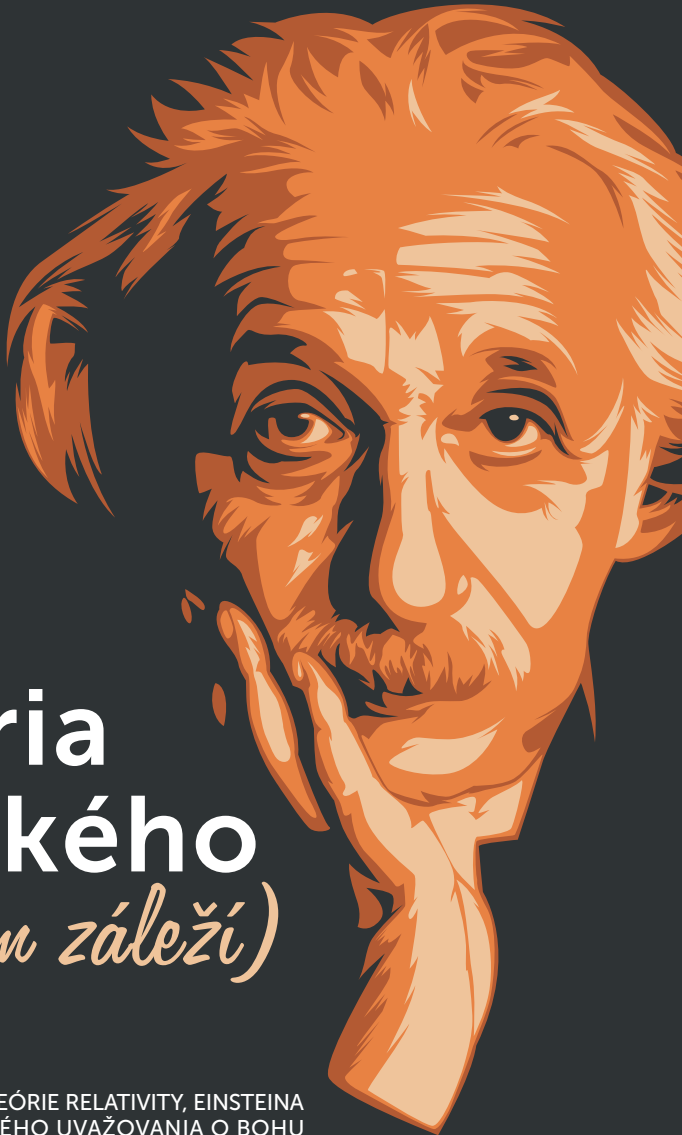


Alister McGrath



Teória
všetkého
(na čom záleží)

KRÁTKY ÚVOD DO TEÓRIE RELATIVITY, EINSTEINA
A JEHO PREKVAPIVÉHO UVAŽOVANIA O BOHU

Einstein bol v tomto období v Nemecku izolovaný. Teraz mal čas pokúsiť sa vyriešiť hlavný vedecký problém, ktorý ho zamestnával od roku 1909: ako zovšeobecniť svoju špeciálnu teóriu relativity. Vedecký problém nie je ťažké pochopiť. Špeciálna teória relativity, ktorú predstavil vo svojom prelomovom článku v roku 1905, sa týkala iba vzťahu medzi telesom v pokoji a telesom pohybujúcim sa konštantnou rýchlosťou. Teória zohľadňovala len účinky relativity na pozorovateľa pohybujúceho sa konštantnou rýchlosťou. Čo však telesá, ktoré sa pohybujú *premenlivou* rýchlosťou? A čo vplyv gravitačných polí na časopriestor?

VŠEOBECNÁ TEÓRIA RELATIVITY

Einstein si bol vedomý toho, že Newtonov zákon univerzálnej gravitácie sa zdá byť zásadne nezlučiteľný s jeho vlastnými názormi na relativitu. Newton predpokladal, že gravitačná sila je generovaná výlučne hmotnosťou, zatiaľ čo Einsteinova rovnica $E = mc^2$ ukázala, že všetky formy energie majú efektívnu hmotnosť, a preto musia byť aj zdrojom gravitácie. Teória ekvivalencie hmotnosti a energie nastolila dôležité otázky týkajúce sa chápania gravitácie.

