

nuto vrtulové letadlo, studuje se, a pak se postaví vylepšený model. Ale tato metoda postupných přírůstků nefunguje u zásadních problémů. K objevu, že mezi těmi dvěma oblastmi existuje spojení, nedospěl Einstein vyhodnocováním experimentů s vážením hmoty, zjišťováním, zda se nějaký kousíček někde nezapomněl a nezkonvertoval v energii. Místo toho zvolil na první pohled nekonečnou okliku. Hmotu a energii na čas úplně „opustil“ a soustředil se na něco, co s tím zdánlivě nesouviselo.

Začal se věnovat rychlosti světla.

## 5 c značí celeritas

„ $c$ “ se liší od všeho, čím jsme se doposavad zabývali. „ $E$ “ je rozlehlá oblast energií a „ $m$ “ materiální obsah vesmíru. Ovšem „ $c$ “ je prostě jen rychlost světla.

Toto nečekané písmeno má ve svém jméně, pravděpodobně jako výraz úcty k období do poloviny 17. století, kdy byla věda soustředěna v Itálii a vybranou řečí byla latina. *Celeritas* znamená latinsky „rychlost“ (a je kořenem anglického slova *celerity* [rychlost] a českého slova „akcelerace“.)

Tato kapitola se bude zabývat tím, jak „ $c$ “ přišlo ke své významné roli v rovnici ( $E = mc^2$ ). Čím to, že zrovna tato rychlost – která se může zdát jako náhodné číslo – řídí spojení mezi veškerou hmotou a veškerou energií ve vesmíru?

Dlouhou dobu bylo i změření rychlosti světla pokládáno za nemožné. Téměř každý byl přesvědčen, že světlo se pohybuje nekonečně rychle. V tom případě by ovšem nemohlo figurovat v praktické rovnici. Než bylo možné pokročit někam dál, než vůbec mohl Einstein na „ $c$ “ pomyslet, musel někdo stanovit, že rychlost světla je konečná – ale to vůbec nebylo jednoduché.

Galileo byl prvním člověkem, který jasně koncipoval, jak měřit rychlost světla. Bylo to dost dlouho předtím, než byl v pozdním věku, skoro slepý, uvržen do domácího vězení. Než však stačil své nápady uveřejnit, byl již příliš starý na to, aby prováděl experimenty sám. Inkvizice ho hlídala na každém kroku. Byla to pro něj a jeho přátele tak trochu výzva. Několik let po jeho smrti se o práci doslechli členové akademie experimentálních studií ve Florencii a ohlásili, že jím navržená pozorování provedou.<sup>1</sup>

Myšlenka byla jednoduchá, stejně jako celé Galileovo dílo. Jedné letní noci se dva dobrovolníci s lucernami postaví na svahy kopců vzdálených míli od sebe. Jeden po druhém budou otvírat stínidlo své lucerny a přitom měřit, jak dlouho světlu potrvá, než se vrátí z druhé strany údolí.

Myšlenka pokusu byla dobrá, ale technika byla v té době příliš nedokonalá na to, aby mohla poskytnout jakékoliv průkazné výsledky. Z jiných experimentů Galileo věděl, že je nutné pravidelně dýchat, aby si v průběhu experimentů nepřivodil zrychlení srdečního tepu, jehož užíval k měření krátkých časových intervalů. Onoho večera však dobrovolníci na svazích Florencie pravděpodobně zjistili, že světlo je příliš rychlé. Vše, co spatřili, byla jen krátká zářivá šmouha, jakýsi pohyb, který se zdál okamžitý. Dalo se to vykládat jako nezdar a pro mnoho lidí to byl jen další důkaz, že světlo se pohybuje nekonečně rychle. Ale Florentinové si to nevyložili tak, že by Galileovy úvahy byly nesprávné. Akademie došla k závěru, že potrvá nejméně generaci, než někdo přijde na to, jak tento nesmírně rychlý záblesk změřit.

V roce 1670, několik desítek let po Galileově smrti z roku 1642, se dostavil do Paříže Jean-Dominique Cassini, aby převzal místo šéfa nově zřízené Pařížské hvězdárny. Bylo třeba dohlížet na množství stavebních prací a někdy bylo možno spatřit Cassiniho na ulici právě při této činnosti. Bylo to kou-

sek od stínů věznice Port Libre, kde Lavoisier bude v následujícím století čekat na smrt. Ale Cassiniho nejdůležitějším úkolem bylo vnést trochu života do francouzské vědy. Měl také osobní důvod k tomu, aby novou instituci dovedl k úspěchu, protože jeho jméno nebylo vlastně Jean-Dominique nýbrž Giovanni Domenico. A nebyl Francouz, nýbrž nový příchozí z Itálie. A přestože král byl na jeho straně a financování mělo být zajištěno, kdo mohl vědět, jak dlouho to potrvá?

