

6.

ABSOLÚTNE NIČ ABSOLÚTNEHO?



TEÓRIA RELATIVITY A EINSTEINOVE
ČUDNÉ MYŠLIENKY



Hovorí sa, že žiadna rovnica nie je dostatočne významná dovtedy, kým sa nedostane na tričku študentov. Ak by som chcel, aby ste vymenovali dve slávne rovnice, s veľkou pravdepodobnosťou mi povieť Pythagorovu vetu alebo Einsteinovu $E = mc^2$. Kým v prvom prípade si možno hmlisto spomeniete na nejaké odvesny a obsahy štvorcov, v druhom už bude šanca na presnejšie spomienky oveľa menšia. Ale to sa teraz zmení! Táto kapitola je o tom, ako jednoduché Einsteinove úvahy z kresla na patentovom úrade kompletne zmenili náš pohľad na svet. Priestor a čas už nikdy nebudú ako predtým. Svoju púť však musíme začať pri strome a padajúcich jablkách.

Zem a nebesá

Predtým, ako sa objavil Isaac Newton, bolo každému celkom jasné, že vo vesmíre platia iné prírodné zákony ako na zemi. Všetci na vlastné oči videli, že kým Mesiac krúžil okolo Zeme, na Zemi jablká padali kolmo dole. Pohyby na Zemi študoval najmä Galileo Galilei a zistil, že sa dajú pekne opísať matematickými postupnosťami – a vykonal vôbec prvý vedecký experiment v histórii. Zistil, že pri voľnom páde nemajú veci konštantnú rýchlosť, ale sa zrýchľujú. Nebesá zase skúmal Johannes Kepler a svoje myšlienky takisto zhmotnil do pravidiel. Dva svety, dve teórie. Až geniálny Isaac Newton zistil, že za obidvoma teóriami stojí jeden a ten istý vinník: gravitačná sila. Matka príroda miluje jednoduchosť. Aj preto je pokrok vo fyzike často o tom, ako sa dajú rôzne javy vysvetliť rovnakým princípom. Volá sa to *zjednotenie*.

Newtonovi postačili tri jednoduché zákony na to, aby vedel, ako svet funguje. Týkajú sa pohybu, ktorý je vysvetlený pôsobením síl. Prvý je, že ak na veci nepôsobíme žiadnou silou, tak tie buď stoja, alebo sa hýbu konštantnou rýchlosťou. Druhý hovorí, že objekty zrýchľujú, ak na ne pôsobí sila. A tretí princíp je oko za oko a zub za zub. Ak jedna vec pôsobí silou na druhú, tak druhá pôsobí na prvú presne opačnou silou. To je všetko. S týmito zákonitosťami sa už dalo veselo vypočítať, ako ďaleko odletia výstrely z kanónov, ako dlho budú padať veci vyhodené von oknom alebo ako rýchlo sa točí Zem okolo Slnka.

Mechanický svet

Svet newtonovských pohybových zákonov je krásne jednoduchý. Ak by niekto poznal miesto a rýchlosť všetkého vo vesmíre a vedel, aké sily tam pôsobia, dokázal by presne opísať, čo sa udeje v budúcnosti. Stačilo by aplikovať newto-

novské zákony a disponovať dostatkom času a priestoru na výpočty. Svet podľa Newtona fungoval ako hodinky. Keď ich natiahnete, potom idú podľa presných mechanických zákonov dopredu. Vesmír sa síce môže skladať z množstva malých aj veľkých vecí, k poznaniu budúcnosti nám však vždy postačujú odpovede na tri otázky: kde predmety sú a akú majú hmotnosť a rýchlosť. Ak vieme určiť aj pôsobiace sily, tak potom už vieme všetko. Minulosť a budúcnosť máme teoreticky na dlani.

Sir Isaac však nebol so svetom, ktorý *stvoril*, celkom spokojný. Trápili ho viaceré otázky: Ako vie Zem, že ju gravitačne priťahuje Slnko? A rovnako aj Mesiac či Jupiter? Kto im to na diaľku oznamuje? Čo by sa stalo, ak by sme Slnko nechali nejakým kúzelníckym trikom zmiznúť? Prestala by Zem okamžite krúžiť? Ak dostanem facku, pôsobenie sily cítim celkom jasne, ale *cítia* planéty, že ich niečo ťahá?

