herschel sa narodil v nemeckom Hannoveri v roku 1738. V roku 1757 emigroval do Anglicka a živil sa ako hudobník. Študoval matematiku, ktorá ho, rovnako ako sestru Caroline, priviedla k astronómii. Aby mohli so sestrou pozorovať nočnú oblohu, v roku 1772 ju pozval do Anglicka a spolu zostrojili ďalekohľad, pomocou ktorého zana-

menali stovky dvojhviezd a tisíce hmlovín. Herschel objavil Urán a pomenoval ho *Georgium Sidum* na počesť kráľa Juraja III., ktorý ho vymenoval za kráľovského astronóma. K ďalším Herschelovým objavom patrí aj potvrdenie binárnej povahy mnohých dvojhviezd, sezónne zmeny polárnych čiapočiek Marsu a objavy mesiacov Uránu a Saturnu.

ďalších astronómov sa z historických dôvodov snažili chrániť status Pluta ako planéty. Podľa nich by sa mala za planétu považovať aj Eris. Iní astronómovia však zastávali názor, že všetky ľadové telesá za dráhou Neptúna nie sú skutočnými planétami. Hlasovanie sa uskutočnilo na konferencii v roku 2006, kde sa odsúhlasila nová definícia planéty. Tá totiž dovtedy nejestvovala. Niektorí astronómovia oponovali, že pokus o presné definovanie planéty je rovnako nezmyselný ako snaha jednoznačne zdefinovať kontinent. Ak je Austrália kontinentom, čo je potom Grónsko? Kde sa začína Európa a kde Ázia? Astrofyzici sa však napokon zhodli na súbore pravidiel.

”Náš svet je možno peklom ďalšej planéty.“

Aldous Huxley

Planéta je nebeské teleso, ktoré obieha okolo Slnka, má dostatočnú hmotnosť na to, aby jeho vlastná gravitácia sformovala jeho guľovitý tvar a vyčistilo okolie svojej obežnej dráhy od ďalších telies. Podľa týchto pravidiel nie je Pluto planétou, pretože nespĺňa poslednú podmienku. Pluto a Eris boli klasifikované ako trpasličie planéty, podobne ako Ceres. Menšie telesá, okrem mesiacov, zostali nešpecifikované.

**Ďaleko od Slnka** Táto definícia planéty platí pre Slnčnú sústavu. Rovnako dobre je však aplikovateľná aj mimo nej. V súčasnosti je známych vyše 2 000 planét, ktoré obiehajú okolo iných hviezd než Slnko. Astronómovia ich identifikovali napríklad na základe drobných pohybov materských hviezd, ktoré spôsobili veľké hmotnosti obiehajúcich planét. Väčšina z týchto planét sú plynné obry podobne ako náš Jupiter. Nové družice, napríklad družica Kepler vypustená v roku 2009, sa snažia zaznamenať aj menšie planéty v blízkosti iných hviezd, ktoré by mohli byť podobné Zemi.

Ďalšia nedávno spochybnená definícia sa týka hviezd. Hviezdy sú plynné gule, podobne ako Slnko, ktoré sú dostatočne veľké na to, aby vo svojom vnútri spustili jadrovú fúziu. Hviezda žiari práve vďaka takto uvoľňovanej energii. Stále však nie je zrejmé, kde sa nachádza hranica medzi guľami plynu s veľkosťou planéty, ako napríklad Jupiter, a najmenšími slabými hviezdami, ako sú hnedé trpaslíky. Vesmír môže byť plný nerozžiarených a dokonca aj voľne putujúcich planét.

## V skratke

# Vesmír je plný planét.



# 02 Heliocentrizmus

**Aj keď dnes už nikto nepochybuje, že Zem a planéty obiehajú okolo Slnka, ľudstvo tento fakt spočiatku neprijalo. V 17. storočí sa však zozbieralo viacero dôkazov, ktoré v rozpore s prevládajúcou filozofiou a náboženstvom otriasli dovtedajším pohľadom na svet, že Zem je stredom vesmíru. Podobné debaty o postavení človeka vo vesmíre prebiehajú dodnes, od kreacionistickej dogmy až po racionálne názory kozmológie.**

Rané spoločnosti doslova vyžadovali, aby sa vesmír otáčal okolo nich. Modely vesmíru v staroveku umiestňovali Zem do jeho stredu a od nej sa všetko ostatné lúčovito šírilo. V období antiky si ľudia predstavovali, že všetky vesmírne telesá sú pevne umiestené na krištáľových sférach, ktoré sa otáčajú okolo Zeme. Hviezdy a planéty preto každú noc krúžia okolo severného a južného pólu a presvitajú drobnými otvormi vo sférach. Miesto i postavenie ľudstva ako kľúčového prvku vo vesmíre bolo zaručené.