Cassini vyslal svoje emisary k bájemi opředené observatoři Uraniborg, nacházející se na jednom z ostrovů v Dánském průlivu nedaleko hradu Elsinor. Jejich úkolem bylo stanovit souřadnice Uraniborgu, což mělo pomoci při určování vzdáleností při navigaci. Měli se také poohlédnout po schopných vědcích, kteří by se dali získat z jiných hvězdáren. Zakladatel Uraniborské hvězdárny Tycho Brahe zde provedl pozorování, na kterých nejen Kepler, ale i Newton založili svoje díla. Brahe si tu pro zábavu vytvořil neuvěřitelný přepych. Kolem zámku se nacházely exotické druhy stromů, zahrady s umělými kanály a rybníčky plné ryb. Byl zde působivý komunikační systém připomínající intercom a pohyblivé automaty, které dělaly místní rolníky; dokonce se mluvilo o automatickém splachovacím záchodě.

Cassiniho pravá ruka Jean Picard dorazil do Uraniborgu roku 1671 zamlženými vodami na plachetnici plující z Kodaně. Cítil vzrušení, že konečně spatří bájně místo – a hned na to zklamání, když zjistil, v jakých je troskách.

Rafinované vynálezy, které kdysi tak zapůsobily na Keplera, pocházely z doby bezmála před sto lety. Zakladatel observatoře býval silnou osobností, ale po jeho smrti to tu nikdo skutečně nepřevzal. Při Picardově příjezdu bylo vše v úpadku a rozkladu. Rybníčky byly zanesené, kvadranty a hvězdné glóbusy byly dávno pryč. Bylo možno rozeznat už jen pár základních kamenů hlavní budovy.

Přesto Picard získal svoje údaje. Také se mu podařilo vzít s sebou do Paříže bystrého jednadvacetiletého Dána jménem Ole Römer. Jiný by asi přijal s velkou pokorou možnost setkat se s velkým Cassinim. Jean-Dominique Cassini byl totiž expert na planetu Jupiter a především na oběžné dráhy jeho měsíců. Na druhé straně Dánsko, které dnes považujeme za malou zemi, řídilo tehdy impérium zahrnující pěkný kus severní Evropy. Snad i proto měl Römer dostatek mladistvé drzosti k tomu, aby se pokusil udělat si vlastní jméno.

Pochybujeme, že Cassini byl z tohoto mladého adepta zvláště nadšen. Jak dlouho to trvalo, než se mu podařilo přeměnit se z Giovanni Domenica na Jean-Dominiqua. Shromáždil podrobné údaje z početných pozorování Jupiterových měsíců a hodlal je jednoznačně použít k tomu, aby si udržel světovou reputaci. Co když však Römer (s přístupem k jeho datům) přímo na nich ukáže, že Cassiniho závěry jsou vesměs špatné?

Nedalo se to vyloučit už proto, že tu existoval problém s Jupiterovým nejnvnitřnějším měsícem Io. Měl kolem planety obíhat jednou za 42,5 hodiny. Ale svůj jízdní řád nikdy přesně nedodržel. Někdy byl v předstihu, jindy měl zpoždění. Zdálo se, že v tom není žádný systém.

Ale proč? Cassini trval na tom, že problém vyřeší až další měření a výpočty. Pro něho jako ředitele hvězdárny to mohlo znamenat vyčerpávající úsilí a vzápětí i požadavky na další personál, další fondy, sponzory, nové vybavení – vše před dotěrnými zraky veřejnosti.<sup>2</sup> Ale co naplat? Jiné řešení nebylo. Naproti tomu Römer se vůbec nedomníval, že je třeba použít taková složitá měření, jaká může provádět jen školený a starší zkušený pozorovatel. Co ale bylo zapotřebí, byl bystrý rozum a intuice, a ty mladému Dánovi rozhodně nescházely.

A Römer toho využil. Každý – dokonce i Cassini – předpokládal, že problém vězí v pohybu měsíce Io. Snad je na své dráze neobratný, kymácí se a vychyluje nebo jsou možná kolem Jupitera mraky či jiné poruchy, jež ho nepravidelně zakrývají. Römer problém obrátil. Cassini provedl pozorování Io, a tato pozorování ukázala, že s její orbitou není něco v pořádku. Proč však předpokládat, že se zdroj chyby nachází kdesi daleko v okolí Jupitera? Otázkou není, jak se pohybuje Io, uvažoval Römer.

