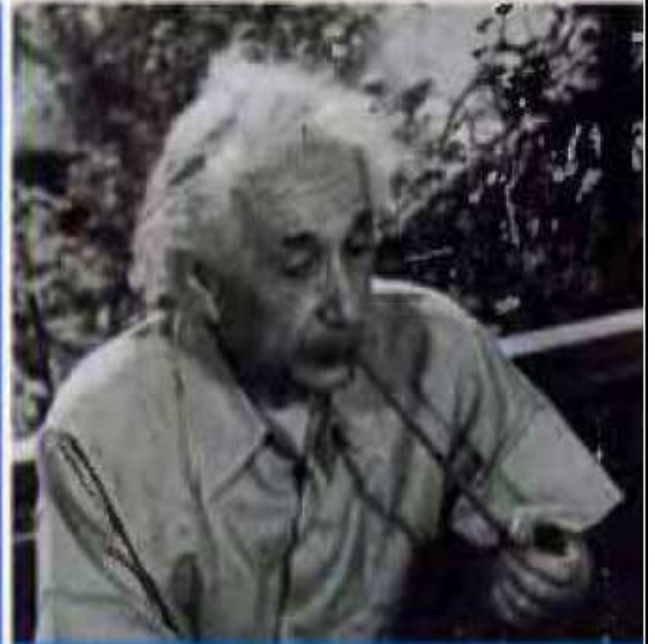


Michio Kaku



Einsteinův vesmír

Jak vize
Alberta Einsteina
změnily naše
chápání prostoru
a času

„Všechny fyzikální teorie... by měly umožňovat tak jednoduchý popis, aby mu porozumělo i dítě.“

Albert Einstein

*V Einsteinově vesmíru propojuje Michio Kaku – přední teoretický fyzik a autor bestsellerů *Hyperspace (Hyperprostor)* a *Parallel Worlds (Paralelní světy)* – Einsteinův život a práci, aby nám vesmír ukázal tak, jak jej viděl sám Einstein. Dává nám tak vzácnou příležitost nahlédnout do myšlení slavného vědce.*

Ačkoli měly Einsteinovy teorie dalekosáhlý dopad, jeho úvahy byly vlastně založeny na jednoduchých fyzikálních úvahách o uhánějících vlcích, padajících zdvižích, raketách či pohybujících se hodinách. Einstein se jimi zabýval už od svých šestnácti let, kdy se snažil představit si, jak by se mu jevil paprsek světla, kdyby běžel podél něj. Paradox nehybné vlny světla nakonec vedl k teorii relativity a slavné rovnici $E=mc^2$, díky které jsme poznali tajemství hvězd.

Podobně prostou úvahou Einstein zjistil, že čas i prostor je zakřivený. Toto pojetí potom nahradilo Newtonovu hypotetickou gravitační „sílu“ a vedlo k objevu černých děr a teorii velkého třesku.

Michio Kaku dále přesvědčivě ukazuje, kolik představ z pozdějšího Einsteinova období, které byly kdysi odmítány jako fyzikálně irelevantní, nakonec rozkvetlo do nových oblastí vědeckého bádání a nových technologií. Myšlenka sjednocení všech fyzikálních sil, kterou už Albert Einstein nerozpracoval, dnes přežívá v teorii strun, která je středem pozornosti světa teoretické fyziky. Einstein sice zůstává jedním z největších a nejznámějších vědců všech dob, jeho práce i odkaz jsou ale často špatně chápány.

*Díky tomu, že Michio Kaku pronikl do jejich podstaty a i ty nejnáročnější vědecké pojmy dokáže vysvětlit pomocí prostého jazyka, poskytuje kniha *Einsteinův vesmír* skvělou příležitost docenit Einsteinův život i jeho myšlenky.*

*MICHIO KAKU je profesorem teoretické fyziky v Centru postgraduálních studií City University of New York a newyorské City College. Je autorem knih *Parallel Worlds (Paralelní světy)*, *Hyperspace (Hyperprostor)*, *Beyond Einstein (Einsteinem to nekončí: společně s Jennifer Traincrovou)* a *Visions: How Science Will Revolutionize the 21st Century (Vize: Jak věda revolučně promění 21. století)**

Jeho pravidelný týdenní rozhlasový pořad Explorations (Výzkumné výpravy) vysílají rozhlasové stanice po celých Spojených státech a Kaku často vystupuje v televizních debatách a populárně-naučných pořadech BBC a dalších televizních stanic.

Rok 2005 je světovým rokem fyziky. Právě před sto lety totiž vyšly tři převratné články snad nejslavnějšího vědce všech dob, Alberta Einsteina. Díky této knize pochopíme nejen hlavní fyzikální představy, jež Einsteina přivedly k jeho velkolepým objevům, ale dozvíme se i řadu zajímavostí z jeho života. Budeme moci sledovat úžasný příběh člověka, jenž sotva dokončil speciální teorii relativity, okamžitě si určil další nelehký cíl – pochopit gravitaci. Když i zde uspěl, upřel nakonec pozornost k hledání sjednocené teorie pole. Většina jeho myšlenek předběhla dobu o celá desetiletí – a dodnes přinášejí fyzikům Nobelovy ceny.

„Einsteinův vesmír přináší osvěžující a velice názorný pohled na Einsteinův podivuhodný odkaz. Michio Kaku se zde zabývá nejen příběhem teorie relativity, ale i nejnovějším vývojem v oblasti teorie i praktických experimentů, o němž se dočtete jen v nemnohých populárně-naučných knihách. Einsteinovu představu o vědě, politice a našich budoucích možnostech nám autor odhaluje mistrným stylem a velice srozumitelně.“

*BRIAN GREENE,
autor Elegantního vesmíru*

Tuto knihu věnuji Michelle a Alyson.

Obsah

Předmluva: Nový pohled na odkaz Alberta Einsteina

Poděkování

I. část – První představa: Závod s paprskem

1. kapitola Fyzika před Einsteinem

2. kapitola První roky

3. kapitola Speciální relativita a „záračný rok“

II. část – Druhá představa: Pokřivený prostoročas

4. kapitola Obecná relativita a „nejšťastnější myšlenka mého života“

5. kapitola Nový Koperník

6. kapitola Velký třesk a černé díry

III. část – Nedokončená představa: Sjednocená teorie pole

7. kapitola Sjednocování a kvantová výzva

8. kapitola Válka, mír a $E=mc^2$

9. kapitola Einsteinův prorocký odkaz

Poznámky

Seznam literatury

P ř e d m l u v a

Nový pohled na odkaz Alberta Einsteina

Génius. Roztržitý profesor. Otec relativity. Albert Einstein se nám nesmazatelně zapsal do povědomí jako mýtická postava s rozevlátými vlasy, bez ponožek a v plandavém svetru, která bafá z dýmky a nevnímá okolí. „Je ikonou stejně populární jako Elvis Presley a Marilyn Monroe – tajuplně na nás hledí z pohlednic, obálek časopisů, triček i plakátů v nadživotní velikosti. V Beverly Hills je agent, který má práva na prodej jeho podoby do televizních reklam. Jemu by se tohle všechno přičilo,“ píše životopisec Denis Brian.¹

Einstein patří mezi největší vědce všech dob. Je to impozantní osobnost, jež se svým přínosem řadí po bok Isaaca Newtona. Nepřekvapuje, že jej časopis *Time* zvolil osobností století. Mnoho historiků jej počítá mezi sto nejvlivnějších lidí uplynulého tisíciletí.

Vezmeme-li v úvahu jeho postavení v dějinách, najdeme hned několik důvodů, proč se pokusit o zcela nový pohled na jeho život. V první řadě jsou jeho teorie tak dalekosáhlé a pronikavé, že předpovědi, které vyslovil před desítkami let, jsou ještě dnes námětem novinových titulků. Proto může být velmi užitečné pokusit se pochopit kořeny těchto teorií. Dnes slouží ke zkoumání nejdělejších oblastí kosmu i nitra atomu nová generace přístrojů, které byly ve 20. letech minulého století nepředstavitelné (např. umělé družice, lasery, superpočítače, nanotechnologie, detektory gravitačních vln), ale zároveň další a další vědci získávají Nobelovy ceny díky Einsteinovým předpovědím. Dokonce i pouhé droby z Einsteinova stolu otevírají vědě nové perspektivy. Nobelova cena za rok 1993 byla například udělena dvěma fyzikům, kteří rozborem pohybu dvojitých neutronových hvězd po obloze nepřímo potvrdili existenci gravitačních vln, jež Einstein předpověděl v roce 1916. V roce 2001 byla Nobelova cena udělena třem fyzikům, kteří potvrdili

existenci Boseho-Einsteinových kondenzátů – nového stavu hmoty, vyskytujícího se při teplotě blízké absolutní nule. Einstein jeho existenci předpověděl v roce 1924.

Dnes se potvrzují i další jeho předpovědi. Pomocí Hubbleova vesmírného dalekohledu a radioteleskopu VLA (Very Large Array, tedy „velmi rozsáhlá anténní soustava“) byly nalezeny černé díry, kdysi považované jen za bizarní prvek Einsteinovy teorie. Einsteinovy prstence a gravitační čočky byly nejen potvrzeny, ale staly se klíčovými nástroji, které astronomové používají k měření neviditelných objektů v kosmu.

Dokonce i Einsteinovy „chyby“ jsou dnes považovány za zásadní příspěvek k našim znalostem o vesmíru. V roce 2001 astronomové našli přesvědčivé důkazy o tom, že „kosmologická konstanta“, považovaná za největší Einsteinův omyl, ve skutečnosti obsahuje převážnou část energie ve vesmíru a předurčí i konečný osud samotného S přibývajícím důkazy o pravdivosti Einsteinových předpovědí tedy z experimentálního hlediska dochází k „renesanci“ jeho odkazu.

Za druhé fyzikové jeho odkaz a zvláště jeho myšlenkové postupy přehodnocují. Zatímco nejnovější životopisy zevrubně pátrají po stopách původu jeho teorií v jeho soukromém životě, fyzikové si stále jasněji uvědomují, že Einsteinovy teorie nevycházejí z tajemných matematických výpočtů (natož z jeho milostného života), ale z jednoduchých a elegantních fyzikálních představ. Einstein často říkával, že pokud nějaká nová teorie není založena na fyzikální představě dostatečně prosté, aby jí porozumělo i dítě, je pravděpodobně bezcenná.

V této knize tvoří tudíž tyto představy – tyto plody Einsteinovy vědecké vynalézavosti – hlavní osnovu, na jejímž základě jsou popisovány jeho myšlenkové postupy i jeho největší úspěchy.

První část knihy je založena na představě, s níž Einstein poprvé přišel, když mu bylo šestnáct let: šlo o to, jak by se mu jevil paprsek světla, kdyby mohl utíkat vedle něj. Pravděpodobně mu ji vnukla dětská kniha, již četl. Když si Einstein představoval, co by se stalo, kdyby závodil se světelným paprskem, vystihl klíčový rozpor mezi dvěma velkými teoriemi své doby – Newtonovou teorií sil a Maxwellovou teorií polí a světla. Byl si vědom toho, že chceme-li tento paradox vyřešit, musí jedna z těchto dvou velkých teorií – jak se ukázalo, byla to teorie Newtonova – padnout. V jistém smyslu obsahuje tato představa celou speciální relativitu (jež nám nakonec dala klíč k tajemství hvězd a jaderné energie).

V druhé části se seznámíme s další představou: Einstein si představoval planety jako kuličky, které se kutálejí po prohnuté ploše se středem ve Slunci – šlo o ilustraci myšlenky, že gravitace má svůj původ v zakřivení prostoru a času. Nahradil newtonovské síly průhybem hladké plochy, a přišel tak se zcela novou a převratnou představou gravitace. V novém systému byly Newtonovy „síly“ iluzí způsobovanou zakřivením samotného prostoru. Tato jednoduchá představa nám v konečném důsledku odhalila existenci černých děr, velký třesk i konečný osud samotného vesmíru.

Třetí část žádnou představu nepřináší – tento oddíl se spíše zabývá Einsteinovou bezvýslednou snahou přijít s myšlenkou, jež by dala směr jeho „sjednocené teorii pole“, myšlenkou, která by mu umožnila formulovat teorii završující dva tisíce let zkoumání zákonů, jimiž se řídí hmota a energie. V tomto případě začala Einsteinova intuice ochabovat, protože v té době nebylo o silách, jež ovládají jádro a subatomární částice, známo téměř nic.

Nedokončená sjednocená teorie pole a třicet let hledání „teorie všeho“ ovšem nebylo v žádném případě neúspěchem – ačkoliv to jsme pochopili teprve nedávno. Jeho současníci to považovali za bláznovství. Fyzik a Einsteinův životopisec Abraham Pais hořekoval: „V průběhu zbývajících třiceti let života vedl i nadále aktivní výzkum, jeho věhlas by však nebyl o nic menší – pokud by dokonce nevzrostl, kdyby šel místo toho na ryby.“² Jinými slovy by jeho odkaz mohl být ještě významnější, kdyby fyziku opustil v roce 1925, a nikoliv v roce 1955.

Během posledních deseti let, kdy se ve světě fyziky stalo středem zájmu hledání sjednocené teorie pole, však fyzikové s příchodem nové teorie nazývané „teorie superstrun“ neboli „M-teorie“ Einsteinovy pozdější práce a jeho odkaz přehodnotili. Formulace teorie všeho se stala nejvyšším cílem celé generace mladých ambiciózních vědců.

Sjednocení, jež bylo kdysi považováno za oblast, kde končívají kariéry stárnoucích vědců, je dnes hlavním tématem teoretické fyziky.

V této knize bych se rád pokusil podat nový a osvěžující pohled na Einsteinovu průkopnickou práci a snad dokonce i přesněji vylíčit jeho trvalý odkaz, a to vše z hlediska jednoduchých fyzikálních představ. Jeho vhled do podstaty věcí podnítil dnešní převratné experimenty, které probíhají v kosmu i moderních fyzikálních laboratořích a ženou kupředu intenzivní výzkum, jenž má naplnit Einsteinův největší sen – najít teorii všeho.

Domnívám se, že tento přístup k jeho životu a práci by se mu zamlouval asi nejvíc.

Poděkování

Rád bych poděkoval za pohostinnost pracovníkům univerzitní knihovny v Princetonu, kde jsem připravoval část rešerší potřebných pro tuto knihu. Tato knihovna vlastní kopie všech Einsteinových rukopisů a původních materiálů. Rád bych též vyjádřil vděk profesorům V. P. Nairovi a Danielu Greenbergerovi ze City College v New Yorku za přečtení tohoto rukopisu a za jejich kritické poznámky, které mi velmi pomohly. Kromě toho pro mě byly velice užitečné rozhovory s Fredem Jeromem, jenž získal objemný svazek, který o Einsteinovi vedla FBI. Jsem vděčný také Edwinu Barberovi za podporu a povzbuzování a Jesse Cohenovi za nedocenitelné redakční komentáře a úpravy, které rukopis výrazně pozvedly a daly mu směr. Hluboce zavázán jsem rovněž Stuartu Krichevskému, který byl po všechny ty roky mým literárním agentem a zajišťoval vydání mnoha z mých knih o vědě.

I. ČÁST

PRVNÍ PŘEDSTAVA

Závod s paprskem

1 . K A P I T O L A

Fyzika před Einsteinem

Jeden novinář kdysi Alberta Einsteina, největšího génia vědy od dob Isaaca Newtona, požádal, aby mu prozradil svůj recept na úspěch. Velký myslitel se na okamžik zadumal a potom odpověděl: „Pokud úspěch označíme A, potom bych řekl, že ta formule zní $A = X + Y + Z$, kde X znamená práci a Y znamená zábavu.“

„A co znamená to Z?“ zeptal se novinář.

„Z znamená držet jazyk za zuby,“ odpověděl Einstein.¹

To, co mu získávalo přízeň fyziků, králů a královen, ale i veřejnosti, byla jeho lidskost, šlechetnost a duchaplnost, a to ať bojoval za světový mír, či pátral po tajemstvích vesmíru.

Když kráčel ulicemi Princetonu, sbíhaly se dokonce i děti, aby velkého fyzika viděly, a on jejich náklonnost opětoval a stříhal ušima, aby je pobavil. Obzvláště rád si povídal s jedním pětiletým chlapečkem, který velkého myslitele provázival na cestách do Ústavu pokročilých studií. Při jedné takové procházce se Einstein najednou rozesmál. Chlapcova matka se zeptala, o čem hovořili, a její syn odpověděl: „Zeptal jsem se pana Einsteina, jestli už byl dneska na záchodě.“ Matka se vyděsila, ale Einstein řekl: „Jsem rád, že mi někdo klade otázky, na které umím odpovědět.“

Jak jednou řekl fyzik Jeremy Bernstein: „Na každého, kdo se s Einsteinem skutečně osobně setkal, neuvěřitelně zapůsobila jeho ušlechtilost. Stále dokola slýcháme o jeho ‚lidskosti‘, ... o jeho prosté, milé povaze.“²

Einstein, jenž byl stejně vlídný k žebrákům, dětem i členům královských rodů, byl také velkorysý ke svým předchůdcům v zářivém panteonu vědy. Ačkoliv je o vědcích jako o všech tvůrčích lidech nechvalně známo, že dovedou na své soupeře žárlit a pouštět se do malicherného hašteření, Einstein se usilovně snažil vypátrat prapůvod svých průkopnických myšlenek u fyzikálních velikánů včetně Isaaca Newtona a Jamese Clerka

Maxwella, jejichž podobizny měl vystaveny na čestném místě svého stolu a na zdech pracovny. Newtonova práce v oblasti mechaniky a gravitace a Maxwellova práce o světle totiž byly na začátku dvacátého století dvěma pilíři, na nichž stála celá věda. Je pozoruhodné, že výsledky těchto dvou fyziků shrnovaly téměř veškeré fyzikální poznatky oné doby.

Často se zapomíná na to, že před Newtonem neexistovalo pro pohyb objektů na Zemi ani na nebi téměř žádné vysvětlení a mnoho lidí se domnívalo, že náš osud určují zlovolné záměry duchů a démonů. O čarodějnictví, magii a pověrách se vášnivě debatovalo dokonce i v nejučenějších evropských centrech vzdělanosti. Věda v dnešním slova smyslu neexistovala.

Řeční filozofové a zvláště křesťanští teologové psali o tom, že pohyb objektů je, podobně jako u lidí, dán jejich přáními a pocity. Z pohledu stoupenců Aristotela se pohyb objektů postupně zpomaluje proto, že se tyto objekty „unaví“. Předměty padají na podlahu, jelikož „touží“ po sjednocení se zemí, psali tito myslitelé.

Člověk, jenž do tohoto chaotického světa duchů zavedl pořádek, byl, co se týče temperamentu a povahy, v jistém smyslu Einsteinovým pravým opakem. Zatímco Einstein se vždy ochotně věnoval ostatním a měl k potěšení novinářů pokaždé pohotově nějaký bonmot, Newton byl nechvalně známý samotář a měl paranoické sklony vůči svému okolí byl hluboce podezíravý a s ostatními vědci vedl dlouholeté urputné spory o prvenství svých objevů. Jeho odměřenost byla pověstná: během volebního období 1689-90, kdy byl členem britského parlamentu, podle záznamů před tímto důstojným sborem promluvil pouze jednou – když mu připadlo, že na něj táhne, a požádal zřízence, aby zavřel okno. Podle životopisce Richarda S. Westfalla byl Newton „utrápený člověk a nesmírně neurotická osobnost, která, přinejmenším ve středním věku, neustále balancovala na pokraji zhroucení“.³

Co se však týká vědy, byli Newton i Einstein skutečnými mistry, kteří sdíleli mnohé klíčové povahové rysy. Oba se dokázali celé týdny a měsíce naprosto soustředit na jedinou myšlenku, a to až na samu hranici fyzického vyčerpání a kolapsu. Oba také dokázali shrnout tajemství vesmíru pomocí jednoduchého obrázku.

V roce 1666, ve svých třidvaceti letech, vymýtil Newton duchy, kteří strašili v aristotelovském světě, a zavedl novou mechaniku založenou na silách. Předložil tři pohybové zákony, podle nichž se objekty pohybují

proto, že je postrkují či za ně tahají síly, které je možné přesně změřit a vyjádřit pomocí jednoduchých rovnic. Místo toho, aby spekoval o tužbách pohybujících se předmětů, dokázal sečtením působících sil vypočítat trajektorie všech objektů, od padajícího listí přes stoupající rakety až po dělové koule a mraky. A nebyla to pouhá akademická záležitost, protože tak pomohl položit základy průmyslové revoluce, během níž stála síla parních strojů ženoucích obrovské lokomotivy a lodě u vzniku celých nových říší. Lidé teď mohli směle stavět mosty, přehrady i ohromné mrakodrapy, protože uměli vypočítat napětí v každé cihle či nosníku. Vítězství Newtonovy teorie sil bylo tak přesvědčivé, že byl právem oslavován již během svého života, a Alexandra Popea přimělo k nadšenému zvolání:

*„Přírodu i její taje noc temná nám vidy halila,
Pak Bůh děl: ‚Budiž Newton!‘ a jasná zář vše zalila.“*

Newton svou teorii sil aplikoval i na samotný vesmír a navrhnul novou teorii gravitace. Rád vyprávěl o tom, jak se vrátil na rodinný statek ve vesnici Woolsthorpe v hrabství Lincolnshire poté, co byla univerzita v Cambridge uzavřena kvůli moru. Jednoho dne tu sledoval, jak ze stromu padá jablko, a položil si osudovou otázku: jestliže padá jablko, padá potom také Měsíc? Může gravitační síla působící na jablko na Zemi být stejnou silou, jež řídí pohyb nebeských těles? Byla to kacířská myšlenka, protože tehdy se předpokládalo, že planety leží na pevných sférách, jež se řídí dokonalými nebeskými zákony zcela odlišnými od zákona hříchu a vykoupení, který určuje bezbožné chování lidstva.

V záblesku osvětlení si Newton uvědomil, že může spojit pozemskou i nebeskou fyziku do jediného obrazu. Síla, jež stahuje jablko k zemi, musí být táž síla, která dosahuje až k Měsíci a určuje jeho dráhu. Náhodou tak objevil nové pojetí gravitace. Představoval si, jak sedí na vrcholku hory a hází kamenem. Uvědomil si, že jestli bude kámen házet stále rychleji, dohodí pokaždé dál. Pak se mu podařil ten osudový krok vpřed: co se stane, hodíte-li kamenem tak rychle, že už nespadne? Newton pochopil, že tento kámen, který bude díky gravitaci padat neustále dál a dál, na Zemi nedopadne, ale poletí kolem ní po kružnici a nakonec se vrátí ke svému majiteli a zasáhne ho zezadu do hlavy. Pak v této nové představě nahradil kámen Měsícem, jenž neustále padá, avšak nikdy se nezřítí, protože podobně jako tento kámen i Měsíc létá kolem Země po kruhové dráze.

Měsíc nespočívá na nebeské sféře, jak se domnívala církev, ale podobně jako kámen nebo jablko stále padá volným pádem a jeho dráhu řídí gravitační síla. Šlo o první vysvětlení pohybů ve sluneční soustavě.

O dvě desetiletí později, v roce 1682, celý Londýn vyděsila a ohromila jasná kometa, která osvětlovala noční oblohu. Newton pohyb této komety pečlivě sledoval zrcadlovým dalekohledem (jedním ze svých vynálezů) a zjistil, že pokud předpokládáme, že kometa se pohybuje volným pádem a působí na ni gravitace, její dráha dokonale odpovídá jeho rovnicím. Spolu s amatérským astronomem Edmundem Halleyem dokázal přesně předpovědět, kdy se tato kometa (později známá jako kometa Halleyova) vrátí – šlo o první předpověď pohybu komet. Zákony gravitace, které Newton používal při výpočtu pohybu Halleyovy komety a Měsíce, jsou tytéž, jež dnes používá NASA, když s neuvěřitelnou přesností navádí své kosmické sondy až za Uran a Neptun.

Podle Newtona působí tyto síly okamžitě. Newton se například domníval, že pokud by Slunce náhle zmizelo, Země by byla ihned vymrštěna ze své dráhy a zmrzla by někde v hlubinách kosmického prostoru. Všechny bytosti ve vesmíru by přesně v tomto časovém okamžiku věděly, že Slunce právě zmizelo. Je tedy možné seřadit všechny hodinky tak, aby všude ve vesmíru tikaly jednotně. Sekunda na Zemi má stejnou délku jako sekunda na Marsu a Jupiteru. A stejně jako čas je absolutní i prostor. Metrové tyče na Zemi mají stejnou délku jako metrové tyče na Marsu a Jupiteru. Délka metrových tyčí se nemění nikde ve vesmíru. Sekundy a metry jsou tudíž totožné bez ohledu na to, kam se prostorem vydáme.

Newton tedy své teorie vybudoval na základě běžné představy *absolutního prostoru a času*. Podle Newtona tvoří prostor a čas absolutní vztažnou soustavu, vůči níž můžeme posuzovat pohyb všech objektů. Pokud například cestujeme vlakem, domníváme se, že se pohybuje vlak a Země je nehybná. Když však pohlédneme na stromy, které míjejí okna vlaku, můžeme vyslovit domněnku, že ve skutečnosti je možná v klidu vlak a stromy někdo posílá kolem oken. Protože se zdá, že vše ve vlaku je nehybné, můžeme si klást otázku, co se pohybuje doopravdy – vlak, nebo stromy? Podle Newtona může odpověď určit tato absolutní vztažná soustava.

Newtonovy zákony zůstaly základem fyziky téměř celá dvě staletí. Když potom na sklonku devatenáctého století život v evropských velkoměstech

změnily nové vynálezy, jako byl například telegraf a žárovka, vneslo studium elektřiny do vědy zcela nové pojmy. Aby James Clerk Maxwell, skotský fyzik, jenž v 60. letech devatenáctého století pracoval na Cambridgeské univerzitě, vysvětlil záhadné síly elektřiny a magnetismu, vypracoval teorii světla, která nebyla založena na newtonovských silách, ale na novém pojmu nazvaném *pole*. Einstein jednou napsal, že pole „je nejhlubším a nejplodnějším pojmem, jaký se ve fyzice po Newtonovi objevil.“⁴

Pole lze zviditelnit tak, že na list papíru nasypete železné piliny. Pod tento papír potom umístíte magnet a piliny se zázračně přeskupí do obrazce podobného pavučině, v níž se jednotlivá vlákna táhnou od severního k jižnímu pólu. Okolo každého magnetu tedy existuje magnetické pole – neviditelná síť siločar pronikajících celým prostorem.

Také elektřina vytváří pole. Na výstavách popularizujících vědu si děti mohou sáhnout na těleso nabité statickou elektřinou a baví se tím, jak jim vstávají vlasy. Ty totiž sledují neviditelné siločáry elektrického pole vycházející z tohoto nabitého tělesa.

Tato pole se však zcela liší od sil, jež zavedl Newton. Newton tvrdil, že síly působí okamžitě v celém prostoru, takže porucha v jedné části vesmíru by se okamžitě projevila v celém vesmíru. Maxwellův brilantní postřeh spočíval v tom, že magnetické a elektrické účinky se nešíří okamžitě jako newtonovské síly, ale trvá jim to určitý čas a pohybují se konečnou rychlostí. Jeho životopisec Martin Goldman píše: „Představa šíření magnetického působení.; zřejmě zasáhla Maxwella jako blesk z čistého nebe.“⁵ Maxwell například ukázal, že pokud zatřese magnetem, bude trvat určitou dobu, než se železné piliny ležící poblíž začnou pohybovat.

Představte si pavučinu chvějící se ve větru. Vzruch – jako je například závan větru v jedné části sítě – vyvolá záchvěv, jenž se šíří celou sítí. Na rozdíl od sil umožňují pole a pavučiny šíření vibrací, které se pohybují konečnou rychlostí. Poté se Maxwell pustil do výpočtu rychlosti těchto magnetických a elektrických jevů. Šlo o jednu z nejpřevratnějších myšlenek devatenáctého století – Maxwell díky této představě rozluštil tajemství světla.

Maxwellovi bylo z dřívějších prací Michaela Faradaye a dalších vědců známo, že pohybující se magnetické pole může vyvolat pole elektrické a naopak. Příímým využitím této jednoty dvou protikladů jsou elektrická dynamo a motory, jež pohánějí náš svět. (Na tomto principu funguje

osvětlení domácností. Například v přehradě roztáčí padající voda soukolí, které zase otáčí magnetem. Pohybující se magnetické pole postrkuje elektrony ve vodiči a ty potom putují vysokonapěťovým vedením do zásuvek v našich obývacích pokojích. Podobně elektřina vycházející ze zásuvky vyvolává v elektrickém vysavači magnetické pole, které roztáčí lopatky motoru.)

Maxwellova genialita spočívala v tom, že tyto dva jevy spojil dohromady. Pokud mění se magnetické pole dokáže vyvolat pole elektrické a naopak, potom se možná obě tato pole mohou dostat do cyklického pohybu, v němž se elektrické a magnetické pole budou stále vzájemně napájet a měnit jedno v druhé. Maxwell si brzy uvědomil, že tento cyklický obrazec by vytvořil pohybující se sled elektrických a magnetických polí, jež by všechna jednotně kmitala a měnila by se jedno v druhé v nikdy nekončící vlně. Pak rychlost této vlny vypočítal.