Pole pôsobnosti

Medzery v našom chápaní sveta doplnil pojem *pole*. Nie všetko má totiž na svedomí len jedna sila. Existujú aj javy, ktoré poznáme z bežného života a ktoré nesúvisia s gravitáciou. Už ako deti sme sa veľakrát hrali s magnetmi. Ja som vždy skúmal, ako blízko môžem dať jeden magnet k druhému bez toho, aby sa spojili. Tam tiež pôsobila nejaká sila bez toho, aby sa magnety navzájom dotýkali. Alebo iný príklad: zvykli sme si šúchať sklené paličky o sweater a následne na ne chytať rôzne malé čiastočky. Stačila elektrizácia a malý papierik sám od seba vyskočil a nalepil sa na paličku. Tu vstupuje na scénu pole. Magnet alebo palička majú okolo seba pole, ktorého siločiar neviditeľne pôsobia na iné objekty. Ak ich chcete vidieť, stačí napríklad okolo magnetu nasypať železný prach.

Anglický fyzik a chemik Michael Faraday si všimol, že ak meníme veľkosť či smer magnetického poľa, vznikne elektrina. Platí to aj naopak – okolo meniaceho sa elektrického prúdu sa točí ručička kompasu. Takže tieto dve veci musia spolu nejako súvisieť. Na scénu neskôr prišiel škótsky matematik James Clerck Maxwell, ktorý tieto vzťahy exaktne opísal pomocou rovníc (aj tie inak často nachádzame na tričkách bifľošov). Podľa Maxwella ide v priestore magnetické pole ruka v ruke s elektrickým. Zmena jedného v čase generuje zmenu druhého a naopak. Prečo to nenazvať elektromagnetická sila? A tak sa aj stalo. Ďalší moment veľkého zjednotenia vo fyzike.

Maxwell pomocou svojich rovníc vedel vyrátať aj to, ako rýchlo sa elektromagnetické vlnenie šíri v priestore. Prekvapenie. Vyšla mu rýchlosť svetla²⁴! Žeby aj svetlo bolo akousi elektromagnetickou vlnou? Bingo! V rovniciach mu však chýbalo voči čomu sa svetlo hýbe rýchlosťou svetla. Mnohí fyzici preto predpokladali, že musí existovať akýsi neviditeľný éter, ktorý zaplňa priestor, a voči tomuto éteru sa elektromagnetické vlnenie pohybuje rýchlosťou svetla. Na konci devätnásteho storočia sa uskutočnil experiment, ktorý mal existenciu éteru dokázať. Americkí fyzici Albert Michelson a Edward Morley všetko pedantne pripravili a odmerali, ale nič nenašli. Po éteri ani stopy.

Nudíte sa v práci?

Mladík na patentovom úrade v Berne, ktorý sa po škole nedostal na pozíciu asistenta na žiadnej z významných univerzít, mal na premýšľanie dosť času. Svoju rutinnú prácu spravil rýchlo, aby potom mohol dumať, ako funguje svet. Mozog, ceruzka a papier. Žiadne prístroje. Nič viac nebolo treba, aby v roku 1905 napísal tri štúdie, ktoré navždy zmenili naše chápanie sveta. Jednou z nich je práve špeciálna teória relativity. Špeciálna preto, lebo sa netýka zrýchleného pohybu (všeobecná teória relativity, ktorá tento nedostatok odstráni, príde o chvíľu). Ako na to mladý Albert išiel?

Bol známy tým, že robil množstvo pokusov. Ale len vo svojej hlave. Hovorí sa tomu *myslienkový experiment*. Predstavoval si, ako sedí na lúči svetla, upaľuje rýchlosťou svetla a zároveň sa pozerá na lúč letiaci povedľa. A dumať nad tým, či bude vidieť vedľajšie svetlo stáť alebo nie. Podobne ako keď váš kamoš ide vedľa vás na bicykli rovnakou rýchlosťou a vyzerá, ako keby ste vedľa seba šliapali na stacionárnom bicykli. Voči sebe sa nehýbate. Ale vzťahuje sa to aj na svetelné lúče? Samozrejme, aj Einstein vedel o experimente, ktorý existenciu éteru nepotvrdil, a teda to, že fyzici nevedeli povedať, *voči čomu* sa svetlo šíri rýchlosťou svetla. A dostal prevratný nápad.