Napriek tomu sa však objavovali náznaky, že tento model nie je správny, a práve nad nimi si celé generácie prírodných filozofov lámali hlavu. Myšlienku, že nebeské telesá obiehajú okolo Slnka a nie okolo Zeme – heliocentrický model, pomenovaný podľa gréckeho označenia Slnka –, vyslovili už grécki filozofi v období okolo roku 270 pred n. l. Zmienky o ňom sa našli v spisoch Aristarcha zo Samosu. Keď si po výpočte relatívnych veľkostí Zeme a Slnka uvedomil, že Slnko je podstatne väčšie, dávala mu oveľa väčší zmysel predstava, že sa pohybuje menšia Zem, nie väčšie Slnko.

V 2. storočí sa Ptolemaios snažil pomocou matematických výpočtov predpovedať pohyby hviezd a planét. Postupoval pomerne správne, no jeho rovnice nedokázali opísať všetky pohyby planét. Nevysvetliteľná bola napríklad ob-

## časová os

**270 PRED N. L.**

Starovekí Gréci navrhli heliocentrický model.

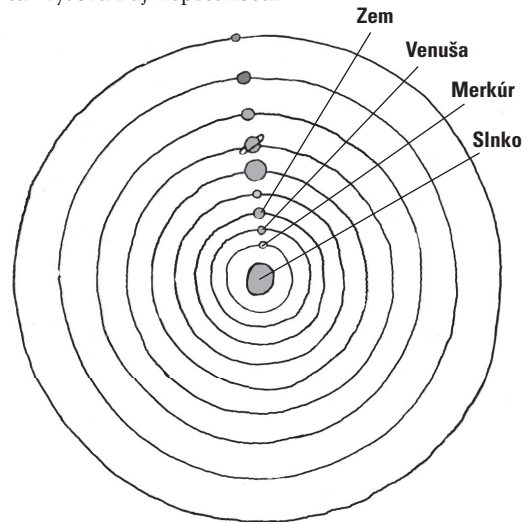
**2. storočie**

Ptolemaios vysvetlil retrográdne pohyby planét epicyklami.

časná zmena smeru ich pohybu, pri ktorom sa planéty začali pohybovať opačne (tzv. retrográdny pohyb). Ptolemaios, ktorý si tak ako mnohí filozofi pred ním predstavoval, že planéty sa pohybujú po obrovských kružniciach, pridal na vysvetlenie tohto javu na obežné dráhy planét ďalšie menšie orbity a vyhlásil, že popri hlavnej obežnej dráhe sa planéty pohybujú aj po týchto menších kružniciach. Celý jeho systém možno prirovnať k obrovskému hodinovému stroju. Tieto navrstvené „epicykly“ vzbudzovali dojem, že planéty sa príležitostne slučkovito pohybujú dozadu.

Teória epicyklov sa ujala a neskôr bola podrobne rozpracovaná. Filozofov priťahovala myšlienka, že príroda uprednostňuje dokonalú geometriu. Ako však astronómovia s čoraz väčšou presnosťou dokázali merať putovanie planét, ich matematické výpočty pri vysvetľovaní retrográdnych pohybov čoraz viac zlyhávali. S narastajúcou presnosťou získaných údajov sa zvyšovali aj nepresnosti.

**Kopernikov model** V ďalších storočiach sa myšlienky heliocentrizmu príležitostne objavovali, no nikto ich nebral vážne. Inštinktívne prevládal geocentrický pohľad na vesmír a alternatívne teórie zostávali v rovine fantázie a bujnej predstavivosti. Heliocentrický model sa dočkal detailného rozpracovania až v 16. storočí. V roku 1543 poľský astronóm Mikuláš Kopernik v knihe *De revolutionibus orbium coelestium* (*Obehy nebeských sfér*) matematicky opísal heliocentrický model, v ktorom vysvetlil spätné pohyby planét ako projekciu ich pohybu okolo Slnka pri pohľade z podobne sa pohybujúcej Zeme.



**„Nakoniec by sme mali do stredu vesmíru umiestniť samotné Slnko.“**

**Mikuláš Kopernik**

**1543**

Kopernik zverejnil heliocentrický model.

**1609**

Galileo Galilei objavil Jupiterove mesiace. Kepler opísal obežné dráhy ako elipsy.

