

# **Kapitola 2**

## **Einsteinova honba za sjednocením**



Jako náctiletý si Einstein položil otázku, která měla změnit běh 20. století. Zeptal se sám sebe:

*Je možné předhonit paprsek světla?*

O mnoho let později napsal, že tato prostá otázka je klíčem k jeho teorii relativity.

Předtím si přečetl jednu dětskou knihu, *Lidové knížky o přírodních vědách* Aarona Bernsteina. Ta čtenáře vybízela, ať si představí, že uhánějí podél telegrafního drátu. Einstein si místo toho představil, že běží vedle paprsku světla, který by pak měl vypadat jako zamrzlý v čase. Uvažoval, že kdybychom dokázali s paprskem držet krok, světelné vlny by měly být nehybné (jak by možná předpověděl Newton).

Ale už jako šestnáctiletý chlapec si Einstein uvědomoval,

že nikdo nikdy neviděl zamrzlý světelný paprsek. O této otázce přemítal následujících deset let.

Mnoho lidí ho bohužel považovalo za zkrachovalou existenci. I když byl vynikajícím studentem, profesori nesnášeli jeho bezstarostný, bohémský životní styl. Protože už většinu látky znal, často vynechával přednášky, takže jeho profesori psali nelichotivé doporučující dopisy; kdykoli se ucházel o zaměstnání, byl odmítnut. Zůstával bez práce a v zoufalství přijal místo učitele (ale brzy opět dostal vyhazov, protože se pohádal se svým zaměstnavatelem). Dokonce zvažoval, že se stane pojišťovacím agentem, aby uživil svou přítelkyni a dítě. (Dovedete si představit, že byste jednoho dne otevřeli dveře a spatřili Einsteina, jak se vám snaží prodat pojištění?) Byl nezaměstnatelný a připadalo mu, že své rodině jenom přiděluje potíže. V jednom dopise malomyslně napsal: „Jsem pro své příbuzné jen přítěž... Jistě by bylo lepší, kdybych vůbec nežil.“

Nakonec se mu podařilo získat místo úředníka třetí třídy na patentovém úřadě v Bernu. To bylo ponižující, ale ve skutečnosti šlo o dar z nebes. V tichu patentového úřadu se Einstein mohl vrátit ke staré otázce, jež ho pronásledovala od dětství, a zahájit revoluci, která převrátila fyziku i celý svět vzhůru nohama.

Jako student věhlasné Polytechnické školy ve Švýcarsku se Einstein seznámil s Maxwellovými rovnicemi pro světlo. Uvažoval, co se s nimi stane, když se pohybujeme rychlostí světla. Tuto otázku si kupodivu do té doby nikdo nepoložil. S využitím Maxwellovy teorie Einstein vypočítal rychlost paprsku světla v pohybujícím se předmětu, například ve vlaku. Očekával, že rychlost paprsku z pohledu nehybného vnějšího pozorovatele bude prostě součtem jeho obvyklé rychlosti a rychlosti vlaku. Podle newtonovské mechaniky se mohou rychlosti jednoduše sčítat. Když například v jedoucím vlaku hodíte míček ve směru jízdy, nehybný pozorovatel by řekl, že rychlost míčku je prostě součtem rychlosti vlaku

a rychlosti míčku vůči vlaku. Podobně se mohou rychlosti také odčítat. Kdybyste tedy dokázali držet krok s paprskem světla, měl by vypadat nehybně.

Ke svému úžasu Einstein zjistil, že paprsek světla není vůbec zamrzlý, nýbrž od nás uhání pryč stále stejnou rychlostí. To se mu zprvu zdálo nemožné. Podle Newtona můžete dohonit cokoliv, když se budete pohybovat dost rychle. To dá přece rozum. Jenže Maxwellovy rovnice tvrdí, že světlo nikdy dohonit nemůžete, protože se pořád šíří stejnou rychlostí, bez ohledu na to, jak rychle se pohybujete vy.