Stále rovnaká rýchlosť

Čo ak má svetlo rovnakú rýchlosť vo vákuu voči *všetkým* pozorovateľom? Je jedno, či sa hýbu a akou rýchlosťou sa pohybujú. Rovnako v pomere k slimákovi na záhrade, ako aj k vesmírnej lodi Enterprise z filmu Star Trek. Inak poveda-

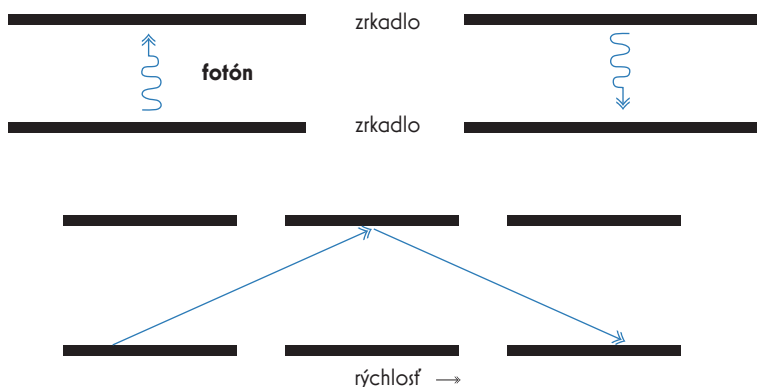
²⁴ Rýchlosť svetla vo vákuu je zhruba 300 000 km za sekundu. Vo fyzike sa označuje písmenom *c*. Slovné spojenie *vo vákuu* je dôležité, keďže v inom prostredí sa šíri pomalšie. Napríklad vo vode je to približne 225-tisíc km za sekundu a v skle len 200-tisíc km/s. Ak fyzici hovoria o rýchlosti svetla, väčšinou majú na mysli univerzálnu konštantu *c*, teda rýchlosť vo vákuu.

né, rýchlosť svetla vo vákuu by bola v takom prípade univerzálnou konštantou matky prírody. Do kameňa nadobro vytesanou veličinou. Ešte jeden príklad. Ak by sme leteli rýchlosťou svetla a zažali by sme lampu, jej lúč by neletel k oproti stojacim kamarátom dvojnásobnou rýchlosťou svetla. Je to zaujímavé, pretože ak hádžeme loptičku z idúceho vlaku, dohodíme oveľa ďalej, ako keď hádžeme zo stojaceho vlaku. Rýchlosť nášho hodu a rýchlosť vlaku sa sčítavajú. Nie však v prípade svetla. Zo všeobecnej teórie relativity vyplýva aj to, že žiadna hmota ani signál nemôže letieť rýchlejšie ako svetlo vo vákuu.

To, aby bola rýchlosť svetla pre všetkých pozorovateľov konštantná, však nie je zadarmo. Ak majú fyzikálne zákony zostať v platnosti, musí sa zmeniť niečo iné!

Čo sa stane, ak zasvietime laserovým svetlom medzi dvoma zrkadlami? Lúč sa bude medzi nimi odrážať hore a dole. Teraz poďme s našim svetielkom medzi zrkadlami do rakety a poriadne šliapnime na plyn. Keďže sa hýbeme, medzitým, ako sa lúč odrazí zo spodného zrkadla a dopadne na vrchné zrkadlo, sme sa už s raketou posunuli. Svetlo tak muselo z *pohľadu stojaceho pozorovateľa* prejsť šikmo, čo znamená aj dlhšiu dráhu (obrázok 6.1 dole). To je nezvyčajné. Z fyziky si ešte pamätáme, že rýchlosť je vlastne vzdialenosť za určitý čas, metre za sekundu či kilometre za hodinu. Predpokladajme, že ak by sme stáli na Zemi, lúč by prešiel vzdialenosť medzi zrkadlami za sekundu. V rakete však musel prejsť väčšiu vzdialenosť, ako je tá medzi zrkadlami (pre tých, čo to sledujú zo Zeme, by malo svetlo šikmú dráhu). Aby rýchlosť svetla mohla zostať konštantná pre všetkých pozorovateľov, muselo sa udiat niečo s časom. Alebo že by sa vzdialenosti pri vysokej rýchlosti scvrkli? Odpoveď je aj, aj!