Ke svému údivu zjistil, že jde o rychlost světla. Navíc prohlásil, že tato vlna skutečně světlem *je*, což byl patrně nejepochálnější výrok devatenáctého století. Svým kolegům prorocky oznámil: „Sotva se můžeme vyhnout závěru, že *světlo tvoří příčné vlnění téhož média, jež je příčinou elektrických a magnetických jevů.*“⁶ Po tisíciletích marného pátrání po podstatě světla vědci konečně porozuměli jeho nejhlubším tajemstvím. Tato pole se na rozdíl od Newtonových sil, které působí okamžitě, pohybují konečnou rychlostí: rychlostí světla.

Maxwellova práce byla sjednocena do osmi složitých parciálních diferenciálních rovnic (známých jako „Maxwellovy rovnice“), které se už sto padesát let musí každý elektroinženýr a fyzik naučit nazpaměť. (Můžete si dokonce koupit tričko, na kterém se všech těchto osm rovnic vyjímá v celé kráse. Rovnice tu uvádí následující věta: „Na počátku Bůh řekl...“ a uzavírají slova: „... a bylo světlo.“)

Na konci devatenáctého století dosáhla Newtonova a Maxwellova teorie již tak výrazného experimentálního úspěchu, až někteří fyzikové nabyli přesvědčení, že tyto dva mohutné pilíře vědy už zodpověděly všechny základní otázky vesmíru. Když se Max Planck (zakladatel kvantové teorie) ptal svého školitele, zda se má stát fyzikem, bylo mu řečeno, že má změnit obor, protože fyzika je v podstatě dokončena. Prý už neexistuje nic opravdu nového, co by mohlo být objeveno. Tyto úvahy se obrážely ve slovech lorda Kelvina, velkého fyzika devatenáctého století, jenž prohlásil,

že fyzika je v zásadě úplná, vyjma několika drobných „obláčků“ na obzoru, které dosud nelze vysvětlit.

Nedostatky newtonovského světa však s každým rokem byly stále více do očí. Světem vědy otřásaly nové objevy, které podněcovaly i představivost veřejnosti – například když Marie Curieová objevila radioaktivitu a izolovala radium. Pouhých několik desítek gramů této vzácné světélkující látky dokázalo nějakým způsobem osvětlit zatemněnou místnost. Madam Curieová také ukázala, že z neznámého zdroje hluboko uvnitř atomu může vycházet zdánlivě neomezené množství energie i navzdory zákonu zachování energie, jenž tvrdí, že energii nelze vytvořit ani zničit. Z oněch drobných „obláčků“ měly brzo vzejít dvě velké a úzce spřízněné revoluční myšlenky dvacátého století – relativita a kvantová teorie.

Největší rozpaky ovšem vyvolávala skutečnost, že všechny pokusy o spojení newtonovské mechaniky s Maxwellovou teorií selhávaly. Maxwellova teorie potvrdila skutečnost, že světlo je vlna, ponechávala však otevřenou otázku, co se vlastně vlní. Vědcům bylo známo, že světlo se může šířit i ve vakuu (ve skutečnosti se od vzdálených hvězd šíří vakuem kosmického prostoru na vzdálenost milionů světelných let), ale protože vakuum je podle své definice „nic“, vznikal paradox spočívající v tom, že nic se vlní.

Newtonovští fyzikové se na tuto otázku pokoušeli odpovědět postulátem, že světlo se skládá z vln, které kmitají v neviditelném „éteru“ – nehybném plynu, jenž vyplňuje celý vesmír. Právě éter měl být onou absolutní vztažnou soustavou, vůči níž je možné měřit všechny rychlosti. Skeptik by mohl namítat, že jelikož se Země pohybuje kolem Slunce a Slunce obíhá Galaxií, není možné určit, co se vlastně hýbe. Na to newtonovští fyzikové odpovídali, že sluneční soustava se pohybuje vzhledem k nehybnému éteru, takže to, co se doopravdy pohybuje, určit lze.

Éteru se však začaly připisovat čím dál tím zázračnější a bizarnější vlastnosti. Fyzikové například věděli, že vlny se šíří rychleji v hustším prostředí. Proto se zvukové vibrace ve vodě pohybují rychleji než ve vzduchu. Protože se však světlo pohybuje nesmírnou rychlostí (300 000 kilometrů za sekundu), znamenalo to, že aby éter mohl světlo přenášet, musí být neuvěřitelně hustý. Jak je to ale možné, když éter měl být zároveň lehčí než vzduch? S postupem času se z éteru stávala takřka

mýtická látka: byl naprosto nehybný, nehmotný, neviditelný, měl nulovou vazkost, a přesto byl pevnější než ocel a nebylo možné jej zachytit žádným přístrojem.

Koncem 19. století bylo stále obtížnější nedostatky newtonovské mechaniky vysvětlit. Svět byl připravený na revoluci. Ale kdo se postaví do jejího čela? Ačkoliv si i další fyzikové byli dobře vědomi toho, jaké má teorie éteru nedostatky, ostýchavě se pokoušeli zalátat je v rámci newtonovského systému. Einstein neměl co ztratit, a tak se mohl pustit do samotného jádra problému: *Newtonovy síly a Maxwellova pole jsou vzájemně neslučitelné. Jeden z těchto dvou pilířů vědy musí padnout.* Když pak jeden z těchto pilířů nakonec opravdu padnul, zvrátil tak více než dvě stě let fyzikálních úvah a způsobil revoluci v našem pohledu na vesmír a realitu samu. Einstein newtonovskou fyziku svrhnul pomocí představy, které dokáže porozumět i malé dítě.

2 . K A P I T O L A

První roky

Člověk, jenž měl navždy změnit naše chápání vesmíru, se narodil 14. března 1879 v malém německém městě Ulmu. Měl zdeformovanou hlavu a jeho rodiče, Hermann Einstein a Pauline Kochová-Einsteinová, se s obavami modlili, aby nebyl duševně postižený.

Einsteinovi rodiče byli sekularizovaní Židé ze střední třídy, kteří se s obtížemi snažili zabezpečit svou rozrůstající se rodinu. Pauline byla dcerou poměrně zámožného muže: její otec, Julius Derzbacher (jenž si změnil jméno na Koch), byl původně pekař, ale pak začal obchodovat s obilím a zbohatl. Právě Pauline byla v Einsteinově rodině onou kultivovanou bytostí, která trvala na tom, aby se její děti věnovaly hudbě, a přivedla mladého Alberta k celoživotní lásce k houslím. Profesionální dráha Hermanna Einsteina, jenž začínal jako výrobce peřin, nebyla na rozdíl od jeho tchána nijak zářná. Jeho bratr Jakob jej přesvědčil, aby změnil obor a zkusil to v nově vznikajícím elektrochemickém průmyslu. Faradayovy, Maxwellovy a Edisonovy vynálezy, jež využívaly sílu elektřiny, teď osvětlovaly města po celém světě, a Hermann svou budoucnost viděl ve výrobě dynam a elektrického osvětlení. Jak se ale posléze ukázalo, byl to nejistý podnik, což vedlo k opakujícím se finančním krizím a bankrotům a rodina se během Albertova dětství musela několikrát přestěhovat – již rok po jeho narození se například stěhovali do Mnichova.

Mluvit začal malý Einstein pozdě – tak pozdě, až se jeho rodiče obávali, že je možná duševně zaostalý. Když však nakonec promluvil, hovořil v úplných větách. I přesto dokonce ani v devíti letech nemluvil ještě příliš dobře. Jeho jediným sourozencem byla o dva roky mladší sestra Maja. (Malého Alberta nová obyvatelka domácnosti nejprve mátlá. Jednou z jeho prvních vět bylo: „Ale kde má kolečka?“) Být Albertovou mladší sestrou nebyla žádná legrace, protože měl ošklivý sklon házet jí na hlavu různé

předměty. Později si stěžovala: „Aby člověk mohl být sestrou myslitele, musí mít tvrdou lebku.“¹

V rozporu s mýty byl Einstein dobrým studentem, ve škole však prospíval pouze v předmětech, o něž se zajímal, například v matematice a přírodních vědách. Německý školský systém měl studenty k tomu, aby jejich odpovědi byly stručné a založené na mechanickém memorování – v opačném případě mohli být trestáni bolestivým švihnutím přes prsty. Mladý Albert však mluvil pomalu a váhavě a pečlivě volil slova. Do ideálního studenta měl daleko a rozčiloval ho dusivý autoritativní systém, jenž potlačoval tvořivost a představivost a nahrazoval je nudným drilem. Když se jeho otec ptal ředitele školy, jaké povolání si má mladý Albert zvolit, dostalo se mu odpovědi: „To je jedno – stejně v žádném oboru nikdy neuspěje.“²

Einsteinovo chování se brzy vyhranilo. Býval zasněný, a když četl nebo o něčem uvažoval, byl často duchem mimo. Jeho spolužáci si z něj utahovali a říkali mu *Biedermeier*, což lze volně přeložit jako „buran“. Jeden z jeho přátel později vzpomínal: „Spolužáci měli Alberta za podivína, protože ho vůbec nezajímal sport. Učitelé ho zase považovali za přihlouplého, protože se nedokázal mechanicky učit, a také kvůli jeho podivnému chování.“³ Když bylo Albertovi deset let, dostal se na Luitpoldovo gymnázium v Mnichově, kde se pro něj nejhroším mučením stalo studium klasické řečtiny. Sedával na židli a neurčitě se usmíval, aby nebylo vidět, jak se nudí. Jednou, když byl Albert v sedmé třídě, mu jeho učitel řečtiny, Joseph Degenhart, vmetl přímo do tváře, že by bylo lepší, kdyby tam prostě nebyl. Když Einstein namítal, že přece neudělal nic špatného, odpověděl učitel úsečně: „Ano, to je pravda. Ale jak si tam vzadu sedíš a usmíváš se, narušuješ tím úctu, jíž učitel u své třídy musí požívat.“⁴ Jizvy, které v něm zanechaly autoritářské metody oněch časů, Einstein bolestně vnímal ještě po desetiletích: „To, že moderní metody výuky dosud zcela neudusily posvátnou zvědavost, je vlastně hotový zázrak, protože toto křehké semínko kromě povzbuzení potřebuje především svobodu.“⁵

Einsteinův zájem o vědu se probudil brzy a datuje se od okamžiku, kdy se setkal s magnetismem, o kterém mluvil jako o „prvním zázraku, jaký poznal“. Otec mu věnoval kompas a Einsteina nesmírně zaujala skutečnost, že neviditelné síly dokáží pohybovat předměty. Rád vzpomínal: „Podobný div jsem viděl jako dítě, když mi bylo čtyři či pět let a otec mi

ukázal střílku kompasu... Dosud si vybavuji..., že tento zážitek ve mně zanechal hluboký a trvalý dojem. Za světem kolem nás se zřejmě odehrávalo něco velice tajemného.“⁶

Když mu bylo asi jedenáct let, došlo v jeho životě k neočekávanému zvratu: stal se z něj hluboce věřící člověk. Rodinu začal navštěvovat jeden vzdálený příbuzný a dával Albertovi lekce z židovské věrouky. Albert se do ní ponořil s překvapivým nadšením, téměř fanatismem. Odmítal jíst vepřové a dokonce složil několik chvalozpěvů, jež si zpíval cestou do školy. Toto období silného náboženského nadšení ale netrvalo dlouho. Čím hlouběji pronikal do náboženské tradice a nauky, tím více si uvědomoval, že svět vědy a svět náboženství jsou v rozporu, přičemž mnohé ze zázraků popisovaných v náboženských textech porušují vědecké zákony. „Díky čtení popularizačních knih jsem brzo nabyl přesvědčení, že mnohé z biblických příběhů nemůžou být pravdivé,“ uzavřel později Einstein.

Stejně náhle jako se náboženské tematiky chopil, ji zase opustil. Období příklonu k víře však mělo mít nesmírný vliv na jeho pozdější názory. Tím, že se od víry odvrátil, poprvé odmítl nemyslitelnou autoritu, což byl jeden z celoživotních rysů jeho osobnosti. Již nikdy slepě nepřijal za směrodatné tvrzení nějaké autority. Přestože došel k názoru, že biblická náboženská tradice je s vědou neslučitelná, byl také přesvědčen, že vesmír obsahuje celé světy, jež leží mimo dosah vědy, a že bychom si měli být vždy vědomi hranic vědeckého poznání a lidského myšlení.

Jeho počáteční zájem o kompas, vědu a náboženství by však možná opadl, kdyby mladý Albert nebyl našel laskavého rádce, s jehož pomocí mohl své představy cizelovat. V roce 1889 studoval v Mnichově chudý polský medik jménem Max Talmud, který každý týden u Einsteinů večeřival. Právě Talmud uvedl Einsteina do světa vědeckých zázraků ležících mimo suché, mechanické memorování, které Albert znal ze školní třídy. O mnoho let později Talmud vřele vzpomínal: „Za ta léta jsem ho nikdy neviděl číst žádnou zábavnou literaturu. Ani jsem ho nezahlédl ve společnosti spolužáků či jiných chlapců jeho věku. Jeho jediným rozptýlením byla hudba – již tehdy s matčiným doprovodem hrával Mozartovy a Beethovenovy sonáty.“⁸ Talmud věnoval Einsteinovi knihu o geometrii a ten ji hltal dnem i nocí. Mluvil o ní jako o svém „druhém zázraku“. Později psal: „Když mi bylo dvanáct, narazil jsem na druhý div zcela odlišné povahy: bylo to v útlé knížce o geometrii euklidovské

roviny.“⁹ Tuto knihu nazýval svou „svatou knihou geometrie“ a považoval ji za svou novou Bibli.

Její prostřednictvím konečně pronikl do říše abstraktního myšlení. I bez nákladných laboratoří či experimentů mohl zkoumat univerzální pravdu omezenou pouze dosahem lidské mysli. Podle jeho sestry Maji se matematika pro Alberta stala nevyčerpatelným zdrojem potěšení, zvláště když přinášela podivuhodné záhady a tajemství. Albert se sestře chlubil, že našel nezávislý důkaz pythagorejské poučky o pravoúhlých trojúhelnících.

Einstein ovšem v četbě matematické literatury pokračoval. Nakonec se sám naučil analýzu, čímž překvapil i svého učitele. Talmud později přiznával: „Rozlet jeho matematického génia byl brzy tak prudký, že jsem mu už nestačil.... Od té doby byla častým námětem našich rozhovorů filozofie. Doporučil jsem mu, aby si přečetl Kanta.“¹⁰ Tím, že Talmud mladému Albertovi otevřel svět Immanuela Kanta a jeho *Kritiky čistého rozumu*, podnítil Einsteinův celoživotní zájem o filozofii. Einstein začal uvažovat o věčných otázkách, které si kladou všichni filozofové – například o otázce původu etiky, existence Boha a podstaty válek. Především Kant zastával neortodoxní názory a zpochybňoval dokonce boží existenci. Dělával si legraci z nabubřelého světa klasické filozofie, „jenž obvykle bývá poněkud rozvláčný“. (Nebo, jak kdysi řekl římský řečník Cicero: „Nic není natolik absurdní, aby to někdy nevyřkl filozof.“) Kant také napsal, že cestou k ukončení válek je zavedení celosvětové vlády, což bylo stanovisko, jež Einstein zastával až do konce života. V určitém období Einsteina Kantovy úvahy zaujaly natolik, že dokonce přemýšlel o tom, že se stane filozofem. Jeho otec, jenž si pro svého syna představoval praktičtější povolání, však tyto úvahy zamítl jako „filozofický nesmysl“.¹¹

0 Díky otcově elektrochemickému podnikání se naštěstí v továrně našel dostatek elektrických dynam, motoru a přístrojů, jež podněcovaly Einsteinovu zvědavost a povzbuzovaly jeho zájem o vědu. (Hermann Einstein se spolu se svým bratrem Jakobem snažil získat zakázku na ambiciózní projekt elektrifikace centra Mnichova. Hermann snil tom, že bude stát v čele tohoto historického počínu. Pokud by zakázku získal, znamenalo by to finanční stabilitu zásadní rozšíření jeho elektrotechnické továrny.)

Albert byl tedy obklopen obrovskými, podivuhodnými elektromagnetickými zařízeními, a to mu nepochybně umožnilo intuitivně

porozumět elektřině a magnetismu. Právě díky tomu si pravděpodobně vypěstoval svou pozoruhodnou schopnost přicházet s názornými fyzikálními představami, jež vystihovaly přírodní zákony s neobyčejnou přesností. Tam, kde se ostatní vědci často utápěli v nesrozumitelné matematice, viděl Einstein fyzikální zákonitosti tak jasně jako prosté obrazy. Snad tato jeho pronikavá schopnost pochází z onoho šťastného období, kdy si mohl jednoduše prohlížet zařízení, která zaplňovala továrnu jeho otce, a hloubat nad zákony elektřiny a magnetismu. Tato jeho schopnost nahlížet vše pomocí fyzikálních obrazů se později stala jedním z mimořádných rysů jeho vědecké osobnosti.

Když bylo Einsteinovi patnáct, narušily jeho vzdělávání nepřetržité rodinné finanční problémy. Přespříliš velkorysý Hermann vždy pomáhal lidem ve finančních nesnázích a nebyl tak tvrdý jako většina úspěšných podnikatelů. (Albert jeho šlechtného ducha podědil.) Jeho firmě se zakázku na osvětlení Mnichova získat nepodařilo a zkrachovala. Paulinina bohatá rodina, která nyní žila v italském Janově, se nabídla, že Hermannovi pomůže a vznik nového podniku finančně podpoří. Byl tu však jeden háček. Příbuzní trvali na tom, aby se s rodinou přestěhoval do Itálie (mimo jiné i proto, aby mohli krotit jeho bezstarostnou, impulzivní štedrost). Rodina se tedy přestěhovala do Milána, do blízkosti nové továrny ve městě Pavia. Hermann, který nechtěl, aby Albert opět přerušil studium, nechal syna u vzdálených příbuzných v Mnichově.

Nešťastný Albert zůstal sám. Trčel v internátní škole, kterou nenáviděl, a čekala na něj vojenská služba v obávané pruské armádě. Jeho učitelé ho neměli rádi, což bylo vzájemné. Pravděpodobně by byl ze školy vyloučen, a tak se z náhlého popudu rozhodl, že se vrátí k rodině. U rodinného lékaře si zařídil omluvenku, v níž stálo, že bez rodiny mu hrozí psychické zhroucení. Pak se sám vydal na cestu do Itálie a nakonec se zčistajasna objevil na prahu rodičovského domu.

Hermann a Paulině si se synem nevěděli rady. Vyhýbal se odvodu, zběhl ze střední školy, neměl žádnou kvalifikaci, žádné povolání a žádnou budoucnost. Brzy se začal hádat s otcem, který chtěl, aby se Albert věnoval něčemu praktickému, například aby se z něj stal elektroinženýr, zatímco Albert tvrdil, že bude filozof. Nakonec došli ke kompromisu. Albert prohlásil, že bude chodit na slavný Polytechnický ústav ve švýcarském Curychu, ačkoliv byl o dva roky mladší než většina studentů, kteří skládali vstupní zkoušky. Jednou z výhod Polytechnického ústavu bylo to, že

nevyžadoval maturitu, ale pouze úspěšné složení obtížných přijímacích zkoušek.

Einstein bohužel u přijímací zkoušky propadl. Neprošel z francouzštiny, chemie a biologie, v matematické a fyzikální části si však vedl tak výjimečně dobře, že udělal velký dojem na ředitele Albina Herzoga a ten přislíbil, že Alberta příští rok na školu vezme i bez této obávané zkoušky. Vedoucí katedry fyziky, Heinrich Weber, dokonce Einsteinovi nabízel, že když bude v Curychu, bude moci chodit na jeho přednášky z fyziky. Herzog Einsteinovi doporučil, aby během tohoto ročního mezidobí navštěvoval gymnázium v Aarau, jež leží pouhých třicet minut na západ od Curychu. Zde žil Albert v podnájmu u ředitele tohoto gymnázia, Josta Wintelera, díky čemuž navázaly rodiny Einsteinových a Wintelerových celoživotní přátelství. (Maja se dokonce později provdala za Wintelerova syna Paula a Einsteinův přítel Michele Besso si vzal Wintelerovic nejstarší dceru Annu.)

Einsteinovi se uvolněná a liberální atmosféra v této škole zamlouvala – byl zde do značné míry osvobozen od represivních, autoritářských předpisů německého systému. Líbila se mu velkorysost Švýcarů, kteří si cenili tolerance a nezávislosti ducha. Einstein později vzpomínal: „Švýcary mám rád proto, že jsou obecně humánnější než jiné národy, mezi nimiž jsem žil.“¹² Při vzpomínce na všechny nepříjemné zážitky z období, jež strávil na německých školách, se také rozhodl vzdát se německého občanství, což byl na mladíka, kterému ještě nebylo dvacet, dosti překvapivý krok. Pět let neměl žádnou státní příslušnost (až se nakonec stal občanem Švýcarska).

Albert, jemuž se v této svobodnější atmosféře dobře dařilo, se začal zbavovat pověsti plachého, nervózního a uzavřeného samotáře a začal být otevřenější a společenštější. Stal se z něj člověk, s nímž se příjemně povídalo a jenž si získával oddané přátele. Zvláště Maja si povšimla změn v chování svého staršího bratra, ze kterého vyrostl zralý a nezávislý myslitel. Einsteinova osobnost prošla během jeho života několika výraznými stadii, z nichž první bylo knihomolské, uzavřené a introvertní. V Itálii a zvláště ve Švýcarsku vstoupil do druhé fáze: stal se z něj poněkud drzý, domýšlivý a sebejistý bohém, jenž měl vždy po ruce nějakou vtipnou poznámku. Svými slovními hříčkami dokázal lidi rozesmát až k slzám. Nic ho netěšilo víc, než když se při jeho bláznivých vtipech přátelé váleli smíchy po zemi.

Někteří z nich mu říkali „prostořeký Šváb“. Jeden z jeho spolužáků, Hans Byland, vystihnul Einsteinovu formující se osobnost takto: „Každý,

kdo se s ním setkal, byl jeho mimořádnou povahou oslněn. Uštěpačné rysy kolem výrazných úst s vystupujícím spodním rtem odrazovaly nevzdělance, kteří by se s ním chtěli přít. Einstein se necítil vázán konvenčními pravidly, čelil duchu doby coby smějící se filozof a jeho duchaplný sarkasmus nemilosrdně tepal veškerou marnivost a vyumělkovanost.“¹³

Tento „smějící se filozof“ byl podle všeho také stále oblíbenější mezi děvčaty. Byl považován za vtipálka a sukničkáře, ale dívky ho mimoto měly i za citlivého a sympatického mladého muže, kterému se rády svěřovaly. Jedna kamarádka se s ním chtěla radit kvůli svému příteli. Jiná po něm chtěla podpis do památníčku, a Einstein jí do něj vepsal pár prostých kostrbatých veršů. Oblibu mnoha lidí a pozvání na spoustu slavnostních večerí si získal rovněž hrou na housle. Dopisy z tohoto období prozrazují, že byl populární v ženských spolcích, když byl potřeba houslový doprovod ke klavíru. „Mnohá mladá, ba i starší žena byla okouzlena nejen jeho hrou na housle, ale také jeho zjevem, jímž připomínal spíše vášnivého jižanského virtuosa než netečného studenta zabývajícího se vědou,“ napsal životopisec Albrecht Folsing.¹⁴

Jeho pozornost poutala zvláště jedna dívka. V pouhých šestnácti letech se Einstein vášnivě zamiloval do jedné z dcer Josta Wintelera, do Marie, která byla o dva roky starší. (Vlastně všechny klíčové ženy v jeho životě byly starší než on – tento sklon s ním sdíleli i oba jeho synové.) Marie, která byla milá, citlivá a nadaná, se po otcově vzoru chtěla dát na učitelskou dráhu. Albert a Marie spolu chodili na dlouhé procházky a často pozorovali ptáky, což byl oblíbený koníček Wintelerovic rodiny. Einstein také Marii při hře na klavír doprovázel na housle.

Svou upřímnou laškovitost vyznal: „Moje milovaná... teprve teď, můj anděli, jsem plně pochopil význam slov nostalgie a stesk. Láska však přináší mnohem více štěstí, než stesk přináší bolesti. Teprve nyní si, mé drahé sluníčko, uvědomuji, jak moc tě potřebuji, abych mohl být šťastný.“¹⁵ Marie Albertovu náklonnost opětovala a dokonce napsala Einsteinově matce, jež jí odepsala v souhlasném tónu. Wintelerovi a Einsteinovi vlastně napůl očekávali, že se od zamilovaného párku dočkají svatebního oznámení. Když však Marie hovořila se svým milým o vědě, cítila, že její schopnosti zde trošku pokulhávají, a domnívala se, že ve vztahu s tak silným a cílevědomým mužem by to mohl být problém. Uvědomila si, že by musela o Einsteinovu náklonnost soupeřit s jeho největší skutečnou láskou: fyzikou.

Einsteinovu pozornost nepoutala jen sílící láska k Marii, ale také fascinující záhady světla a elektřiny. V létě roku 1895 napsal nezávislé pojednání o světle a éteru, nazvané „Über die Untersuchung des Ätherzustandes im magnetischen Felde“ („O vyšetřování stavu éteru v magnetických polích“), jež zaslal svému oblíbenému strýci Caesaru Kochovi do Belgie. Tato práce měla pouhých pět stránek a šlo o úplně první Einsteinův vědecký článek. Dokazoval v něm, že záhadnou sílu zvanou magnetismus, která jej uchvacovala v dětství, lze chápat jako určitý druh poruchy éteru. O několik let dříve seznámil Talmud Einsteina s knižní řadou *Naturwissenschaftliche Volksbücher* (Populární knihy o přírodních vědách) od Aarona Bernsteina. Einstein později napsal, že šlo o „dílo, jež přečetl jedním dechem“.¹⁶ Tato kniha na něj měla osudový, vliv, protože její autor do ní zahrnul rozbor tajemství elektřiny. Bernstein zval čtenáře, aby se vydal na imaginární cestu telegrafním kabelem a fantastickou rychlostí se řítit spolu s elektrickým signálem.

V šestnácti letech se Einstein zase jednou zasnul a dospěl k představě, jež měla později změnit běh lidských dějin. Snad proto, že si vybavil imaginární jízdu popisovanou v Bernsteinově knize, si představoval, jak běží podél světelného paprsku, a položil si klíčovou otázku: jak by takový světelný paprsek vypadal? Stejně jako v případě Newtona, jenž si představoval, jak vržený kámen začne obíhat kolem Země stejně jako Měsíc, přinesl i Einsteinův pokus představit si takovýto světelný paprsek hluboké a překvapivé výsledky.

Pokud se v newtonovském světě pohybujete dost rychle, můžete dohnat libovolný objekt. Podél vlaku se například může řítit rychle jedoucí vůz. Podíváte-li se do vlaku, uvidíte, jak si cestující čtou noviny a popíjejí kávu, jako by seděli v obývacím pokoji. Sice se ženou kupředu ohromnou rychlostí, ale pokud jedeme vedle nich autem pohybujícím se stejně rychle, vypadají dokonale nehybně.

Podobně si představte policejní vůz, jenž dohání řidiče nedodržujícího rychlost. Jak policejní auto zrychluje a předjíždí ujíždějící vůz, může do něj policista nahlédnout a gestem vyzvat řidiče, aby zastavil. Policistovi se řidič v autě zdá být v klidu, ačkoliv se jak policista, tak řidič pohybují rychlostí třeba sto kilometrů za hodinu.

Fyzikové věděli, že světlo je složeno z vln, a Einstein tedy usuzoval, že pokud byste dokázali běžet vedle paprsku, měl by tento paprsek být v naprostém klidu. To znamená, že světelný paprsek by z pohledu běžce

vypadal jako zamrzlá vlna, jako nehybná fotografie vlny. V průběhu času by neosciloval. To ale mladému Einsteinovi nešlo na rozum. Takovou zamrzlou vlnu nikdo nikdy neviděl a žádný popis takovéto vlny se ve vědecké literatuře nevyskytoval. Einstein chápal světlo jako něco výjimečného. Světelný paprsek dohonit nelze. Zamrzlé světlo neexistuje.

I když to tehdy nevěděl, náhodou dospěl k jednomu z největších vědeckých postřehů devatenáctého století, jenž vedl k principu relativity. Později napsal, že „takovýto princip plynul z paradoxu, na nějž jsem narazil už ve věku šestnácti let: honím-li paprsek světla o rychlosti c (rychlost světla ve vakuu), měl by mi tento paprsek připadat... nehybný. Na základě zkušenosti ani podle Maxwellových rovnic však žádný takovýto jev zřejmě neexistuje.“¹⁷

Právě jeho schopnost vystihnout klíčové principy stojící v pozadí jakéhokoliv jevu a soustředit se na jeho podstatu Einsteina přivedla až k samotnému spuštění vědecké revoluce. Na rozdíl od méně významných vědců, kteří často kupili nepřehledné matematické výpočty, uvažoval Einstein pomocí jednoduchých fyzikálních představ – uhánějících vlaků, padajících zdviží, raket a pohybujících se hodin. Tyto představy jej neomylně přivedly k největším myšlenkám dvacátého století. Později napsal: „Všechny fyzikální teorie bez ohledu na své matematické vyjádření by měly být popsatelné natolik jednoduše, aby jim dokázalo porozumět i malé dítě.“¹⁸

Na podzim roku 1895 Einstein konečně nastoupil na Polytechniku, a tím pro něj začala zcela nová životní etapa. Čekal, že se zde poprvé setká s nejnovějšími fyzikálními trendy, o kterých se diskutovalo po celém kontinentě. Věděl, že ve fyzikálním světě duje čerstvý vítr převratných změn. Probíhaly desítky nových experimentů, jež byly –jak se zdálo – se zákony Isaaca Newtona a klasické fyziky v rozporu.