Ako sme už uviedli, Newton hovoril o gravitácii ako o sile medzi telesami pri ich pohybe v priestore, pričom priestor chápal ako obrovskú prázdnu nádobu. Nemal predstavu, z čoho sa priestor skladá. V podstate ho chápal ako obrovskú škatuľu, v ktorej sa objekty pohybujú po priamkach, kým im nejaká sila – napríklad gravitácia – nespôsobí vychýlenie a pohyb po krivkách. Britskí fyzici Michael Faraday a James

Clerk Maxwell v 19. storočí predstavili myšlienku elektromagnetických polí. Maxwellovi sa podarilo dokázať, že svetlo „je elektromagnetický poruchový jav vo forme vlnenia šíriaceho sa elektromagnetickým poľom podľa elektromagnetických zákonov“. ⁸⁶ Einstein dospel k názoru, že podobne ako elektrina a magnetizmus aj gravitácia sa prenáša prostredníctvom „gravitačného poľa“ – a čo je radikálnejšie, že toto gravitačné pole je vlastne to, čo Newton považoval za „priestor“. Telesá sa nepohybujú v priestore, ale v gravitačnom poli. Namiesto toho, aby sme uvažovali o priestore ako o nádobe, cez ktorú sa pohybujú planéty pod vplyvom gravitácie, musíme uvažovať o samotnom priestore ako o gravitačnom poli, ktoré je lokálne deformované v dôsledku hmotnosti hviezd.

Na základe tohto prístupu Einstein predpovedal jav gravitačnej dilatácie času. Čím bližšie je teleso k veľkej hmote s jej výraznou gravitačnou príťažlivosťou, tým pomalšie preň plynie čas. Je to, akoby gravitácia pôsobila na plynutie času vôbec. Tento jav je dnes dobre známy a je dôležitý pre fungovanie globálnych systémov určovania polohy (Global Positioning Systems, GPS), ktoré sa pri zisťovaní polohy pozorovateľa spoliehajú na signály zo satelitov obiehajúcich nad Zemou. Atómové hodiny v týchto satelitoch však bežia o 45 milióntin sekundy denne rýchlejšie ako hodiny tu na povrchu Zeme. Prečo? Pretože čas na povrchu Zeme plynie inou rýchlosťou v dôsledku väčšieho pôsobenia zemskej gravitácie.

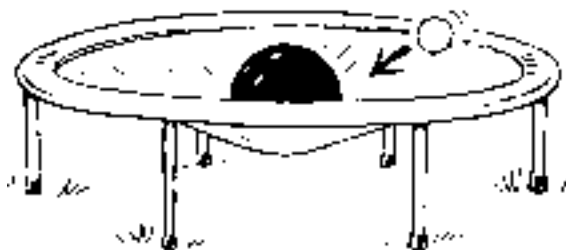
Newton pochopil, že hmota priťahuje inú hmotu v prázdnom priestore. Einstein rozvinul úplne odlišnú myšlienku, že hmota deformuje časopriestor. Gravitácia spôsobuje, že časopriestor sa ohýba okolo hmotných objektov. Samotný Newton nikdy neuplatnil svoju teóriu univerzálnej gravitá-

cie na správanie svetla. Ako sme však už uviedli, vedci, ktorí zastávali názor, že svetlo možno považovať za lúč častíc, predpokladali, že gravitácia ovplyvní jeho prechod priestorom. Dve predpovede sú obzvlášť zaujímavé. Prvou je predpoveď Johna Michella z roku 1783 o „tmavých hviezdach“, ktoré nemožno vidieť, pretože svetlo sa nedokáže vymaniť zo sily ich gravitácie. Druhou je predpoveď Johanna Georga von Soldnera z roku 1804, že lúč svetla bude vychýlený gravitačným poľom hviezdy, napríklad Slnka. Soldner sám dokázal vypočítať rozsah tohto vychýlenia.

Einstein nepovažoval svetlo za lúč častíc, ktoré by boli ovplyvnené gravitáciou na základe svojej hmotnosti. Jeho argumentácia bola trochu iná. Einsteinov princíp ekvivalencie hmotnosti a energie znamenal, že svetlo má vzhľadom na svoju obrovskú rýchlosť „efektívnu hmotnosť“. Newton si myslel, že svetlo má hmotnosť; Einstein ukázal, že sa *správa*, akoby malo hmotnosť, a preto môže byť priťahované inými zdrojmi hmotnosti – napríklad Slnkom a inými hviezdami. Einsteinova všeobecná teória relativity v podstate potvrdila obe tieto predpovede, ale postavila ich na inom teoretickom základe.