6.1 Ilustrácia dilatácie času



Zastavme sa na chvíľu. Neplatí náhodou, že ak ja idem proti tebe rýchlosťou sto kilometrov za hodinu, tak aj ty ideš z môjho pohľadu stovkou? Ak áno, potom si predstavme, že máme identické dvojčky Peťa a Paľa. Ak si Peter sadne do rakety a po čase sa vráti k nám na Zem, mal by byť v porovnaní s Paľom mladší, lebo jeho hodinky idú oproti tým Paľovým pomalšie. Pri tej rýchlosti by mal pre neho čas plynúť pomalšie. Ale Paľo sa predsa takisto hýbe voči Peťovi. Takže by mal byť mladší on. Je to úplne symetrický príbeh, nie? Tak kto bude nakoniec mladší?

Tento zdanlivý rozpor má aj svoje meno: paradox dvojčiat. Pamätám si, že ešte na gymnáziu, po dlhej a vyčerpávajúcej túre vo fyzikálnom tábore v Rumunsku, som sa presne na toto pýtal profesora. Stáli sme vonku večer pod hviezdami a on mi vysvetlil, kde je pes zakopaný. Neplatí, že príbeh Peťa a Paľa je úplne symetrický. Hlavný rozdiel medzi nimi je ten, že Peter v rakete musí prejsť zrýchlením, aby raketa dosiahla potrebnú rýchlosť. Tak ako aj my zrýchľujeme, keď sa na aute znovu rozbehneme potom, ako na semafore naskočí zelená. A na zrýchlený pohyb sa špeciálna relativita nevzťahuje. Po čase som videl aj iné, presvedčivejšie vysvetlenie, ktoré nepotrebuje odkaz na zrýchlenie, pre túto knižku je však príliš komplikované. Ak vás zaujíma, pozrite si napríklad video o paradoxe dvojčiat na Youtube z Fermilabu.

Kto teda bude pri opätovnom stretnutí mladší? Reálne experimenty (nie však s ľuďmi) jednoznačne dokazujú, že mladší bude Peter. Staňte sa astronautom a v porovnaní s pozemšťanmi omladnete o pár pidi-sekúnd.

Naozaj platí, že čas neplynie pre každého rovnako. Aby sme boli presní: hodinky, ktoré sa pohybujú v porovnaní s nami (na ruke priateľa letiaceho v rakete), budú bežať pomalšie v porovnaní s našimi hodinami. Alebo, čo je ešte zvláštnejšie, pre fotón²⁵, ktorý z nášho pohľadu upaľuje rýchlosťou svetla, čas neplynie vôbec. Fotón nepozná pojem času. Hodinky na jeho ruke, keby existovali, by len stáli. Z nášho pohľadu trvá zhruba 8 minút, kým slnečné lúče preletia vzdialenosť medzi Slnkom a Zemou. Vlastný vznik aj zánik fotónu sa deje v tom istom momente. Spomaleniu času vplyvom rýchlosti sa hovorí *dilatácia času*.

Konštantná rýchlosť svetla však nenabúrava len naše chápanie času, ale aj priestoru. Druhý fenomén sa preto volá *kontrakcia dĺžky*. Rýchlo letiaci objekt vyzerá o čosi menší, ako v skutočnosti je. Viem, znie to ako sci-fi. Ale Einsteinoва teória bola nespočetnekrát experimentálne overená. Prečo potom tieto úkazy s časom a dĺžkou nevidíme v našich každodenných životoch? Lebo sa pohybujeme v porovnaní s rýchlosťou svetla príliš pomaly. Pri malých rýchlostiach sú efekty vypočítané zo vzorcov špeciálnej teórie relativity úplne miniatúrne. Keby Hamilton jazdil na formule hoci aj rýchlosťou 20-tisíc kilometrov za jednu sekundu, kontrakcia dĺžky by bola len na úrovni jedného centimetra, nemali by sme teda šance to rozpoznať. A ani nemusím hovoriť, že také rýchle auto v súčasnosti nemáme a dlho mať ani nebudeme.