Na Polytechnice chtěl Einstein zkoumat nové teorie světla, zvláště Maxwellovy rovnice, které, jak později napsal, „nás v době, kdy jsem studoval, fascinovaly ze všech předmětů nejvíce“.¹⁹ Když se Einstein Maxwellovy rovnice konečně naučil, dokázal zodpovědět onu otázku, která mu nešla z hlavy. Zjistil to, co předem tušil, tedy že žádná řešení Maxwellových rovnic, v nichž by světlo bylo zamrzlé v čase, neexistují. Potom však objevil něco dalšího. Ke svému překvapení přišel na to, že v Maxwellově teorii se světelné paprsky pohybují vždy stejnou rychlostí bez ohledu na to, jak rychle se pohybujete vy. Zde tedy ležela konečná

odpověď na dávnou záhadu: *světelný paprsek nikdy dohnat nemůžete, protože se od vás vždy vzdaluje stejnou rychlostí*. To však zase porušuje vše, co nám o světě říká selský rozum. Rozplést paradoxy plynoucí z klíčového postřehu, že světlo se vždy šíří stejnou rychlostí, trvalo Einsteinovi ještě několik dalších let.

Toto převratné období si žádalo převratné nové teorie a nové, směle vůdčí osobnosti. Takové osobnosti Einstein bohužel na Polytechnice nenalezl. Jeho učitelé se raději věnovali klasické fyzice, což Einsteina přimělo k tomu, že chodil za školu a většinu času trávil v laboratoři nebo si nové teorie studoval sám. Einsteinovi profesori jeho opakovanou nepřítomnost na hodinách chápali jako notorickou lenost – jeho učitelé jej tehdy opět podcenili.

Mezi učiteli na Polytechnice byl profesor fyziky Heinrich Weber – týž profesor, na nějž Einstein udělal velký dojem a který mu po neúspěšných přijímacích zkouškách nabídl, že jej nechá navštěvovat své přednášky. Weber dokonce Einsteinovi slíbil, že pro něj po promoci bude mít místo asistenta. Časem však Weber začal Einsteinovi zablýskat jeho netrpělivost a lhostejnost vůči autoritám. Nakonec přestal Einsteina podporovat a řekl mu: „Jste chytrý hoch, Einsteine, velmi chytrý hoch. Máte však jeden velký nedostatek: nenecháte si do ničeho mluvit.“²⁰ Ani Jean Pernet, který přednášel fyziku, neměl Einsteina rád.

Urazilo ho, když Einstein jednou hodil do koše návod k laboratorním cvičením, která Pernet vedl, aniž by se do něj byť jen podíval. Pernetův asistent se Einsteina zastal a tvrdil, že ač jsou Einsteinova řešení nekonvenční, jsou vždy správná. Pernet se přesto do Einsteina pustil: „Máte nadšení, ale pro fyziku jste beznadějný případ. Pro své vlastní dobro byste měl přejít na nějaký jiný obor – možná na medicínu, literaturu, nebo na práva.“²¹ Protože Einstein pokyny pro laboratorní cvičení roztrhal, způsobil jednou nechtěně výbuch – vážně si poranil pravou ruku a rána si vyžádala několik stehů. Jeho vztahy s Pernetem se zhoršily natolik, že z jeho cvičení dostal známku i, tedy nejnižší možné ohodnocení. Profesor matematiky Hermann Minkowski dokonce o Einsteinovi prohlásil, že je „líný jako veš“.

S přezíráním, jehož se Einsteinovi dostalo od profesorů, kontrastuje skutečnost, že přátelé, které si v Curychu získal, při něm stáli věrně až do konce života. Na přednášky fyziky v jeho ročníku chodilo pouhých pět studentů a Einstein se se všemi seznámil. Jedním z nich byl Marcel

Grossman, student matematiky, jenž si na všech přednáškách dělal pečlivé až puntičkářské poznámky. Jeho zápisky byly tak dobré, že si je Einstein mnohdy raději půjčoval, než aby chodil na přednášky, a často dostával u zkoušek lepší známky než Grossman sám. (Grossmanovy zápisky jsou na Polytechnice uchovávány dodnes.) Grossman se svěřil Einsteinově matce s přesvědčením, že Einstein jednoho dne dokáže „něco naprosto převratného“.²²

Nejvíce ovšem Einsteinovu pozornost upoutala další studentka z jeho ročníku, Mileva Mařicová, pocházející ze Srbska. Se studentem fyziky z Balkánu jste se tehdy mohli setkat jen výjimečně, tím méně se ženou. Mileva, velice zajímavá osobnost, se sama rozhodla, že odjede do Švýcarska, protože šlo o jedinou německy mluvící zemi, kde se ženy na univerzity přijímaly. Byla teprve pátou ženou, která byla přijata ke studiu fyziky na Polytechnice. Einstein konečně našel někoho sobě rovného – ženu, jež hovořila jazykem jeho největší lásky. Připadala mu neodolatelná, a tak rychle ukončil svůj vztah s Marií Wintelerovou. Snil o tom, že se s Milevou stanou profesory fyziky a společně dosáhnou velikých objevů. Brzy se do sebe beznadějně zamilovali. O prázdninách, když nemohli být spolu, si vyměňovali dlouhé, vášnivé milostné dopisy a oslovovali se spoustou něžných přezdívek, jako třeba „Johnny“ a „Dollie“. Einstein jí psával básně a připomínal svou lásku: „Mohu jít, kamkoliv se mi zachce – nenáležím však nikam a stýská se mi po Tvých jemných pažích a žhavých ústech plných něhy a polibků.“²³ Einstein a Mileva si vyměnili více než 430 dopisů, které nám zachoval jeden z jejich synů. (Ačkoliv žili na hranici chudoby a měli sotva na nájem, vynesly ironií osudu některé z těchto dopisů na nedávné aukci až 400 000 dolarů.)

Přátelé nechápali, co Einstein na Milevě vidí. Zatímco on byl společenský a měl velký smysl pro humor, Mileva, jež byla o čtyři roky starší, byla mnohem zasmušilejší. Byla náladová, velmi uzavřená a nedůvěřivá vůči ostatním. Kromě toho kvůli vrozené vadě znatelně kulhala (měla jednu nohu kratší), což byla další bariéra, která ji dělila od ostatních. Přátelé si za jejími zády šeptali o podivných způsobech její sestry Zorky, jež se chovala zvláště a později byla hospitalizována se schizofrenií. Hlavní však bylo její pochybné společenské postavení. Švýcaři totiž někdy pohlíželi spatra na Židy, ale Židé se zase dívali skrz prsty na Jihoevropany – zvláště na ty z Balkánu.

Sama Mileva neměla o Einsteinovi žádné iluze. Byl proslulý svou pohotovostí i neúctou k autoritám. Věděla, že se vzdal německého občanství a že zastává nepopulární názory ohledně války a míru. „Můj miláček má velmi jedovatý jazyk a ještě k tomu je Žid,“ psala.²⁴

Einsteinův stále hlubší vztah k Milevě však otevíral zející propast mezi ním a jeho rodiči. Jeho matce, jež schvalovala jeho poměr s Marií, se Mileva vůbec nezamlouvala a považovala ji za osobu Alberta nehodnou, jež zničí jejího syna i pověst celé rodiny. Mileva byla prostě příliš stará, příliš neduživá, příliš neženská, příliš trudnomyslná a příliš srbská. „Tahle slečna Mařicová mi připravuje pěkně trpké chvílky,“ svěřila se přítelkyni. „Být to na mně, vynaložila bych veškeré úsilí na to, abych ji od nás vypudila. Nesnáším ji, ale Albert už na mě v ničem nedá.“²⁵ Také Alberta varovala: „Až tobě bude třicet, z ní bude stará čarodějnice.“²⁶

Einstein byl ale odhodlaný se s Milevou vídat, i kdyby to mělo způsobit hlubokou trhlinu v jemném předivu rodinných vztahů. Když jednou Einsteinova matka svého syna navštívila, zeptala se: „Co z ní bude?“²⁷ Když Einstein odpověděl: „Má žena,“ vrhla se na postel a začala nezadržitelně štkát. Vinila ho, že si ničí budoucnost pro ženu, „kterou dobrá rodina nemůže přijmout mezi sebe“.²⁸ Einstein musel tváří v tvář urputnému rodičovskému odporu úvahy o sňatku s Milevou nakonec odložit až do doby, kdy dokončí školu a získá dobře placené místo.

V roce 1900, kdy Einstein Polytechniku konečně absolvoval a získal diplom v oboru fyziky a matematiky, jej štěstí opustilo. Předpokládalo se, že získá místo asistenta. To bylo tehdy obvyklé – zvláště proto, že složil všechny zkoušky a ve škole si vedl dobře. Protože však profesor Weber svou nabídku pracovního místa stáhl, byl Einstein ve svém kruhu jediný, komu bylo místo asistenta odepřeno – šlo o úmyslný políček. Na kdysi tak domýšlivého Einsteina teď dolehla nejistota – především proto, že finanční podpora od zámožné tetičky ze Ženevy po promoci vyschla.

Jelikož netušil, jak silnou antipatii k němu Weber cítí, bláhově se na něj odvolal kvůli doporučení a neuvědomil si, že si tím podřezává větev, na které sedí. Jen nerad si začal připouštět, že tím svou kariéru pravděpodobně odsoudil k nezdaru ještě dříve, než začala. Později si hořce stěžoval: „Byl bych [práci] našel již dávno, kdyby se mnou Weber nebyl hrál nečistou hru. Ale stejně pro to udělám všechno, co budu moci, a smysl pro humor neztratím... Když Bůh stvořil osla, dal mu tlustou kůži.“²⁹

Mezitím si Einstein také zažádal o švýcarské občanství, ale získat jej nemohl, dokud neprokáže, že je zaměstnaný. Svět se mu hroutil. Dokonce ho napadlo i to, že bude muset s houslemi žebrať na ulici.

Jeho otec, který synovu zoufale neutěšenou situaci pochopil, napsal do Lipska profesoru Wilhelmu Ostwaldovi a naléhavě jej prosil, aby dal Einsteinovi asistentské místo. (Ostwald na tento dopis dokonce ani neodpověděl. Ironií osudu byl Ostwald o deset let později první, kdo Einsteina nominoval na Nobelovu cenu za fyziku.) Einstein si všímal, jak je svět najednou nespravedlivý: „Té štvance se musí účastnit každý, a to jen z toho důvodu, že musí jít.“³⁰ Smutně si zapsal: „Pro příbuzné jsem jen přítěž.... Jistě by bylo lepší, kdybych vůbec nežil.“³¹

Aby toho nebylo málo, podnik jeho otce právě v té době opět zkrachoval. Otec už vlastně utratil celé dědictví své ženy a byl u její rodiny hluboce zadlužen. Einsteinovi, který se ocitl zcela bez finanční podpory, nezbývalo než najít si to nejpodřadnější volné učitelské místo. V zoufalství začal procházet noviny a hledal jakoukoliv nabídku. V jednom okamžiku se již téměř vzdal naděje, že se kdy stane fyzikem, a vážně zvažoval, že bude pracovat pro jednu pojišťovnu.

Roku 1901 našel místo učitele matematiky na technické škole ve Winterthuru. Mezi vyčerpávajícími učitelskými povinnostmi se mu nějak podařilo najít si dostatek času na to, aby napsal svůj první publikovaný článek „Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen“ („Závěry plynoucí z kapilárních jevů“), jenž, jak si sám uvědomoval, nebyl nijak oslnivý. Následující rok nastoupil na přechodné učitelské místo na internátní škole v Schaffhausenu. Věren své pověsti ovšem nedokázal vyjít s autoritářským ředitelem školy, Jakobem Nueschem, a zanedlouho dostal vyhazov. (Rozzuřený ředitel dokonce Einsteina obvinil, že rozdmýchává revoluci.)

Einstein si začínal myslet, že se až do konce života bude potloukat po světě, učit lhostejné studenty a pročítat inzeráty. Jeho přítel Friedrich Adler později vzpomínal, že Albert tehdy téměř hladověl. Vůbec nic mu nevycházelo. Prosit příbuzné o almužnu ale pořád ještě odmítal. Pak se vynořily dvě další překážky. Nejdřív Mileva podruhé propadla u závěrečných zkoušek na Polytechnice. Tím její kariéra ve fyzice v podstatě skončila, protože s tak neutěšenými výsledky by ji na doktorandské studium nikdo nepřijal. Mileva byla bolestně sklíčená a ztratila o fyziku zájem. Romantické sny o společném zkoumání vesmíru byly pryč. A pak, v

listopadu roku 1901, kdy Mileva byla na návštěvě u své rodiny, od ní Einstein dostal dopis, kde mu psala, že je těhotná!

I když před sebou Einstein neměl žádnou perspektivu, vyhlídka na to, že se stane otcem, ho nadchla. Když nebyl s Milevou, byla to muka – psali si horlivě, téměř denně. Dne 4. února 1902 se konečně dozvěděl, že je otcem holčičky, jež se narodila v domě Milevinych rodičů ve městě Novi Sad a byla pokřtěna Lieserl. Rozechvělý Einstein o ní chtěl vědět úplně všechno. Dokonce naléhal na Milevu, jen ať mu pošle její fotografii či kresbu. Další osud dítěte je záhadou. Poslední zmínka o ní je v dopisu ze září roku 1903, kde se říká, že onemocněla spálou. Historikové se domnívají, že na tuto chorobu pravděpodobně zemřela nebo že ji nakonec dali k adopci.

Právě když se zdálo, že už nemůže být hůře, dostal Einstein dobrou zprávu odněkud, odkud by to nečekal. Jeho blízkému příteli Marceli Grossmanovi se podařilo sehnat mu místo nižšího úředníka na bernském patentovém úřadu. A právě z tohoto skromného místa změnil Einstein svět. (Aby i v této době mohl udržovat při životě své pohasínající naděje na profesuru, přesvědčil profesora Alfreda Kleintera z curyšské univerzity, aby vedl jeho doktorskou práci.)

Dne 23. června 1902 začal Einstein za nuzný plat pracovat na patentovém úřadě jako technický úředník třetí třídy. Ze zpětného pohledu mělo tohle místo přinejmenším tři skryté výhody. Za prvé jej jeho práce nutila odhalovat základní fyzikální principy, jež stojí v pozadí každého vynálezu. Přes den tříbil svůj cit pro fyziku tím, že odstraňoval zbytečné detaily, vystihoval podstatné prvky každého patentu a potom o něm sepisoval zprávu. Jeho zprávy byly tak dlouhé a podrobné, až svým přátelům psal, že si na živobytí vydělává „čuráním inkoustu“.³² Za druhé se mnohé z přihlášených patentů zabývaly elektromechanickými zařízeními, takže mohl uplatnit bohaté zkušenosti z otcovy továrny, kde se snažil vymyslet, jak asi uvnitř fungují dynamo a elektrické motory. A konečně ho tato práce zbavila rušivého vlivu okolí a získal díky ní čas na přemítání o zásadních otázkách světla a pohybu. Svoji práci obvykle udělal rychleji, než musel, a pak se celé hodiny mohl věnovat oněm snům, které ho pronásledovaly již od mládí. V práci – a zvláště v noci – se vracel ke své fyzice. Tichá atmosféra patentového úřadu mu vyhovovala. Říkal mu „můj světský klášter“.³³

Einstein si sotva stačil na své nové zaměstnání zvyknout, když se dozvěděl, že jeho otec umírá na srdeční vadu. V říjnu se musel bezodkladně odebrat do Milána. Na smrtelném loži Hermann konečně požehnal Albertově sňatku s Milevou. Po jeho smrti si ale Albert dál nesl pronikavý pocit, že zklamal otce i rodinu – pocit, který v něm měl již navždy zůstat. Jeho sekretářka, Helen Dukasová, napsala: „Ještě o mnoho let později si tu zdrcující ztrátu živě vybavoval. Jednou dokonce napsal, že otcova smrt byla největším otřesem, jaký kdy zažil.“³⁴ Zvláště Majů hořce zasáhlo, že „smutným řízením osudu [její otec] nemohl ani tušit, že o dva roky později položí jeho syn základy své budoucí slávy a věhlasu“.³⁵

V lednu roku 1903 se Einstein konečně cítil natolik zajištěn, aby se mohl s Milevou oženit. O rok později se jim narodil syn Hans. Einstein vedl usedlý život obyčejného bernského úředníka, manžela a otce. Jeho přítel David Reichinstein později živě vzpomínal, jak Einsteina v tomto období navštívil: „Dveře bytu byly otevřené, aby lépe schla čerstvě vydrhnutá podlaha a prádlo visící v předsíni. Vstoupil jsem do Einsteinova pokoje. Jednou rukou stoicky houpal proutěným kočárkem, v němž leželo dítě. V ústech měl Einstein mizerný doutník a v druhé ruce otevřenou knihu. Kamna strašně čadila.“³⁶

Aby dal dohromady trochu peněz, podal si do místních novin inzerát, kde nabízel „soukromé hodiny matematiky a fyziky“.³⁷ Šlo o první zaznamenanou zmínku o Einsteinovi v tisku. První, kdo na tento inzerát odpověděl, byl Maurice Solovine, židovský student filosofie z Rumunska. Einstein ke svému potěšení zjistil, že Solovine je skvělým posluchačem, na němž může ověřovat své četné myšlenky o prostoru, času a světle. Aby mu nehrozila izolace od hlavních proudů ve fyzice, přišel Einstein s nápadem na vytvoření neformální studijní skupiny, která měla diskutovat o velkých otázkách tehdejší doby a které Einstein žertem říkal „Olympská akademie“.

Ze zpětného pohledu jsou dny strávené s touto akademickou skupinou asi těmi nejšťastnějšími z celého jeho života. Ještě o desítky let později mu do očí vhrkly slzy, když vzpomínal na rázná, smělá tvrzení, jež vznášeli, když dychtivě hltali všechna tehdejší hlavní vědecká díla. Jejich živé debaty plnily curyšské kavárny a pivnice a připadalo jim, že nic není nemožné. Zálibně prohlašovali: „Epikurova slova ‚Ó, jak nádherná věc je veselá chudoba!‘ platila nám.“³⁸

Zvláště náruživě se zajímali o kontroverzní dílo Ernsta Macha, vídeňského fyzika a filozofa, který dotěrně napadal každého fyzika, jenž hovořil o věcech ležících mimo naše smysly. Mach své teorie objasňoval ve vlivné knize *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* (Vývoj mechaniky). Zpochybňoval představu atomů, o nichž se domníval, že leží beznadějně mimo doménu měření. Einsteina ale především zaujala Machova zdrcující kritika éteru a absolutního pohybu. Podle Macha stála celá impozantní stavba newtonovské mechaniky na vodě, jelikož koncept absolutního prostoru a absolutního času nelze nikdy změřit. Domníval se, že měřit lze vzájemné pohyby, ale absolutní pohyby nikoliv. Nikdo nikdy nenašel onu mýtickou absolutní vztažnou soustavu, jež by určovala pohyb planet a hvězd, a nikdo také při experimentech nikdy nenarazil ani na náznak éteru.

Roku 1887 provedli Albert Michelson a Edward Morley, kteří hodlali vlastnosti neviditelného éteru co nejpřesněji změřit, sérii pokusů, jež naznačily, že tato newtonovská představa má zásadní slabinu. Vědci soudili, že Země se pohybuje v moři éteru, takže vzniká „éterový vítr“, a rychlost světla by se tudíž měla měnit v závislosti na směru, jímž se Země ubírá.

Představte si například, že utíkáte ve větru. Běžíte-li ve stejném směru jako vítr, cítíte, jak vás tlačí kupředu. S větrem v zádech se pohybujete vyšší rychlostí a vaše rychlost skutečně vzroste o rychlost větru. Utíkáte-li proti větru, jste zpomalováni a vaše rychlost je nyní o rychlost větru nižší. Podobně běžíte-li vůči větru pod úhlem devadesáti stupňů, odfoukává vás vítr do strany zase jinou rychlostí. Jde o to, že vaše rychlost se mění v závislosti na tom, kterým směrem vůči větru utíkáte.

Michelson a Morley vymysleli důvtipný pokus, v němž byl jeden svazek světla rozdělen na dva oddělené paprsky, které byly vyslány různými směry tak, aby svíraly pravý úhel. Pak zrcadla odrazila paprsky zpět ke zdroji, kde se oba smísily a interferovaly spolu. Celý přístroj byl pečlivě umístěn do lože z kapalné rtuti, aby se mohl volně otáčet. Byl tak citlivý, že zachytil i pohyb projíždějících koňských povozů. Podle teorie éteru by se měly tyto dva paprsky pohybovat odlišnými rychlostmi. Jeden paprsek by se například pohyboval ve směru pohybu Země éterem, zatímco druhý paprsek by se vůči éterovému větru pohyboval pod úhlem 90° . Po návratu ke zdroji by tedy paprsky měly vykazovat vzájemný fázový posuv.

Ke svému velkému údivu Michelson a Morley zjistili, že rychlost světla je stejná pro všechny světelné paprsky bez ohledu na to, kterým směrem

přístroj mířil. To byl velmi znepokojivý poznatek, protože to znamenalo, že žádný éterový vítr neexistuje. Rychlost světla se neměnila, ať přístroj otočili kterýmkoliv směrem.

Fyzikové měli tedy na výběr ze dvou stejně neradostných možností. Podle první z nich by Země mohla být vůči éteru dokonale nehybná. Tato možnost ale byla zjevně v rozporu se všemi astronomickými poznatky od základní práce Mikuláše Koperníka, jenž objevil, že Země nemá ve vesmíru nijak výsadní polohu. Druhá možnost byla vzdát se teorie éteru a spolu s ní i newtonovské mechaniky.

Na záchranu teorie éteru bylo vynaloženo vpravdě hrdinské úsilí. Nejblíže se k vyřešení hádanky dostali holandský fyzik Hendrik Lorentz a irský fyzik George FitzGerald. Dokazovali, že Země je při svém pohybu éterem ve skutečnosti éterovým větrem fyzicky stlačena, takže všechny měřicí tyče v Michelsonově a Morleyho pokusu jsou zkrácené. Éter, jenž měl již tehdy téměř mýtické rysy – byl neviditelný, nestlačitelný, nesmírně hustý a tak dále –, získal nyní ještě další vlastnost: dokázal mechanicky stlačovat atomy, jimiž procházel. To by snadno vysvětlilo záporný výsledek. Podle této představy se rychlost světla skutečně mění, ale změřit to nikdy nemůžete. Pokaždé, když zkusíte použít měřicí tyč, se totiž rychlost světla sice opravdu změní, ale tyče se ve směru éterového větru zkrátí o takový díl, jenž tuto změnu přesně vyruší.

Lorentz a FitzGerald nezávisle na sobě vypočítali hodnotu tohoto zkrácení a dostali to, čemu dnes říkáme „Lorentzova-FitzGeraldova kontrakce“. Ani Lorentz, ani FitzGerald nebyli výsledkem nijak zvlášť nadšeni – šlo prostě o přechodné řešení, záplatu, jež měla vyspravit newtonovskou mechaniku –, ale víc udělat nemohli. Lorentzova-FitzGeraldova kontrakce se nelíbila ani mnoha dalším fyzikům, protože vypadala jako princip zavedený ad hoc jen proto, aby odvrátil neblahý osud teorie éteru. Einsteinovi se myšlenka éteru s jeho téměř zázračnými vlastnostmi zdála nepřirozená a vyumělkovaná. Koperník kdysi vyvrátil Ptolemaiovu geocentrickou sluneční soustavu, v níž měly planety vykonávat nesmírně složité kruhové pohyby nazývané „epicykly“ – ty však sloužily pouze k zalátání ptolemaiovského systému. Koperník pomocí Occamovy břitvy celou změť epicyklů odříznul a do středu sluneční soustavy postavil Slunce.

Podobně jako Koperník i Einstein použil Occamovu břitvu a všechny ty početné vumělkovanosti teorie éteru odstranil. Docílil toho pomocí dětsky jednoduché představy.

3 . K A P I T O L A

Speciální relativita a „zázračný rok“

Einsteina zaujala Machova kritika Newtonovy teorie natolik, že se vrátil k představě, jež ho pronásledovala už od šestnácti let – k závodu se světelným paprskem. Vrátil se ke zvláštnímu, avšak důležitému objevu, který učinil, když byl na Polytechnice, totiž k tomu, že v Maxwellově teorii je rychlost světla vždy stejná bez ohledu na to, jak ji měříte. Po celé roky si lámal hlavu nad tím, jak je to možné, protože v newtonovském světě zdravého selského rozumu můžete rychle se pohybující objekt vždycky dohonit.

Představte si opět policistu pronásledujícího řidiče, který nedodrží rychlost. Pokud jede policista dost rychle, ví, že řidiče dokáže chytit. To je známo každému, kdo někdy dostal pokutu za rychlou jízdu. Ale když nahradíme ujíždějícího řidiče světelným paprskem, dojde pozorovatel pokusu k závěru, že policista se řítí těsně za světelným paprskem a pohybuje se téměř stejně rychle jako světlo. Podle nás policista určitě ví, že při svém pohybu světelnému paprsku stále téměř dýchá na záda. Když si s ním ale později promluvíme, dozvíme se prapodivnou věc. Policista tvrdí, že se prý nepohyboval společně se světelným paprskem, čehož jsme právě byli svědky – paprsek se prý místo toho řítí pořád dál a zmizel mu v oblacích prachu. Říká, že ať šlapal na plyn, jak chtěl, hnál se od něj světelný paprsek pořád přesně stejnou rychlostí. Přísahá dokonce, že neměl nejmenší šanci jej dohnat. Ať jel seberychleji, světelný paprsek se mu vzdaloval rychlostí světla, jako by policista neuháněl v policejním voze, ale stál.

Když však trváte na tom, že jste viděli, jak se policista řítí v těsném závěsu za světelným paprskem a ten mu uniká jen o vlásek, řekne, že jste se zbláznili – ani se prý k němu nepřiblížil. Právě v tom tkvěla pro Einsteina základní a neodbytná záhada: *jak to, že dva lidé vidí stejnou událost natolik*

odlišně? Pokud je rychlost světla skutečně přírodní konstantou, jak by potom mohl svědek tvrdit, že policista byl jen o prsa za paprskem, zatímco policista přísahá, že se k paprsku ani nepřiblížil?

Einstein si již dříve uvědomil, že newtonovská představa (podle níž lze rychlosti sčítat a odčítat) a představa maxwellovská (podle níž je rychlost světla konstantní) jsou v zásadním rozporu. Newtonovská teorie je uzavřený systém, jenž spočívá na několika předpokladech. Pokud se změní byť i jen jediný z těchto předpokladů, rozpadne se celá teorie stejně, jako jediné uvolněné vlákno dokáže rozpárat celý svetr. A tímhle vláknem bylo Einsteinovo snění o závodě s paprskem světla.

Jednoho květnového dne roku 1905 Einstein navštívil svého dobrého přítele a kolegu z patentového úřadu Michele Bessa a nastínil mu problém, který ho pronásledoval již celé desetiletí. Na Bessovi si Einstein své nápady ověřoval nejraději, a teď mu celou záležitost vysvětlil takto: newtonovská mechanika a Maxwellovy rovnice, ony dva pilíře fyziky, nejsou vzájemně slučitelné. Jedna, či druhá teorie se mýlí. Ať už se ukáže, že pravdu má ta či ta, bude po konečném vyřešení této otázky třeba zgruntu přebudovat celou fyziku. Pořád dokola probíral paradox závodu s paprskem světla. Později vzpomínal: „V tom paradoxu se skrýval zárodek speciální teorie relativity.“¹ Hovořili s Bessem celé hodiny a procházeli každičkou stránku tohoto problému včetně Newtonova pojmu absolutního prostoru a času, který, jak se zdálo, porušoval neměnnost rychlosti světla požadovanou Maxwellem. Nakonec zcela vyčerpaný Einstein prohlásil, že končí a že veškeré své snažení vzdává. K ničemu to nevedlo – prohrál.

Einstein se sice toho večera vrátil domů sklíčený, ale hlavou mu stále vířily myšlenky Vybavoval si hlavně to, jak jel Bernem tramvají a ohlížel se za slavnými věžními hodinami, jež celému městu vévodí. Potom si představoval, co by se stalo, kdyby se tato tramvaj řítla od hodin rychlostí světla. Rychle si uvědomil, že by hodiny zdánlivě stály, protože světlo by tramvaj nedokázalo dostihnout, ale jeho vlastní hodinky v tramvaji by tikaly normálně.