Trampolína

Ilustrácia toho, ako objekt deformuje priestor a čas.



Ako si teda môžeme toto zmenené chápanie gravitácie predstaviť? Najviac mi pomáha analógia, keď si časopriestor predstavíme ako trampolínu. Ak na trampolínu položíte ťažký predmet, pružná tkanina sa natiahne. Predstavte si teda trampolínu, do ktorej stredu niekto umiestnil kus železa. Neprekvapuje, že látka sa v tomto bode prehne. Teraz si predstavte, že po látke trampolíny kotúľate malú loptičku – bude sa pohybovať smerom ku kusu železa. Prečo? Pretože ju to ťahá k železu? Alebo preto, že prirodzene sleduje deformáciu tvaru látky, ktorá vzniká v dôsledku hmotnosti tohto železa? Druhé vysvetlenie je správne.

Všeobecná teória relativity od nás žiada, aby sme uvažovali o Slnku a planétach, ktoré deformujú časopriestor. Planéty obiehajúce okolo Slnka nie sú v skutočnosti ťahané Slnkom; v skutočnosti sledujú deformáciu zakriveného časopriestoru spôsobenú Slnkom. Astrofyzik John Archibald Wheeler tento názor pekne zhrnul, keď poznamenal, že „hmota hovorí časopriestoru, ako sa má zakriviť, a časopriestor hovorí hmote, ako sa má pohybovať“.⁸⁷ Einstein tak previedol gravitačnú fyziku do geometrie časopriestoru.

Do novembra 1915 mal Einstein rozpracovanú väčšinu detailov na vytvorenie všeobecnejšej teórie relativity. Návrh a neúplnú verziu predstavil vo forme prednášok v lete predchádzajúceho roku na univerzite v Göttingene. V marci 1916 Einstein predložil svoj článok s názvom „Základ všeobecnej teórie relativity“ nemeckému vedeckému časopisu *Annalen der Physik*, v ktorom boli uverejnené jeho prelomové štúdie z roku 1905. Článok sa vzhľadom na vojnové podmienky nestretol s takým veľkým ohlasom, ako možno dúfal. Napriek tomu bolo zrejmé, že sa v ňom uvádza komplexná a prepra-

covaná všeobecná teória, ktorú bolo možné overiť na základe pozorovaní.

Ako teda máme chápať vzťah týchto dvoch teórií relativity – špeciálnej a všeobecnej? Samotný Einstein ponúkol prehľadné vysvetlenie v článku s názvom „Čo je teória relativity?“, ktorý napísal v novembri 1919 v reakcii na obrovský záujem verejnosti o svoje teórie:

Teória relativity pripomína budovu, ktorá sa skladá z dvoch samostatných poschodí, špeciálnej a všeobecnej teórie. Špeciálna teória, na ktorej spočíva všeobecná teória, sa vzťahuje na všetky fyzikálne javy s výnimkou gravitácie; všeobecná teória prináša gravitačný zákon a jeho vzťahy k ostatným prírodným silám.⁸⁸

Jedným z najvýznamnejších aspektov Einsteinovho článku „Základy všeobecnej teórie relativity“ boli jeho konkrétne predpovede toho, čo by sa pozorovalo, keby bola teória správná. Einsteinovi bolo úplne jasné, že jeho teóriu treba hodnotiť ako celok. Ako poznamenal v roku 1919, jej hlavná príťažlivosť spočívala v jej logickej úplnosti. „Ak sa jeden jediný záver z nej vyvodený ukáže ako nesprávny, treba sa jej vzdať; zdá sa byť nemožné upraviť ju bez toho, aby sa zničila celá jej štruktúra.“ Podľa Einsteina existovali tri takéto predpovede, ktoré bolo možné overiť:

1. Posun perihélia planéty Merkúr, ktorý vznikol v dôsledku pohybu planéty v priestore, t. j. v gravitačnom poli deformovanom obrovskou hmotnosťou Slnka. Hoci tento efekt by sa mal prejavovať pri všetkých planetách, najvýraznejší by bol v prípade Merkúra, ktorý sa nachádza tak blízko gravitačného pôsobenia Slnka.