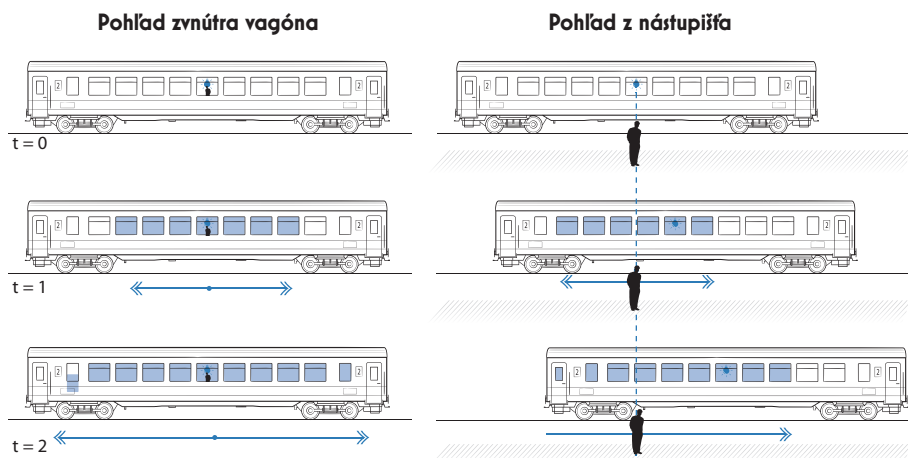
Čo bolo skôr?

Fakt, že každý z nás má svoj personálny čas, má zaujímavé následky. Ak náš kamarát cestuje vlakom a v strede kupé zažne svetlo, lúče z jeho pohľadu dopadnú na ľavú aj pravú stranu vozňa v rovnakom čase. Pre nás, čo stojíme na nástupišti, však dopady neprebehnú v rovnakom čase, keďže z nášho pohľadu ide jedna strana kupé smerom k zdroju svetla a druhá od nej. Preto ak vlak ide z nášho pohľadu doprava, svetlo dopadne na ľavú stranu vozňa skôr ako na pravú! Budeme sa hádať do krvi s kamošom a neuveríme mu, že z jeho pohľadu nastali obidve udalosti naraz. V teórii relativity nič také ako naraz neexistuje! Každý pozorovateľ môže vidieť veci, hoci aj v inom poradí²⁶. Samozrejme, pri našich bežných rýchlostiach, ktoré sa nemôžu porovnávať s rýchlosťou svetla, tieto fenomény nevidíme, pre ľudské zmysly sú príliš malé.

²⁵ Častica svetla.

²⁶ Pre šprtov: V skutočnosti existuje mnoho spôsobov, ako môžeme časopriestor rozdeliť na momenty „teraz“ na Zemi. Ak urobíme to isté na Marse, tak dvaja pozorovatelia, jeden tu a druhý na červenej planéte, sa môžu zhodnúť na tom, že sa niečo deje práve teraz, aj keď bude medzi nimi rozdiel 15 minút.

6.2 Relativita pojmu „naraz“



Tu už nikto nič negarantuje?

Ale ak čas plynie pre každého pozorovateľa odlišne a menia sa aj vzdialenosti, potom nemá zmysel hovoriť o jednotnom čase a vzdialenostiach pre všetkých. Potom *neexistuje* jeden univerzálny čas a priestor pre všetkých pozorovateľov a udalosti sa vo svete nedejú na nemennom plátne a pri tikote večných hodín. Určite ste sa už dovätípli, že preto sa to volá teória relativity. Absolútne neexistuje absolútny čas ani priestor! Zmysel má len porovnávať veličiny medzi pozorovateľmi, teda *relatívne*. V bežnom živote nás to nemusí trápiť a pokojne môžeme pracovať s hypotézou, že existuje jeden univerzálny čas. Ale to je len ilúzia vytvorená rýchlosťami, ktoré sú v porovnaní s rýchlosťou svetla nízke. V blízkosti rýchlosti svetla však svet vyzerá inak.