Toto zjištění mělo pro Einsteina zásadní význam. Buď musel mít pravdu Newton, nebo Maxwell, a ten druhý se musel plést. Jak však vysvětlit, že světlo nelze nikdy dohonit? Einstein měl v patentovém úřadě dost času tuto otázku promýšlet. Jednoho dne na jaře roku 1905 mu to konečně došlo, když zrovna jel v Bernu vlakem. „V hlavě se mi rozpoutala hotová bouře,“ vzpomínal později.

Napadla ho následující brilantní myšlenka: Jelikož rychlost světla měříme hodinkami a pravítky a jelikož rychlost světla je konstantní, ať se pohybujeme jakkoli rychle, musí se prostor a čas zakřivovat, aby rychlost světla zůstala stejná.

To znamená, že když se nacházíte na palubě rychlé vesmírné lodi, hodinky uvnitř lodi tikají pomaleji než hodinky na Zemi. Čím rychleji se pohybujete, tím *pomaleji ubíhá čas* – tento jev popisuje Einsteinova speciální relativita. Odpověď na otázku „Kolik je hodin?“ tedy závisí na tom, jak rychle jste se pohybovali. Jestliže by kosmická loď uháněla rychlostí blízkou rychlosti světla a my bychom ji dalekohledem pozorovali ze Země, zdálo by se nám, jako bychom dění uvnitř lodi sledovali ve zpomaleném záběru. Kromě toho by všechno v lodi vypadalo stlačené. A konečně by tam všechno bylo také těžší. Ale lidem na palubě by kupodivu vše připadalo normální.

Einstein později vzpomínal: „Maxwellovi vděčím za víc

než komukoli jinému.“ Dnes lze tento experiment provádět rutinně. Když umístíte atomové hodiny do letadla a porovnáte je s hodinami na Zemi, uvidíte, že se hodiny v letadle zpozdily (jen nepatrně, o jednu biliontinu).

Jestliže se však prostor a čas mohou měnit, musí se měnit také všechno, co lze měřit, včetně hmoty a energie. A čím rychleji se budete pohybovat, tím budete těžší. Odkud se však tato dodatečná hmotnost bere? Pochází od pohybové energie. A to znamená, že se část pohybové energie přeměňuje na hmotnost.

Přesný vztah mezi hmotou a energií udává rovnice  $E = mc^2$ . Jak uvidíme, tato rovnice zodpověděla jednu z nejhlubších otázek celé vědy: Proč svítí Slunce? Slunce svítí proto, že když za vysokých teplot stlačíte atomy vodíku, změní se část hmotnosti vodíku v energii.

Klíčem k porozumění vesmíru je sjednocení. V případě relativity šlo o sjednocení prostoru s časem a hmoty s energií. Jak se však tohoto sjednocení podařilo dosáhnout?

## Symetrie a krása

Pro básníky a umělce je krása něco neuchopitelného, je to estetická kvalita, která budí hluboké emoce a vzrušení.

Pro fyzika je krása symetrie. Rovnice jsou krásné, protože vykazují symetrii. To znamená, že když přeskládáte nebo promícháte její složky, zůstane rovnice stejná. Je vzhledem k této transformaci invariantní. Představte si kaleidoskop. Ten pomocí zrcadel vytváří mnoho kopií náhodné změti barevných tvarů a potom tyto obrázky symetricky uspořádává do kruhu. Něco chaotického se tedy díky symetrii najednou stává uspořádaným a krásným.

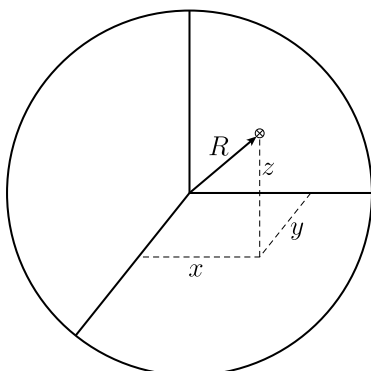
Podobně je sněhová vločka krásná, protože zůstane stejná, když ji pootočíme o 60 stupňů. Ještě symetričtější je koule. Ať se kolem svého středu otočí jakkoliv, bude vždy vypadat stejně. Pro fyzika je rovnice krásná, když po přeskupení různých částic a složek uvnitř ní zjistíme, že se výsledek nezměnil – jinak řečeno, že mezi jejími částmi existuje symetrie. Matematik G. H. Hardy jednou napsal: „Matematikovy vzorce musejí stejně jako vzorce malíře nebo básníka být *krásné*; myšlenky do sebe musejí zapadat harmonickým způsobem, stejně jako barvy nebo slova. Krása je první zkouška; ošklivá matematika nemá na světě žádné trvalé místo.“ A touto krásou je symetrie.