**1633**

Galilei bol odsúdený za hlásanie heliocentrizmu.

### MIKULÁŠ KOPERNIK (1473 – 1543)

Mikuláš Kopernik sa narodil v poľskom meste Toruň. Študoval za kňaza, ale absolvoval aj hodiny práva, medicíny, astronómie a astrológie. Napriek kritike ho Ptolemaiove myšlienky o usporiadaní vesmíru natoľko fascinovali, že vypracoval svoj vlastný systém, v ktorom Zem a planéty obiehali

okolo Slnka. Kopernikovo dielo *De revolutionibus orbium coelestium*, uverejnené v marci 1543, iba dva mesiace pred jeho smrťou, bolo priekopnícke a položilo základy heliocentrickej teórie vesmíru. Napriek tomu však bolo ešte dost vzdialené od názorov a teórií modernej astronómie.

Kopernikov model, ktorý spochybnil výsadné postavenie ľudstva vo vesmíre, mal ďalekosiahle následky. Vtedajšia mocná cirkev a spoločnosť uprednostňovali Ptolemaiov geocentrický model. Kopernik bol však predvídavý a vydanie svojej práce odkladal až do svojej smrti. Jeho argumenty boli síce zverejnené, ale po čase upadli do zabudnutia. Úloha prevziať a niesť štafetu pokroku vtedy pripadla inej, priebojnejšej a výraznejšej osobnosti.

**Galileiho presvedčenie** Talianskeho astronóma Galilea Galileiho rímskokatolícka cirkev neustále napádala za hlásanie heliocentrického modelu. Odvahu mu však dodávali pozorovania, ktoré robil pomocou práve vynájdeného nového prístroja – ďalekohľadu. Galilei mohol pozorovať oblohu oveľa lepšie a detailnejšie než jeho predchodcovia a našiel dôkaz, že Zem nie je stredom všetkého jestvujúceho – okolo Jupitera krúžili mesiace a Venuša mala fázy podobné fázam Mesiaca. Galilei svoje objavy publikoval v roku 1610 v spise *Sidereus Nuncius* (*Hviezdny posol*).

Galilei bol presvedčený o pravdivosti svojho heliocentrického pohľadu na svet a svoj názor obhajoval v liste adresovanom veľkovejvodkyňi Toskánska Kristíne Lorrainskej. Keď vyhlásil, že rotácia Zeme vzbudzuje dojem, že Slnko sa pohybuje naprieč oblohou, povolali ho do Ríma. Vatikán pripustil pravdivosť jeho pozorovaní, pretože jezuitskí astronómovia videli svojimi ďalekohľadmi tie isté javy ako Galilei. Cirkev však odmietla prijať Galileiho teóriu a vyhlásila, že je to len hypotéza, ktorú nemožno brať vážne, nech je akokoľvek lákavá. V roku 1616 cirkev zakázala Galileimu hlásať, zastávať a obhajovať podľa nej sporný heliocentrizmus.

**”Pre dušu človeka je veľmi nebezpečné vyhlasať za kacírstvo vieru v to, čo je dokázané.“**

**Galileo Galilei**

**Keplerov dôvod** Matematickými výpočtami pohybov planét sa zaoberal aj nemecký astronóm Johannes Kepler. Svoju analýzu pohybu Marsu zverejnil v roku 1609 v spise *Astronomia nova (Nová astronómia založená na príčinách alebo Nebeská fyzika vyložená v komentári o pohyboch Marsu)*. Bolo to v tom istom roku, v ktorom Galilei po prvýkrát zdvihol k oblohe ďalekohľad. Kepler zistil, že obežnú dráhu tejto červenej planéty okolo Slnka lepšie vystihuje tvar elipsy než kružnice. Keďže nesúhlasil s tým, že planéty sa pohybujú po dokonalých kružniciach, prekonal Kopernikov model a spresnil predpovede pohybov planét. Hoci sa v súčasnosti Keplerova teória považuje za základný zákon fyziky, v tej dobe bola príliš pokroková a uplynul dlhý čas, kým ju prijali. Napríklad Galilei si ju ani nevšimol.

Aj keď bolo učenie Galileiho zakázané, astronóm trval na tom, že jeho heliocentrické vysvetlenie je správne. Pápež Urban VIII. ho preto poveril, aby zostavil vyvážený súpis argumentov oboch systémov. Galilei ako odpoveď napísal knihu *Dialóg o dvoch hlavných systémoch sveta*. Na veľké rozčarovanie pápeža však toto dielo jednoznačne vyznelo v prospech názoru autora a nie názoru cirkvi. Vatikán opäť povolal Galileiho do Ríma, kde ho v roku 1633 súd odsúdil na domáce väzenie do konca života. Zomrel v roku 1642. Až štyristo rokov po smrti tohto astronóma sa Vatikán pri príležitosti výročia vydania Galileiho kontroverznej knihy formálne ospravedlnil.