Ako teória to znie celkom zaujímavo, ale máme aj nejaké dôkazy? Ako vieme, že je čas iný medzi pozorovateľmi pohybujúcimi sa rozdielnou rýchlosťou? Lebo sme to vyskúšali. Fyzici uložili perfektne zosynchronizované atómové hodiny do lietadla, ktoré krúžilo okolo Zeme. Pri návrate ukazovali rozdielny čas v porovnaní s tými, ktoré zostali na Zemi. A rozdiel, samozrejme, úplne presne zodpovedal Einsteinovej teórii.

Ale nezúfajme, predsa len máme v teórii relativity aj niečo stále a nemenné. Je to časopriestor. Čo to je? Einstein spojil tri dimenzie priestoru (hore-dole, dopredu-dozadu a doľava-doprava) s časom a dostal štvorrozmerný *časopriestor*.

priestor. Nie je to zbytočná komplikácia? Na prvý pohľad áno, ale aj v bežnom živote sme zvyknutí na štyri dimenzie. Keď sa chceme s niekým stretnúť, nestačí mu povedať, kde v priestore sa stretneme (hodiny pred Carltonom), musíme dodať aj kedy (vo štvrtok o 12.50). K časopriestoru sa ešte vrátime.

Neutekaj, budeš tučný!

Rozmýšľali ste už niekedy nad tým, prečo sa nič v priestore nedokáže hýbať rýchlejšie ako svetlo? Častice svetla, teda fotóny, nemajú hmotnosť (nereagujú s Higgsovým poľom, pozri kapitolu 7. *Ako funguje svet častíc?*), preto sa im hýbe ľahko. Ale predstavme si, že by rýchlosťou svetla mala letieť naša raketa. Musíme jej dodať energiu. Fyzici ukázali, že čím letí raketa rýchlejšie, tým viac energie potrebuje na to, aby ešte dodatočne zrýchlila. Na dosiahnutie rýchlosti svetla by tak potrebovala nekonečne veľa energie, čo, samozrejme, nie je možné dosiahnuť. Ale prečo potrebuje viac energie? Lebo sa zvýši jej hmotnosť²⁷. A je ťažšie tlačiť auto ako bicykel. Hm, hmotnosť (m) a energia (E), niekde som už tieto veci videl. Áno! $E = mc^2$. Teraz je čas, aby sme si ozrejmili, o čom hovorí Einsteinova najslávnejšia rovnica. Aspoň približne.

Najskôr si vyjasnime, čo je v rovnici c . Označuje rýchlosť svetla vo vákuu, je to teda konštanta, nemenná veličina. Presne ako 5, pí alebo 13,88. Rýchlosť svetla c má hodnotu takmer 300-tisíc kilometrov za sekundu. Rovnica nám teda hovorí prekvapujúcu vec. Z pohľadu matky prírody sú energia a hmota – slovami Einsteina – *rôzne manifestácie tej istej veci*. Ako dve strany jednej mince. Podobne, ako je pre nás meter = 100 . centimeter. Obidve veci sa týkajú vzdialeností a líšia sa iba pre násobením konštantou.

Na prvý pohľad sa môže zdať zvláštne, že ak chceme z hmoty dostať energiu, musíme použiť rýchlosť svetla. Vedci však majú vysvetlenie aj na toto. Čistá energia je vlastne forma elektromagnetického žiarenia. A elektromagnetizmus, ako už Maxwell ukázal, sa vo vákuu vždy šíri rýchlosťou svetla. A prečo je tam c na druhú? Tak energia funguje. Ak ideme dvojnásobnou rýchlosťou, máme štvornásobne vyššiu energiu (možno si niektorí z vás hmlisto spomínajú na vzorec pre kinetickú energiu zo školy).

²⁷ Ak máte 65 kilogramov a letíte rýchlosťou 90 % rýchlosti svetla, fyzikálne sa vaše telo bude správať, ako keby malo viac ako 170 kg. Aj hmotnosť je relatívna.