Jde o to, jak se pohybuje Země.

To podle Cassiniho nemohlo vůbec hrát roli. Kdysi snad uvažoval o jiné možnosti a jako prakticky každý byl ovšem přesvědčen, že světlo letí jako okamžitý záblesk. To přece viděl každý hlupák. Copak Galileův experiment neukázal, že důkaz o opaku neexistuje?

Römer tohle všechno ignoroval. Předpokládejme – pouze předpokládejme – že světlu opravdu trvá nějakou dobu, než absolvuje dlouhou cestu od Jupitera k Zemi. Co to bude znamenat? Römer si představoval, že stojí rozkročen nad sluneční soustavou a pozoruje, jak první paprsek světla měsíce Io probleskne zpoza planety Jupiter a už spěchá směrem k Zemi. Dojde-li k tomu například v létě a Země je tou dobou Jupiteru blíže, dráha světla bude kratší a obraz Io dorazí na Zem dříve. Do zimy však Země oběhne na druhou stranu Sluneční soustavy. Tam to signálu Io potrvá déle.

Römer prošel letité stohy záznamů Cassiniho pozorování a do konce léta roku 1676 měl svoje řešení. Ne jenom podezření, nýbrž přesná čísla, kolik minut navíc zabere světlu proletět tu přídatnou dráhu, když je Země od Jupitera dál.

Co měl udělat s takovým objevem? Podle protokolu měl Römer nechat Cassiniho prezentovat to jako jeho vlastní práci. A jen se skromně uklonit, snad když šéf observatoře udělá pauzu a připomene, že by to býval nedo-

kázal bez pomoci tohoto mladého muže, jehož další kariéra je zajištěna.

Römer se tím ale neřídil. V srpnu na veřejném fóru váženého časopisu, který četli všichni významní astronomové, vyzval Cassiniho „na souboj“. Astronomie je exaktní věda a i prostředky sedmnáctého století byly dostatečné na to, aby se dalo stanovit, že nejbližší vhodný termín pro pozorování vnoření měsíce Io je 9. listopadu někdy pozdě odpoledne. Podle Cassiniho vývodů měl být měsíc spatřen v 5:27 odpoledne. Právě toto určil z časových údajů jeho posledního zřetelného pozorování v srpnu.

Römer vyhlásil, že se Cassini bude mýlit. V srpnu je Země blízko Jupitera, vysvětloval. V listopadu bude dál. Nic nebude vidět v 5:27 – světlo, jakkoli je rychlé, bude stále ještě na cestě, neboť musí překonat onu přídatnou vzdálenost. Ani v 5:30 nebo 5:35 ještě nebude mít celou trasu za sebou. První pozorování bude možno získat teprve 9. listopadu přesně v 5:37.

Je mnoho způsobů, jak učinit astronomy šťastnými. Nová supernova je dobrá; obnovený grant od vlády je dobrý; definitiva od státu je mimořádně dobrá; ale otevřený souboj mezi vašimi dvěma znamenitými kolegy? To byla lahůdka. Römer hodil rukavici možná z pýchy, ale také proto, že věděl, že Cassini je daleko lepší v politickém manévrování než on. Römer mohl počítat s uznáním jedině, bude-li jeho předpověď tak jasná, že Cassini a jeho přívrženci se z toho v případě svého omylu nevykrouťí.

Předpověď byla ohlášena v srpnu. Dne 9. listopadu měly hvězdárny ve Francii i po celé Evropě dalekohledy připravené. Bylo 5:27. Žádná Io.

Bylo 5:30 odpoledne. Pořád žádná Io.

5:35

A pak, přesně v 5:37 a 49 sekund, se objevila.

Ale Cassini přesto vyhlásil, že mu nebylo prokázáno, že se mýlil! (Nestydatost nebyla vynalezena až v éře televize.) Cassini měl spousty stoupenců a ti teď stáli při něm. Kdo vůbec kdy řekl, že Io se očekává v 5:27? To byl jen Römer, vyhlašovali. Mimoto si každý uvědomoval, že doba východu Io není nikdy jistá. Je tak daleko, těžko se dá přesně pozorovat. Možná, že ony mraky z horních vrstev Jupiterovy atmosféry zamlžily měsíc i výsledky měření; nebo možná vysoký sklon její oběžné dráhy znesnadňuje jednoznačná pozorování. Kdo ví?