**Postupné prijatie** V priebehu ďalších storočí sa hromadili dôkazy, že heliocentrický názor na Slnčnú sústavu je správny. Nielenže sa potvrdila platnosť Keplerovej mechaniky obežných dráh, ale ovplyvnila aj Newtonovu teóriu gravitácie. Postupným objavovaním ďalších planét bola skutočnosť, že obiehajú okolo Slnka, čoraz zjavnejšia. Postavenie človeka v centre tohto diania sa už nedalo obhájiť.

**V skratke**  
**V strede sa nachádza Slnko.**

# 03 Keplerove zákony

**Tri Keplerove zákony o pohyboch telies v Slnčnej sústave sú základnými stavebnými kameňmi modernej fyziky. Opisujú eliptické dráhy, po ktorých planéty obiehajú okolo Slnka, čas, ktorý potrebujú na takýto obeh, a skutočnosť, že vzdialené planéty krúžia okolo Slnka pomalšie než planéty, ktoré sú k nemu bližšie. Hoci Kepler predbehol svoju dobu, len ťažko si mohol predstaviť, že jeho zákony budú raz aplikované na planéty obiehajúce okolo vzdialených hviezd a budú slúžiť na zisťovanie prítomnosti tmavej hmoty.**

Vznik modernej astronómie sa datuje do roku 1609, keď Kepler uverejnil svoju rozpravu *Astronomia nova*. Tento nemecký matematik odvodil rovnice opisujúce obežné dráhy planét na základe dôsledných meraní pohybov Marsu dánskym astronómom a aristokratom Tycho Brahom, u ktorého Kepler pracoval ako asistent. Brahe bol talentovaný konštruktér prístrojov a jeho merania pohybov červenej planéty boli oveľa presnejšie než akékoľvek dovtedy známe dáta. A práve výsledky jeho meraní Kepler zozbieral a zabalil ich do novej teórie.

**Obežné dráhy ako elipsy** Keplerova rozprava obsahovala najprv dva zákony obežných dráh, tretí zákon uverejnil v roku 1619. Prvý Keplerov zákon hovorí, že planéty pri svojom obehu obkresľujú eliptické dráhy, pričom Slnko leží v jednom z ohnísk elipsy. Toto poznanie bolo oveľa radikálnejšie, než sa na prvý pohľad zdá, pretože dovtedy sa astronómovia domnievali, že obežné dráhy planét musia byť dokonalé kružnice. Už od čias starovekých Grékov sa kružnica, štvorec, štvorsten a ďalšie jednoduché geometrické tvary považovali za dokonalé. Prevládala domnienka, že príroda uprednostňuje dokonalosť a vyhýba sa akýmkoľvek odchýlkam. Kepler spočiatku zastával rovnaký názor a predstavoval si, že planéty sú okolo Slnka usporiadané v krištáľových sfé-

## časová os

**ASI 580 PRED N. L.**

Pytagoras tvrdil, že planéty obiehajú Slnko po povrchu dokonalých sfér.

**ASI 150 N. L.**

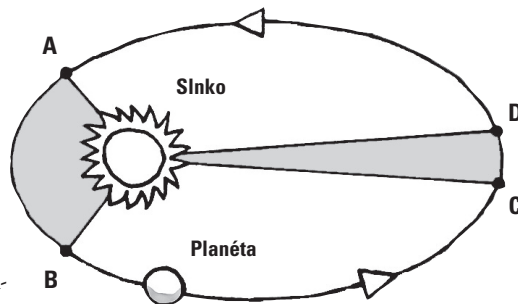
Ptolemaios vysvetlil retrográdny pohyb pomocou epicyklov.

**1543**

Kopernik prišiel s myšlienkou, že planéty obiehajú okolo Slnka.

rach, ktoré sú na sebe navrstvené a umiestnené podľa matematických pomerov odvodených z mnohostenov. No údaje zhromaždené Tychoom Brahom jeho názor zmenili.