Potom mu to náhle došlo – byl to klíč k celému problému. Einstein později vzpomínal: „V hlavě se mi rozpoutala úplná bouře.“² Odpověď byla jednoduchá a elegantní: *čas může ve vesmíru odtikávat různě rychle podle toho, jak rychle se pohybujete*. Představte si hodiny rozeseté v různých bodech prostoru – každé budou ukazovat jiný čas, každé budou tikat jinou rychlostí. Sekunda na Zemi je jinak dlouhá než sekunda na Měsíci nebo

sekunda na Jupiteru. Čím rychleji se pohybujete, tím vlastně ubíhá čas pomaleji. (Einstein jednou žertoval, že v teorii relativity rozmístil po vesmíru spoustu hodin, z nichž každé šly jinak rychle, a přitom ve skutečném životě neměl dost peněz ani na to, aby si koupil jedny jediný.) To znamená, že události, které jsou současné v jedné soustavě, nemusí být nutně současné v soustavě jiné, jak se domníval Newton. Einstein konečně začal pronikat do „božích myšlenek“. Později nadšeně vzpomínal: „Řešení mě napadlo znenadání, když jsem uvažoval o tom, že naše představa o prostoru a času a o zákonech, jimiž se řídí, si může činit nárok na platnost jen tehdy, pokud je zde jasná souvislost s naší zkušeností... Tím, že jsem přepracoval pojem současnosti dějů do tvárnější podoby, jsem došel k teorii relativity.“³

Připomeňme si například, že když jsme hovořili o paradoxu ujíždějícího řidiče, pohyboval se policista v těsném závěsu za odlétajícím světelným paprskem, zatímco on sám tvrdil, že světelný paprsek se od něj řítí přesně rychlostí světla, ať šlapal na plyn, jak chtěl. Jediný způsob, jak uvést tyto dvě představy do souladu je, že našemu policistovi zpomalíme vnímání. *Pro policistu ubíhá čas pomaleji.* Kdybychom z krajnice vozovky pozorovali policistovy hodinky, viděli bychom, že se téměř zastavily a že výraz jeho tváře jako by zamrzl a nemění se s časem. Z našeho pohledu jsme jej tedy viděli uhánět ve vyrovnaném závodu se světelným paprskem, ale jeho hodinky (a jeho mozek) se skoro zastavily. Když jsme s ním později mluvili, zjistili jsme, že spatřil, jak se od něj světelný paprsek řítí pryč, a to pouze díky tomu, že jeho mozek a hodinky fungovaly mnohem pomaleji.

Einstein svou teorii završil tím, že do ní zahrnul také Lorentzovu-FitzGeraldovu kontrakci, až na to, že teď se smršťoval samotný prostor, a nikoliv atomy, jak se domnívali Lorentz s FitzGeraldem. (Celkový účinek kontrakce prostoru a dilatace času se dnes nazývá „Lorentzova transformace“.) Teorii éteru tak úplně smetl ze stolu. Když měl později cestu, jež ho k relativitě přivedla, shrnout, napsal:

„Maxwellovi vděčím za víc než komukoliv jinému.“⁴ Ačkoliv měl jakési povědomí o Michelsonově a Morleyho pokusu, zdrojem inspirace jeho teorie relativity zřejmě nebyl éterový vítr, ale přímo Maxwellovy rovnice.

Den po tomto objevu zašel Einstein opět k Bessovi domů a bez pozdravu rovnou vyhrknul: „Děkuji ti, ten problém už jsem úplně vyřešil.“⁵ Později s hrdostí vzpomínal: „Mé řešení spočívalo v rozboru pojmu času. Čas nelze definovat absolutně a mezi časem a rychlostí šíření signálu

existuje neoddělitelná souvislost.“ Následujících šest týdnů horlivě rozpracovával každyčký matematický detail své brilantní myšlenky. Tak vzniknul článek, jenž je pravděpodobně jedním z nejdůležitějších vědeckých textů všech dob. Poté, co Einstein článek předal Milevě, aby zkontrolovala, zda v něm nejsou nějaké matematické chyby, prospal podle svého syna celé dva týdny. Definitivní článek nazvaný „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ („K elektrodynamice pohybujících se těles“) byl naškrábaný na pouhých jednatřiceti rukou psaných stránkách, ale změnil dějiny světa.

V tomto článku nezmiňuje žádného jiného fyzika a poděkování vyslovuje pouze Michele Bessovi. (Einsteinovi byly známy rané Lorentzovy práce na tomto poli, ale nikoliv samotná Lorentzova kontrakce; tu Einstein objevil samostatně.) Článek nakonec vyšel v září roku 1905 v 17. ročníku časopisu *Annalen der Physik*. V tomto slavném ročníku Einstein vlastně uveřejnil tři ze svých převratných článků. Jeho kolega Max Born napsal, že 17. ročník je „jedním z nejpozoruhodnějších ročníků veškeré vědecké literatury. Obsahuje tři Einsteinovy články, z nichž každý se zabývá jiným tématem a každý je dnes uznáván za mistrovské dílo.“⁶ (Výtisky tohoto slavného ročníku byly roku 1994 rozprodány v aukci po 15 000 dolarech.)

S rozmachem, jenž téměř bere dech, začal Einstein článek tvrzením, že jeho teorie se netýká pouze světla, ale platí i pro samotný vesmír. Je pozoruhodné, že celou práci odvodil ze dvou jednoduchých postulátů, jež platí pro inerciální vztažné soustavy (tj. objekty, jež se vůči sobě pohybují konstantní rychlostí):

1. *Fyzikální zákony jsou ve všech inerciálních vztažných soustavách stejné.*

2. *Rychlost světla je ve všech inerciálních vztažných soustavách konstantní.*

Tyto dva ošidně jednoduché principy představují nejpronikavější pohled na podstatu vesmíru od Newtonových časů. Lze z nich odvodit zcela novou představu prostoru a času.

Za prvé: Einstein jediným mistrovským tahem elegantně dokázal, že pokud je rychlost světla skutečně přírodní konstantou, potom nejjobecnějším řešením je Lorentzova transformace. Dále ukázal, že Maxwellovy rovnice tento postulát skutečně splňují. A nakonec ukázal, že sčítání rychlostí vykazuje jisté zvláštnosti. Ačkoliv Newton při pozorování pohybu plachetnic došel k závěru, že rychlosti lze sčítat bez omezení,

Einstein usoudil, že rychlost světla je nejvyšší rychlostí ve vesmíru. Představte si na okamžik, že jste v raketě řídicí se od Země rychlostí 90 % rychlosti světla. Nyní uvnitř této rakety vypalte kulku, která se bude také pohybovat rychlostí 90 % rychlosti světla. Podle newtonovské fyziky by se tato kulka měla pohybovat rychlostí 180 % rychlosti světla a měla by tak rychlost světla překonat. Einstein ale ukázal, že jelikož jsou měřicí tyče zkráceny a čas ubíhá pomaleji, je součet těchto rychlostí ve skutečnosti blízky 99 % rychlosti světla. Einsteinovi se vlastně podařilo ukázat, že ať se snažíte, jak chcete, rychlosti vyšší než je rychlost světla nikdy dosáhnout nemůžete. Rychlost světla je ve vesmíru nejvyšší povolenou rychlostí.

Z vlastní zkušenosti tyto prapodivné deformace neznáme, protože se rychlostí blízkou rychlosti světla nikdy nepohybujeme. Při běžných rychlostech jsou Newtonovy zákony zcela v pořádku. To je základní příčina toho, proč trvalo více než dvě stě let, než došlo k jejich první úpravě. Představte si ale, že rychlost světla je pouze 30 kilometrů za hodinu. Kdyby tedy například ulicí jelo auto, vypadalo by zkrácené ve směru pohybu – bylo by stlačené jako harmonika na délku třeba jednoho centimetru, i když by jeho výška zůstala nezměněná. Cestující v autě jsou také stlačeni najeden centimetr, a tak bychom asi čekali, že jak jim tlak bude drtit kosti, budou křičet bolestí. Pasažéři ale ve skutečnosti nic zvláštního nevnímají, protože uvnitř vozu je stlačeno všechno včetně atomů v jejich tělech.

Jak auto brzdí a zastavuje, pomalu se z jednoho centimetru roztáhne na původní tři metry a pak cestující vystoupí, jako by se nic nestalo. Kdo je tu doopravdy stlačován? Vy, nebo auto? Podle teorie relativity to nelze určit, protože pojem délky nemá žádný absolutní význam.

Z dnešního pohledu vidíme, že k objevu relativity se neobyčejně blízko dostali i další vědci. Lorentz a FitzGerald došli ke stejné kontrakci, ale výsledek chápali naprosto špatně, protože se domnívali, že jde o elektromechanickou deformaci atomů, a nikoliv o spletitou transformaci samotného prostoru a času. Henri Poincaré, považovaný za největšího francouzského matematika své doby, také dospěl velice daleko. Chápal, že rychlost světla musí být ve všech inerciálních vztažných soustavách konstantní, a dokonce ukázal, že Maxwellovy rovnice při Lorentzově transformaci zachovávají tvar. I on však odmítal opustit newtonovský systém předpokládající existenci éteru a domníval se, že tyto deformace jsou výlučně jevem z oblasti elektřiny a magnetismu.

Einstein pokračoval dál a dospěl k dalšímu osudovému kroku. Na sklonku roku 1905 napsal krátký článek – téměř jen poznámku který měl změnit chod světa. Pokud se měřicí tyče a hodiny deformují tím více, čím rychleji se pohybujete, potom se musí také měnit vše, co lze pomocí měřicích tyčí a hodin změřit – včetně hmoty a energie. Hmota a energie vlastně mohou přecházet jedna v druhou. Einsteinovi se například povedlo ukázat, že hmotnost daného objektu je tím vyšší, čím rychleji se pohybuje. (Pokud by tento objekt dosáhl rychlosti světla, narostla by jeho hmotnost do nekonečna, což nelze a dokazuje to tedy nedosažitelnost rychlosti světla.) To znamená, že energie pohybu se nějakým způsobem přeměňuje na narůstající hmotnost objektu. *Hmota a energie jsou tudíž vzájemně zaměnitelné.* Pokud byste přesně spočítali, kolik energie se na hmotu přeměňuje, mohli byste jednoduchým výpočtem na pár řádkách ukázat, že platí nejslavnější rovnice všech dob, $E=mc^2$ Jelikož rychlost světla je ohromné číslo a jeho druhá mocnina je ještě větší, znamená to, že i nepatrné množství hmoty dokáže uvolnit neskutečně velkou energii. Pár čajových lžiček hmoty skrývá energii několika vodíkových bomb.

Kus hmoty o velikosti domu by možná dokázal roztrhnout Zemi vedví.

Tento vzorec nebyl jen pouhým akademickým cvičením. Einstein se totiž domníval, že by takto mohl vysvětlit zvláštní objev Marie Curieové. Ta zjistila, že pouhý gram radia vydává za hodinu 140 kalorií tepla, a to neustále, čímž zdánlivě porušuje první termodynamický zákon, podle kterého je celkové množství energie neměnné, neboli se zachovává. Einstein došel k závěru, že jak radium vyzařuje energii, mělo by docházet k nepatrnému poklesu jeho hmoty (tento rozdíl je příliš malý na to, aby mohl být změřen pomocí přístrojů z roku 1905). „Tato představa je zábavná a lákavá, ale netuším, zda se tomu Všemohoucí nesměje a nevodí mě za nos,“ napsal.⁷ Došel k závěru, že přímé ověření jeho domněnky „prozatím pravděpodobně leží mimo dosah praxe“.⁸

Proč si lidé této nevyužité energie nevšimli dříve? Einstein použil přirovnání k pohádkově bohatému člověku, který drží své jmění v tajnosti tak, že z něj nikdy neutratí ani halíř.

Jeho bývalý student Banesh Hoffman napsal: „Představte si, jaký to byl smělý čin... Každá hrouda hlíny, každé pířko, každé smítko prachu se stalo ohromnou zásobárnou nevyužité energie. Tehdy neexistoval žádný způsob, jak to ověřit. Když však Einstein roku 1907 svou rovnicí kdesi vysvětloval, hovořil o této skutečnosti jako o nejvýznamnějším důsledku

své teorie relativity. Jeho mimořádná schopnost vidět daleko do budoucnosti je zřejmá i z toho, že jeho rovnice byla ověřena teprve... o nějakých dvacet pět let později.“⁹

Principy speciální relativity si tedy znovu vynutily zásadní revizi klasické fyziky. Dříve fyzikové věřili v zachování energie neboli v prvním termodynamickém zákoně, jenž tvrdí, že celkové množství energie nelze zvyšovat ani snižovat. Nyní měli za to, že se zachovává součet celkového množství hmoty a energie.

Téhož roku se Einsteinova neklidná mysl pustila do další otázky – fotoelektrického jevu. Již roku 1887 si Heinrich Hertz povšimnul, že světelný paprsek dopadající na kov může v tomto kovu za určitých podmínek vyvolat slabý elektrický proud. Jde o princip, jenž je základem velké části moderní elektroniky. Sluneční články mění běžné sluneční světlo na elektřinu, která napájí například naše kalkulačky. Televizní kamery přijímají světelné paprsky ze snímaného předmětu a převádějí je na elektrické proudy, jež nakonec končí na televizní obrazovce.

Na přelomu minulého století šlo však dosud o naprostou záhadu. Světelný paprsek nějak vyrazí elektrony z kovu – ale jak? Newton se domníval, že světlo se skládá z drobných částic, kterým říkal „korpuskule“, ale fyzikové byli přesvědčeni, že světlo je vlna, a podle klasické teorie vln nezávisí energie vlnění na jeho frekvenci. Ačkoliv má například červené a zelené světlo odlišnou frekvenci, mělo by mít stejnou energii, a tudíž by v případě, že tyto vlny narazí na kus kovu, měla být stejná i energie vyražených elektronů. Podle klasické teorie vln by měla energie vyražených elektronů vzrůst tím, že zvýšíte intenzitu paprsku světla zvýšením počtu lamp. Práce Philippa Lenarda však prokázala, že energie vyražených elektronů závisí výlučně na frekvenci neboli barvě světelného paprsku, a nikoliv na jeho intenzitě, tedy přesný opak toho, co předpovídala teorie vln.

Einstein se fotoelektrický jev snažil vysvětlit pomocí nové „kvantové teorie“, již nedlouho předtím objevil v Berlíně Max Planck. Roku 1900 se Planck velice radikálně odklonil od klasické fyziky hypotézou, že energie není spojitá veličina, jako jsou například kapaliny, ale vyskytuje se v konečných, oddělených balíčcích nazývaných „kvanta“. Energie každého kvanta je úměrná jeho frekvenci. Konstanta této úměrnosti je novou přírodní konstantou, která se dnes nazývá „Planckova konstanta“. Jedním z důvodů, proč nám svět atomu a kvant připadá tak bizarní, je skutečnost,

že Planckova konstanta je velice malé číslo. Einstein dokazoval, že pokud se energie vyskytuje v oddělených balíčcích, potom i samo světlo musí být kvantované. (Einsteinův balíček „světelných kvant“ pokřtil roku 1926 chemik Gilbert Lewis na „foton“ neboli částici světla.) Einstein usuzoval, že pokud je energie fotonu přímo úměrná jeho frekvenci, potom i energie vyraženého elektronu by v rozporu s klasickou fyzikou měla být této frekvenci úměrná. (Legrační je, že v oblíbeném televizním seriálu *Star Trek* vysílá posádka vesmírné lodi *Enterprise* na nepřátele „fotonová torpéda“. Nejednodušším odpalovacím zařízením fotonových torpéd je totiž obyčejná kapesní svítilna.)

Einsteinova nová představa, kvantová teorie světla, dala jednoznačnou, experimentálně ověřitelnou předpověď. Při zvyšování frekvence dopadajícího světelného paprsku by mělo být v kovu možné naměřit plynulý nárůst napětí. Tento historický článek (jenž měl nakonec Einsteinovi přinést Nobelovu cenu za fyziku) vyšel 9. června 1905 pod názvem „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“ („O heuristickém pohledu na vznik a přeměnu světla“). Spolu s tímto článkem se zrodil i foton a kvantová teorie světla.

V dalším článku, jenž také vznikl během „zázračného“ roku 1905, se Einstein zabýval otázkou atomu. Ačkoliv atomová teorie zaznamenala pozoruhodný úspěch při určování vlastností plynů a chemických reakcí, žádný přímý důkaz existence atomů předložen nebyl, na což s oblibou poukazoval Mach i další kritici. Podle Einsteinova názoru by šlo existenci atomů dokázat tak, že bychom pozorovali jejich působení na malé částice v tekutině. Vezměme si například „Brownův pohyb“, pojem označující nepatrné, náhodné pohyby malých částic rozptýlených v tekutině. Tento jev objevil roku 1828 botanik Robert Brown, který pod mikroskopem sledoval zvláštní náhodné pohyby drobných pylových zrněk. Nejprve se domníval, že tyto trhavé pohyby jsou podobné pohybu samčích spermatických buněk. Pak ale zjistil, že toto zvláštní a neobvyklé chování vykazují také drobná zrnka skla a žuly.

Někteří vědci se domýšleli, že Brownův pohyb by mohl být důsledkem náhodných nárazů molekul, ale nikdo nedokázal vytvořit rozumnou teorii, jež by tento jev popisovala. Einstein však onen rozhodující krok udělal. Dokazoval, že ačkoliv atomy jsou příliš malé na to, abychom je mohli pozorovat, lze jejich velikost a chování odhadnout tak, že vypočítáme

jejich celkový vliv na velké objekty. Pokud teorii atomů budeme důvěřovat, měli bychom s její pomocí na základě rozboru Brownova pohybu vypočítat fyzikální rozměry atomů. Einstein usoudil, že nahodilý pohyb prachové částice vyvolávají náhodné srážky bilionů a bilionů molekul vody. Takto dokázal vypočítat velikost a hmotnost atomů a podal experimentální důkaz jejich existence.

Po nahlédnutí do obyčejného mikroskopu dokázal Einstein vypočítat, že gram vodíku obsahuje $3,03 \times 10^{23}$ atomů, což se blíží správné hodnotě. Byl to téměř zázrak. Jeho článek se jmenoval „Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“ („O pohybu částic rozptýlených ve stacionárních kapalinách, jenž plyne z molekulární kinetické teorie tepla“) a vyšel 18. července. Tento jednoduchý článek v podstatě podal první experimentální důkaz existence atomů. (Paradoxně pouhý rok poté, co Einstein vypočítal velikost atomů, spáchal Ludwig Boltzmann – fyzik, jenž byl průkopníkem teorie atomů – sebevraždu, a to zčásti i kvůli nepřetržitému výsměchu, který za prosazování atomové teorie sklízel.) Po napsání těchto čtyř historických článků předložil Einstein svému školiteli, profesoru Alfredu Kleinerovi, svou disertační práci –jeden svůj ranější článek o velikosti molekul. Toho večera se s Milevou opili.

Disertace byla nejprve zamítnuta. Dne 15. ledna 1906 však curyšská univerzita Einsteinovi konečně udělila doktorský titul. Teď si mohl nechat říkat „pane doktore“. Nová éra fyziky se zrodila v Einsteinově bernském bytě na Kramgasse 49. (Dnes se tomuto místu říká „Einsteinův dům“. Díváte-li se odtud krásným arkýřovým oknem do ulice, můžete si přečíst pamětní desku, na níž stojí, že teorie relativity byla vytvořena právě při pohledu z tohoto okna. Na vedlejší zdi je vyobrazena atomová bomba.)

Rok 1905 byl tedy v historii vědy skutečně *annus mirabilis*. Pokud bychom měli nalézt další podobně zázračný rok, museli bychom se vrátit až do roku 1666, kdy třiadvacetiletý Isaac Newton přišel na zákon všeobecné gravitace, integrální a diferenciální počet, binomickou větu a svou teorii barev.

Roku 1905 Einstein položil základy teorie fotonů, podal důkaz existence atomů a svrhl systém newtonovské fyziky. Každý z těchto činů je hoden mezinárodního uznání. Následovalo však naprosté ticho, které Einsteina zklamalo. Vypadalo to, že jeho práce je naprosto přehlížena. Sklíčený Einstein se stáhl do soukromí, vychovával dítě a dál dřel na

patentovém úřadě. Jako by sen o průkopnickém zkoumání nových fyzikálních světů byl pouhým vzdušným zámkem.

Počátkem roku 1906 ale Einsteina nadchnul první náznak odezvy. Byl to jen jediný dopis – přišel však od patrně nejvýznamnějšího fyzika té doby, od Maxe Plancka, jenž radikální důsledky Einsteinovy práce okamžitě pochopil. Plancka na teorii relativity přitahovala skutečnost, že tato teorie pozvedla jistou veličinu, rychlost světla, do role základní přírodní konstanty. Například Planckova konstanta oddělovala klasický svět od subatomárního světa kvant. Před podivnými vlastnostmi atomů jsme chráněni díky nepatrné velikosti Planckovy konstanty. Planck měl za to, že podobnou přírodní konstantu vytvořil Einstein z rychlosti světla. Obrovská hodnota rychlosti světla nás chrání před podobně bizarním světem fyziky vesmíru.

Podle Planckových představ tyto dvě konstanty, Planckova konstanta a rychlost světla, ohraničují naši všednodenní zkušenost a newtonovskou fyziku. To, že fyzikální realita je ve své podstatě podivná, nevidíme díky nepatrné hodnotě Planckovy konstanty a nesmírně vysoké rychlosti světla. Jestliže se relativita a kvantová teorie vymykají selskému rozumu je to jen kvůli tomu, že celý život prožíváme v nepatrném koutku vesmíru, v chráněném světě, kde rychlosti jsou v porovnání s rychlostí světla nízké a objekty jsou tak velké, že se s Planckovou konstantou nikdy nesetkáme. Příroda však na náš selský rozum nedbá a vytvořila vesmír složený ze subatomárních částic, jež se běžně pohybují rychlostmi blízkými rychlosti světla a řídí se Planckovým vzorcem.

V létě roku 1906 poslal Planck za oním neznámým úředníčkem, který se zčistajasna vynořil, aby zpochybnil Newtonův odkaz, svého asistenta, Maxe von Laue. Měli se sejít v čekárně patentového úřadu, ale stala se komická věc –nejdřív se minuli, protože von Laue byl připravený na impozantní, autoritativní postavu. Když se Einstein konečně představil, udivilo von Laueho, že se setkává s někým naprosto odlišným: s překvapivě mladým a neformálně oblečeným úředníkem. Stali se z nich celoživotní přátelé. (Mizerný doutník ale von Laue poznal. Einstein mu jeden takový nabídl. Když spolu potom v družném hovoru přecházeli most přes řeku Aare, Einstein se chvíli nedíval a von Laue doutník potají odhodil do řeky)

S požehnáním Maxe Plancka začala Einsteinova práce postupně přitahovat pozornost ostatních fyziků. Ironií osudu je, že zvláštní zájem o práci svého bývalého studenta projevoval jeden z Einsteinových profesorů

z Polytechniky, ten, který ho za neúčast na přednáškách nazval „línou vší“. Právě tento matematik, Hermann Minkowski, se vrhnul do práce a rovnice teorie relativity ještě rozvinul. Snažil se přeformulovat Einsteinův postřeh, že prostor se mění na čas a naopak, a to tím více, čím rychleji se pohybujete. Minkowski jej převedl do matematického jazyka a došel k závěru, že prostor a čas tvoří čtyřrozměrný celek. Výraz „čtvrtý rozměr“ najednou používali všichni.

Například k určení libovolného bodu na mapě jsou zapotřebí dvě souřadnice (zeměpisná délka a šířka). Pokud přidáte třetí rozměr, výšku, můžete určit polohu libovolného objektu v prostoru – od špičky svého nosu až na konec vesmíru. Viditelný svět kolem nás je tudíž třírozměrný. Někteří spisovatelé – například H. G. Wells – se domýšleli, že čas by mohl být možná chápán jako čtvrtý rozměr, a s jeho pomocí by bylo možné určit libovolnou událost tak, že bychom uvedli její třírozměrné souřadnice a okamžik, kdy k ní došlo. Pokud se tedy chcete setkat s někým v New Yorku, můžete mu říct: „Máme sraz na rohu 42. ulice a Páté avenue, na dvacátém podlaží, a to v poledne.“ Tuto událost jednoznačně určují čtyři čísla. Wellsův čtvrtý rozměr byl však pouhou myšlenkou bez jakéhokoliv matematického či fyzikálního obsahu.

Když Minkowski Einsteinovy rovnice přepsal, tuto krásnou čtyřrozměrnou strukturu odhalil a navždy tak prostor a čas vetkal do čtyřrozměrné osnovy. Napsal tehdy: „Od nynějška již jsou samostatný prostor a čas navždy pouhými stíny. Skutečným a nezávislým zůstává už jen určitý jejich svazek.“¹⁰

Na Einsteina to nejprve neudělalo žádný dojem. Dokonce posměšně napsal: „Hlavní věc je obsah, nikoliv matematika. Matematicky můžete dokázat cokoli.“¹¹ Einstein se domníval, že jádrem relativity jsou základní fyzikální principy, a nikoliv pěkné, avšak bezobsažné čtyřrozměrné vzorce, které měl za „zbytečnou učenost“.¹² Podstatný pro něj byl jasný a jednoduchý obraz (např. vlaky, padající zdviže či rakety) a matematika měla přijít na řadu později. V tomto období se vlastně domníval, že výpočty jsou jen jakousi účetní knihou, ve které můžeme sledovat, co se podle naší představy odehraje.

Napůl žertem napsal: „Jelikož se do teorie relativity pustili matematici, už ani já sám jí nerozumím.“¹³ Postupem času však začal plný dosah Minkowského práce a její hluboké filozofické důsledky oceňovat. Minkowski ukázal, jak lze pomocí symetrie sjednotit dva zdánlivě různé

pojmy Na prostor a čas se najednou mělo pohlížet jako na dva odlišné stavy téhož objektu. Podobně lze pomocí čtvrtého rozměru uvést do souvislosti i energii s hmotou a také elektřinu s magnetismem. *Sjednocování pomocí symetrie* se stalo jedním z principů, jimiž se Einstein řídil po zbytek svého života.

Představme si třeba sněhovou vločku. Pokud vločku otočíte o 60 stupňů, zůstane stejná. Matematickým jazykem řekneme, že objekty, které si po otočení uchovají původní tvar, jsou „kovariantní“. Minkowski ukázal, že pokud prostor a čas otáčíme jakožto čtyřrozměrné objekty, jsou Einsteinovy rovnice kovariantní podobně jako sněhová vločka.

Jinými slovy – zrodil se nový fyzikální princip, který Einsteinovu práci ještě víc vytrýbil: *fyzikální rovnice musí být kovariantní vůči Lorentzově transformaci* (tj. musí si při Lorentzově transformaci zachovat stejný tvar). Einstein později připustil, že bez Minkowského čtyřrozměrných výpočtů by relativita „možná zůstala v plenkách“.¹⁴ Pozoruhodné bylo to, že tato nová čtyřrozměrná fyzika vědcům umožnila vtěsnat všechny rovnice teorie relativity do mimořádně zhuštěného tvaru. Když se například posluchač elektrofakulty či fyzik poprvé setká s Maxwellovou sadou osmi parciálních diferenciálních rovnic, zjistí, že jsou po čertech složité. Minkowského nové výpočty ale Maxwellovy rovnice vměstnaly do pouhých dvou vzorců. (Pomocí čtyřrozměrných výpočtů lze dokonce ukázat, že Maxwellovy rovnice jsou vůbec nejjednodušší možné rovnice popisující světlo.) Poprvé v historii si fyzikové uvědomili, jaký má v jejich rovnicích význam symetrie. Když fyzik mluví o „kráse a eleganci“ ve fyzice, často má na mysli to, že symetrie umožňuje sjednotit velké množství odlišných jevů a pojmů do pozoruhodně kompaktního tvaru. *Čím je nějaká rovnice krásnější, tím vyšší symetrii má a tím více jevů dokáže vysvětlit na menším prostoru.*

Symetrie nám tedy umožňuje sjednotit nesourodé střípky do harmonického, nedílného celku. Díky různě natáčené sněhové vločce například vidíme jednotu, jež panuje mezi všemi body na vločce. Pootočení ve čtyřrozměrném prostoru sjednocuje pojem prostoru a času – při zvýšení rychlosti se jedno mění v druhé. Krásná a elegantní představa, že symetrie sjednocuje zdánlivě nepodobné entity do půvabného, harmonického celku, vedla Einsteina dalších padesát let.

Je paradoxní, že jakmile Einstein dokončil speciální teorii relativity, začal o ni ihned ztrácet zájem a vrhl se na další, hlubší otázku. Šlo o problém gravitace a zrychlení, jenž – jak se zdálo – ležel mimo dosah

speciální relativity. Einstein, který teorii relativity přivedl na svět, si jako každý milující rodič okamžitě uvědomil její možné nedostatky a pokoušel se je napravit (o tom si řekneme více později).

Mezitím se některé z jeho myšlenek začínaly potvrzovat experimentálně a Einsteinův význam mezi fyziky rostl. Znovu byl proveden Michelsonův a Morleyho pokus.