V historii vědy je toto odstrašující případ. Römer předvedl nenapadnutelný experiment s jasnou předpovědí a přesto evropští astronomové stále nepřijali, že se světlo pohybuje konečnou rychlostí. Cassiniho stoupenci vyhráli. Oficiální linie zůstala, že rychlost světla je jen taková mystická, nezměřitelná veličina a že nemá na astronomická měření žádný vliv.

Römer se vzdal a vrátil se do Dánska, kde strávil mnoho let jako ředitel kodaňského přístavu. Až o padesát let později – když přišla nová generace a kdy Jean-Dominique Cassini byl po smrti – následující experimenty opravdu přesvědčily astronomy, že Römer měl pravdu. Hodnota, kterou stanovil pro rychlost světla byla dosti blízko nejlepšímu současnému měření, které ji stanoví na asi 299 792 km/s neboli 1 079 000 000 km/h. (Ve skutečnosti je přesná hodnota trochu vyšší, ale z důvodů pohodlnosti si ji pro zbytek knihy zaokrouhlíme na 1,079 miliardy.)

Abychom zdůraznili, o jak velké číslo se jedná, uvedeme že při 1 079 000 000 km/h bychom se mohli dostat z Londýna do Los Angeles za méně než za 1/20 sekundy. To vysvětluje, proč Galileův pokus nemohl změřit dobu letu světla přes údolí u Florencie; vzdálenost byla prostě příliš krátká.

Existuje ještě jiné srovnání: Mach 1 je jednotka rychlosti zvuku, asi 1 26 km/h. Boeing 747 létá něco málo pod Mach 1. Raketoplán na plný výkon dokáže překročit Mach 20. Asteroid nebo kometa, který vyryl díru v oceánském dnu a vyhubil dinosaury, dopadl asi rychlostí Mach 70.

Ale číselná hodnota „ $c$ “ je Mach 900 000.

Tato ohromná rychlost vede k mnoha zvláštním jevům. Představme si, jak někdo hovoří v restauraci podrážděně do mobilu jen pár stolů od vás a vám se zdá, že slyšíte jeho slova skoro současně s tím, jak opouštějí ústa. Vzduch však přenáší zvuk pouze skromnou rychlostí Mach 1, zatímco radiový signál vysílaný z mobilu se pohybuje právě rychlostí světla. Osoba na druhém konci telefonu, i když je stovky mil daleko – uslyší slova *dříve*, nežli vy v restauraci.

Abychom nyní pochopili, proč Einstein zvolil právě tuto konkrétní hodnotu „ $c$ “ do své rovnice, musíme se podívat na vlastnosti světla. Příběh opouští Cassiniho a Römerovu epochu v daleké minulosti a vrací se v pozdních 50. letech 19. století, v období těsně před vypuknutím americké občanské války, kdy si nyní stárnoucí Michael Faraday dopisuje s Jamesem Clerkem Maxwellem, hubeným, mladým dvacetiletým Skotem.

Pro Faradaye to byla těžká doba. Vynechávala mu paměť a často by se snad nepropracoval od snídaně do oběda bez rozsáhlých poznámek o tom, co chtěl vlastně dělat. A co horšího, Faraday také věděl, že největší světoví fyzikové – prakticky všichni pracující na špičkových univerzitách – k němu stále shlížejí s urážlivou shovívavostí. Přijímali jeho praktické laboratorní objevy, ale nic víc. Když elektrina proudila drátem, bylo to pro běžného fyzika v zásadě totéž, jako když voda proudí kohoutkem; byli přesvědčeni, že až se tomuto problému konečně podaří dát matematický



základ, nebude se to příliš lišit od toho, co už popsali Newton a jeho četní matematicky zdatní následovníci.<sup>3</sup>

Faraday se ale stále držel svých podivných kruhů a dalších siločar své náboženské víry. Zastával názor, že prostor kolem každého elektromagnetického jevu je vyplněn tajemným „polem“ a napětí v tomto poli vytváří to, co je interpretováno jako elektrické působení. Tvrdil, že někdy lze téměř vidět jejich podstatu jako v případě obrazce ze zakřivených čar, který vznikne, když rozhodíme železné piliny kolem magnetu. Přesto mu prakticky nikdo nevěřil – až nyní ten mladý Skot Maxwell.