Výše jsme v souvislosti s Newtonovou gravitační silou viděli, že poloměr oběžné dráhy Země kolem Slunce zůstává konstantní. Souřadnice  $X$  a  $Y$  se mění, ale  $R$  nikoliv. To lze rovněž zobecnit pro tři rozměry.

Představte si, že se nacházíte někde na zemském povrchu. Vaši polohu udávají tři rozměry: vaše souřadnice jsou  $X$ ,  $Y$  a  $Z$  (viz obr. 5). Ať budete po zemském povrchu cestovat kamkoliv, poloměr Země  $R$  se nemění, přičemž  $R^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$ . To je třírozměrná verze Pythagorovy věty.\*

Když nyní vezmeme Einsteinovy rovnice a potom „přetočíme“ prostor v čas a čas v prostor, zůstanou rovnice stejné.

\* Abychom to pochopili, předpokládejme nejprve, že  $Z = 0$ . Z koule potom bude kružnice na rovině  $X$  a  $Y$ , stejně jako v předchozím příkladu. Viděli jsme, že ať se na této kružnici přesuneme kamkoliv, vždy platí  $X^2 + Y^2 = R^2$ . Nyní postupně zvětšujeme  $Z$ . Jak ve směru  $Z$  stoupáme stále výše, kružnice se zmenšuje. (Kružnice odpovídá rovnoběžkám na zeměkouli.)  $R$  zůstává stejné, ale rovnice pro tuto malou kružnici má nyní podobu  $X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2$  (pro pevně danou hodnotu  $Z$ ). Když nyní necháme  $Z$  měnit se, uvidíme, že jakýkoli bod na povrchu koule má takové souřadnice  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ , že pro ně platí třírozměrná Pythagorova věta. V souhrnu lze říct, že všechny body na povrchu koule lze popsat Pythagorovou větou ve třech rozměrech tak, že  $R$  bude zůstávat stejné, ale  $X$ ,  $Y$  a  $Z$  se budou měnit s tím, jak se budeme po povrchu koule přesouvat. Einsteinova zásadní myšlenka spočívala v tom, že tuto úvahu zobecnil pro čtyři rozměry, přičemž čtvrtým rozměrem byl čas.



$$R^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

Obr. 5. Zatímco se přesouváte po povrchu Země, poloměr Země  $R$  zůstává konstantní, invariantní, i když se vaše souřadnice  $X$ ,  $Y$  a  $Z$  neustále mění jedna v druhou. Třírozměrná Pythagorova věta je tedy matematickým vyjádřením této symetrie.

To znamená, že tři rozměry prostoru jsou nyní spojeny s rozměrem času  $T$ , který se stává čtvrtým rozměrem. Einstein ukázal, že množství  $X^2 + Y^2 + Z^2 - T^2$  (s časem vyjádřeným v určitých jednotkách) zůstává stejné, což je upravená verze Pythagorovy věty ve čtyřech rozměrech. (Povšimněme si, že u časové souřadnice je navíc znaménko minus. To znamená, že ačkoli je relativita invariantní vzhledem k pootočením ve čtyřech rozměrech, zachází s časovou dimenzí trochu jinak než se třemi prostorovými dimenzemi.) Einsteinovy rovnice jsou tedy symetrické ve čtyřech rozměrech.