Kepler našiel kľúč v pohyboch Marsu. Jeho obežná dráha je pretiahnutejšia, čiže aj nepravidelnejšia ako dráha ktorejkoľvek inej planéty v Slnčnej sústave s výnimkou Merkúra. Pri pohľade zo Zeme sa rýchlosť Marsu značne mení a planéta niekedy urobí veľké kroky späť, pričom vykresľuje na oblohe slučky. Pred Keplerom vysvetľovali astronómovia tieto nezvyčajné pohyby ďalšími menšími kružnicami (epicyklami) ležiacimi na veľkej kružnicovej obežnej dráhe. Kepler však usúdil, že oveľa lepšie vysvetlenie týchto podivných pohybov Marsu poskytuje elipsa. Dôvodom, prečo sa nám zdá, sa iné planéty že niekedy pohybujú opačným smerom, je skutočnosť, že Slnčnú sústavu pozorujeme z pohybujúcej sa základne. Takto jednoducho Kepler vyriešil problém, ktorý astronómov trápil celé stáročia.



V druhom zákone Kepler opísal, ako rýchlo sa planéta pohybuje po svojej obežnej dráhe. Postupne ako planéta putuje pozdĺž svojej eliptickej dráhy, jej sprievodič (spojnica medzi Slnkom a planétou) opíše za rovnaký čas vždy rovnakú plochu. Takýto výsek, podobný kúsku kruhového koláča, určujú čiary

**„Hodiny vedy v školách by mali byť praktické. Pohľad na planétu cez ďalekohľad je názornejší než všetky kurzy astronómie; zásah elektrickým prúdom do lakťa prekoná všetky teórie; chuť rajského plynu alebo výbuch umelej sopky sú výstižnejšie ako hrubé knihy zaoberajúce sa chémiou.“**

Ralph Waldo Emerson

1576

Tycho Brahe mapoval polohy planét.

1609

Kepler publikoval svoj prvý a druhý zákon.

1619

Kepler uverejnil svoj tretí zákon.

1687

Newton sformoval teóriu gravitácie.

2009

Družica Kepler (vypustená úradom NASA) pátrala po planétach v okolí vzdialených hviezd.

## Keplerove zákony

**Prvý zákon:** Planéty obiehajú okolo Slnka po eliptických dráhach, pričom Slnko sa nachádza v jednom z ich spoločných ohnísk.

**Druhý zákon:** Sprievodič spájajúci Slnko s planétou opíše za rovnaký čas vždy rovnako veľkú plochu.

**Tretí zákon:** Druhé mocniny obežných dĺžok ľubovoľných dvoch planét sú úmerné tretím mocninám hlavných polosí ich dráh.

nakreslené od planéty k Slnku na začiatku a potom na konci daného časového obdobia (medzi A a B alebo C a D).

Keď sa planéta nachádza v blízkosti Slnka, pohybuje sa rýchlo a jej sprievodič vykresľuje široký kus koláča. Ak je však od Slnka ďalej, pohybuje sa pomalšie a za rovnaký čas opíše jej sprievodič menší uhol. Podľa Keplerovho druhého zákona je však plocha tohto dlhého a tenkého kusa koláča rovnaká ako plocha krátkeho a širokého výseku. Kepler prišiel k tomuto záveru na základe pozorovania rýchlosti pohybu Marsu medzi rôznymi bodmi jeho obežnej dráhy.

Keplerov tretí zákon ide ešte o krok ďalej. Opisuje, ako sa periódy obehu planét menia so vzdialenosťou eliptickej dráhy od Slnka. Tento zákon hovorí, že pomer druhých mocnín obežných dĺžok ľubovoľných dvoch planét sa rovná tretím mocninám hlavných polosí ich eliptických dráh. Čím je eliptická obežná dráha väčšia, tým viac času potrebuje planéta na to, aby celú dráhu obehla. Planéty, ktoré sa nachádzajú od Slnka ďalej, ho preto obiehajú pomalšie ako planéty, ktorých vzdialenosť je od Slnka menšia. Mars obehne Slnko za necelé dva pozemské roky, Saturn za 29 a Neptún za 165 rokov. Merkúr obehne Slnko iba za 80 pozemských dní. Ak by sa Jupiter pohyboval tou istou rýchlosťou, trval by mu jeden obeh asi 3,5 roka, zatiaľ čo v skutočnosti na to potrebuje 12 rokov.