Na první pohled se ti dva muži zdáli velice rozdílní. Za dlouholetý výzkum Faraday v zápisníku shromáždil více než 3 000 odstavců datovaných záznamů o svých experimentech z výzkumné práce, do níž měl ve zvyku pouštět se každý den brzo po ránu. Maxwell naopak nebyl „ranní ptáče“. (Když mu prý oznámili, že v 6 hodin ráno je povinná mše v kapli Cambridgeské univerzity, prý si hluboce povzdychl, a řekl: „Ano, myslím, že dokáži zůstat vzhůru.“<sup>4</sup>) Maxwell se také mohl pochlubit pravděpodobně nejlepším matematickým mozkiem ze všech fyziků devatenáctého století, zatímco Faraday měl problémy s každou matematikou přesahující rámec prostého sčítání a odčítání.

Ale na hlubší úrovni si rozuměli velice dobře. Maxwell si ce vyrůstal ve velkém sídle na skotském venkově. Jeho rodinné příjmení bylo až donedávna prostě Clerk, a jen díky dědictví z matčiny strany si osvojil vznešenější přívlastek Maxwell. Když mladého Jamese poslali na internátní školu v Edinburghu, ostatní děti – velkoměstsky drzé – si na něj zasedly; trvalo to týden po týdnu, rok za rokem. James kvůli tomu ale nikdy nedal najevo zlost. Pouze jednou tiše poznamenal: „Nikdy mi nerozuměli, ale já jsem rozuměl jim.“<sup>5</sup> Faraday byl ještě stále zraněn svými zážitky se sirem Humphrym Davym



James Clerk Maxwell.

z 20. let a ponořoval se do tiché, zadumané samoty hned poté, co zakončil večer jako navenek temperamentní řečník na některé z veřejných přednášek Královského institutu.

Když si mladý Skot a stárnoucí Londýňan korespondovali a později, když se setkali, opatrně si mezi sebou vytvořili vztah, jaký nemohli sdílet prakticky s nikým jiným. Neboť mimo osobnostní shody byl Maxwell tak velkým matematikem, že dokázal vidět pod povrch zdánlivě jednoduchých Faradayových skic. Nebyla to vůbec dětinskost, jíž se méně nadaní výzkumníci posmívali. („Jak jsem pokročil ve studiu Faradaye, došlo mi, že jeho metoda... je také matematická, třebaš není vyjádřena konvenční formou matematických symbolů.“<sup>6</sup>) Maxwell vzal ty hrubé náčrtky neviditelných siločar vážně. Oba byli hluboce nábožensky založeni; oběma byla přirozená možnost Boží imanence ve světě.

Kdysi v průlomovém roce 1821 Faraday ukázal ve velké části pozdějšího výzkumu způsoby, jimiž se elektřina mění v magnetismus a obráceně. Maxwell tuto myšlenku na konci 50. let 19. století rozšířil v první úplný popis toho, co Galileo a Römer nemohli nikdy pochopit.

Co se děje uvnitř světelného paprsku (začalo Maxwellovi svítat) je jen další obměnou pohybu. Když světelný paprsek vyrazí na cestu, lze si představit, že byl vytvořen malý kousek elektřiny, a jak se tento kousek elektřiny pohne vpřed, vygeneruje malý kousek magnetismu.<sup>7</sup> A jak se magnetismus pohne dál, vygeneruje zase další vlnu elektřiny, a tak dále, jako když pletený bič švihá dopředu. Elektřina a magnetismus se provazují a přeskakují, jako když děti skáčou v řadě jeden druhému přes záda – ve „vzájemném objetí“, jak to nazval Maxwell.<sup>8</sup> Světlo, které Römer viděl pádit sluneční soustavou a které Maxwell viděl odrážet se od kamenných věží Cambridge, bylo pouhou sérií takových rychlých vzájemných přeskoků.

Byl to jeden z vrcholů vědy devatenáctého století. Maxwellovy rovnice<sup>9</sup> shrnující tento pohled vešly ve známost jako jeden z největších teoretických počínů všech dob. Ale Maxwell zůstal vždycky maličko skeptický ohledně toho, co vytvořil. Neboť v jakém prostředí se tento podivný sled propletených světelných vln vlastně šíří? To přesně nevěděl. Nevěděl to ani Faraday. Nikdo to neuměl přesvědčivě vysvětlit.