Maxwellovy rovnice byly poprvé napsány kolem roku 1861, v době vypuknutí americké občanské války. Dříve jsme poznali, že vykazují symetrii, která přeměňuje elektrické pole v magnetické a obráceně. Kromě toho se však vyznačují ještě další, skrytou symetrií. Když je ve čtyřech rozměrech upravíme tak, že mezi sebou zaměníme  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a  $T$ , jak to v desátých letech 20. století udělal Einstein, zůstanou stejné.



To znamená, že kdyby fyzikové nebyli zaslepeni úspěchem newtonovské fyziky, mohla být relativita objevena už v době války Severu proti Jihu!

## Gravitace jako zakřivený prostor

I když Einstein ukázal, že prostor, čas, hmota i energie jsou součástí rozsáhlejší čtyřrozměrné symetrie, v jeho rovnicích byla jedna nápadná mezera: neříkaly nic o gravitaci a zrychlení. Nebyl spokojený. Chtěl svou ranější teorii, kterou nazval speciální relativitou, zobecnit tak, aby zahrnuje gravitaci a zrychlené pohyby, a tím vybudovat mocnější obecnou teorii relativity.

Fyzik Max Planck ho však varoval před obtížemi spojenými s tvorbou teorie, která by spojila relativitu a gravitaci. Řekl mu: „Jako váš starší přítel vás od toho musím zrazovat. Především totiž neuspějete – a i kdybyste uspěl, nikdo by vám neuvěřil.“ Vzápětí však dodal: „Pokud se vám to podaří, budete nazván novým Koperníkem.“

Každému fyzikovi bylo zjevné, že Newtonova teorie gravitace a Einsteinova teorie si odporují. Kdyby Slunce najednou zmizelo beze stopy, podle Einsteina bychom na Zemi jeho nepřítomnost pocítili až za osm minut. Zato Newtonova slavná rovnice pro gravitaci rychlost světla nezmiňuje. Gravitace se – v rozporu s relativitou – šíří okamžitě; na Zemi bychom proto účinek chybějícího Slunce měli pocítit ihned.

Einstein o otázce světla přemítal deset roků, od šestnácti do dvaceti šesti let. Následujících deset let, do svých šestatřiceti, se soustředil na teorii gravitace. Řešení celé hádanky ho napadlo, když jednoho dne seděl opřený na židli a málem z ní spadl. Uvědomil si, že kdyby skutečně spadl, byl by na chvíli

v beztížném stavu. Pak mu došlo, že to by mohlo být klíčem k teorii relativity. Později na tento nápad rád vzpomínal; jeho vlastními slovy šlo o „nejšťastnější myšlenku jeho života“.

Už Galileo si uvědomil, že kdybyste spadli ze střechy nějaké budovy, na okamžik byste se ocitli ve stavu beztíže, ale až Einstein přišel na to, jak s využitím tohoto faktu odkrýt tajemství gravitace. Představte si, že jste ve výtahu a jeho lano se přetrhne. Padali byste, ale podlaha by padala stejnou rychlostí, takže byste se uvnitř výtahu začali vznášet, jako kdyby tam nebyla žádná gravitace (alespoň než by výtah dopadl na zem). Uvnitř výtahu by gravitaci přesně vyrušilo zrychlení padajícího výtahu. Tomu se říká „princip ekvivalence“: zrychlení v jedné vztažné soustavě je nerozlišitelné od gravitace v jiné vztažné soustavě.

Když v televizi vidáme naše astronauty, kteří jako by byli ve stavu beztíže, není tomu tak proto, že by gravitace z vesmíru zmizela. V celé Sluneční soustavě je gravitace spousta. Důvodem je, že jejich vesmírná loď padá přesně stejnou rychlostí jako oni. Jak astronauti, tak jejich loď padají volným pádem okolo Země, podobně jako Newtonova hypotetická dělová koule vystřelená z vrcholku hory. Uvnitř lodi tedy vzniká optická iluze, že astronauti jsou v beztížném stavu, jelikož všechno včetně jejich těl a samotné lodi padá stejnou rychlostí.