**Moderný človek** Keplerove zákony obstáli v skúške času aj o štyristo rokov. Sú aplikovateľné na každé teleso, ktoré obieha okolo iného telesa, od komét,

”Meral som nebo, teraz meriam tiene.  
Myšlienkami vo hviezdach, telom na zemi.“

Keplerov epitaf



**”Princíp vesmíru je jednoduchý. Je to tak pri všetkých zákonoch – všetky sa nakoniec ukážu ako jednoduché, hoci v skutočnosti opisujú zložité veci.“**

**Richard P. Feynman**

asteroidov a mesiacov v Slnčnej sústave až po planéty obiehajúce okolo iných hviezd, ba dokonca aj na človekom zostrojené družice vypustené na obežnú dráhu Zeme. Kepler bol navyše jeden z prvých vedcov, ktorý používal súčasné vedecké metódy – aby otestoval teórie platné vo vesmíre, uskutočnil najskôr pozorovania a získané údaje analyzoval.

Keplerovi sa síce podarilo zjednotiť uvedené princípy do geometrických zákonov, no nevedel, prečo tieto zákony platia. Domnieval sa, že je to preto, lebo príroda sama uplatňuje geometrické princípy. Až Newton zjednotil tieto zákony do univerzálnej gravitačnej teórie.

### **JOHANNES KEPLER (1571 – 1630)**

Johannes Kepler sa narodil v juhozápadnom Nemecku. Spolu so svojou matkou žil v hostinci patriacom jeho starému otcovi. Už ako desaťročný sa zaujímal o astronómiu a do denníka si zaznamenával pozorovanie komét či zatmenie Mesiaca. Po štúdiu na univerzite v Tübingene učil matematiku v Grazi. Kepler bol zbožný človek a veril, že Boh stvoril vesmír podľa určitého matematického plánu. Jeho teória o kozmológii vyšla v diele *Mysterium Cosmographicum* (*Záhada vesmíru*).

Neskôr asistoval Tychovi Brahemu v jeho observatóriu neďaleko Prahy a v roku 1601 sa po ňom stal cisárskym matematikom. Na cisárskom dvore zostavoval Kepler pre panovníka horoskopy a analyzoval Tychove astronomické tabuľky. Je autorom rozpravy *Astronomia Nova* (*Nová astronómia*), v ktorej opísal vlastné teórie o nekružnicových obežných dráhach a prvý a druhý zákon o pohybe planét. Tretí zákon o pohybe planét zverejnil v diele *Harmonices Mundi* (*Harmónia sveta*).

**V skratke**  
**Zákon svetov**

# 04 Newtonov gravitačný zákon

Isaac Newton tvrdil, že všetky telesá sa navzájom priťahujú vďaka gravitačnej sile, ktorej veľkosť klesá s druhou mocninou ich vzdialenosti. Jeho myšlienka prepojila nebo a Zem tým, že vysvetľuje obežné dráhy planét a zároveň objasňuje, prečo veci padajú na zem. Hoci Newtonov gravitačný zákon neskôr nahradila všeobecná teória relativity, zostáva jedným z najvýznamnejších fyzikálnych zákonov, pretože vysvetľuje pohyb nielen v našom svete, ale aj v celom vesmíre.

Myšlienku gravitácie Newtonovi údajne vnuklo jablko padajúce zo stromu na zem. V diele *A treatise of the system of the world (O systéme sveta)* z roku 1728 sa zmienil aj o ďalšom experimente. Ak z dela na vrchole hory vystrelíme delovú guľu nízkou rýchlosťou, dopadne neďaleko. Ak však guľu vystrelíme vysokou rýchlosťou, preletí väčšiu vzdialenosť. Pri určitej kritickej rýchlosti by sa dráha gule stáčala smerom k Zemi, no guľa by nikdy nedopadla na jej povrch, ale začala by Zem obiehať na nízkej obežnej dráhe. Pri ešte väčšej rýchlosti by dokonca odletela do vesmíru.

**Centrálna sila** Už na základe svojich pohybových zákonov o správaní telies, na ktoré pôsobí sila, Newton vedel, že ak na delo nebudú pri výstrele pôsobiť žiadne vonkajšie sily, guľa by sa mala pohybovať priamočiari. Sila pôsobiaca na pohybujúce sa teleso mení jeho smer alebo rýchlosť a dáva mu zrýchlenie, ktoré je úmerné veľkosti tejto sily. Na vytvorenie zakrivenej trajektórie delovej gule je teda potrebné pôsobenie sily. Touto silou, pôsobiacou smerom do stredu Zeme, je gravitácia. Každé padajúce teleso získava každou sekundou zrýchlenie 9,81 metra za sekundu.

## časová os

350 PRED N. L.

Aristoteles vyslovil úvahu, že ťažšie telesá padajú na zem rýchlejšie.

1609

Kepler objavil zákony pohybu planét.