Einsteinova genialita byla v tom, že se blíže podíval, co tyto vibrující světelné vlny znamenají, byť to musel udělat z velké části sám. Ale v tomto si věřil. Jeho poslední středoškolská příprava v Aarau byla opravdu skvělá a rodina, v níž vyrůstal, ho povzbuzovala v tom, aby se nebál kritizovat autority. V roce 1890, když Einstein byl ještě studentem, Maxwellova teorie už bývala vyučována jako uznávaná pravda. Ale Einsteinův profesor na Curyšské polytechnice, pohrdající novou teorií, Maxwella nepřednášel, a to ani svým diplomantům. (Byla to Einsteinova nechuť k takovémuuto postoji, co ho vedlo k tomu, že onoho profesora posměšně

oslovoval *pane Weber* namísto patřičného *pane profesore*. Byla to urážka, za níž se Weber později pomstil tím, že Einsteinovi odmítl napsat slušný doporučující dopis, což mělo za následek roky jeho izolace na patentovém úřadě).

Když Einstein po ukončení školy začal chodit po curyšských kavárnách, často nosíval v podpaží zápisky z Maxwella. Začal zkoumat vlastnosti světelných vln, jež první odhalil Maxwell. Pokud je světlo vlna jako každá jiná, přemítal Einstein, pak jestli poběžím dost rychle, dokážu ji předhonorit?

Problém osvětlí příklad ze surfování. Pokud jsem poprvé na vodě a snažím se, aby všichni ze břehu neviděli, jak jsem vyděšený, vlny se budou šumivě valit kolem mne. Ale v momentě, kdy se přiměji postavit na prkno, pobrázdím ke břehu a vodní vlna, co mě bude tlačit, se mi bude zdát nehybná. A budu-li dostatečně odvážný – či pošetilý – a zkusím to na „extrémním“ surfu u Havaje, třeba se ocitnu v úplném tunelu z převalujících se vod, které mi budou připadat nehybné nade mnou, pode mnou i za mnou.

A v roce 1905 se Einstein chytil za hlavu. Světelné vlny se liší od všech ostatních vln. Surfařova vodní vlna se mu zdá v klidu, protože všechny části vlny zaujímají stálou polohu vůči sobě navzájem. Proto při pohledu ze surfového prkna spatříme na místě se vznášející vodní hladinu. Světlo se ale chová jinak. Světelné vlny se udržují v pohybu jen na základě toho, že jedna část svým pohybem vpřed předá energii další části. (Elektrická část prokmitne a „vymáčkne“ magnetickou část, jež tím jak se právě dobíjí, způsobí další výron elektriny, a tento „kvapík“ se opakuje pořád dokola.) Kdykoli si budete myslet, že už uháníte dost rychle, abyste stačili světelnému paprsku, podívejte se pozorněji a uvidíte, že ta část, která je na vaší úrovni právě dodává energii další části světelného paprsku, který tak pořád uniká od vás pryč.

Dohonit záblesk světla a vidět ho stát, by bylo jako říci: „Chci vidět rozmazané oblouky úchvatného žonglování, ale tak, aby se míčky nehýbaly.“ To nejde. *Jediný* způsob jak vidět rozmazané skvrny žonglovaných míčků je, když se míčky pohybují rychle.

Einstein došel k závěru, že světlo může existovat, jedi- ně pokud se světelná vlna aktivně pohybuje vpřed. Byl to závěr, jenž byl vlastně v Maxwellově práci ukrytý přes čtyřicet let, ale nikdo si ho nevšiml.

Tento nový poznatek o světle změnil všechno. Neboť rychlost světla se nyní stává fundamentálním rychlostním limitem v našem vesmíru. Nic se nemůže pohybovat rychleji.<sup>10</sup>

Pochopit to nesprávně je snadné. Letíme-li rychlostí 1 078 999 999 km/h, nemohli bychom přidat více paliva a letět o několik km za hodinu rychleji – 1 079 000 000 a pak 1 079 000 001 – a překonat tím rychlost světla? Odpověď zní ne, a není to žert o současném stavu pozemské technologie.

Dobry způsob, jak si to uvědomit, je vzpomenout si, že světlo není pouhé číslo, že je to fyzikální proces. V tom je velký rozdíl. Budu-li tvrdit, že  $-273$  (minus 273) je nejnižší číslo, můžete oprávněně namítnout, že se mýlím:  $-274$  je menší,  $-275$  ještě menší a tak lze pokračovat donekonečna. Ale co když se zabýváme teplotami? Teplota nějaké látky je mírou toho, jak intenzivně se její vnitřní částice pohybují, a v určitém bodě se jejich kmitání úplně zastavuje. K tomu dochází kolem  $-273$  °Celsia, a právě proto se  $-273$  stupňům říká „absolutní nula“ (hovoříme-li o teplotě). Abstraktní čísla možná mohou jít níže, ale fyzikální teplota nikoli; mince, sněžný skútr, nebo hora nemohou vibrovat méně, než když nevibrují vůbec.