Vždy vedl k témuž negativnímu výsledku a zpochybňoval tak celou teorii éteru. Mezitím byly Einsteinovy výpočty potvrzeny také prostřednictvím pokusů s fotoelektrickým jevem. Navíc se roku 1908 díky experimentům s elektrony pohybujícími se vysokou rychlostí zdálo, že hmotnost elektronu narůstá se vzrůstající rychlostí. Hromadící se experimentální úspěchy jeho teorií Einsteina povzbudily, a tak zažádal o docentům na nedaleké bernské univerzitě. Šlo o nižší post než profesura, ale skýtal tu výhodu, že by se Einstein mohl i nadále věnovat také práci na patentovém úřadu. Společně s dalšími publikovanými pracemi předložil i teze o relativitě. Nejprve jej vedoucí katedry Aime Foster odmítnul a prohlásil, že teorie relativity je nesrozumitelná. Na druhý pokus Einstein uspěl.

V roce 1908 přibývalo důkazů o tom, že Einstein ve fyzice dosáhl zásadního průlomu, a tak se stal vážným kandidátem na prestižnější místo na curyšské univerzitě. Měl zde však ostrou konkurenci v podobě svého starého známého Friedricha Adlera. Nevýhodou obou hlavních kandidátů byl jejich židovský původ, ale Adler byl synem zakladatele rakouské sociálně demokratické strany, s níž sympatizovali mnozí členové profesorského sboru, takže to vypadalo, že Einstein bude při výběru kandidáta na toto místo přeskočen. Ke všeobecnému překvapení Adler sám energicky podpořil názor, že místo má dostat Einstein. Adler byl bystrý pozorovatel lidských povah a Einsteina odhadnul správně. Výmluvně se rozepisoval o vynikajících Einsteinových vědeckých schopnostech ale poznamenal: „Za studií jím profesori pohrdali... Nemá ponětí o tom, jak vycházet s důležitými lidmi.“¹⁵ Díky Adlerově mimořádné oběti Einstein toto místo získal, a tak začal jeho raketový vzestup po akademickém žebříčku. Vrátil se tedy do Curychu – tentokrát ale nikoli jako zkrachovalý, nezaměstnaný fyzik a ztracená existence, nýbrž jako profesor. Našel si v Curychu byt a velmi ho potěšilo, když se dozvěděl, že Adler bydlí jen o jedno patro níž – stali se z nich dobří přátelé.

V roce 1909 vystoupil Einstein s první přednáškou na velké fyzikální konferenci. Bylo to v Salcburku, za přítomnosti mnoha koryfejí včetně Maxe Plancka. Ve svém působivém příspěvku nazvaném „Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung“ („O vývoji našich představ o povaze a struktuře záření“) světu představil svou rovnici $E=mc^2$. Einstein, zvyklý škodlit na výdajích za obědy, žasnul nad luxusem, kterým konference oplývala. Později vzpomínal: „Program končil v hotelu National tím nejokázalejším banketem, jakého jsem se kdy v životě zúčastnil. To mě přimělo k tomu, že jsem jakémusi ženevskému prominentovi, který seděl vedle mě, řekl: ‚Víte, co by udělal Kalvín, kdyby tady teď byl?... Navrší by ohromnou hranici a nechal by nás za naši hříšnou marnotratnost upálit. Ten člověk se mnou už nepromluvil jediné slovo.“¹⁶

Einstein ve své přednášce poprvé v dějinách jasně představil pojem „duality“ ve fyzice. Jde o představu, že světlo může mít duální vlastnosti – buď se chová jako vlna, tak jak navrhoval Maxwell v předešlém století, nebo jako částice, jak soudil Newton. To, zda světlo vnímáme jako částice nebo jako vlny, závisí na daném pokusu. V experimentech s nízkými energiemi, kdy je vlnová délka světelného paprsku velká, je užitečnější vlnová představa. V případě paprsků o vysoké energii, kdy je vlnová délka světla nesmírně malá, je vhodnější představa částicová. Jak se časem ukázalo, tento pojem (jenž byl o desítky let později připsán dánskému fyzikovi Nielsi Bohrovi) je fundamentálním postřehem o podstatě hmoty a energie a jedním z nejbohatších zdrojů inspirace při výzkumu v oblasti kvantové teorie.

Ačkoliv byl nyní Einstein profesorem, zůstával stejným bohémem jako předtím. Jeden student živě vzpomínal na Einsteinovu úvodní přednášku na curyšské univerzitě: „Do učebny dorazil v poněkud omšelém oděvu. Měl na sobě kalhoty, které mu byly krátké, a nesl si útržek papíru o velikosti navštívenky, na němž měl načmárané poznámky k přednášce.“¹⁷

V roce 1910 se narodil Einsteinův druhý syn Eduard. Neklidný kočovník Einstein si tehdy již hledal nové místo – zřejmě proto, že někteří profesoři ho chtěli z univerzity vypudit. O rok později mu bylo nabídnuto lépe placené místo v Ústavu pro teoretickou fyziku na pražské Německé univerzitě. Ironií osudu měl Einstein kancelář hned vedle blázince. Při

hloubání nad fyzikálními záhadami mu často prolétlo hlavou, jestli přičetní nejsou spíš zdejší chovanci.

V roce 1911 proběhla v Bruselu i první Solvayská konference, již financoval bohatý belgický průmyslník Ernest Solvay a která vyzdvihla práci předních světových vědců. Šlo o nejdůležitější konferenci této doby, jež Einsteinovi také dala šanci setkat se s velikány fyziky a podělit se s nimi o své myšlenky. Seznámil se s Marií Curieovou, dvojnásobnou nositelkou Nobelovy ceny, a navázal s ní celoživotní přátelský vztah. Einsteinova teorie relativity a jeho teorie fotonu tu byla středem pozornosti. Téma konference znělo „Teorie záření a kvanta“.

Jednou z otázek, které se zde probíraly, byl slavný „paradox dvojčat“. Einstein se již dříve zmiňoval o podivných paradoxech souvisejících se zpomalováním času. Paradox dvojčat předložil fyzik Paul Langevin. Ten přišel s jednoduchým myšlenkovým pokusem, jehož prostřednictvím zkoumal některé ze zdánlivých rozporů v teorii relativity. (Langevin, který byl nešťastně ženatý a měl skandální milostný poměr s ovdovělou Marií Curieovou, byl tehdy vděčným tématem bulvárních novinových článků.) Langevin uvažoval o dvou sourozencích, kteří žijí na Zemi. Jedno dvojče odcestuje pryč téměř rychlostí světla, a potom se na Zemi vrátí. Na Zemi uběhlo řekněme padesát let, ale protože v raketě je čas zpomalený, zestárlo dvojče v raketě o pouhých deset let. Když se sourozenci nakonec setkají, jejich věk se neshoduje – dvojče z rakety je o čtyřicet let mladší.

Nyní se na tuto situaci podívejme z hlediska dvojčete v raketě. To je ze svého pohledu v klidu a je to Země, jež se řítí pryč, takže zpomalené jsou hodiny dvojčete na Zemi. Při opětovném setkání by tedy mělo být mladší pozemské dvojče, a nikoliv dvojče v raketě. Protože by však pohyby měly být relativní, je otázkou, které dvojče je ve skutečnosti mladší. Jelikož se tyto dvě situace zdají být symetrické, zůstává tato hádanka pro každého studenta, který se do problému relativity pustí, dodnes nepříjemným oříškem.

Jak Einstein upozornil, spočívá řešení této hříčky v tom, že zrychlovalo dvojče v raketě, nikoliv jeho sourozenec na Zemi. Raketa musela brzdit, zastavit a potom se otočit, takže na dvojče v raketě musely jasně působit velké síly. Jinými slovy tyto dvě situace nejsou symetrické, protože zrychlení – jež předpoklady speciální relativity nezahrnují – nastává pouze v případě dvojčete v raketě, které je tedy doopravdy mladší.

(Všechno by se ještě víc zamotalo, kdyby se dvojče v raketě už nikdy nevrátilo. Podle tohoto scénáře oba sourozenci sledují dalekohledem, jak čas druhého dvojčete ubíhá pomaleji. Situace je teď dokonale symetrická, a tak jsou oba sourozenci přesvědčeni, že druhé dvojče je mladší. Podobně jsou oba také přesvědčeni, že ten druhý sourozenec je prostorově stlačený. Které dvojče je tedy mladší a hubenější? Zní to sice paradoxně, ale v teorii relativity mohou existovat dvojčata, z nichž obě jsou mladší než druhý sourozenec a obě jsou také hubenější než ten druhý. Nejjednodušším způsobem, jak ve všech těchto paradoxních situacích určit, kdo je doopravdy hubenější či mladší, je postavit dvojčata vedle sebe, což znamená, že jedno z nich musíme přitáhnout zpátky, a to zase určí, které dvojče se „doopravdy“ pohybuje.

Ačkoliv na úrovni atomů byly tyto matoucí paradoxy rozborem kosmických paprsků a také pomocí urychlovačů částic nepřímo vyřešeny v Einsteinův prospěch, je tento jev tak slabý, že v laboratorních podmínkách byl přímo pozorován až v roce 1971, kdy byla do vzduchu vyslána velmi rychle letící letadla s atomovými hodinami. Protože atomové hodiny dokážou měřit běh času s astronomickou přesností, podařilo se vědcům porovnáním páru těchto hodin ověřit, že čas odtikává tím pomaleji, čím rychleji se pohybujete, přesně tak, jak to předpověděl Einstein.

V dalším paradoxu se vyskytnou dva objekty, které jsou oba kratší než ten druhý.¹⁸ Představte si lovce divoké zvěře, který se snaží chytit tygra o délce těla kolem tří metrů do klece, jež má napříč pouhých třicet centimetrů. Za normálních okolností to není možné. Teď si ale představte, že se tygr pohybuje tak rychle, až se zkrátí na pouhých třicet centimetrů, takže klec na něj může spadnout a polapit ho. Jak tygr se skřípěním drápů brzdí, natahuje se. Kdyby byla klec z pavučiny, tygr tkanivo protrhne. Pokud je klec z betonu, nebohého tygra rozdrťí.

Nyní se však na tuto situaci podívejme z hlediska tygra. Jestliže je tygr v klidu, potom se pohybuje klec a zkrátí se na pouhou třicetinu metru. Jak může takto malá klec polapit tygra dlouhého tři metry? Odpověď zní, že jak klec padá, zkrátí se ve směru pohybu, takže je z ní rovnoběžník – zploštělý čtverec. Protější konce klece tudíž nemusí tygra zasáhnout nutně současně. Co je současné z hlediska lovce, není současné pro tygra. Pokud je klec z pavučiny, nejdřív dopadne přední část klece tygroví na čenich a začne se trhat. Jak klec padá, páře se dál podél těla tygra, až nakonec zadní část klece dopadne na ocas. Pokud je klec z betonu, nejdřív rozdrťí tygroví

čenich. Jak klec klesá, postupně mu drtí celé tělo, až mu nakonec její zadní část dopadne na ocas.

Tyto paradoxy probudily dokonce i fantazii veřejnosti a v humoristickém časopisu *Punch* vyšel následující limerick:

*Byla jistá Světla z Einsteinic,
co světlo předběhla jakoby nic.
Prošla se a pak honem domů!
Jak ale se podivila tomu,
že než vyšla, bylo o den víc.¹⁹*

Tou dobou byl již Einsteinův dobrý přítel Marcel Grossman profesorem na Polytechnice a ptal se Einsteina, zda by se nechtěl na své bývalé působiště vrátit, tentokrát ve funkci řádného profesora. Doporučující dopisy pěly na Einsteina samou chválu. Marie Curieová napsala, že „matematictí fyzikové jsou zajedno v tom, že jeho práce jsou prvotřídní“.²⁰

Einstein se tedy po pouhých šestnácti měsících v Praze vrátil do Curychu na svou starou Polytechniku (od roku 1911 se jmenovala Švýcarský federální technologický ústav neboli ETH). Tento návrat v roli slavného profesora pro Einsteina znamenal osobní vítězství. Když univerzitu opouštěl, bylo tu jeho jméno v nemilosti a profesori jako Weber aktivně podkopávali jeho kariéru. Vracel se jako vůdčí osobnost nové fyzikální revoluce. Tohoto roku byl poprvé nominován na Nobelovu cenu za fyziku. Jeho myšlenky ale byly dosud považovány za příliš radikální na to, aby je švédská akademie ocenila, a mezi nositeli Nobelovy ceny zaznívaly nespokojené hlasy, jež chtěly jeho nominaci zabránit. Roku 1912 nebyla Nobelova cena udělena Einsteinovi, ale Nilsu Gustafu Dalénovi za zdokonalení majáku. (Ironií osudu jsou dnes již majáky víceméně překonané díky zavedení globálního systému určování polohy pomocí družic, pro který je klíčová právě Einsteinova teorie relativity.)

Během následujícího roku Einsteinova reputace rostla tak rychle, že začal dostávat nabídky z Berlína. O stoupající hvězdu fyziky velice stál Max Planck. Německo navíc nesporně stálo v čele celosvětového fyzikálního výzkumu a centrem německé vědy byl právě Berlín. Einstein nejprve váhal, protože se kdysi zřekl německého občanství a dosud v sobě choval pár hořkých vzpomínek z mládí, ale nabídka byla příliš lákavá.

Roku 1913 byl Einstein zvolen členem Pruské akademie věd a později mu bylo nabídnuto místo na univerzitě v Berlíně. Měl se stát ředitelem

Fyzikálního ústavu císaře Viléma. Tituly pro něj moc neznamenal, ale nabídka to byla zajímavá zvláště kvůli tomu, že by zde neměl žádné pedagogické povinnosti. (Ačkoliv byl Einstein jako přednášející mezi studenty oblíben a byl znám tím, že s nimi jedná zdvořile a vlídně, odvádělo ho učení od hlavního předmětu jeho zájmu – obecné relativity)

Roku 1914 dorazil Einstein do Berlína, aby se setkal s ostatními profesory. Když si ho prohlíželi, cítil lehkou nervozitu. Později napsal: „Pánové v Berlíně si na mě vsadili, jako bych byl slípka, co snáší zlatá vejce. Já osobně ani nevím, jestli se mi kdy další vejce podaří snést.“²¹ Pětatřicetiletý rebel s podivnými názory a ještě podivnějším oblečením se brzy musel přizpůsobit škrobeným způsobům horních deseti tisíc, které v Pruské akademii věd vládly. Její členové se navzájem oslovovali „pane tajný rado“ nebo „Vaše Excelence“. „Zdá se, že většina členů se omezuje na to, že v písemném styku vystavují na odiv svůj majestát jako pávi; jinak jsou to jen lidé,“ mínil o nich Einstein.²²

Einsteinovo triumfální tažení z patentového úřadu v Bernu na nejvyšší příčky německého výzkumu se neobešlo bez osobních obětí. Zatímco ve vědecké komunitě jeho sláva rostla, osobní život se mu začal rozpadat. Šlo o nejplodnější Einsteinovo období, jehož výsledky posléze změnilы dějiny lidstva. Na jeho denní rozvrh ale byly kladeny téměř nespílitelné požadavky, což jej odcizovalo od ženy a dětí.

Einstein napsal, že soužití s Milevou bylo jako život na hřbitově, a když spolu byli sami, snažil se vyhnout tomu, aby s ní byl ve stejné místnosti. Jeho přátelé se rozcházeli v názoru na to, kdo nese hlavní díl viny. Mnozí se domnívali, že Mileva je stále osamělejší a ke svému slavnému manželovi cítí stále větší nevraživost. Dokonce i její přátelé byli nešťastní z toho, jak výrazně během těchto let zestárla a sešla. Byla stále svéhlavější a odměřenější a žárlila dokonce i na chvíle, jež Einstein trávil se svými kolegy. Když objevila blahopřejný dopis, jenž Einsteinovi poslala Anna Schmidová (která se s Einsteinem poznala během jeho krátkého pobytu v Aarau a která se mezitím vdala), vybuchla vzteky a rozpoutala pravděpodobně jednu z nejprudších hádek v už tak vratkém manželství.

Jiní měli naopak za to, že Einstein rozhodně nebyl dokonalým manželem, protože neustále cestoval a Mileva jejich dvě děti vychovávala převážně sama. Obtíže spojené s cestováním na přelomu minulého století jsou nechvalně známé a Einstein trávil na cestách celé dny a týdny. Když byl doma, potkávali se s Milevou jen u večeře nebo když si vyšli do divadla.

Byli jako dvě lodě míjející se ve tmě. Einstein byl tak ponořen do abstraktního světa matematiky, že mu zbývalo příliš málo citu na to, aby našel cestu ke své ženě. Ještě horší bylo to, že čím víc si stěžovala na jeho nepřítomnost, tím víc se on stahoval do světa fyziky.

Zřejmě se dá říci, že na obou tvrzeních je špetka pravdy a že by byl nesmysl kohokoliv z nich vinit. Z dnešního pohledu je jasné, že ohromné napětí v jejich manželském vztahu bylo nevyhnutelné. Snad měli pravdu jejich přátelé, když před mnoha lety říkali, že ti dva se k sobě nehodí.

Konečný rozchod ale vyvolalo to, že Einstein přijal nabídku z Berlína. Mileva se do Berlína stěhovat nechtěla. Možná ji příliš děsilo, že by jakožto Slovanka měla žít v centru germánské kultury. Důležitější bylo však to, že v Berlíně žilo hodně Einsteinových příbuzných a Mileva se obávala, že ji přijmou nevlídně a odmítavě. Nebylo žádným tajemstvím, že ji Einsteinova rodina nenávidí. Nejprve odcestovala Mileva s dětmi do Berlína s Einsteinem, ale vzápětí odjela do Curychu a vzala děti s sebou. Už nikdy se k sobě nevrátili. Einstein, jenž své děti nadevše miloval, byl zdrcen. Od tohoto okamžiku byl nucen udržovat vztah se svými syny na dálku, a když je chtěl navštívit, podstupoval úmornou desetihodinovou cestu z Berlína do Curychu. (Einsteinova sekretářka Helen Dukasová později napsala, že když byly nakonec děti svěřeny do péče Milevě, Einstein celou cestu domů proplakal.)

Jednou z příčin tohoto rozkolu ale pravděpodobně bylo i to, že v Berlíně se stále častěji objevovala jistá Einsteinova příbuzná. Einstein později přiznal: „Vedu velice uzavřený život, ale nikoliv život osamělý, a to díky péči mé sestře-nice, jež mě vlastně do Berlína přivedla.“²³

Elsa Lowenthalová byla jeho dvojnásobná sestřenice: její matka a Einsteinova matka byly sestry a jejich dědečkové byli bratři. Byla rozvedená a se svými dvěma dcerami, Margot a Use, bydlela jen o jedno patro nad svými rodiči (Einsteinovou tetou a strýcem). S Einsteinem se krátce setkala roku 1912, když byl v Berlíně na návštěvě. Tehdy již Einstein zřejmě došel k názoru, že jeho manželství s Milevou je u konce a že rozvod je nevyhnutelný. Obával se však, jak by rozvod nesli jeho malí synové.

Elsa měla Einsteina ráda už od dětství. Přiznala, že se do něj jako dítě zamilovala, když jej slyšela hrát Mozarta. Nejvíc ji na něm ovšem zřejmě přitahovala jeho rostoucí sláva v akademickém světě – úcta, již k němu chovali fyzikové po celém světě. S tím, že se na výsluní jeho slávy vyhřívá ráda, se vlastně vůbec netajila. Stejně jako Mileva byla i Elsa starší – bylo jí

o čtyři roky víc než Einsteinovi. Tím ale jejich podobnost končila. Ve skutečnosti byly svými pravými opaky. Einstein se na útěku od Milevy zřejmě vrhl do opačného extrému. Zatímco Mileva na svůj vzhled často nedbala a neustále vypadala uštvaně, chovala se Elsa velice měšťácky a všímala si společenského postavení. Neustále se snažila pěstovat známosti v berlínských intelektuálních kruzích a pyšně Einsteina předváděla všem svým známým z vysoké společnosti. Na rozdíl od Milevy, jež byla lakonická, uzavřená a náladová, byla Elsa lvicí salonů, která poletovala mezi bankety a divadelními premiérami. A na rozdíl od Milevy, jež pokusy o zušlechťování svého manžela vzdala, mu byla Elsa více matkou, která neustále korigovala jeho vystupování a veškerou svou energii věnovala tomu, aby mu pomohla naplnit jeho poslání. Jeden ruský novinář později vztah mezi Einsteinem a Elsou shrnul takto: „Je plná lásky ke svému skvělému manželovi a je vždy připravena ochránit jej před drsnými vpády vnějšího života a zajistit mu klid duše potřebný k tomu, aby jeho úžasné myšlenky dozrály. Naplňuje ji vědomí jeho velkého poslání coby myslitele a také ty nejněžnější city, jaké může družka, manželka a matka k tak podivuhodnému a okouzujícímu dospělému dítěti chovat.“²⁴ Poté, co Mileva roku 1915 z Berlína utekla a vzala děti s sebou, se Einstein s Elsou sblížil ještě více. To, čím se Einstein během tohoto důležitého období trápil, však nebyla láska, ale samotný vesmír.

II. ČÁST

DRUHÁ PŘEDSTAVA

Pokřivený prostoročas

4 . K A P I T O L A

Obecná relativita a „nejšťastnější myšlenka mého života“

Einstein stále nebyl spokojený. Sice už byl počítán mezi přední fyziky své doby, ale přesto neměl stání. Uvědomil si, že v jeho teorii relativity zejí nejméně dvě do očí bijící mezery. Za prvé byla tato teorie založena výlučně na inerciálních pohybech. V přírodě však inerciální není téměř nic. Všechno podléhá zrychlení: přesunované vlaky, listí, které se snáší po klikatých drahách, Země obíhající kolem Slunce, pohybující se nebeská tělesa. Teorie relativity nedokázala vysvětlit dokonce ani ta nejběžnější zrychlení, s nimiž se setkáváme na Zemi.

Za druhé neříkala tato teorie nic o gravitaci. Přišla s dalekosáhlým tvrzením, že je všeobecnou přírodní symetrií, jež platí pro všechny části vesmíru, ale přitom to vypadalo, že gravitace leží mimo její dosah. To bylo také dost nepříjemné, protože gravitace je přítomná všude. Nedostatky relativity byly zřejmé. Protože podle teorie relativity je rychlost světla nejvyšší rychlostí ve vesmíru, mělo by trvat osm minut, než libovolná porucha dorazí od Slunce k Zemi. To však bylo v rozporu s Newtonovou teorií gravitace, která tvrdila, že gravitační účinky jsou okamžité. (Rychlost šíření gravitace je podle Newtona nekonečná, protože rychlost světla v jeho rovnicích nikde nevystupuje.) Aby Einstein do Newtonových rovnic zahrnul rychlost světla, musel je zcela přepracovat.

Einstein si zkrátka uvědomil, jakým obrovským úkolem bude zobecnit teorii relativity tak, aby zahrnovala zrychlení a gravitaci. Své dřívější teorii z roku 1905 začal říkat „speciální teorie relativity“, aby ji odlišil od širší „obecné teorie relativity“, jež byla zapotřebí k popisu gravitace. Když o svém ctižádostivém programu řekl Maxu Planckovi, Planck jej varoval: „Jako váš starší přítel vás od toho musím zrazovat především proto, že neuspějete. Ale i pokud uspějete, nebude vám nikdo věřit.“¹ I Planck si

ovšem uvědomoval důležitost této otázky, protože dodal: „Pokud však úspěchu dosáhnete, budete považován za nového Koperníka.“

Klíčová myšlenka, jež Einsteinovi umožnila rozvinout novou teorii gravitace, ho napadla již roku 1907, kdy ještě dřel jako nižší úředník a zpracovával přihlášky patentů. Později vzpomínal: „Seděl jsem na židli na bernském patentovém úřadu, když mě zčistajasna napadlo, že pokud člověk padá volným pádem, necítí svou vlastní hmotnost. Užasl jsem. Tato jednoduchá myšlenka na mě hluboce zapůsobila. Postrčila mě směrem k teorii gravitace.“²

V jediném okamžiku si Einstein uvědomil, že kdyby ze židle spadl, byl by na chvíli v beztížném stavu. Kdybyste byli například ve výtahu, jehož kabel by najednou prasknul, začali byste padat volným pádem. Padali byste stále stejně rychle jako podlaha výtahu. A protože vy i výtah byste teď padali stejnou rychlostí, zdálo by se vám, že jste v beztížném stavu a vznášíte se vzduchem. Podobně si Einstein uvědomil, že pokud by spadl ze židle, dostal by se do volného pádu, jehož zrychlení by dokonale vyrušilo účinek gravitace, takže by se mu zdálo, že je v beztížném stavu.

Jde o dávno známou představu. Věděl o ní Galileo, jenž podle tradované historky údajně hodil ze šikmé věže v Pise oblézek a dělovou kouli. Právě on jako první ukázal, že všechny předměty na Zemi jsou gravitací urychlovány přesně stejně (9,8 metru za sekundu na druhou). Newtonovi byla tato skutečnost také známa – uvědomil si, že planety a Měsíc jsou ve skutečnosti na svých drahách kolem Slunce či Země ve stavu volného pádu. To, že gravitaci lze vyrušit zrychlením, ví i každý astronaut, který byl kdy vystřelen do vesmíru. Uvnitř kosmické lodi padá všechno včetně podlahy, přístrojů i vás stejně rychle. Proto vám připadá, že se všechno kolem vznáší. Nohy vám plují nad podlahou a vzniká tak zdání, že gravitace zmizela, protože podlaha padá spolu s vaším tělem. A pokud astronaut vystoupí z lodi do otevřeného vesmíru, nespadne náhle na Zemi, ale vznáší se zvolna vedle rakety, protože raketa i on padají ve vzájemné souhře, ačkoliv společně obíhají kolem Země. (Neznamená to, že by gravitace ve vesmíru mizela, jak mylně tvrdí mnohé vědecké knihy. Gravitace Slunce je dost silná na to, aby hnala planetu Pluto po její dráze miliardy kilometrů od Země. Gravitace nezmizela: byla pouze vyrušena pádem kosmické lodi pod vašimi nohama.)

Říká se tomu „princip ekvivalence“. Podle něj všechna hmotná tělesa padají účinkem gravitace se stejným zrychlením (přesněji řečeno –

setrvačná hmotnost je stejná jako hmotnost gravitační). Jde skutečně o dávno známou věc, která pro Galilea a Newtona byla téměř jen kuriozitou, ale v rukou ostříleného fyzika, jako byl Einstein, se měla stát základem nové relativistické teorie gravitace. Einstein postoupil o jeden ohromný krok dál než Galileo či Newton. Formuloval svůj další postulát, na němž stojí obecná relativita: *Fyzikální zákony v urychlené vztažné soustavě a v soustavě, na niž působí gravitace, jsou nerozlišitelné.* Je pozoruhodné, že toto jednoduché tvrzení se v Einsteinových rukou stalo základem teorie, díky níž jsme se později dozvěděli o zakřiveném prostoru, černých dírách a o tom, jak se zrodil vesmír.

Po brilantní myšlence, jež Einsteina napadla roku 1907 na patentovém úřadě, zrála nová teorie gravitace ještě celá léta. Na základě principu ekvivalence se rodila nová představa o gravitaci, ale výsledky svých úvah začal Einstein publikovat teprve roku 1911. Prvním důsledkem principu ekvivalence je skutečnost, že světlo se musí účinkem gravitace ohýbat. Představa, že gravitace by mohla ovlivňovat světelné paprsky, je stará a pochází přinejmenším z dob Isaaca Newtona. Ten se ve své knize *Optika* ptá, zda gravitace může či nemůže ovlivnit světlo hvězd: „Nepůsobí tělesa na světlo na dálku a neohýbají svým účinkem jeho paprsky a není tento účinek nejsilnější při nejmenší vzdálenosti?“³ S technologií sedmnáctého století odpověď bohužel nedokázal nalézt.

Nyní se ale Einstein po více než dvou letech k této otázce vrátil. Představte si, že v kosmické lodi, která je urychlována vesmírem, rozsvítíte baterku. Protože raketa zrychluje směrem vzhůru, stáčí se světelný paprsek dolů. Nyní uplatníme princip ekvivalence. Jelikož fyzikální zákony uvnitř lodi musí být stejné jako fyzikální zákony na Zemi, znamená to, že *gravitace musí ohýbat i světlo.* Pár stručných úvah přivedlo Einsteina k novému fyzikálnímu jevu – ohybu světla v důsledku gravitace. Okamžitě si uvědomil, že takovýto účinek lze vypočítat.

Nejsilnější gravitační pole ve sluneční soustavě vytváří Slunce, takže Einstein si položil otázku, zda by Slunce stačilo k tomu, aby ohnulo světlo přicházející ze vzdálených hvězd. To by šlo ověřit tak, že bychom pořídili dvě fotografie téhož souboru hvězd na obloze, a to ve dvou různých obdobích roku. První snímek těchto hvězd bychom udělali v noci, kdy není světlo hvězd rušeno; druhý snímek bychom udělali o několik měsíců později, až bude Slunce stát přímo před tímto souborem hvězd. Porovnáním obou fotografií by možná šlo změřit, že se hvězdy poblíž

Slunce účinkem jeho gravitace lehce posunuly. Protože Slunce přezáří světlo přicházející z hvězd, musel by být každý pokus zkoumající ohyb světla hvězd prováděn během zatmění Slunce, kdy Měsíc sluneční světlo odstíní a hvězdy jsou vidět i během dne. Einstein tvrdil, že fotografie denní oblohy pořízené během zatmění by v porovnání s fotografiemi téže části oblohy pořízenými v noci měly vykazovat lehké zkreslení poloh hvězd v blízkosti Slunce. (Měsíc díky své gravitaci světlo hvězd také lehce ohýbá, ale v porovnání s mnohem silnějším ohybem, který způsobuje Slunce, jde o hodnotu zcela nepatrnou. Přítomnost Měsíce tudíž na ohyb světla hvězd během zatmění nemá vliv.)