Brutál veľa energie

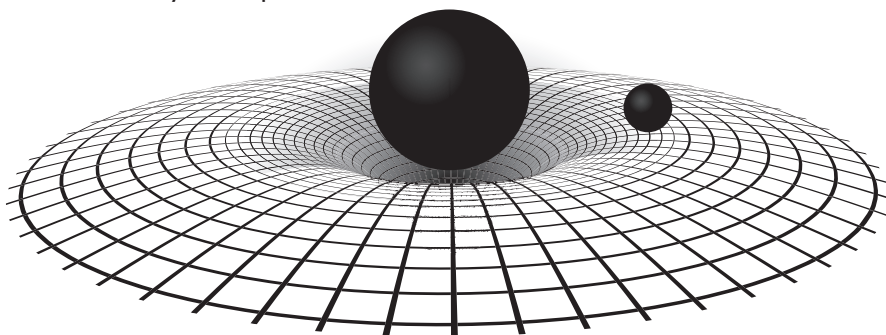
Na *c* na druhú je ešte zaujímavé aj to, že je to dosť veľké číslo. 300-tisíc krát 300-tisíc sa rovná 90 miliárd. Preto ak aj malú hmotu (*m*) vynásobím týmto číslom, dostanem fakt veľa energie (*E*). Keby sme vedeli napríklad premeniť spinku na mojom stole na čistú energiu, získali by sme množstvo energie rovnajúce sa energii atómovej bomby hodenej na Hirošimu. Na Zemi našťastie²⁸ neexistuje spôsob, ako spinku premeniť. Potrebovali by sme podmienky, ako sú v jadre Slnka alebo inej hviezdy, aby sme z nej veľkú časť energie získali.

Špeciálna teória relativity má teda veľa zaujímavých aspektov. Ale je nekompletná, vynechali sme totiž zrýchlené pohyby. Einstein potreboval ďalší myšlienkový experiment, aby svoju teóriu rozšíril aj na túto formu pohybu. Teraz smerujeme k všeobecnej teórii relativity.

Vo výťahu

Stojíme vo výťahu. Keď sa nehýbe, cítime sa komfortne. Gravitačná sila nás síce ťahá dole, ale podlaha výťahu nás drží. Ak výťah zrýchli smerom hore, pocítíme, že naše topánky čoraz viac tlačia na podlahu. Ako keby sme boli na planéte s vyššou gravitáciou. Teraz sa spustíme zo stého poschodia svižne nadol. Cítime sa, ako keby sme nemali žiadnu váhu. Viacerí z nás to vnímajú celkom intenzívne aj v žalúdku. Ak však zrýchlenie zväčšuje alebo znižuje gravitáciu, je možné, že aj gravitačná sila je len formou zrýchlenia? Podľa vlastných slov Einsteina toto bola jeho *najšťastnejšia myšlienka* v živote.

6.3 Zakrivený časopriestor



²⁸ Alebo, bohužiaľ, ak chceme na Zemi vyrábať veľa energie bez škodlivých emisií.

Teória relativity má ešte jeden veľmi zaujímavý dôsledok. Ak súhlasíme, že existuje časopriestor zakrivený ako štvordimenzionálny svet, tak prideme k tomu, že čas je dopredu utkanou veličinou v kozmickej hre. Fyzici tomu hovoria model blokového vesmíru. Inak povedané, všetky časy existujú súčasne a sú reálne: minulosť, prítomnosť aj budúcnosť. Nie je medzi nimi rozdiel. A tak ako sa vieme hýbať v priestore, mali by sme sa teoreticky vedieť hýbať aj v čase. Cestovať jedným a aj druhým smerom.

Ak prijmeme tento blokový pohľad, znamená to, že naša budúcnosť aj minulosť je daná. Potom však neexistuje skutočná slobodná voľba. Všetko je osud. Druhá zaujímavosť, teda že by sme sa mali vedieť hýbať aj dozadu v čase, poteší určite množstvo fanúšikov sci-fi. Ale prečo potom vnímame len dopredu plynúci čas? K obidvom témam sa vrátíme v kapitole o čase.