Stejně tak je tomu se světlem. Hodnota 1 079 000 000 km/h, kterou Römer naměřil světlu uhánějícímu od Jupitera, je informací o tom, co je světlo zač. Je to fyzikální

děj. Světlo vždycky bude rychlým proskakováním elektřiny z magnetismu a magnetismu z elektřiny, hbitě unikajícím všemu, co by se ho snažilo dohonit. To je důvod, proč jeho rychlost může být horní mezí pohybů.

To je dost zajímavý postřeh, ale cynik by mohl říci, a co má být, že tu *je* rychlostní mez? Jak by to mělo ovlivňovat všechny ty objekty, jež se pohybují po vesmíru? Můžeme připevnit cedulku s nápisem „Pozor: nelze dosáhnout rychlosti větší než 1 079 000 000 km/h,“ pod značky na rušné dálnici, ale okolní doprava tím nebude zasažena.

Nebo bude? To je bod, kde se celá Einsteinova důkazní nit uzavírá a vrací nazpátek. Ukázal, že zvláštní vlastnosti světla (fakt, že nám z vnitřních fundamentálních důvodů vždy vyklouzne, a je tudíž nejvyšší rychlostní mezí) opravdu vstupují do hry a ovlivňují chování energie a hmoty. Příklad, jenž Einstein sám používal, může napovědět, jak k tomu dochází.

Představme si superraketoplán, který doslova prosvítěl kolem rychlostí blízkou rychlosti světla. Za normálních okolností, když se raketoplán pohybuje pomalu, energie paliva napumpovaného do motorů prostě jen zvýší jeho rychlost. Ale situace se změní, když se raketoplán ocitne na samém pomezí rychlosti světla. Nemůže už letět o mnoho rychleji.<sup>12</sup>

Pilot raketoplánu se s tím nechce smířit a začne zuřivě lomcovat pákou pomocné rakety. Zároveň však vidí, že každý světelný paprsek nacházející se v tu chvíli před ním se od něj stále vzdaluje plnou rychlostí „c“. Takto se světlo chová vůči každému pozorovateli. Ať se pilot snaží, jak chce, raketoplán světlo nedohání. Takže, co se děje?

Představte si partu kluků natlačených v telefonní budce s obličejmi namáčkнутými na skleněné stěny. Představte si parádní balon s hadicí, jež do něj pumpuje vzduch a ne-

dá se odpojit. Celý balon začíná botnat, daleko za rozměry, pro něž byl sestrojen. Podobná věc se stane raketoplánu. Motory burácejí, ale jejich energie nemůže zvýšit rychlost raketoplánu, neboť nic se nepohybuje rychleji než světlo. Ale energie také nemůže prostě zmizet.

V důsledku toho se energie čerpaná dovnitř začíná „lisovat“ a stává se hmotou. Při pohledu z vnějšku se hmotnost pevné látky raketoplánu začíná zvyšovat. Na počátku je botnání jen malé, ale pokud budeme stále přilévat energii, hmotnost stále poroste. Raketoplán nepřestane nabývat.<sup>11</sup>

Vypadá to přitažené za vlasy, ale máme mnoho důkazů, které to dosvědčují. Urychlujeme-li maličké protony, které mají v klidu pouhou jednu „hmotnostní jednotku“, zprvu se prostě pohybují rychleji a rychleji, jak bychom očekávali. Ale pak, když se dostanou do blízkosti rychlosti světla, pozorovatel spatří, jak se protony opravdu začínají měnit. Tento jev se běžně vyskytuje na urychlovačích u Chicaga, v CERN (Evropském středisku pro jaderný výzkum) poblíž Ženevy a na mnoha jiných pracovištích. Proton postupně nabude, až má dvě hmotnostní jednotky – dvakrát tolik, než měl na počátku – pak tři jednotky, a pořád dál a dál, dokud bude přísun energie. Při rychlostech 99,9997 procent „ $c$ “ jsou protony 430krát hmotnější než původně. (Je k tomu ale zapotřebí tolik energie z místních elektráren, že se doporučuje plánovat hlavní experimenty na pozdní noční hodiny, aby si lidé v okolí nestěžovali na kolísající napětí.)