Einstein pak toto zjištění aplikoval na dětský kolotoč. Podle relativity platí, že čím se pohybujete rychleji, tím jste plošší, jelikož se prostor stlačuje. Když se kolotoč otáčí, jeho vnější okraj se pohybuje rychleji než vnitřek. To vzhledem k působení relativity na prostoročas znamená, že se okraj smršťuje více než vnitřek. S tím, jak se kolotoč blíží rychlosti světla, se jeho podlaha deformuje. Už to není jenom plochý kotouč. Okraj se scvrkl, kdežto střed zůstává stejný, takže je povrch zakřiven jako miska položená dnem vzhůru.

Nyní si představte, že se pokusíte po zprohýbané podlaze

kolotoče chodit – nepodaří se vám jít rovně. Zprvu se vám možná kvůli zakřivení povrchu bude zdát, že se vás jakási neviditelná síla snaží z kolotoče shodit. Člověk jedoucí na kolotoči tedy bude říkat, že existuje odstředivá síla, která z něj všechno shazuje. Pro člověka stojícího mimo kolotoč však žádná vnější síla neexistuje, jen zakřivení podlahy.

Einstein složil všechny dílky skládačky dohromady. Síla, kvůli níž se na kolotoči neudržíte na nohou, je ve skutečnosti způsobena zprohýbáním kolotoče. Odstředivá síla, již pociťujete, je ekvivalentní gravitaci – je to tedy fiktivní síla vytvořená tím, že se nacházíte ve zrychlující se vztažné soustavě. *Jinými slovy, zrychlení v jedné vztažné soustavě je totožné s účinkem gravitace v jiné, a ten je dán zakřivením prostoru.*

Nyní nahradte kolotoč Sluneční soustavou. Země obíhá kolem Slunce, takže my pozemšťané podléháme iluzi, že Slunce působí na naši planetu přitažlivou silou zvanou gravitace. Ale někdo vně Sluneční soustavy by vůbec žádnou sílu neviděl; pozoroval by, že se prostor kolem Země zakřivil, takže prázdny prostor tlačí na Zemi takovým způsobem, aby kroužila kolem Slunce.

Einstein připadl na brilantní postřeh, že gravitační přitažlivost je ve skutečnosti iluze. Předměty se nehýbou proto, že by za ně tahala gravitace nebo odstředivá síla, ale jelikož na ně tlačí zakřivení prostoru kolem nich. *Tento bod bychom měli zopakovat: není tomu tak, že by objekty přitahovala gravitace, nýbrž na ně tlačí prostor.*

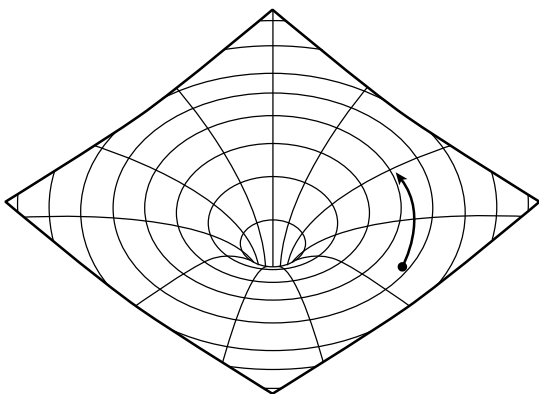
Shakespeare jednou napsal, že celý svět je jeviště a všichni lidé jsou herci, kteří přicházejí a odcházejí. Tento obrázek přijal Newton. Svět je statický a my se po tomto plochém povrchu pohybujeme podle Newtonových zákonů.

Einstein však tuto představu opustil. Podle něj je jeviště zakřivené a zprohýbané. Když po něm jdete, nemůžete udržet rovný směr. Pořád vámi něco zmítá, protože podlaha pod vašimi nohama je zakřivená, a tak se potácíte jako opilec.

Gravitační přitažlivost je iluze. Teď například možná sedíte v křesle a čtete si tuto knihu. Za normálních okolností byste řekli, že vás gravitace stahuje do křesla a brání tomu, abyste odletěli do kosmu. Einstein by však řekl, že v křesle sedíte proto, že hmotnost Země zakřivuje prostor nad vaší hlavou a toto zakřivení vás zatlačuje do křesla.