## ISSAC NEWTON (1643 – 1727)

Isaac Newton bol prvým vedcom vo Veľkej Británii, ktorý získal šľachtický titul. V škole nevynikal a na univerzite v Cambridgei bol tiež len priemerným študentom – záujem o vedu prejavil až počas morovej epidémie v roku 1665, keď sa brány univerzity zavreli. Po návrate domov do Lincolnshiru sa pustil do štúdia matematiky, fyziky a astronómie. Tu sformuloval základy diferenciálneho a integrálneho počtu, ako aj rané verzie svojich troch pohybových zákonov a odviedol, že gravitácia je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti. V roku 1669 sa 27-ročný Newton stal profesorom matematiky v Cambridgei. Svoju pozornosť zacielenil na optiku a zistil, že biele svetlo sa po prechode hranolom rozkladá na farby dúhy.

Zverejnenie tohto poznatku vyvolalo známu roztržku s Robertom Hookom a Christiaanom Huygensom. Newton napísal dve významné práce – *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Matematické princípy prírodnej filozofie*) a *Optiku*. Neskôr bol aktívny aj v politike – obhajoval slobodu akademickej pôdy, keď sa kráľ Jakub II. pokúsil zasahovať do správy univerzity. V roku 1689 bol dokonca členom parlamentu. Mal zložitú a rozporuplnú povahu. Na jednej strane túžil po pozornosti, no zároveň bol uzavretý a vyhýbal sa kritike. Svoje postavenie neváhal zneužiť pri ostrých sporoch proti vedeckým oponentom. Bol kontroverznou postavou anglickej vedy.

Podobne ako olympijský vrhač kladiva pri roztáčaní priťahuje držadlo kladiva silou, aby ho udržal v otáčavom pohybe, je takýmto silným, hoci neviditeľným putom aj zemská gravitácia. Keď kladivár pustí držadlo kladiva a prestane naň pôsobiť silou, kladivo odletí po priamke. To isté sa deje aj s Newtonovou delovou guľou alebo akýmkoľvek iným telesom. Newton tiež predpokladal, že práve gravitácia je príčinou, prečo Mesiac obieha okolo Zeme po nemenej dráhe. Zem a všetky planéty na obežných dráhach okolo Slnka udržiava rovnaký dôvod. To, čo platí pre obyčajné jablko, možno rozšíriť a aplikovať na celý vesmír.

Vďaka postupnému odhaľovaniu detailov Newton sformuloval univerzálny zákon gravitácie. Zistil, že gravitácia je priamo úmerná hmotnosti telesa. Obrovská hmotnosť Zeme spôsobuje, že jej gravitácia smerujúca do stredu je oveľa silnejšia ako účinky opačnej sily, ktorou akékoľvek teleso na jej povrchu, či sú to mravce, alebo ľudia, pôsobí na Zem. Obe telesá na seba

” Gravitácia je len kôrou stromu poznania, no napriek tomu ho ochraňuje. “  
Albert Einstein

1687

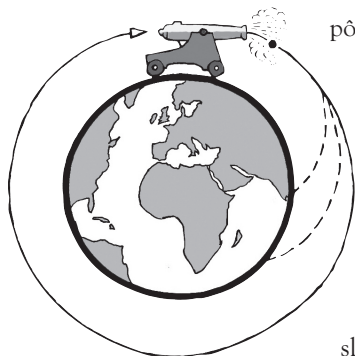
Newton vydal dielo *Principia*.

1905

Einstein zverejnil špeciálnu teóriu relativity.

1915

Einstein zverejnil všeobecnú teóriu relativity.



pôsobia silou, ale planéta víťazí, pretože jej hmotnosť je oveľa väčšia. Mesiac má značný vplyv na moria na Zemi a spôsobuje príliv a odliv. Jupiter je dostatočne veľký na to, aby mierne ovplyvňoval obežné dráhy všetkých planét a priťahoval k sebe kométy, ktoré následne padajú do jeho búrlivej atmosféry.