Fajn, ale ako si máme predstaviť gravitáciu ako zrýchlenie? Napríklad v prípade Zeme, ktorú drží na orbite gravitačná sila Slnka. Einsteinova odpoveď bola jednoduchá a zároveň fascinujúca: hmota zakrivuje časopriestor. Zem síce ide v priestore rovno, ale samotný priestor je krivý! Skúste nakresliť rovnú čiaru na povrch lopty a uvidíte. Najľahšie sa to vysvetľuje pomocou gumenej plachty, malej guľôčky a bowlingovej gule. Najskôr si zoberme do ruky malú guľôčku a hodme ju na natiahnutú plachtu. Pôjde krásne rovno. Teraz položme na natiahnutú pružnú plachtu bowlingovú guľu. Pod sebou vytvorí priehľbinu (obrázok 6.3). Ak k nej hodíme malú guľôčku, tá už nepôjde rovno, ale bude okolo bowlingovej gule vykonávať krúživý pohyb. A to všetko preto, že bola zakrivená plachta. A čím je hmotnosť hmoty vyššia, tým je priestor viac zakrivený. Napríklad čierne diery sú také masívne objekty a tak silno krivia priestor, že z ich blízkosti neunikne ani svetlo.

Zakrivenie priestoru v dôsledku hmoty znamená, že ani svetlo nemôže ísť úplne rovno. Pred sto rokmi sa tento fenomén skutočne aj potvrdil meraniami pri zatmení Slnka. Bol to obrovský triumf Einsteinových teórií.

Starý yeti

Podobne ako je krivý priestor, je zakrivený aj čas (to by nás už nemalo prekvapiť, keď vieme, že máme len časopriestor). Čím bližšie sme k hmotným telesám, tým viac je časopriestor ohnutý a tým pomalšie plynie čas oproti pozorovateľom, ktorí sú ďalej. Presne tak, ako v prípade špeciálnej teórie relativity, kde sa čas skracoval pri vyššej rýchlosti. Takže pre Massima, ktorý celý svoj život žije pri mori v Taliansku, čas plynie pomalšie ako pre yetiho, ktorý behá vo výške 8 km nad morom, teda ďalej od gravitačnej príťažlivosti stredu Zeme. Samozrejme, tento rozdiel je naozaj veľmi malý, ale súčasné technické možnosti nám ho už umožňujú odmerať. Ak ste videli film *Interstellar*, tak si možno spomeniete, že hlavný hrdina na svojej bádateľskej ceste krúžil okolo masívnej čiernej diery, a preto, keď sa vrátil, bol oveľa mladší ako jeho dcéra, ktorú pred rokmi opustil.

Čo sme sa naučili?

Už ako malé deti sme pozorovali, ako fungujú veci okolo nás. Zvykli sme si na to a nie je pre nás jednoduché rozmýšľať o neintuitívnych javoch. V extrémnych situáciách sa však príroda nespráva tak, ako ju poznáme. Ak by sme sa vedeli pohybovať tak rýchlo ako svetlo, ani čas a ani priestor by sme nespoznávali. Einstein nás naučil, že pre všetkých pozorovateľov má svetlo rovnakú rýchlosť, a preto každý z nás má svoj súkromný čas a aj dĺžky vidíme inak. Preto nemá zmysel uvažovať o vesmíre ako o nemennej škatuli s jednotným časom. Otázky „kedy?“ a „kde?“ začnú mať opodstatnenie, len ak dodáme „voči čomu“. Všetko je relatívne.

Einstein ukázal aj to, že gravitácia je vlastne len zakrivením priestoru spôsobeným hmotou. Najlepšie to vystihuje citát Johna Wheelera: Časopriestor povie hmote, ako sa hýbať, a hmota zas časopriestoru, ako sa ohnúť. Teória relativity priniesla so sebou množstvo predpovedí, ktoré sa doteraz do bodky naplnili, aj keď v čase formulácie teórie zneli ako sci-fi. Napríklad to, že hmota ohne aj dráhu svetla, že existujú čierne diery, že vesmír sa rozpína alebo že existujú gravitačné vlny²⁹. Pekný výkon v kresle uvažujúceho patentového úradníka!

²⁹ Ešte by sme mali zodpovedať otázku odčarovaneho Slnka: ak by Slnko náhle zmizlo, ešte približne 8 minút by sme o tom nevedeli. Stále by sme ho videli svietiť a krúžili by sme po orbite, keďže približne toľko trvá svetlu a zmene gravitačného poľa, kým k nám dorazia.