Představte si, že na velkou matraci položíte těžkou vrhací kouli. Koule se zaboří do matrace a zprohýbá ji. Když nyní přes matraci cvrknete malou kuličku, bude se pohybovat po křivce. Vlastně začne kroužit kolem vrhací koule. Zdá se, že existuje neviditelná síla, která za kuličku tahá a nutí ji obíhat. Zblízka však vidíte, že vůbec žádná neviditelná síla neexistuje. Důvod, proč se kulička nepohybuje po přímce, tkví v tom, že matrace je zakřivená, takže nejpřímější drahou je elipsa.

Nyní nahradme kuličku planetou Zemí, vrhací kouli Sluncem a matrací prostoročasem. Potom uvidíme, že Země obíhá



Obr. 6. Když položíme těžkou vrhací kouli na matraci, zaboří se do ní. Kulička vrhací koule obkružuje. Zdá se, že se kuličky zmocňuje síla vycházející z vrhací koule a nutí ji, aby kolem ní obíhala. Ve skutečnosti kolem ní obíhá proto, že je matrace zprohýbaná. Podobně gravitace Slunce zakřivuje světlo vzdálených hvězd, což lze během zatmění Slunce změřit pomocí dalekohledů.

kolem Slunce proto, že Slunce zakřivilo prostor ve svém okolí. Prostor, jímž se Země pohybuje, není rovný.

Nebo si představme mravence lezoucí po zmuchlaném listu papíru. Nemohou se pohybovat po přímce. Možná mají pocit, jako by jimi neustále smýkala nějaká síla. Ale když se na ně my díváme seshora, vidíme, že žádná taková síla neexistuje. To je základní postřeh teorie, již Einstein nazval obecnou relativitou: prostoročas je zakřívován těžkými tělesy, což vyvolává iluzi gravitační síly.

To znamená, že obecná relativita je mnohem mocnější a symetričtější teorie než speciální relativita, jelikož popisuje gravitaci, která ovlivňuje všechny věci v prostoročasu. Zato speciální relativita platila jenom pro předměty, které se v prostoru a čase pohybují rovnoměrně a přímočaře. V našem vesmíru se však skoro všechno zrychluje, od závodních aut přes helikoptéry až po rakety. Obecná relativita platí pro zrychlení, která se v každém bodě prostoročasu neustále mění.

## Zatmění Slunce a gravitace

Každá teorie, ať sebekrásnější, musí nakonec projít zkouškou experimentálního ověření. Einstein proto zvažoval několik možných experimentů. Prvním byla nestálá oběžná dráha Merkuru. Při jejím výpočtu astronomové odhalili drobnou anomálii. Dráha Merkuru netvoří dokonalou elipsu, jak předpovídaly Newtonovy zákony, ale maličko kolísá, což má za výsledek vzorec připomínající květ.

Astronomové chtěli Newtonovy zákony zachránit a přišli s domněnkou, že se uvnitř oběžné dráhy Merkuru nachází nová planeta jménem Vulkán. Gravitace Vulkánu by působila na Merkur a zapříčinila zjištěnou odchylku. Výše jsme viděli,

že tato strategie vědcům umožnila objevit planetu Neptun. Pozorování však žádné důkazy o existenci Vulkánu nepřineslo.

Když tedy Einstein s využitím své teorie gravitace přepočítal perihélium Merkuru (místo, kde je planeta nejbližší Slunci), objevil mírnou odchylku od Newtonových zákonů. Ke svému nadšení zjistil, že pozorování jeho výpočtům dokonale odpovídají. Rozdíl od dokonalé elipsy podle jeho propočtů činil 42,9 úhlových vteřin za jedno století, což bylo bezpečně v mezích experimentální chyby. Později na tento objev rád vzpomínal. „Několik dnů jsem byl vzrušením celý bez sebe. Mé nejsmělejší sny se splnily.“

Dále si uvědomil, že podle jeho teorií by Slunce mělo odklánět dráhu světla.