Princip ekvivalence pomohl Einsteinovi přibližně vypočítat pohyb světelných paprsků stahovaných gravitací, ale přesto mu nic neřekl o gravitaci samotné. Chyběla *teorie gravitačního pole*. Vzpomeňte si, že Maxwellovy rovnice popisují skutečnou teorii pole, v níž se siločáry podobají pavučině, která může vibrovat a nést vlny, jež se šíří podél siločar. Einstein hledal gravitační pole, jehož siločáry by nesly gravitační vibrace, které by se šířily rychlostí světla.

Kolem roku 1912, po letech soustředěných úvah, si začal zvolna uvědomovat, že musí přepracovat naše chápání prostoru a času. K tomu byly potřeba nové geometrické systémy, ležící za hranicemi těch, jež jsme podědili od starověkých Řeků. Klíčovým postřehem, který ho nasměroval na cestu vedoucí k zakřivenému prostoročasu, byl paradox, jemuž se někdy říká „Ehrenfestův“ a který Einsteinovi jednou předložil jeho přítel Paul Ehrenfest. Představte si jednoduchý kolotoč nebo otáčející se kotouč. Když je v klidu, víme, že jeho obvod se rovná π krát jeho průměr. Jakmile je však kolotoč uveden do pohybu, pohybuje se vnější okraj rychleji než vnitřek, a tudíž by se měl podle relativity smrštít více než plocha uvnitř, takže kolotoč bude zdeformovaný. To znamená, že obvod se zmenšil a je teď kratší než π krát průměr, neboli povrch kolotoče již není plochý. *Prostor je zakřivený*. Povrch kolotoče lze přirovnat k oblasti ohraničené polárním kruhem. Průměr polárního kruhu můžeme změřit tak, že z jednoho jeho bodu dojdeme přímo přes severní pól až do bodu protilehlého. Potom můžeme změřit i obvod polárního kruhu. Pokud tyto dvě hodnoty porovnáme, také zjistíme, že obvod je kratší než π krát průměr, protože zemský povrch je zakřivený. Poslední dva tisíce let fyzikové a matematici počítali s euklidovskou geometrií, založenou na

plochých povrchů. Co by se stalo, kdyby použili geometrii založenou na povrchů *zakřivených*?

Jakmile si uvědomíme, že prostor může být zakřivený, objeví se nový překvapivý obraz. Představte si těžký kámen položený na posteli. Kámen se do postele samozřejmě zaboří. Nyní cvrnkněte přes postel kuličku. Kulička se nebude pohybovat po přímce, ale po křivce stáčející se kolem kamene. Jsou dvě možnosti, jak tento jev analyzovat. Při pohledu zdálky by zastánce newtonovské fyziky mohl říci, že tu působí tajemná „síla“, která vystupuje z kamene, vstupuje do kuličky a nutí ji ke změně dráhy. I když je tato síla neviditelná, kuličky se zmocní a přitahuje ji. Relativista ale patrně uvidí něco úplně jiného. Podívá-li se na postel zblízka, nevidí, že by kuličku přitahovala nějaká síla. Vidí jen prohlubeň v posteli, která určuje pohyb kuličky. Jak se kulička pohybuje, povrch postele na ni „tlačí“ tak, že se kulička začne v pohybu stáčet.

Nyní nahradíme kámen Sluncem, kuličku Zemí a postel prostorem a časem. Newton by řekl, že Zemi kolem Slunce táhne neviditelná síla nazývaná „gravitace“. Einstein by odpověděl, že žádná gravitační přitažlivost neexistuje. Země je na dráhu kolem Slunce stáčena proto, že na ni tlačí zakřivení *samotného* prostoru. V jistém smyslu gravitace nepřitahuje, ale prostor odtlačuje.

Pomocí tohoto obrázku dokázal Einstein vysvětlit, proč libovolné poruše na Slunci trvá osm minut, než dorazí k Zemi. Pokud například kámen z postele náhle odstraníme, vyskočí její povrch opět do normálního tvaru a vytvoří tak záhyby, jež se budou postelí šířit konečnou rychlostí. Pokud by podobně zmizelo Slunce, vyvolalo by to v zakřiveném prostoru šokovou vlnu, jež by se šířila rychlostí světla. Tento obrázek byl tak jednoduchý a elegantní, že Einstein jeho základní myšlenku dokázal vysvětlit dokonce i svému mladšímu synovi Eduardovi, který se ho ptal, proč je tak slavný. Einstein odpověděl: „Když slepý brouček leze po zahnuté větvičce, nevšimne si, že dráha, již urazil, je ve skutečnosti zakřivená. Já jsem měl to štěstí, že jsem si všiml toho, čeho si ten brouček nevšimnul.“⁴

Newton se ve svém památném díle *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* přiznává, že původ této tajemné přitažlivosti, jež působí okamžitě v celém vesmíru, vysvětlit nedokáže. Slavnou větu *hypotheses non fingo* („Domněnky nevyslovuji.“) použil proto, že nedokázal vysvětlit, odkud se gravitace bere. Spolu s Einsteinem vidíme, že gravitace je

vyvolána zakřivením prostoru a času. Ukazuje se, že „síla“ je jen klam – vedlejší produkt geometrie. Podle této představy nestojíme na Zemi proto, že by nás zemská gravitace stahovala dolů. Podle Einsteina žádná gravitační přitažlivost neexistuje. Země zakřivuje prostoročasové kontinuum kolem našich těl, takže nás na podlahu přitlačuje samotný prostor. Zdání, že zde působí gravitační síla přitahující blízké předměty, tedy způsobuje přítomnost hmoty, která zakřivuje prostor kolem sebe.

Toto zakřivení je samozřejmě neviditelné a Newtonova představa vypadá zdálky správně. Představme si mravence lezoucí po zmuchlaném listu papíru. Když se snaží držet se přímky, zjistí, že jak překonávají záhyby papíru, jsou neustále stahováni doleva či doprava. Z pohledu mravenců to vypadá, jakoby tu působila tajemná síla, která je těmito směry postrkuje. Člověku, jenž se na mravence dívá seshora, je však zřejmé, že tu žádná síla nepůsobí a že mravence postrkuje pouze zakřivení papíru, které iluzi síly vyvolává. Vzpomeňme si, že Newton si prostor a čas představoval jako absolutní vztažnou soustavu popisující veškerý pohyb. Podle Einsteina však prostor a čas mohou hrát i dynamickou roli. Je-li prostor zakřivený, připadá každému, kdo se v jeho rámci pohybuje, že na jeho tělo působí tajemné síly, které ho postrkují tím či oním směrem.

Jakmile Einstein začal porovnávat prostoročas s tkaninou, která se může natahovat a ohýbat, musel se pustit do studia matematických postupů popisujících zakřivené plochy. Rychle zabředl hluboko do osidel matematiky a zjistil, že nedokáže nalézt ty správné nástroje, pomocí nichž by svou novou představu o gravitaci analyzoval. Einstein, který kdysi matematikou jakožto „zbytečnou učeností“ opovrhoval, teď vlastně pykal za ty roky, kdy na Polytechnice matematické přednášky vynechával.

V zoufalství se obrátil na svého přítele Marcela Grossmana. „Grossmane, musíš mi pomoci, nebo se zblázním!“⁵ Přiznával: „Za celý svůj život jsem se netrápil tak jako teď. Dnes mě naplňuje ohromná úcta vůči matematice, jejíž důmyslnější partie jsem dříve považoval za zcela nadbytečný přepych! Ve srovnání s tímto problémem je původní teorie relativity hračka.“⁶

Je velkou ironií osudu, že když Grossman procházel matematickou literaturu, zjistil, že základy matematické disciplíny, kterou Einstein potřebuje, byly skutečně na Polytechnice přednášeny. V geometrii, již roku 1854 vypracoval Bernhard Riemann, Einstein konečně našel matematický nástroj dostatečně mocný na to, aby dokázal zakřivení prostoročasu

popsat. (Když se o mnoho let později ohlížel za tím, jak obtížné bylo tyto nové výpočty zvládnout, řekl jakýmsi středoškolákům: „Netrapte se tím, že vám matematika dělá potíže – ujišťuji vás, že mně dělá ještě větší.“⁷)

Před Riemannem byla matematika založena na euklidovské geometrii – geometrii plochých povrchů. Po tisíce let trápili učitelé školáky starobylými poučkami řecké geometrie, v níž se součet vnitřních úhlů trojúhelníka rovná 180 stupňům a rovnoběžky se nikdy neprotínají. Dva matematici, Rus Nikolaj Lobačevskij a Maďar János Bolyai, se k vytvoření neeuklidovské geometrie dostali nesmírně blízko – jde o geometrii, v níž součet úhlů v trojúhelníku může být větší či menší než 180 stupňů. Teorii neeuklidovské geometrie však nakonec rozvinul „kníže matematiky“ Carl Friedrich Gauss a zvláště jeho student Riemann. (Gauss měl dokonce podezření, že Euklidova teorie nemusí být správná ani ve fyzikální oblasti. Nechal své pomocníky vysílat světelné paprsky z vrcholů Harckých hor a pokoušel se experimentálně vypočítat součet úhlů trojúhelníka tvořeného vrcholky tří kopců. Dospěl tehdy bohužel k zápornému výsledku. Gauss byl také natolik politicky opatrný člověk, že své práce na toto citlivé téma nikdy nezveřejnil, protože se obával hněvu konzervativců, kteří na euklidovskou geometrii přísahali.)

Riemann objevil zcela nové matematické světy – geometrii zakřivených ploch libovolné dimenze, tedy nejen ploch se dvěma či třemi prostorovými rozměry. Einstein byl přesvědčen, že tyto vyšší geometrické teorie přinesou přesnější popis vesmíru. Matematický jazyk „diferenciální geometrie“ poprvé pronikal do světa fyziky. Diferenciální geometrie neboli tenzorový počet – matematická teorie zakřivených ploch libovolné dimenze – byla kdysi považována za „nejzbytečnější“ odnož matematiky, jež zcela postrádá jakýkoliv fyzikální obsah. Teď se z ní najednou stal jazyk samotného vesmíru.

Ve většině Einsteinových životopisů se uvádí, že obecná teorie relativity byla vypracována roku 1915, jako by neomylný Einstein nějakým kouzlem tuto teorii objevil již plně rozvinutou. Teprve v posledních desetiletích byly analyzovány některé z Einsteinových „ztracených zápisníků“, jež zaplňují mnohé mezery z období let 1912 až 1915. Dnes můžeme rozhodující fáze vývoje jedné z největších teorií všech dob rekonstruovat někdy dokonce měsíc po měsíci. Einstein chtěl zejména zobecnit pojem kovariance. Jak už jsme viděli, byla speciální relativita založena na myšlence lorentzovské kovariance, což znamená, že fyzikální

rovnice si po Lorentzově transformaci uchovávají stejný tvar. Nyní chtěl Einstein kovarianci zobecnit na všechna zrychlení a transformace, a nikoliv pouze na inerciální případy. Jinými slovy chtěl rovnice, jež by zachovávaly tvar bez ohledu na to, jakou vztažnou soustavu používáme – ať by byla urychlená, nebo se pohybovala stálou rychlostí. Každá vztažná soustava zase vyžaduje nějaký souřadný systém, pomocí něžž tři prostorové rozměry a čas měříme. To, co Einstein žádal, byla teorie, jež by zachovávala tvar bez ohledu na to, jaké délkové a časové souřadnice bychom při měření této soustavy používali. To jej přivedlo k proslulému principu obecné kovariance: *fyzikální rovnice musí být obecně kovariantní* (tj. musí zachovávat tvar při libovolné změně souřadnic).

Představte si například, že přes stůl přehodíte rybářskou síť. Tato síť představuje obecnou souřadnou soustavu, zatímco plošná velikost stolní desky je tím, co při libovolném pokrčení rybářské sítě zůstává neměnné. Nehledě na to, jak moc síť překroutíme či nakrabatíme, zůstává plocha stolu táž.

Roku 1912 si byl již Einstein vědom toho, že Riemannova matematická teorie je pro popis gravitace tím správným jazykem. Nechal se vést zákonem obecné kovariance a hledal v rámci riemannovské geometrie objekty, které jsou obecně kovariantní. Kupodivu přišel pouze na dva: objem zakřiveného prostoru a jeho zakřivení (nazývané „Ricciho křivost“). To mu nesmírně pomohlo. Tím, že princip obecné kovariance velice silně omezil stavební kameny, jež mohl Einstein při budování teorie gravitace použít, přivedl jej k formulaci v podstatě správné teorie založené na Ricciho křivosti již roku 1912, po pouhých pár měsících studia Riemannových prací. Z nějakého důvodu však Einstein správnou teorii z roku 1912 zavrhnul a začal se zabývat mylnou myšlenkou. Přesný důvod toho, proč správnou teorii opustil, zůstával pro historiky záhadou až do nedávné doby, kdy byly objeveny jeho ztracené zápisníky. Onoho roku, kdy na základě Ricciho křivosti v podstatě vybudoval správnou teorii gravitace, udělal zásadní chybu. Měl za to, že tato teorie porušuje to, co označujeme za „Machův princip“.⁸ Jedna konkrétní verze tohoto principu postuluje, že hmota a energie přítomná ve vesmíru jednoznačně určuje gravitační pole, jež ji obklopuje. Jakmile zafixujete určitou konfiguraci planet a hvězd, je gravitace, jež tyto planety a hvězdy obklopuje, pevně dána. Představte si například, že do rybníka hodíte oblázek. Čím větší tento oblázek je, tím víc se rybník rozvlí. Pokud tedy známe přesnou velikost oblázku, lze

deformaci rybníka jednoznačně určit. Podobně pokud známe hmotnost Slunce, můžeme jednoznačně určit gravitační pole kolem něj.

A právě tady se Einstein zmýlil. Domníval se, že teorie založená na Ricciho křivosti porušuje Machův princip a přítomná hmota a energie neurčují okolní gravitační pole jednoznačně. Se svým přítelem Marcelem Grossmanem se pokusil vypracovat skromnější teorii – takovou, jež by byla kovariantní pouze vůči rotacím (a nikoliv vůči obecnému zrychlení). Protože však opustil princip kovariance, neměl před sebou žádnou jasnou cestu, jež by ho vedla, a strávil tři roky marným blouděním divočinou Einsteinovy-Grossmanovy teorie, jež nebyla ani elegantní, ani užitečná – nedokázala například zreprodukovat Newtonovy rovnice pro slabé gravitační pole. Ačkoliv měl Einstein asi nejlepší fyzikální intuici na světě, nebral na ni ohled.

Během tápání za konečnými rovnicemi se soustředil na tři klíčové pokusy, jež by mohly dokázat správnost jeho představ o zakřiveném prostoru a gravitaci: šlo o ohyb světla hvězd během zatmění, o rudý posuv a o stáčení perihelia Merkuru. Již roku 1911 – dokonce ještě dřív, než začal pracovat na teorii zakřiveného prostoru – Einstein doufal, že by mohla být vyslána expedice, která by na Sibiři během zatmění Slunce dne 21. srpna 1914 zaznamenala ohyb světla hvězd způsobený Sluncem.

Toto zatmění měl sledovat astronom Erwin Finlay Freundlich. Einstein byl o správnosti své práce tak přesvědčený, že nejprve nabízel, že bude tento náročný projekt financovat z vlastní kapsy. „Pokud vše dopadne špatně, uhradím celou tu záležitost ze svých vlastních skrovných úspor – přinejmenším první 2 000 marek,“ napsal.⁹ Nakonec se k financování uvolil jistý bohatý průmyslník. Freundlich měsíc před zatměním odjel na Sibiř, ale pak Německo vyhlásilo Rusku válku, on i jeho asistent byli zajati a bylo jim zabaveno vybavení. (Z dnešního pohledu měl Einstein asi štěstí, že expedice z roku 1914 neuspěla. Pokud by se experiment uskutečnil, výsledky by samozřejmě nesouhlasily s hodnotou, kterou Einsteinova nesprávná teorie předpovídala, a celý jeho program tak mohl být zdiskreditován.)

Dále Einstein vypočítal, jak by gravitace ovlivnila frekvenci světelného paprsku. Pokud ze Země vypustíme raketu a vyšleme ji do vesmíru, působí zemská gravitace jako brzda, jež raketu stahuje zpět. Jak tedy raketa bojuje s gravitací, ztrácí energii. Einstein analogicky usuzoval, že pokud je ze Slunce vyzářeno světlo, působí gravitace jako brzda také na světelný

paprsek a způsobuje, že paprsek ztrácí energii. Světelný paprsek sice nezmění rychlost, ale jak bude při svém boji se sluneční gravitací ztrácet energii, bude klesat jeho vlnová frekvence. Když tedy žlutý světelný paprsek uniká gravitační přitažlivosti Slunce, klesá frekvence jeho světla a to zčervená. Gravitační rudý posuv je však nesmírně slabý a o jeho brzkém laboratorním ověření si Einstein nedělal iluze. (V laboratoři byl gravitační rudý posuv pozorován teprve za další čtyři desetiletí.)

Nakonec se pustil do řešení prastaré otázky: proč dráha Merkuru kolísá a proč se lehce odchyluje od Newtonových zákonů? Planety při svém putování kolem Slunce normálně opisují přesné elipsy až na jemné poruchy způsobené gravitací blízkých planet, takže jejich dráhy připomínají květ sedmikrásky. Oběžná dráha Merkuru však i po odečtení interference způsobené okolními planetami vykazovala malou, ale zřetelnou odchylku od Newtonových zákonů. Tuto odchylku nazývanou „stáčení perihelia“ zaznamenal jako první astronom Urbain Leverrier. Ten roku 1859 vypočítal nepatrný posun o velikosti 43,5 obloukových vteřin zajedno století, který nebylo možné vysvětlit pomocí Newtonových zákonů. (Nebylo to poprvé, co byly v Newtonových pohybových zákonech odhaleny zdánlivé nesrovnalosti. Počátkem 19. století před sebou měli astronomové, které mátko podobné kolébání oběžné dráhy Uranu, těžkou volbu: buď se vzdát pohybových zákonů, nebo postulovat, že existuje další neznámá planeta, jež oběžnou dráhou Uranu cloumá. Když byla roku 1846 objevena nová planeta – jež dostala jméno Neptun a to přesně tam, kde podle Newtonových zákonů měla být, fyzikové si oddechli.)

Merkur však zůstával hádankou. Než aby astronomové zavrhlí Newtona, raději se řídili dávnou tradicí a postulovali existenci nové planety pojmenované „Vulkán“, jež měla kroužit kolem Slunce uvnitř oběžné dráhy Merkuru. Přes opakované zkoumání noční oblohy však astronomové nedokázali přinést žádný experimentální důkaz o tom, že taková planeta existuje.

Einstein byl připraven přijmout radikálnější vysvětlení: možná byly chybné či přinejmenším neúplné samotné Newtonovy zákony. V listopadu roku 1915, po třech letech promarněných prací na Einsteinově-Grossmanově teorii, se vrátil k Ricciho křivosti, již roku 1912 zavrhl, a všiml si své zásadní chyby. (Einstein Ricciho křivost vyloučil proto, že pro dané hmotné těleso dávala více než jedno gravitační pole, což bylo ve zdánlivém rozporu s Machovým principem. Nyní si však díky obecné kovarianci

uvědomil, že tato gravitační pole jsou ve skutečnosti matematicky ekvivalentní a dávají tentýž fyzikální výsledek. Význam obecné kovariance tehdy na Einsteina silně zapůsobil: nejenže kovariance silně omezuje přípustné teorie gravitace, ale dává také jednoznačné fyzikální výsledky, protože mnohá řešení gravitačních rovnic jsou ekvivalentní.¹⁰⁾

Následovalo patrně nejsoustředěnější období v Einsteinově životě. Mořil se tehdy se svou konečnou rovnicí, vyhýbal se všem rušivým vlivům okolí a nelítostně dřel, aby zjistil, zda dokáže odvodit posun perihelia Merkuru. Jeho ztracené zápisníky ukazují, že opakovaně vymýšlel různá řešení a potom je nemilosrdně přezkoumával, aby ověřil, zda v přiblížení slabého gravitačního pole dávají opět Newtonovu starou teorii. Byl to nesmírně vysilující úkol, protože Einsteinovy tenzorové rovnice zahrnovaly deset různých rovnic, nikoliv pouze Newtonovu jedinou. Když s daným řešením neuspěl, vyzkoušel další a opět zjišťoval, zda dává Newtonovu rovnici. Vyčerpávající, takřka herkulovský úkol byl na sklonku listopadu 1915 konečně hotov a Einstein byl na konci sil. Po dlouhých, pracných výpočtech zjistil, že jeho stará teorie z roku 1912 předpovídá pro oběžnou dráhu Merkuru odchylku 42,9 obloukových vteřin za jedno století, což bezpečně odpovídalo chybě experimentu. Einsteina to neuvěřitelně zaskočilo. K jeho nesmírné radosti to byl první hmatatelný experimentální důkaz správnosti jeho nové teorie. „Několik dní jsem byl vzrušením úplně bez sebe,“ vzpomínal. „Moje nejsmělejší sny se splnily.“¹¹ Uskutečnila se jeho celoživotní touha – nalézt relativistické rovnice popisující gravitaci.

To, co Einsteina tak nadchlo, byla skutečnost, že pomocí abstraktního fyzikálně matematického principu obecné kovariance dokázal odvodit nezvratný, přesvědčivý experimentální výsledek: „Představte si mou radost z toho, že obecnou kovarianci bylo možné použít, a ze skutečnosti, že tyto rovnice dávaly správný posun perihelia Merkuru.“¹² Pomocí nové teorie přepočítal ohyb světla hvězd způsobený Sluncem. Protože do své teorie nyní započítal i zakřivení prostoru, zněl konečný výsledek 1,7 obloukových vteřin – dvojnásobek Einsteinovy původní hodnoty (okolo jedné dvoutisíciny stupně).

Einstein byl přesvědčen, že tato teorie je tak jednoduchá, elegantní a obsažná, že žádný fyzik nedokáže jejímu uhrančivému kouzlu uniknout. „Sotvakdo z těch, kdo ji skutečně pochopí, dokáže odolat jejímu půvabu,“ napsal později. „Je to neobyčejně krásná teorie.“¹³ Princip obecné kovariance je kupodivu natolik silný nástroj, že konečná rovnice, jež

popisuje strukturu samotného vesmíru, je dlouhá pouze pár centimetrů. (Dnešní fyzikové žasnou nad tím, že zrod a vývoj vesmíru se dá popsat tak krátkou rovnicí. Fyzik Victor Weisskopf přirovnal tento pocit údivu k pocitu sedláka, jenž poprvé životě vidí traktor. Poté, co si traktor prohlédne a nakoukne pod kapotu, se zmateně zeptá: „Ale kde je ten kůň?“)

Jedinou skvrnkou na Einsteinově triumfu byl drobný svár o prvenství s Davidem Hilbertem, tehdy asi největším žijícím matematikem. Když byla teorie jen pár posledních, závěrečných kroků před dokončením, proslovil Einstein u Hilberta v Göttingenu sérii šesti dvouhodinových přednášek. Einsteinovi dosud chyběly jisté matematické nástroje (nazývané „Bianchiho identity“), což mu znemožňovalo z jednoduchého výrazu nazývaného „akce“ odvodit výsledné rovnice. Hilbert tuto poslední mezeru ve výpočtu zacelil, akci napsal a konečný výsledek potom uveřejnil sám, pouhých šest dnů před Einsteinem. Einsteina to moc nepotěšilo. Vlastně měl za to, že Hilbert se pokusil obecnou teorii relativity ukrást, že udělal poslední krok a chce si přivlastnit zásluhy. Nakonec se mezi ním a Hilbertem všechno urovnalo, ale Einstein si začal na příliš volné sdílení svých výsledků dávat pozor. (Dnes je akce, z níž se obecná relativita odvozuje, známa jako „Einsteinova-Hilbertova“. Hilberta pravděpodobně k doplnění posledního drobného dílku Einsteinovy teorie přimělo to, že – jak často říkával – „fyzika je příliš důležitá na to, aby byla ponechána na fyzicích“.

Tedy že fyzikové pravděpodobně nejsou dostatečně zručnými matematiky na to, aby zkoumali přírodu. Toto stanovisko zřejmě sdíleli i další matematici. Matematik Felix Klein reptal, že Einstein není rozený matematik a směr jeho práce prý určují obskurní fyzikálně filozofické pohnutky. V tom zřejmě tkví základní rozdíl mezi matematikou a fyzikou a je to také důvod, proč se matematikům nedaří objevovat nové fyzikální zákony. Matematici se zabývají výhradně spoustou menších, ucelených oblastí podobných odděleným provinciím. Fyzikové naproti tomu pracují s několika jednoduchými fyzikálními principy, k jejichž vyřešení může být zapotřebí mnoho matematických systémů. Jazykem přírody je sice matematika, ale hybnou silou přírody jsou zřejmě právě tyto fyzikální principy – například relativita a kvantová teorie.)

Zprávy o Einsteinově nové teorii gravitace byly přerušeny vypuknutím války. Atentát, při němž roku 1914 zahynul arcivévoda František Ferdinand d'Este, rozpoutal největší krveprolití této doby a zatáhl britské, rakousko-

uherské, ruské a pruské impérium do tragického konfliktu, který zničil životy desítkám milionů mladých mužů. Z tichých, uhlažených profesorů německých univerzit se ze dne na den stali krvežízniví nacionalisté. Téměř celý profesorský sbor na berlínské univerzitě se nechal strhnout militaristickým šílenstvím a veškerou svou energii zasvětil válečnému úsilí. Aby podpořili císaře, podepsalo devadesát tři předních intelektuálů nechvalně známé provolání „Ke kulturnímu světu“, v němž vyzvali obyvatelstvo, aby se sjednotilo kolem císaře, a zlověstně prohlašovali, že německý lid se musí vzepřít „ruským hordám, které ve spojení s Mongoly a černochoy rozpoutaly válku proti bílé rase“.¹⁴ Tento manifest omlouval německou invazi do Belgie a hrdě provolával: „Německá armáda a německý lid jedno jsou. Toto vědomí nyní spojuje sedmdesát milionů Němců bez rozdílu vzdělání, společenské třídy či politické strany.“¹⁵ Manifest podepsal dokonce i Einsteinův dobrodinec Max Planck, a totéž učinily i takové osobnosti, jako byl Felix Klein a fyzikové Wilhelm Roentgen (objevitel rentgenových paprsků), Walther Nernst a Wilhelm Ostwald.

Přesvědčený pacifista Einstein odmítl manifest podepsat. Elsin lékař Georg Nicolai, přední protiválečný aktivista, požádal sto intelektuálů, aby podepsali protestní manifest. Protože Německo zachvátila bezmezná válečná hysterie, podepsali ho vlastně jen čtyři lidé – mezi nimi i Einstein, který nad tím vším jen nevěřícně vrtěl hlavou. Zapsal si tehdy: „Je neuvěřitelné, co Evropa ve svém bláznovství rozpoutala.“ A smutně dodal: „V takových chvílích si člověk uvědomuje, k jak ubohému živočišnému druhu patří.“¹⁶

Roku 1916 se Einsteinův svět otřásl znovu – tentokrát kvůli šokující zprávě, že jeho blízký přítel a idealista Friedrich Adler, tentýž fyzik, jenž se v Einsteinův prospěch velkomyslně vzdal případné profesury na curyšské univerzitě, spáchal v přeplněné vídeňské restauraci atentát na rakouského ministerského předsedu hraběte Karla von Stürgkh a křičel při tom: „Pryč s tyranií! Chceme mír!“ Zpráva, že syn zakladatele rakouských sociálních demokratů spáchal na tomto národu tak nevýslovný zločin, na sebe strhla pozornost celé země. Adlera okamžitě zavřeli do vězení a hrozil mu trest smrti. Zatímco čekal na proces, vrátil se ke své nejoblíbenější zábavě – fyzice – a začal sepsávat dlouhé pojednání, jež se kriticky vyjadřovalo o Einsteinově teorii relativity. Uprostřed vřavy, kterou jeho čin a jeho možné důsledky rozpoutaly, ho ze všeho nejvíc zaměstnávala myšlenka, že v relativitě našel zásadní chybu.

Adlerův otec Viktor se držel jediné možnosti, kterou obhajoba jeho syna měla. Uvědomil si, že v rodině se vyskytuje duševní porucha, prohlásil, že jeho syn je duševně chorý, a požádal soud o shovívavost. Jako důkaz šílenství svého syna uváděl, že se snaží vyvrátit všeobecně uznávanou Einsteinovu teorii relativity. Einstein se nabízel, že dosvědčí Adlerovu dobrou pověst, ale nebyl předvolán.