Podstata je v tom, že energie pumpovaná do protonu nebo do našeho smyšleného raketoplánu se musí přeměnit v dodatečnou hmotnost. Přesně jak stanoví rovnice: že „ $E$ “ se může stát „ $m$ “, a „ $m$ “ se může stát „ $E$ “.

Tímto způsobem lze vysvětlit „ $c$ “ z naší rovnice. Právě u příkladů, výše uvedených, kde se přibližujeme proti rychlosti světla, je vazba mezi energií a hmotou obzvláště zřej-

má. Hodnota „c“ je jenom převodní konstanta informující o tom, jak toto spojení funguje.

Kdykoli spojujeme dva systémy, které se vyvinuly odděleně, je zapotřebí nějaká převodní konstanta. K přechodu od stupňů Fahrenheita k Celsiovi odečteme od Fahrenheity hodnoty 32 a vynásobíme ji 5/9. K přechodu od palců k centimetrům existuje jiné pravidlo, palce vynásobíme faktorem 2,54.

Převodní konstanty se zdají být náhodnými čísly, ale to je dáno tím, že spojují měřicí soustavy, které se vyvinuly nezávisle. Palci se kupříkladu začalo měřit ve středověké Anglii a byly založeny na šíři lidského palce. Palce jsou vynikající přenosné měřicí nástroje, neboť i ti nejchudší si je pravidelně berou s sebou na trh. Metr byl popularizován o staletí později, během Francouzské revoluce a definoval se jako jedna čtyřicetimiliontina délky poledníku procházejícího Paříží. Žádný div, že tyto dvě soustavy spolu příliš snadno nekomunikují.

Celá staletí se také energie a hmota zdály být naprosto oddělené veličiny. Vyvinuly se bez vzájemného kontaktu. O energii se uvažovalo jako o koňských silách či kilowatt-hodinách, hmotnost byla měřena v librách, kilogramech nebo tunách. Nikdo nepomýšlel na to, aby tyto jednotky spojil. Nikomu před Einsteinem neblesklo, že by mohl existovat „přirozený“ převod mezi energií a hmotou, jak jsme viděli na příkladu raketoplánu, s převodní konstantou „c“.

Čtenáře by možná zajímalo, kdy se dostaneme k teorii relativity. Odpověď je, že už ji užíváme! Všechny poznatky ohledně rychlosti světla a narůstající hmotnosti těles, jsou ústředním bodem Einsteinova článku z roku 1905.

Einsteinovou prací končí oddělený pohled, který přinesli vědci z devatenáctého století týkající se zákona zachování. Energie se nezachovává a hmota se také nezachovává – ale



to neznamena, že vládne chaos. Namísto toho, tu vlastně vládne hlubší jednota, neboť existuje vazba mezi tím, co se děje ve sféře energie, a tím, co se děje ve zdánlivě odlišné sféře hmoty. Množství hmoty, které se získá, bude vždycky vyváženo ekvivalentním množstvím energie, která se ztratí.

Lavoisier a Faraday viděli jenom část pravdy. Energie nestojí sama o sobě a stejné je to s hmotou. Ale součet hmota plus energie bude vždycky konstatní.

Toto konečně představuje poslední rozšíření samostatných zákonů zachování, o nichž se kdysi vědci osmnáctého a devatenáctého století domnívali, že jsou hotové. Důvod, proč tento jev zůstal skryt, neodhalen až do Einsteinova příchodu, je ten, že rychlost světla je o tolik vyšší než rychlost běžných pohybů, na něž jsme zvyklí. Efekt je slabý při rychlosti chůze, nebo i při rychlosti lokomotiv nebo tryskových letadel, ale pořád tu je. A jak uvidíme, ono spojení je v našem normálním světě všudypřítomné. Veškerá energie čeká v rozechvělé pohotovosti uvnitř i těch nejobyčejnějších substancí.

Spojení energie a hmoty skrze rychlost světla byl báječný objev, ale je tu ještě jeden detail, který je třeba objasnit. Slavný kreslený vtip ukazuje Einsteina u tabule, jak zkouší jednu možnost po druhé:  $E = mc^1$ ,  $E = mc^2$ ,  $E = mc^3$ , ... Ale takhle to vážně nedělal, nedospěl k druhé mocnině „ $c$ “ pouhou náhodou.

Takže, proč je převodní konstanta právě  $c^2$ ?

---

6<sup>2</sup>

Povyšování čísel umocněním je starobylý postup. Zahradní terasa o čtyřech mramorových dlaždicích po jedné a čtyřech po druhé straně neobsahuje celkem osm dlaždic. Obsahuje jich šestnáct.