Einsteinovi došlo, že gravitace Slunce je dost silná, aby ohýbala světlo blízkých hvězd. Jelikož tyto hvězdy byly viditelné jen během zatmění Slunce, Einstein navrhl, aby byla roku 1919 vyslána výprava, jež by na místě zatmění jeho teorii ověřila. (Astronomové měli pořídit dvě fotografie noční oblohy, jednu po soumraku a jednu během zatmění. Při porovnání těchto snímků by se poloha hvězd vlivem gravitace Slunce měla změnit.) Byl si jistý, že bude prokázána správnost jeho teorie. Když se ho zeptali, jak by reagoval, kdyby experiment jeho teorii vyvrátil, odpověděl: „Řekl bych si, že náš Pánbůh asi někde udělal chybu.“ Jak napsal svým kolegům, byl o správnosti teorie přesvědčen vzhledem k její úchvatné matematické kráse a symetrii.

Když astronom Arthur Eddington tento velkolepý experiment konečně provedl, výsledek se pozoruhodným způsobem shodoval s Einsteinovou předpovědí. (Dnes ohýbání světla působením gravitace běžně využívají astronomové. Když světlo hvězdy prochází kolem vzdálené galaxie, ohýbá se podobně, jako kdyby ho ohýbala čočka. Tomuto jevu se říká „gravitační čočka“.)

V roce 1921 byla Einsteinovi udělena Nobelova cena.

Brzy se stal jedním z nejznámějších lidí na planetě, ještě známějším než většina filmových hvězd a politiků. (V roce 1933 se objevil na filmové premiéře spolu s Charliem Chaplinem. Když se na ně vrhli lovci autogramů, zeptal se Einstein Chaplina: „Co to všechno znamená?“ – „Nic, vůbec nic,“ odpověděl Chaplin. A potom dodal: „Mně tleskají proto, že mi každý rozumí. Vám proto, že vám nerozumí nikdo.“)

Teorie, která svrhla dvě stě padesát let trvající vládu newtonovské fyziky, samozřejmě čelila také ostré kritice. Jako jeden z prvních skeptiků vytáhl do útoku profesor Kolumbijské univerzity Charles Lane Poor. Když si přečetl o relativitě, soptil: „Mám pocit, jako bych se s Alenkou procházel říší divů a popíjel čaj s Kloboučníkem.“

Planck však Einsteina vždy uklidňoval. Napsal: „Nová vědecká pravda nevíteží tak, že její protivníci prohlédnou a nechají se přesvědčit, ale protože tito odpůrci nakonec vymřou a vyroste nová generace, která je s touto pravdou od začátku obeznámená.“

V následujících desetiletích byla relativita mnohokrát zpochybněna, ale pokaždé se správnost teorie potvrdila. Jak uvidíme v dalších kapitolách, Einsteinova teorie relativity ve skutečnosti přetvořila celou fyziku, způsobila revoluci v našem chápání vesmíru, jeho původu a vývoje a změnila způsob našeho života.

Jedním snadným způsobem, jak Einsteinovu teorii potvrdit, je použít systém GPS na vašem mobilním telefonu. Systém GPS sestává z jednatřiceti družic obíhajících kolem Země. Váš telefon může v jakémkoliv okamžiku přijmout signály z tří z nich. Každá z těchto tří družic se pohybuje po trochu jiné trajektorii a v jiném úhlu. Počítač ve vašem mobilu potom analyzuje tato data ze tří družic a triangulací vypočítá vaši přesnou polohu.

Systém GPS je tak přesný, že musí zohledňovat nepatrné korekce ze speciální i obecné relativity.