Ačkoliv soud původně shledal Adlera vinným a odsoudil jej k trestu smrti oběšením, byl rozsudek později změněn na doživotí, a to díky žádostem o milost, jež podal Einstein i další lidé. (Když roku 1918 po skončení první světové války padla vláda, byl Adler osvobozen a paradoxně dokonce zvolen do rakouského národního shromáždění, kde se stal jednou z nejpopulárnějších postav dělnického hnutí.)

Válka i ohromné duševní úsilí, které musel na vybudování obecné relativity vynaložit, se nevyhnutelně podepsaly na Einsteinově už tak křehkém zdraví.¹⁷ Nakonec ten nápor nevydržel a roku 1917 se v bolestech téměř zhroutil. Byl svým herkulovským duševním výkonem natolik oslabený, že nedokázal opustit byt. Za pouhé dva měsíce povážlivě zhubl o celých pětadvacet kilogramů. Stával se z něj pouhý stín jeho dřívějšího já a měl pocit, že umírá na rakovinu – byl mu však diagnostikován pouze žaludeční vřed. Jeho lékař mu doporučil naprostý klid a změnu stravy. Během tohoto období mu byla Elsa neustále nablízku, churavějšího Einsteina ošetřovala a pomalu mu tak vrátila zdraví. Einstein se tehdy s Elsou i jejími dcerami hodně sblížil, a to hlavně poté, co se přestěhoval do sousedního bytu.

V červnu roku 1919 se Einstein konečně s Elsou oženil. Elsa měla velmi jasnou představu o tom, jak by se měl význačný profesor oblékat. Napomohla tak Einsteinově přeměně z bohémského, staromládeneckého profesora v elegantního, spořádaného manžela, a snad jej tak i připravila na jeho další životní období, kdy se stal heroickou postavou světové scény.

5 . K A P I T O L A

Nový Koperník

Einstein, který se vzpamatovával z rozvratu a chaosu vyvolaného první světovou válkou, dychtivě očekával rozbor nadcházejícího zatmění Slunce, jež mělo nastat 29. května 1919. O provedení rozhodujícího pokusu, jenž měl Einsteinovu teorii ověřit, měl velký zájem jeden z britských vědců, Arthur Eddington. Eddington byl tajemníkem anglické Královské astronomické společnosti a astronomická pozorování prováděl se stejnou lehkostí, s níž se nořil do výpočtů obecné relativity. K provedení tohoto experimentu měl ještě jeden důvod: byl kvaker a jeho pacifistické přesvědčení mu bránilo bojovat za první světové války v britské armádě. Byl odhodlaný raději se nechat zavřít, než odvést. Funkcionáři Cambridgeské univerzity měli obavy, že kdyby jedna z mladých univerzitních vědeckých hvězd šla coby odpírač vojenské služby do vězení, vypukl by skandál. Vyjednali tedy Eddingtonovi u vlády odklad za podmínky, že splní svou občanskou povinnost – konkrétně že povede expedici, která měla roku 1919 pozorovat sluneční zatmění a prověřit Einsteinovu teorii. Jeho oficiální vlasteneckou povinností v rámci válečného úsilí nyní tedy bylo vést výpravu, jež měla ověřit obecnou relativitu.

Arthur Eddington rozbil svůj tábor na ostrově Principe v Guinejském zálivu u západoafrického pobřeží a další tým vedený Andrewem Crommelinem vyplul do Sobralu v severní Brazílii. Celý pokus téměř zmařilo špatné počasí, protože Slunce zakryly dešťové mraky. Ty se ale jako zázrakem v půl druhé odpoledne rozestoupily právě natolik, že se daly fotografovat hvězdy.

Mělo však trvat ještě celé měsíce, než se oba týmy vrátily do Anglie a pečlivě svá data analyzovaly. Když Eddington konečně porovnal své fotografie s jinými snímky, pořízenými stejným dalekohledem o několik měsíců dříve v Anglii, zaznamenal průměrný odklon o velikosti 1,61 úhlové

vteřiny, zatímco tým ze Sobralu došel k hodnotě 1,98 úhlové vteřiny. Když měření zprůměrovali, vyšlo jim 1,79 úhlové vteřiny, což v rámci chyby měření potvrzovalo Einsteinovu předpověď o hodnotě 1,74 úhlové vteřiny. Eddington později rád vzpomínal, že ověření Einsteinovy teorie bylo největším okamžikem jeho života.

Dne 22. září 1919 Einstein konečně obdržel telegram od Hendrika Lorentze, který mu tu úžasnou novinku sděloval. Einstein nadšeně psal matce: „Drahá matko – dnes mám dobré zprávy. H. A. Lorentz mi poslal telegram, v němž mi sděluje, že ona anglická expedice skutečně potvrdila ohyb světla kolem Slunce.“¹ Max Planck prý zůstal celou noc vzhůru, aby se dozvěděl, zda data získaná při slunečním zatmění obecnou relativitu potvrdí. Einstein později žertoval: „Kdyby obecné teorii relativity *skutečně* rozuměl, šel by do postele – stejně, jako jsem to udělal já.“²

Ačkoliv teď již horkými novinkami okolo Einsteinovy nové teorie gravitace žila celá vědecká obec, bouře veřejně propukla teprve na společném londýnském zasedání Královské společnosti a Královské astronomické společnosti dne 6. listopadu 1919. Einstein se z význačného berlínského profesora fyziky najednou proměnil v osobnost světového významu a úctyhodného nástupce Isaaca Newtona. „Panovala zde atmosféra napjatého očekávání, jako vystřižená z řeckého dramatu,“ zaznamenal na tomto setkání filozof Alfred Whitehead.³ Jako první promluvil sir Frank Dyson. Řekl: „Po pečlivém přezkoumání fotografických desek jsem schopen s určitostí prohlásit, že potvrzují Einsteinovu předpověď. Získali jsme zcela jednoznačný výsledek – světlo je odkláněno v souladu s Einsteinovým gravitačním zákonem.“⁴ Nositel Nobelovy ceny J. J. Thomson, prezident Královské společnosti, prohlásil slavnostně, že jde o „jeden z největších úspěchů v historii lidského myšlení. Nejde o objev odlehlého ostrůvku, nýbrž celého nového kontinentu vědeckých myšlenek. V souvislosti s gravitací je to největší objev od doby, kdy Newton formuloval své principy.“⁵

Říká se, že když Eddington shromáždění opouštěl, zastavil jej jiný vědec a zeptal se: „Kolují fámy, že na celém světě Einsteinově teorii rozumějí pouze tři lidé. Vy musíte být jedním z nich.“⁶ Eddington mlčky stál, a tak onen vědec řekl: „Nebudte příliš skromný, pane Eddingtone.“ Eddington pokrčil rameny a řekl: „O to vůbec nejde. Jen jsem přemítal, kdo je asi ten třetí.“⁷

Následujícího dne londýnské *Timesy* rozmázly tuto událost v titulku: „Revoluce ve vědě – Nová teorie vesmíru – Newtonovy myšlenky svrženy – Zásadní prohlášení – Prostor je „pokřivený““. ⁸ (Eddington napsal Einsteinovi: „O Vaší teorii mluví celá Anglie... Pro vědecké vztahy mezi Anglií a Německem je to to nejlepší, co se mohlo stát.“ ⁹ Londýnské noviny si také s uznáním povšimly, že Einstein nepodepsal onen nechvalně známý manifest devadesáti tří německých intelektuálů, jenž tak rozzuřil intelektuály britské.)

Eddington vlastně posloužil jako Einsteinův hlavní obhájce a zástupce jeho myšlenek v anglicky mluvícím světě, kde bránil obecnou relativitu před všemi, kdo ji zpochybňovali. Stejně jako o sto let dříve Thomas Huxley, jenž sehrál roli „Darwinova buldoka“ a v hluboce nábožensky založené viktoriánské Anglii prosazoval kacířskou evoluční teorii, využíval i Eddington při propagaci relativity celou váhu své vědecké pověsti a svůj velký diskutérský talent. Právě toto zvláštní spojení mezi dvěma pacifisty, kvakerem a Židem, pomohlo představit relativitu anglicky hovořícímu publiku.

Celá tahle historie se na světová média valila tak prudce, že to mnohé noviny zaskočilo a zoufale se snažily sehnat kohokoliv, kdo měl alespoň nějaké povědomí o fyzice. List *New York Times* ve spěchu pověřil zpravodajstvím o této horké novince Henryho Crouche, svého experta na golf, který se dopustil četných omylů. Pro noviny *Manchester Guardian* měl tuto událost zpravodajsky pokrýt jejich hudební kritik. Londýnské *Timesy* později Einsteina požádaly, aby o své nové teorii sepsal článek. Když Einstein v *Timesech* objasňoval princip relativity, napsal: „Dnes mě v Německu označují za německého vědce a v Anglii jsem líčen jako švýcarský Žid. Pokud bych začal být lidem trnem v oku, tyto popisy se prohodí a ze mne se stane švýcarský Žid pro Němce a německý vědec pro Angličany.“ ¹⁰

Brzy se stovky novin dožadovaly exkluzivního rozhovoru s tímto úředně ověřeným géniem, tímto nástupcem Koperníka a Newtona. Einsteina obléhali reportéři, kteří potřebovali stihnout uzávěrku. Vypadalo to, že všechny noviny na světě tento příběh uveřejňují na první straně. Možná byla veřejnost, vyčerpaná masakry a nesmyslnou zběsilostí první světové války, zralá na příchod mýtické postavy, která by čerpala z nejhlubších bájí a legend o hvězdách zářících na obloze, o jejichž tajemstvích lidé odpradáвна snili. Einstein dal navíc novou tvář i samotné představě génia. Lidé byli nadšeni z toho, že tento posel hvězd není nijak

odměřený – že to naopak je mladý Beethoven včetně vlající hřívy a pomačkaných šatů, jenž dokáže vtipkovat s tiskem a důmyslnými žerty a bonmoty nadchnout davu.

Einstein tehdy napsal přátelům: „Každý kočí a číšník se dnes pře o to, zda teorie relativity je, či není správná. Osobní přesvědčení v této záležitosti závisí u daného člověka na tom, ke které politické straně náleží.“¹¹ Poté, co zájem o novinky vyprchal, začal však Einstein pociťovat i negativní stránku publicity. „Po té novinové záplavě,“ psal, „mě zavalilo tolik dotazů, pozvánek a výzev, až se mi zdá, že se škvařím v pekle a listonoš je sám ďábel, který na mě neustále křičí a hází mi na hlavu stále další a další balíky dopisů, protože jsem ještě neodpověděl na ty staré.“¹² Nakonec usoudil, že „svět je groteskní blázinec“¹³ a on je přímo uprostřed tohoto „relativistického cirkusu“, jak to nazýval. „Občas si připadám jako děvka,“ stěžoval si. „všichni chtějí vědět, co dělám.“¹⁴ Milovníci kuriozit, podivíni, cirkusoví principálové – ti všichni se domáhali kousíčku Alberta Einsteina. List *Berliner Illustrierte Zeitung* podrobně vylíčil některé z nesnází, jimž náhle slavný vědec čelil – odmítnul například štědrou nabídku uměleckého agenta z londýnského zábavního centra Palladium, který ho chtěl zařadit do programu společně s komedianty, provazochodci a polykači ohně. Na nabídky, které by ho stavěly do pozice kuriozity, Einstein vždy dokázal odpovědět zdvořilým *ne*, ale proti tomu, že jeho jméno najednou dostávaly děti a dokonce i značky doutníků, nemohl dělat zhola nic.

Každý podobně významný objev, jako je ten Einsteinův, nevyhnutelně přivábí houfy pochybovačů, kteří vytáhnou do protiútoků. Skeptiky vedl list *New York Times*. Poté, co se vzpamatoval z počátečního šoku způsobeného tím, že jej britský tisk předběhl, si jeho redaktoři začali Brity dobírat, že jsou tak lehkověrní a že Einsteinovy teorie tak dychtivě přijímají. *New York Times* napsal, že „když se Britové doslechli o fotografickém ověření Einsteinovy teorie, zmocnila se jich, jak se zdá, jakási intelektuální panika... Taje ale pomalu přechází, protože si postupně uvědomují, že Slunce zřejmě stále vychází na východě.“¹⁵ Redaktory v New Yorku zvláště hnětla a jejich podezření budila skutečnost, že lidí, kteří této teorii alespoň trochu rozumí, je na světě tak málo. Naříkali, že to je neamerické a že to hraničí s nedemokratičností. Naletěl snad svět na kanadský žertík?

V akademickém světě dodal skeptikům na legitimitě Charles Lane Poor, profesor nebeské mechaniky z newyorské Kolumbijské univerzity Stál v jejich čele se svým mylným tvrzením: „Údajné astronomické důkazy této teorie, jež Einstein cituje a k nimž se hlásí, neexistují.“¹⁶ Poor přirovnal autora teorie relativity k postavám z knížek Lewise Carrola: „Přečetl jsem rozličné články o čtvrtém rozměru, Einsteinovu teorii relativity i jiné psychologické spekulace o stavbě vesmíru. Po jejich přečtení mám tentýž pocit, jako měl senátor Brandegee po oné slavné večeři ve Washingtonu, když řekl: ‚Připadám si, jako bych se toulal s Alenkou říší divů a dal si šálek čaje s Kloboučníkem‘“¹⁷ Inženýr George Francis Gillette soptil, že relativita je „vyšinutá fyzika... úplně šílená... imbecilní výplod duševní koliky... naprostá stoka bohapustých blábolu... a vúdúistický nesmysl. Roku 1940 již bude relativita považována za hloupý vtip. Einstein je již dnes mrtev a pohřben bok po boku s Andersonem, bratry Grimmovými a Kloboučníkem.“¹⁸ Paradoxní je, že to jediné, čím se tyto osoby zapsaly do povědomí historiků, jsou jejich jalové výpady proti teorii relativity. Vizitkou dobře dělané vědy – i fyziky – je to, že se neřídí soutěжами oblíbenosti ani tím, co tvrdí redaktoři listu *New York Times*, ale pečlivě prováděnými pokusy. Max Planck na adresu zarputilé kritiky, již kdysi čelil, když přišel se svou kvantovou teorií, řekl: „Nová vědecká pravda obvykle nevíteží tak, že by její odpůrci prohlásili, že si je získala či že je přesvědčila, ale proto, že tyto odpůrci postupně vymřou a mladší generace je s touto pravdou seznamována hned od začátku.“¹⁹ Sám Einstein jednou poznamenal: „Velcí myslitelé se vždy střetávali se silným odporem průměrných hlav.“²⁰

Nekritický obdiv tisku k Einsteinovi bohužel vyvolával zášť, závist a nesnášenlivost rostoucího zástupu pomlouvačů. Ve fyzikální komunitě byl nejurputnějším antisemitou Philipp Lenard, nositel Nobelovy ceny za fyziku, jenž určil základní závislost fotoelektrického jevu na frekvenci světla, výsledek, který nakonec vysvětlila Einsteinova teorie světelného kvanta – fotonu. Když byla Mileva v Heidelbergu, chodila dokonce na Lenardovy přednášky. Ve svých odporlivých spiscích pomlouval Lenard Einsteina, že je „židovský podvodník“ a že relativitu „bylo možné předvídat od samého začátku – pokud by rasová teorie byla rozšířenější – jelikož Einstein je Žid“.²¹ Nakonec se stal předním členem skupiny jménem Protirelativistická liga, jež se věnovala vytlačování „židovské fyziky“ z Německa a obnovení čistoty árijské fyziky. Lenard nebyl ve světě fyziky v žádném případě osamocen. Připojily se k němu mnohé osobnosti německé

vědy včetně nositele Nobelovy ceny Johannese Starka a Hanse Geigera (spoluvynálezce Geiger-Müllerova počítače).

V srpnu roku 1920 si tato útočná skupina pomlouvačů rezervovala velký berlínský filharmonický sál s jediným cílem – odsoudit teorii relativity. Je pozoruhodné, že v publiku byl i Einstein. Čelil nepřetržité řadě rozzuřených řečníků, kteří mu do očí spílali do plagiátorů a šarlatánů a nařkli jej, že se jen žene za publicitou. Příští měsíc se podobný střet opakoval, tentokrát na schůzi Společnosti německých vědců v Bad Nauheimu. Vchod do sálu hlídali ozbrojení policisté, kteří měli potlačit každou demonstraci či projev násilí. Účastníci se Einsteinovi vysmívali, a když se pokoušel odpovědět na některá z Lenardových plamenných obvinění, vypískali ho. Zprávy o této hlasité výměně názorů se dostaly do londýnských novin a britskou veřejnost rozrušily pověsti o tom, že tento velký německý vědec má být z Německa vyštván. Zástupce německého ministerstva zahraničí v Londýně ve snaze utišit fámy prohlásil, že by pro německou vědu bylo katastrofou, kdyby Einstein z Německa odjel, a že „takového muže... jehož můžeme využít v rámci účinné kulturní propagandy, bychom neměli zapudit“.²²

V dubnu roku 1921, se Einstein, na kterého se jen valila pozvání ze všech koutů světa, rozhodl, že svou nově nabytou slávu využije k prosazování nejen relativity, ale i svých dalších cílů. Mezi ty nyní patřil i mír a věc sionismu. Einstein totiž konečně znovu objevil své židovské kořeny.²³ Za dlouhých rozhovorů se svým přítelem Kurtem Blumenfeldem si začal plně uvědomovat hluboké utrpení, které židovský lid zažíval již celá staletí. Einstein později napsal, že právě díky Blumenfeldovi „si uvědomil svou židovskou duši“.²⁴ Přední sionista Chaim Weizmann se soustředil na myšlenku využít Einsteina jako magnet, jenž přitáhne finanční prostředky pro hebrejskou univerzitu v Jeruzalémě. Tento záměr mělo podpořit i Einsteinovo turné po význačných amerických městech.

Jakmile Einsteinova loď vplula do doku v newyorském přístavu, sesypali se na něj reportéři, kteří ho chtěli zahlédnout aspoň koutkem oka. Ulice New Yorku lemovaly davy lidí, kteří se přišli podívat na kolonu automobilů, jež ho vezla, a kteří mu provolávali slávu, když jim ze své otevřené limuzíny zamával. „Tady je to jako v cirkuse,“ řekla Elsa, když jí někdo hodil kytici květů.²⁵ Einstein se zadumal: „Newyorské dámy chtějí mít každý rok jiný styl. Letos je v módě relativita.“ A dodal: „Copak

vypadám jako nějaký šarlatán nebo hypnotizér, že přitahuju lidi jako cirkusový klaun?“²⁶

Jak se dalo čekat, vzbudil Einstein silný zájem veřejnosti a povzbudil sionistickou věc Gratulanti, milovníci kuriozit i obdivovatelé z řad Židů zcela zaplnili každou posluchárnu, kde hovořil. Do historické zbrojnice devětašedesátého regimentu na Manhattanu se namačkala masa osmi tisíc lidí a třem tisícům dalších, kteří nedočkavě čekali, aby mohli génia zahlédnout, musel být vstup odepřen.²⁷ Jedním z vrcholných okamžiků celé Einsteinovy cesty bylo přijetí na newyorské městské univerzitě. Isidor Isaac Rabi, pozdější nositel Nobelovy ceny, si z Einsteinovy přednášky odnášel dlouhé zápisky a žasnul nad tím, že Einstein má na rozdíl od jiných fyziků charisma a umí si naklonit dav. (Obrázek, na němž jsou všichni studenti namačkáni kolem Einsteina, visí v kanceláři ředitele newyorské městské univerzity dokonce ještě dnes.)

Po odjezdu z New Yorku vypadala Einsteinova cesta Spojenými státy jako jízda zastávkovým autobusem a vedla přes několik velkých měst. V Clevelandu ho obklopil třítisícový dav. Vážnému zranění prý tehdy unikl „pouze díky ohromnému úsilí čtyř židovských válečných veteránů odrážejících lidi, kteří se zoufale snažili jej zahlédnout“.²⁸ Ve Washingtonu se setkal s prezidentem Warrenem G. Hardingem. Bohužel spolu nemohli komunikovat, protože Einstein nemluvil anglicky a Harding nemluvil ani německy, ani francouzsky. (Celkově vynesla Einsteinova rušná cesta téměř milion dolarů, přičemž jen večírek v hotelu Waldorf Astoria, kde hovořil k osmi stům židovských lékařů, přinesl 250 000 dolarů.)

Nejenže jeho cesty po Spojených státech seznámily miliony Američanů se záhadami prostoru a času, ale posílily také Einsteinovu hlubokou a upřímnou oddanost židovské věci. Einstein, jenž vyrůstal v zajištěné středostavovské evropské rodině, se do přímého kontaktu s utrpením chudých Židů z celého světa nedostal. „Poprvé v životě jsem viděl Židy jako celek,“ poznamenal.²⁹ „Teprve v Americe jsem objevil židovský národ. Do té doby jsem viděl mnoho Židů, ale ani v Berlíně, ani nikde jinde v Německu jsem se nesetkal s židovským národem. Židovský národ, který jsem viděl v Americe, pocházel z Ruska, z Polska a obecně z východní Evropy.“³⁰

Po Spojených státech odjel Einstein do Anglie, kde se setkal s arcibiskupem canterburským. K úlevě duchovenstva jej Einstein ujistil, že teorie relativity nebude podkopávat morálku lidí ani jejich náboženskou

víru. Poobědval u Rothschildů a setkal se s velkým klasickým fyzikem, lordem Rayleighem, jenž mu řekl: „Chápu to tak, že pokud jsou vaše teorie správné... potom se události, k nimž došlo, řekněme, při dobývání Anglie Normany, ještě nestaly.“³¹ Když byl představován lordu Haldaneovi a jeho rodině, Haldaneova dcera při pohledu na něj omdlela. Později vzdal Einstein poctu Isaacu Newtonovi, prohlédl si jeho hrobku na nejposvátnější anglické půdě, ve Westminsterském opatství, a položil k ní věnec. V březnu roku 1922 obdržel Einstein pozvání, aby promluvil na Collège de France. V Paříži se na něj sesypali novináři a pronásledovaly ho obrovské davy lidí. Jeden novinář poznamenal: „Stala se z něj ohromná móda. Akademici, politikové, umělci, policisté, taxikáři i kapsáři vědí, kdy Einstein přednáší. Pařížská smetánka ví o Einsteinovi úplně všechno a vykládá o něm ještě daleko víc.“³² Tuto cestu doprovázely spory, jelikož někteří vědci, kteří se dosud nepřenesli přes jizvy z první světové války, jeho přednášku bojkotovali a vymlouvali se, že se jí zúčastnit nemohou, protože Německo není členem Společnosti národů. (Jeden pařížský list jim jízlivě odpověděl: „Kdyby nějaký Němec objevil lék na rakovinu nebo tuberkulózu, muselo by těchto třicet akademiků čekat, až se Německo stane členem Společnosti národů, aby jej mohli použít?“³³)

Einsteinův návrat do Německa však narušila politická nestabilita v poválečném Berlíně. Začalo období zlověstných politických atentátů. Roku 1919 byli zavražděni předáci socialistů Rosa Luxemburgová a Karl Liebknecht. Walther Rathenau, židovský fyzik a Einsteinův kolega, jenž vystoupal až na pozici německého ministra zahraničních věcí, byl v dubnu roku 1922 ve svém voze zastřelen dávkou ze samopalů. O pár dnů později byl při pokusu o atentát vážně zraněn také další židovský představitel, Maximilian Harden.

K uctění Rathenauovy památky byl vyhlášen den státního smutku a divadla, školy i univerzity zavřely své brány. Poblíž budovy parlamentu, kde se konal smuteční obřad, stál mlčky milion lidí. Philipp Lenard však odmítnul své přednášky ve fyzikálním ústavu v Heidelbergu zrušit. (Předtím dokonce Rathenauovu vraždu obhajoval.³⁴ V den státního smutku se skupina dělníků snažila Lenarda přesvědčit, aby své přednášky zrušil, ale on na ně z druhého patra budovy vylil kbelík vody. Nato vnikli dělníci do ústavu a vyvlekli Lenarda ven. Policie zasáhla právě ve chvíli, kdy se ho chystali hodit do řeky.)

Onoho roku byl v Berlíně obviněn mladý Němec Rudolph Leibus z toho, že nabízel odměnu za vraždu Einsteina a dalších intelektuálů a prohlašoval, že „je vlasteneckou povinností tyto představitele pacifistických nálad zastřelit“.³⁵ Soud jej shledal vinným, ale uložil mu pokutu odpovídající pouhým šestnácti dolarům. (Einstein bral tyto hrozby vážně – ze strany antisemitů i vyšinutých jedinců. Jistá duševně nevyrovnaná ruská přistěhovalkyně, Eugenia Dicksonová, napsala Einsteinovi řadu výhrůžných dopisů, v nichž blouznila o tom, že je podvodník, jenž se za skutečného Einsteina pouze vydává, a nakonec vtrhla do Einsteinova domu a chtěla jej zabít. Než ale mohla pomatená žena Einsteina napadnout, utkala se s ní ve dveřích Elsa, přemohla ji a zavolala policii.³⁶)

Tváří v tvář nebezpečnému vzestupu antisemitismu se Einstein chopil příležitosti a vydal se na další světové turné, tentokrát do Orientu. Filozof a matematik Bertrand Russell byl totiž předtím na přednáškovém turné po Japonsku a jeho hostitelé jej požádali, aby uvedl pár nejvýznačnějších lidí té doby, kteří by mohli v Japonsku přednášet. Russell okamžitě jmenoval Lenina a Einsteina. Jelikož Lenin pochopitelně nebyl k dispozici, putovala pozvánka k Einsteinovi. Ten ji přijal a v lednu 1923 se vydal na svou další odyseu. „Život je jako jízda na bicyklu. Abyste udrželi rovnováhu, musíte pořád jet,“ napsal.³⁷

Během cesty do Japonska a Číny obdržel Einstein ze Stockholmu zprávu, která měla podle mnohých názorů přijít již dávno. Telegram potvrzoval, že Einstein získal Nobelovu cenu za fyziku. Nebyla mu však udělena za teorii relativity, jeho největší úspěch, ale za fotoelektrický jev. Když Einstein konečně příští rok při předávání ceny proslovil svou slavnostní přednášku, opět posluchače svým typickým způsobem šokoval, protože vůbec nehovořil o fotoelektrickém jevu, jak všichni očekávali, ale o relativitě.

Proč trvalo tak dlouho, než Einstein, jenž byl zdaleka nejvýraznější a nejuznávanější osobností fyziky, Nobelovu cenu získal? Ironií osudu ho mezi lety 1910 a 1921 výbor pro udělování Nobelových cen osmkrát odmítnul. Během tohoto období byly uskutečněny četné pokusy, které měly správnost relativity ověřit. Sven Hedin, člen nobelovského nominačního výboru, později přiznal, že tyto potíže způsoboval Lenard, jenž měl na ostatní posuzovatele včetně Hedina velký vliv. Nositel Nobelovy ceny fyzik Robert Millikan také vzpomínal, že nobelovský nominační výbor byl v názoru na relativitu rozpolcený, a tak nakonec dal

jednomu svému členovi za úkol tuto teorii vyhodnotit: „Ten člověk tráví studiem Einsteinovy teorie relativity veškerý svůj čas, ale nedokázal ji pochopit. Neodvážil se tedy cenu udělit a riskovat, že by se někdy později zjistilo, že teorie relativity je chybná.“³⁸

Jak Einstein kdysi slíbil, poslal peníze za Nobelovu cenu Milevě jako součást finančního vyrovnání po rozvodu (šlo o 32 000 dolarů v hodnotě z roku 1923). Mileva za peníze nakonec koupila tři činžovní domy v Curychu.

Ve dvacátých a třicátých letech 20. století byl již Einstein velikánem světové scény³⁹ Noviny se dožadovaly rozhovorů, jeho tvář se usmívala z filmových týdeníků, byl zaplaven úpěnlivými žádostmi o přednášky a novináři nedočkavě publikovali každou bezvýznamnou drobnůstku z jeho života. Einstein vtipkoval, že je jako král Midas až na to, že vše, čeho se dotkne, se promění v novinové titulky. Když měli studenti newyorské univerzity jmenovat nejpopulárnější světovou osobnost roku 1930, zvolili na prvním místě Charlese Lindbergha a na druhém místě skončil Albert Einstein, který tak předstihl všechny hollywoodské filmové hvězdy. Kamkoliv Einstein přišel, přitahovala již jen pouhá jeho přítomnost obrovské davy. Například když se čtyři tisíce lidí pokoušely prodat do Amerického přírodopisného muzea v New Yorku na film, který vysvětloval relativitu, málem propukly pouliční bouře. Jistá skupina průmyslníků dokonce finančně podpořila výstavbu Einsteinovy věže v německé Postupimi – šlo o solární observatoř futuristického vzhledu, jež byla dokončena roku 1924 a jejíž dalekohled byl umístěn ve věži o výšce 16 metrů. Po Einsteinovi byla ze strany umělců a fotografů, kteří chtěli zachytit tvář génia, taková sháňka, že do popisu své práce uváděl „umělecký model“.