**Tiaž** Gravitácia dáva zmysel pojmu tiaž. Keď sa postavíme na váhu, meriame silu (tiaž), akou na ňu svojim telom tlačíme. Nameraná hodnota by však bola iná na Mesiaci alebo Marse, teda na menších telesách, ktorých gravitácia je slabšia. Vaša hmotnosť (tiaž) by na Mesiaci bola šesťkrát nižšia ako na Zemi, čo je dôvod, prečo si astronauti na Mesiaci vychutnávali obrovské skoky a hranie golfu. Aj na Marse by ste boli ľahší: vaša hmotnosť (tiaž) by dosahovala asi 40 percent z pozemskej hmotnosti. Na Jupiteri by ste sa však cítili prinajmenšom dvojnásobne ťažší. Pre tieto rozdiely používajú fyzici termín hmotnosť, masu niečoho, čo približne zodpovedá množstvu atómov, ktoré teleso obsahuje, alebo množstvu energie potrebnej na uvedenie telesa do pohybu. Zatiaľ čo tiaž závisí od toho, kde sa nachádzate, hmotnosť nezávisí od miesta.

Newton si tiež všimol, že gravitácia funguje aj na veľké vzdialenosti – gravitačná sila Zeme ovplyvňuje Mesiac, hoci sa ho nedotýka. Vypočítal, že gravitácia sleduje zákon prevrätenej štvorcov, teda sila gravitácie je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti telies. Ak by bol Mesiac od Zeme dvakrát ďalej, cítil by štvrtinu jej gravitačnej sily ťahu. No pokiaľ by bol vzdialený trojnásobne, príťažlivá sila by predstavovala len jednu devätinu svojej skutočnej veľkosti.

## Zmeny v gravitácii

Pri dôkladnejšom pozorovaní môžeme na Zemi odhaliť drobné zmeny v lokálnej sile gravitácie. Keďže masívne pohoria a horniny rozdielnej hustoty vo svojej blízkosti zvyšujú alebo znižujú gravitačnú silu, pomocou gravimetra dokážeme mapovať geografický terén a skúmať štruktúru zemskej kôry. Nepatrné zmeny v gravitácii sledujú aj archeológovia – vďaka nim vedú určiť polohu osídlení pochovaných pod sedimentmi. V posledných rokoch vedci začali používať vesmírne družice merajúce silu gravitácie aj na zaznamenanie stenšujúcej sa ľadovej pokrývky na póloch Zeme a tiež na zisťovanie zmien v zemskej kôre, ku ktorým dochádza po silných zemetraseniach.

**„Každé teleso vo vesmíre priťahuje akékoľvek iné teleso nachádzajúce sa v smere priamky prechádzajúcej cez stredy týchto dvoch telies, a to priamoúmerne k hmotnosti každého telesa a nepriamoúmerne štvorcovo vzdialenosti medzi týmito dvoma telesami.“**

Isaac Newton

Newtonov gravitačný zákon vysvetlil pomocou jednej rovnice to, čo Kepler opisoval vo svojich troch zákonoch (pozri s. 14). Planéty v blízkosti Slnka sa pohybujú po svojich eliptických dráhach rýchlejšie, pretože na ne pôsobí väčšia gravitačná sila. Planéta obiehajúca vysokou rýchlosťou sa potom od Slnka vzdaluje a so zväčšujúcou vzdialenosťou postupne spomaľuje až do bodu, keď sa k nemu opäť začne približovať.

## Zrýchlenie

Na povrchu Zeme spôsobuje zrýchlenie (označuje sa  $g$ ) padajúceho telesa gravitácia. V našich zemepisných šírkach je jeho hodnota  $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Newton zhrnul všetky svoje poznatky o gravitácii do knihy *Philosophiae naturalis principia mathematica*, známej aj ako *Principia*. Hoci prvýkrát vyšla v roku 1687, dodnes sa považuje za míľnik v dejinách vedy. Newtonov univerzálny gravitačný zákon vysvetlil nielen pohyby planét a mesiacov, ale aj projektilov, kyvadiel a padajúcich jablák. Opísal obežné dráhy komét, vysvetlil vznik prílivu a odlivu a precesiu zemskej osi. Toto dielo zabezpečilo Newtonovi prívlastok jedného z najväčších vedcov všetkých čias.

Newtonov gravitačný zákon platí pre väčšinu telies, ktoré vidíme, a možno ho použiť na vysvetlenie pohybu vzdialenejších planét, komét a asteroidov Slnčnej sústavy, kde je gravitácia relatívne slabá. Práve Newtonov gravitačný zákon umožnil určiť polohu planéty Neptún, objavenej v roku 1846 na predpokladom mieste za Uránom. Opis obežnej dráhy Merkúra si naproti tomu vyžiadala oveľa pokročilejšiu fyziku, ako bola Newtonova. Na vysvetlenie prípadov na miestach s veľmi silnou gravitáciou, napríklad v blízkosti Slnka, hviezd a čiernych dier, bola potrebná všeobecná teória relativity.

## V skratke

# Vzájomná príťažlivosť