Protože se družice pohybují rychlostí asi 27 000 kilometrů za hodinu, hodiny na nich tikají trochu pomaleji než na Zemi vlivem speciální relativity, podle níž mají vyšší rychlosti za následek pomalejší čas – jak demonstruje myšlenkový experiment, v němž se snažíme předhonorovat paprsek světla. Jelikož však gravitace slábne spolu s tím, jak se vzdalujeme od zemského povrchu, čas se zároveň trochu zrychluje vlivem obecné relativity, podle níž gravitační přitažlivost zakřivuje prostoročas – čím je přitažlivost slabší, tím rychleji běží čas. To znamená, že speciální a obecná relativita působí v opačných směrech: speciální relativita způsobuje zpomalování signálů, kdežto obecná relativita jejich zrychlování. Váš mobilní telefon pak zohlední oba protichůdné efekty a řekne vám, kde přesně se nacházíte. Bez souhry speciální a obecné relativity byste se tedy ztratili.

## **Newton a Einstein: úplné protiklady**

Einstein byl prohlašován za nového Newtona, ale osobnostně tito dva muži nemohli být rozdílnější. Newton byl samotářský a tajnůstkářský, skoro asociální. Neměl žádné celoživotní přátele a každodenní konverzace byla nad jeho síly.

Fyzik Jeremy Bernstein jednou prohlásil: „V každém, kdo přišel s Einsteinem do bližšího styku, zanechala hluboký dojem jeho ušlechtilost. V popisech Einsteina se neustále vrací slovo ‚lidskost‘, odkazující na jeho prostou, milou povahu.“

Oba muži však určité klíčové vlastnosti sdíleli. První byla schopnost soustředit se a vyvinout ohromnou mentální energii. Newton někdy celé dny zapomínal jíst nebo spát, zatímco se soustředil na jediný problém. Jindy zase přerušil rozhovor



v púlce věty a začal škrábat poznámky na cokoli, co zrovna bylo po ruce, třeba i na ubrousek nebo na stěnu. Podobně se Einstein dokázal soustředit na jediný problém celé roky, ba desetiletí. Při práci na obecné teorii se málem zhroutil.

Dalším společným rysem byla schopnost znázornit si problém ve formě obrázků. I když Newton mohl celá *Principia* napsat s využitím algebraických symbolů, raději své mistrovské dílo zaplnil geometrickými nákresey. Používat kalkulus s abstraktními symboly je poměrně snadné; ale odvodit je z trojúhelníků a čtverců dokáže jen opravdový mistr. Podobně je i Einsteinova teorie plná nákrešů vlaků, pravítek a hodin.

## Hledání jednotné teorie

Nakonec Einstein vytvořil dvě významné teorie. První byla speciální relativita, která řídí vlastnosti světelných paprsků a prostoročasu. Tato teorie zavedla symetrii založenou na pootočeních ve čtyřech rozměrech. Druhou byla obecná relativita, která odhaluje, že gravitace je ve skutečnosti zakřivení prostoročasu.

Po těchto dvou monumentálních úspěších však Einstein usiloval o třetí, ještě velkolepější. Chtěl najít teorii, která by sjednotila všechny síly vesmíru v jediné rovnici. Chtěl jazykem teorie polí zapsat rovnici, která by dokázala sloučit Maxwellovu teorii elektřiny a magnetismu s jeho vlastní teorií gravitace. Celá desetiletí se snažil tyto dvě teorie sjednotit, ale bezvýsledně. (Jako první ve skutečnosti navrhl sjednocení gravitace s elektromagnetismem Michael Faraday. Chodíval na London Bridge a házel do vody magnety v naději, že objeví nějaký měřitelný vliv gravitace na magnety. Žádný však neobjevil.)

Jedním z důvodů Einsteinova neúspěchu bylo, že ve dvacátých letech 20. století zela v našem porozumění světu velká mezera. Až s pokroky nové, takzvané kvantové teorie si fyzikové uvědomili, že nám jeden dílek skládačky chybí: totiž jaderná síla.

I když byl Einstein jedním ze zakladatelů kvantové teorie, paradoxně se stal jejím největším protivníkem. Vystavil ji palbě kritiky. V následujících desetiletích teorie obstála ve všech experimentálních zkouškách a poskytla nám bezpočet zázračných elektrických přístrojů, které zaplňují naše životy a pracoviště. Jak však uvidíme, Einsteinovy hluboké a důmyslné filozofické námitky jsou dodnes aktuální.