Tentokrát však již neudělal stejnou chybu, již se dopustil v případě Milevy, kterou při svých cestách po světě zanedbával. Elsu bral k její radosti s sebou, aby se spolu s ním zdravila s celebritami, příslušníky královských rodin i mocnými tohoto světa. Elsa zase svého muže zbožňovala a užívala si jeho světovou slávu. Byla „laskavá, vřelá a mateřská; byla to typická měšťačka a velmi ráda se o svého Bertíka starala.“⁴⁰

Roku 1930 podnikl Einstein druhou triumfální cestu do Spojených států. Když navštívil San Diego, poznamenal o něm humorista Will Rogers: „S každým zašel na jídlo, se všemi promluvil, každému, komu ještě vůbec zbýval nějaký film, zapózoval, účastnil se všech slavnostních obědů a

večeří, všech filmových premiér, všech svateb a dvou třetin rozvodů. Vlastně se z něj vyklubal tak milý chlapík, že nikdo nesebral dost odvahy, aby se ho zeptal, o čem ta jeho teorie vlastně je.“⁴¹ Einstein navštívil Kalifornský technický institut a hvězdárnu na hoře Mount Wilson, kde se setkal s astronomem Edwinem Hubblem, jenž ověřil některé z Einsteinových teorií o vesmíru. Zavítal také do Hollywoodu, kde se mu dostalo oslnivého přivítání hodného hvězdy. Roku 1931 se s Elsou zúčastnil světové premiéry Chaplinova filmu *Světla velkoměsta*. Davy lidí se tlačily, aby jen na prchavý okamžik zahlédly světoznámého vědce obklopeného hollywoodskými potentáty. Když obecenstvo při premiéře Chaplinovi a Einsteinovi vášnivě aplaudovalo, poznamenal Chaplin: „Mně lidé tleskají proto, že mi každý rozumí, a vám tleskají proto, že vám nerozumí nikdo.“ Einstein vyvedený z míry hysterií, kterou celebrity vzbuzují, se zeptal, co to všechno znamená. „Nic,“ odpověděl mu moudře Chaplin.⁴² (Když Einstein navštívil slavný kostel v newyorském Riverside, zahlédl svůj obličej na vitráži, která představovala velké světové filozofy, vůdce a vědce. Zažertoval: „Dokázal bych si představit, že si ze mě udělají světce Židé, ale nikdy bych si nepomyslel, že to udělají protestanti!“⁴³)

Einstein byl také vyhledáván pro své názory na filozofii a náboženství. Jeho setkání s dalším nositelem Nobelovy ceny, indickým mystikem Rabíndranáthem Thákurem, k sobě roku 1930 přitáhlo značnou pozornost tisku. Díky Einsteinově vlající bílé hřívě a Thákurově stejně impozantnímu dlouhému bílému vousu tvořili ti dva pozoruhodnou dvojici. Jeden novinář poznamenal: „Bylo zajímavé vidět je společně – Thákura, básníka s hlavou myslitele, a Einsteina, myslitele s hlavou básníka. Kdo přihlížel, ten měl dojem, jak by tu byly do hovoru pohrouženy dvě planety.“⁴⁴

Einstein již od té doby, co si jako dítě přečetl Kanta, choval nedůvěru vůči tradiční filozofii, o níž se domníval, že se často zvrhává v okázalé, avšak v konečném důsledku příliš zjednodušující hříčky. Poznamenal si: „Nevypadá snad celá filozofie, jako by byla psána medem? Když o ní člověk uvažuje, zdá se úžasná, ale když se na ni podíváte znovu, je pryč. Zůstane z ní jenom břečka.“⁴⁵ Thákur se s Einsteinem střetl v otázce, zda může svět existovat nezávisle na lidské existenci. Zatímco Thákur zastával mystický názor, že lidská existence je pro realitu zásadní, Einstein opáčil: „Svět, bereme-li jej z fyzikální stránky, skutečně existuje nezávisle na lidském vědomí.“⁴⁶ V otázce fyzikální reality se neshodli, ovšem co se týče víry a morálky byli o něco více zajedno. V oblasti etiky se Einstein domníval, že

morálku určují lidé, nikoliv Bůh. „Morálka je nanejvýš důležitá – avšak pro nás, a ne pro Boha,“ podotknul Einstein. „Nevěřím v nemorálnost jednotlivce a etiku považuji výlučně za lidskou záležitost, za níž nestojí žádná nadpřirozená moc.“⁴⁷

Ačkoliv byl vůči tradiční filozofii skeptický, choval hlubokou úctu k náboženským mystériím, zvláště k otázce podstaty existence. Jednou napsal: „Věda bez náboženství je chromá, náboženství bez vědy je slepé.“⁴⁸ Tomuto vědomí tajemná také připisoval roli zdroje veškeré vědy: „všechny krásné úvahy v říši vědy pramení z hlubokého náboženského cítění.“ Napsal také: „Nejkrásnější a nejhlubší zkušenost, již může člověk získat, je pocit tajemná. To je onen základní princip náboženství i všech vážných počinů v umění a vědě.“⁴⁹ A dochází k závěru: „Pokud je ve mně cosi, co by bylo možné označit za bohabojnost, potom je to právě onen bezmezný obdiv ke struktuře světa, kterou dokáže odhalit věda.“⁵⁰ Svůj pravděpodobně nejelegantnější a nejotevřenější výrok o náboženství napsal roku 1929: „Nejsem ateistou a nedomnívám se, že bych se mohl označit za panteistu. Jsme v situaci malého dítěte, které vstupuje do ohromné knihovny plné knih psaných mnoha různými jazyky. To dítě ví, že někdo ty knihy musel napsat. Neví ale jak. Nerozumí jazykům, jimiž jsou knihy napsány. Dítě jen nejasně tuší tajemný systém v uspořádání knih, ale nezná jej. Připadá mi, že právě takový postoj má k Bohu i ta nejinteligentnější lidská bytost. Vidíme, že vesmír je podivuhodně uspořádaný a řídí se jistými zákony, jimž však rozumíme pouze matně. Onu tajemnou sílu, jež hýbe souhvězdími, naše omezená mysl nedokáže uchopit. Spinozův panteismus mě fascinuje, ale dokonce ještě více obdivuji jeho příspěvek k modernímu myšlení, protože on je prvním filozofem, jenž se zabýval duší a tělem jakožto jedinou, a nikoliv dvěma oddělenými entitami.“⁵¹

Einstein často zdůrazňoval rozdíl mezi dvěma druhy Boha, které jsou při diskuzích o náboženství často směřovány. Za prvé je tu osobní Bůh – Bůh, jenž vyslyší modlitby, rozdělí vody a koná zázraky. To je Bůh z Bible, Bůh, který vstupuje do děje. A dále existuje Bůh, v nějž věřil Einstein – Spinozův Bůh: Bůh, který určil jednoduché a elegantní zákony, jimiž se řídí vesmír.

Dokonce ani uprostřed tohoto mediálního poprasku se Einstein jakýmsi zázrakem nikdy nepřestal soustředit na cíl a své úsilí zaměřil právě na zkoumání těchto zákonů vesmíru. Ať se plavil na zaoceánských lodích, či

podnikal dlouhé cesty vlakem, měl vždy dost sebekontroly na to, aby se nenechal rušit svým okolím a koncentroval se na práci. Během tohoto období ho zaujala skutečnost, že jeho rovnice dokázaly rozluštit strukturu samotného vesmíru.

6 . K A P I T O L A

Velký třesk a černé díry

Měl vesmír počátek? Je konečný nebo nekonečný? A bude mít nějaký konec? Když se Einstein – stejně jako před ním Newton – začal sám sebe ptát, co jeho teorie případně říká o kosmu, stál před ním okruh otázek, nad nimiž si fyzikové lámali hlavy již o celá staletí dříve.

Roku 1692, pět let poté, kdy Newton dokončil své mistrovské dílo, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ho zaskočil dopis, který obdržel od jistého kněze, Richarda Bentleyho. Bentley poukazoval na to, že pokud je gravitace výlučně přitažlivá a nikdy odpudivá, potom se každý statický soubor hvězd nutně musí zhroutit sám do sebe. Tento jednoduchý, avšak pádný postřeh vyvolával mnohé otázky. Vesmír totiž vypadal poměrně stabilně – pokud bychom však Newtonově všeobecné gravitaci dali dostatek času, celý vesmír by se jejím přičiněním zhroutil! Bentley vystihl klíčový problém, s nímž se musí vypořádat každá kosmologie, v níž je gravitace přitažlivou silou: konečný vesmír musí být nutně nestabilní a dynamický.

Newton se nad touto znepokojivou otázkou zamyslel a poté Bentleymu odepsal. Aby se vesmír zhroucení vyhnul, musí se podle Newtona skládat z nekonečného, stejnorodého souboru hvězd. Pokud by vesmír skutečně byl nekonečný, potom by každá hvězda byla přitahována do všech směrů stejně a vesmír by tudíž mohl být stabilní dokonce i tehdy, kdyby gravitace byla výlučně přitažlivá. Newton psal: „Pokud by hmota byla rovnoměrně rozptýlena po celém nekonečném prostoru, nikdy by se nenakupila do jediného tělesa... takže by mohlo vzniknout Slunce a stálice.“¹

Jestliže však přijmeme tento předpoklad, potom vyvstává další, hlubší problém, známý jako „Olbersův paradox“. Ten si klade zcela jednoduchou otázku, proč je noční obloha černá. Pokud je vesmír skutečně nekonečný, statický a stejnorodý, měli bychom na kterémkoliv místě oblohy vidět hvězdu. Do oka by nám proto mělo z každého směru dopadat nekonečné

množství světla z hvězd a noční obloha by měla být bílá, nikoliv černá. Takže pokud je vesmír stejnorodý a konečný, zhroutí se, ale kdyby byl nekonečný, obloha by měla zářit jasným světlem.

S týmiž problémy, i když v poněkud zastřené podobě, se o více než dvě stě let později potýkal Einstein. Roku 1915 byl vesmír útulné místo, o němž se mělo za to, že se skládá z jediné neměnné a osamělé galaxie – Mléčné dráhy. Tento jasný pás světla přetínající noční oblohu sestává z miliard hvězd. Když však Einstein začal řešit své rovnice, narazil na cosi, co jej rozrušilo a co neočekával. Ve své úvaze předpokládal, že vesmír je rovnoměrně vyplněn plynem, který mu přibližně nahradil hvězdy a prachová mračna. Ke svému velkému zděšení ale zjistil, že jeho vesmír je dynamický – že se buď rozpíná, či smršťuje, avšak nikdy není stabilní. Záhy se ocitl na nejisté půdě kosmologických otázek, jež filozofy a fyziky, jako byl Newton, mátlý po celé věky. Pokud v konečných vesmírech působí gravitace, nejsou nikdy stabilní.

Einstein, jenž byl stejně jako Newton donucen vyrovnat se s dynamickým vesmírem, který se smršťuje či rozpíná, nebyl dosud připraven zavrhnout tehdy převládající představu vesmíru nadčasového a statického. Ani revolucionář Einstein nebyl ještě dost revoluční na to, aby akceptoval fakt, že vesmír se rozpíná, neboli že měl počátek. Jeho řešení bylo nakonec dost nepřesvědčivé. Roku 1917 zavedl do svých rovnic „kosmologickou konstantu“, již bychom mohli označit za jakýsi „švindl faktor“. Tento faktor postuloval existenci odpudivé antigravitace, jež vyvažovala gravitační přitažlivost. Vesmír se tedy nyní na Einsteinův rozkaz přestal měnit.

Einstein mohl tento uskok provést, protože si uvědomil, že obecná kovariance – onen hlavní matematický princip, na němž obecná relativita spočívá – připouští dva obecně kovariantní objekty: Ricciho křivost (jež tvoří základ obecné relativity) a objem prostoročasu. Mohl tedy do svých rovnic přidat druhý člen, který byl v souladu s obecnou kovariancí a byl úměrný objemu vesmíru. Kosmologická konstanta jinými slovy přiřazovala určitou energii prázdnému prostoru. Tento antigravitační člen, který se dnes nazývá „temná energie“, odpovídá energii čistého vakua. Podle toho, zda je kladný či záporný, dokáže galaxie buď rozhánět od sebe, nebo je stahovat k sobě. Einstein hodnotu kosmologické konstanty zvolil přesně tak, aby vyvážila smršťování způsobené gravitací, takže vesmír byl náhle statický. Einstein s tímto řešením nebyl příliš spokojený, protože zavánělo

matematickým podvůdkem, ale pokud chtěl statický vesmír zachovat, neměl na výběr. (Důkaz existence kosmologické konstanty, o níž se dnes domníváme, že je dominantním zdrojem energie ve vesmíru, našli astronomové až za dalších osmdesát let.)

Tato záhada se v průběhu následujících několika let, kdy byla nalezena další řešení Einsteinových rovnic, ještě prohloubila. Roku 1917 zjistil holandský fyzik Willem de Sitter, že Einsteinovy rovnice mají jedno zvláštní řešení: prázdný vesmír, jenž neobsahuje žádnou hmotu, a přesto se rozpíná! Vše, co k tomu potřebujeme, je kosmologická konstanta – energie vakua, jež rozpínající se vesmír pohání. To Einsteina vyvádělo z míry, protože se dosud – stejně jako dříve Mach – domníval, že charakter prostoročasu by měl být určen hmotou obsaženou ve vesmíru. Tady měl ale vesmír, jenž se rozpínal absolutně bez jakékoliv hmoty a kupředu ho hnala jen temná energie.

Poslední rozhodující krok udělali roku 1922 Alexander Friedmann a roku 1927 belgický kněz Georges Lemaitre, kteří ukázali, že rozpínající se vesmír je přirozeným důsledkem Einsteinových rovnic. Friedmann získal řešení Einsteinových rovnic tak, že vycházel z homogenního, izotropního vesmíru, jehož poloměr se buď zvětšuje, nebo zmenšuje. (Friedmann bohužel roku 1925 zemřel v Leningradu na tyfus, takže nemohl své řešení dále rozpracovat.) Podle Friedmannovy-Lemaitreovy představy existují v závislosti na hustotě vesmíru tři možná řešení. Pokud je hustota vesmíru vyšší než jistá kritická hodnota, potom gravitace nakonec rozpínání vesmíru zvrátí a vesmír se začne smršťovat. (Tato kritická hustota je zhruba šest vodíkových atomů na krychlový metr.) V tomto vesmíru je celkové zakřivení kladné (podobně má kladné zakřivení i koule). Pokud je hustota vesmíru nižší než tato kritická hodnota, potom gravitace není dost silná na to, aby rozpínání vesmíru zvrátila, a ten se bude rozpínat navždy. (Jak se bude vesmír rozpínat, přiblíží se nakonec jeho teplota absolutní nule, čemuž se občas říká „velký zámrz“.) V tomto vesmíru je celkové zakřivení záporné (podobně má záporné zakřivení sedlo či lesní roh). Konečně je tu možnost, že vesmír bude balancovat právě na této kritické hodnotě (i v tomto případě se ovšem bude navždy rozpínat). Takový vesmír má zakřivení nulové, takže je plochý. Osud vesmíru lze tudíž v principu určit jednoduše tak, že změříme jeho průměrnou hustotu.

Vývoj v tomto směru se komplikoval, protože teď už existovaly nejméně tři kosmologické modely toho, jak by se vesmír měl vyvíjet

(Einsteinův, de Sitterův a Friedmannův-Lemaitreův). Celá záležitost usnula až do roku 1929, kdy ji konečně vyjasnil astronom Edwin Hubble, jehož výsledky otřásly samotnými základy astronomie. Nejprve zbořil teorii vesmíru skládajícího se z jediné galaxie, protože dokázal přítomnost dalších galaxií daleko mimo Mléčnou dráhu. (Vesmír, jenž již zdaleka nebyl oním útulným souborem sto miliard hvězd poskládaných do jediné galaxie, nyní obsahoval galaxií miliardy a každá z nich obsahovala miliardy hvězd. Během jediného roku vesmír náhle explodoval.) Hubble zjistil, že jiných galaxií jsou možná miliardy a že nejbližší z nich je Andromeda, vzdálená asi dva miliony světelných let od Země. (Slovo „galaxie“ pochází vlastně z řeckého výrazu pro mléko, protože staří Řekové si mysleli, že Mléčná dráha je mléko, jež bohové rozlili po noční obloze.)

Již toto šokující odhalení samo o sobě by Hubbleovi zajistilo slávu a místo mezi velikány astronomie. Hubble však šel ještě dál. Roku 1928 podnikl osudovou cestu do Holandska. Tady se setkal s de Sitterem, který tvrdil, že Einsteinova obecná relativita předpovídá rozpínající se vesmír, v němž platí jednoduchý vztah mezi rudým posuvem a vzdáleností. Čím dál od Země nějaká galaxie je, tím rychleji se bude vzdalovat. (Tento případ rudého posuvu je lehce odlišný od rudého posuvu, o němž Einstein uvažoval roku 1915. V tomto případě je posuv způsoben tím, že se daná galaxie v rozpínajícím se vesmíru vzdaluje od Země. Pokud se například nějaká žlutá hvězda pohybuje směrem od nás, zůstává rychlost světelného paprsku konstantní, ale jeho vlnová délka je „protažená“, takže barva této žluté hvězdy se změní na červenou. Podobně pokud se nějaká žlutá hvězda k Zemi přibližuje, bude vlnová délka jejího světla zkrácená – stlačená jako harmonika – a její barva bude namodralá.)

Když se Hubble vrátil na hvězdárnu na hoře Mount Wilson, začal systematicky určovat rudý posuv galaxií, aby prokázal, zda tato korelace ob stojí. Jak mu bylo známo, již roku 1912 ukázal Vesto Melvin Slipher, že jisté vzdálené mlhoviny se od Země vzdalují a vykazují tak rudý posuv. Hubble nyní metodicky počítal rudý posuv světla přicházejícího ze vzdálených galaxií a zjistil, že tyto galaxie se skutečně od Země vzdalují – jinými slovy že se vesmír fantastickou rychlostí rozpíná. Posléze přišel na to, že jeho data odpovídají domněnce, s níž přišel de Sitter. Tento vztah se dnes nazývá „Hubbleův zákon“: čím rychleji se nějaká galaxie od Země vzdaluje, tím větší je její vzdálenost (a naopak).

Když Hubble vynesl křivku závislosti vzdálenosti na rychlosti, zjistil, že jde téměř o přímku – přesně jak to předpovídala obecná relativita. Sklon této křivky se dnes nazývá „Hubbleova konstanta“. Hubble byl zase zvědavý, jak se jeho výsledky shodují s Einsteinovými. (Einsteinův model ale bohužel obsahoval pouze hmotu, avšak žádný pohyb, zatímco v de Sitterově vesmíru byl pohyb, ale žádná hmota. Zdálo se však, že Hubbleovy výsledky souhlasí s pracemi Friedmanna a Lemaitrea, jež uvažovaly jak hmotu, tak pohyb.) Roku 1930 se Einstein vypravil na návštěvu hvězdárny na hoře Mount Wilson, kde se poprvé setkal s Hubblem. (Když se tamější astronomové pyšně holedbali tím, že jejich mamutí dvouapůlmetrový dalekohled – tehdy největší na světě – dokáže určit uspořádání vesmíru, na Elsu to neudělalo dojem. Řekla: „Můj manžel by to dovedl na rubu staré dopisní obálky.“²) Když Hubble vysvětloval výsledky, k nimž dospěl usilovným rozborem dat z desítek galaxií vzdalujících se od Mléčné dráhy, připustil Einstein, že kosmologická konstanta byla největším omylem jeho života. Konstanta, kterou Einstein zavedl, aby uměle vytvořil statický vesmír, byla nyní zbytečná. Vesmír se rozpíná právě tak, jak mu vyšlo před deseti lety.

Einsteinovy rovnice navíc umožňovaly snad nejjednodušší odvození Hubbleova zákona. Představte si, že vesmír je balónek, který se zvětšuje, a drobné tečky namalované na tomto balónku že představují galaxie. Mravenci, stojícímu na kterékoliv z těchto teček, se zdá, jako by se od něj všechny ostatní tečky vzdalovaly. Podobně čím dále od mravence se daná tečka nalézá, tím rychleji se vzdaluje – jako v Hubbleově zákonu. Einsteinovy rovnice tudíž umožnily nový pohled na tak prastaré otázky jako například: existuje konec vesmíru? Pokud vesmír končí stěnou, můžeme se ptát, co leží za ní. Kolumbus by na tuto otázku možná odpověděl s přihlédnutím ke tvaru Země. Ve třech dimenzích je totiž Země konečná (protože je prostě koulí vznášející se prostorem), ale jako dvourozměrná se jeví nekonečná (pokud kráčíme stále dokola po rovníku), takže ten, kdo kráčí po zemském povrchu, nikdy na jeho konec nenarazí. Země je tudíž zároveň konečná i nekonečná – záleží na tom, kolik rozměrů měříme. Podobně bychom mohli říct, že vesmír je nekonečný ve třech rozměrech. V kosmu nestojí žádná cihlová zeď, která by představovala konec vesmíru; raketa vyslaná do vesmíru do žádné kosmické stěny nikdy nenarazí. Je tu však možnost, že vesmír by mohl být konečný ve čtyřech rozměrech. (Pokud by šlo o čtyřrozměrnou kouli neboli hypersféru, lze si

představit, že by bylo možné cestovat kolem celého vesmíru a vrátit se na místo, kde jste začínali. Nejvzdálenějším objektem, který v tomto vesmíru můžete dalekohledem pozorovat, je temeno vaší hlavy.)

Pokud se vesmír rozpíná určitou rychlostí, lze toto rozpínání otočit a zhruba vypočítat okamžik, kdy expanze vůbec začala. Jinými slovy – vesmír nejenže měl počátek, ale lze také spočítat jeho stáří. (V roce 2003 ukázala data z družic, že vesmír je starý 13,7 miliard let.) Roku 1931 postuloval Lemaitre konkrétní počátek vesmíru – jeho vznik za nesmírně vysokých teplot. Pokud bychom Einsteinovy rovnice dopočítali k jejich logickému závěru, vyšlo by nám, že vesmír měl kataklyzmatický počátek.

Roku 1949 pokřtil kosmolog Fred Hoyle v rozhovoru pro rozhlasovou stanici BBC tuto teorii na „velký třesk“. Protože Hoyle prosazoval konkurenční teorii, vznikly fámy o tom, že označení „velký třesk“ myslel hanlivě (ačkoliv on sám tuto historku později popíral). V každém případě je ale třeba podotknout, že toto označení je naprosto zavádějící: velké to nebylo a žádný třesk se nekonal. Vesmír začínal jako nekonečně malá „singularita“. Nedošlo ani k žádnému třesku nebo výbuchu v obvyklém slova smyslu, protože to, co hnalo hvězdy od sebe, bylo rozpínání prostoru samotného.

Einsteinova teorie obecné relativity nejen zavedla zcela neočekávané pojmy, jako například rozpínající se vesmír a velký třesk, ale přinesla i další představu, která od té doby trvale poutá pozornost astronomů: jde o černou díru. Roku 1916 – pouhý rok po uveřejnění teorie obecné relativity – se Einstein s úžasem doslechl, že fyzik Karl Schwarzschild vyřešil jeho rovnice přesně, a to pro případ osamocené bodové hvězdy. Předtím používal Einstein pouze přibližná řešení rovnic obecné relativity, protože ty byly příliš složité. Schwarzschild k Einsteinově radosti našel přesné řešení bez jakýchkoliv aproximací. Ačkoliv byl Schwarzschild ředitelem astrofyzikální observatoře v Postupimi, dobrovolně se přihlásil na ruskou frontu, aby tak posloužil Německu. Zatímco jako voják kličkoval bojištěm a nad hlavou mu vybuchovaly granáty, dokázal se kupodivu navzdory všemu věnovat i fyzice. Nejenže pro německou armádu počítal dráhy dělostřeleckých granátů, ale vypočítal také nejelegantnější přesné řešení Einsteinových rovnic. Dnes se toto řešení nazývá Schwarzschildovo. (Schwarzschild se bohužel nedožil slávy, již mu jeho řešení přineslo. Tento vědec, jenž byl jednou z největších hvězd, které se v tomto novém oboru objevily, zemřel na vzácnou kožní chorobu, kterou se nakazil na ruské

frontě. Bylo mu čtyřicet dva let a došlo k tomu pouhých pár měsíců po zveřejnění jeho článků. Pro vědecký svět to byla veliká ztráta. Einstein na Schwarzschildově pohřbu pronesl dojemnou řeč – Schwarzschildova smrt jej jen utvrdila v zášti k nesmyslnosti války.)

Schwarzschildovo řešení, jež ve vědeckých kruzích vyvolalo malou senzaci, s sebou neslo také jisté zvláštní důsledky. Schwarzschild zjistil, že gravitace v těsné blízkosti této bodové hvězdy je tak intenzivní, že dokonce ani samo světlo jí nedokáže uniknout, takže tato hvězda bude neviditelná! Šlo o nepříjemný problém nejen v Einsteinově teorii gravitace, ale i v teorii newtonovské. Již roku 1783 vznesl John Michell, farář v anglickém Thornhillu, otázku, zda by nějaká hvězda mohla být tak hmotná, že by z ní nedokázalo uniknout dokonce ani světlo. Na jeho výpočty využívající pouze newtonovské zákony nebylo možné se příliš spoléhat, protože rychlost světla nikdo přesně neznal, ale jeho závěry bylo obtížné odmítnout. V podstatě by hmotnost nějaké hvězdy mohla narůst natolik, že by její vlastní světlo kolem ní začalo obíhat. I matematik Pierre-Simon Laplace se o třináct let později ve své slavné knize *Exposition du système du monde* táže, zda mohou tyto „temné hvězdy“ existovat (pravděpodobně měl ale tuto domněnku za natolik výstřední, že ji z třetího vydání vyškrtнул). O více než sto let později se otázka temných hvězd opět vynořila díky Schwarzschildovi, jenž zjistil, že takovou hvězdu obepíná jakási „magická kružnice“, dnes nazývaná „horizont událostí“, kde se prostoročas neuvěřitelným způsobem zakřivuje. Schwarzschild ukázal, že žádný nešťastník, který by tímto horizontem událostí propadl, by se nikdy nevrátil. (Abyste unikli, museli byste se pohybovat rychleji než světlo, což je vyloučeno.) Z oblasti uvnitř horizontu událostí se vlastně nemůže dostat vůbec nic, dokonce ani světelný paprsek. Světlo vyzařované touto bodovou hvězdou kolem ní bude jednoduše navždy kroužit. Zvenku se bude zdát, že tato hvězda je zahalena temnotou.

S pomocí Schwarzschildova řešení můžeme vypočítat, nakolik musíme běžnou hmotu stlačit, abychom dosáhli této magické kružnice nazývané „Schwarzschildův poloměr“, tedy bodu, v němž se hvězda úplně zhroutí. V případě Slunce činí Schwarzschildův poloměr 3 kilometry. V případě Země vychází méně než jeden centimetr. (Ve druhém desetiletí dvacátého století ležel takovýto kompresní poměr zcela mimo fyzikální chápání a vědci tedy předpokládali, že se s tak fantastickým objektem nikdo nikdy neseťká.) Ale čím déle Einstein vlastnosti těchto hvězd – jež fyzik John Wheeler později

pokřtil na „černé díry“ – studoval, čím podivnější byly. Pokud byste například padali do černé díry, proletěli byste horizontem událostí za pouhý zlomek sekundy. V onom krátkém okamžiku, kdy byste jej míjeli, byste viděli, jak kolem černé díry obíhá světlo, jež bylo zachyceno snad před celými věky – možná před miliardami let. Poslední milisekunda by nebyla příliš příjemná. Gravitační síly jsou zde tak silné, že by rozdrtily atomy vašeho těla. Smrt by byla neodvratná a strašlivá. Pozorovatelé, kteří by z bezpečné vzdálenosti sledovali, jak tato kosmická smrt přichází, by však viděli zcela jiný obrázek. Světlo vyzařované vaším tělem by bylo gravitací protahováno, takže by to vypadalo, jako byste zamrzli v čase. Pro celý zbytek vesmíru byste se pořád dál bez hnutí vznášeli nad černou dírou.

Tyto hvězdy působily tak neuvěřitelně, až se většina fyziků domnívala, že nebudou ve vesmíru nikdy nalezeny. Eddington například řekl: „Měl by existovat přírodní zákon, jenž by hvězdám zakazoval chovat se takto absurdně.“³ Roku 1939 se Einstein pokusil matematicky dokázat, že existence černé díry je vyloučena. Začal studiem vznikající hvězdy, to znamená souboru částic kroužících prostorem, jež jsou postupně svou gravitační silou stahovány do středu. Einsteinův výpočet ukázal, že tento kroužící soubor částic se bude postupně hroutit, ale dostane se pouze na vzdálenost jedenapůlnásobku Schwarzschildova poloměru, a černá díra se tudíž nevytvoří.

Ačkoliv se zdálo, že tento výpočet nemá žádné slabiny, Einstein zřejmě přehlédnul možnost imploze hmoty v samotné hvězdě, již by způsobil drtivý účinek gravitační síly, která by překonala veškeré jaderné síly v hmotě. Tento podrobnější výpočet uveřejnili roku 1939 J. Robert Oppenheimer a jeho student Hartland Snyder. Místo aby pracovali se souborem částic kroužících prostorem, použili statickou hvězdu dost velkou na to, aby její obrovská gravitace překonala kvantové síly uvnitř hvězdy. Například neutronová hvězda se skládá z velikého klubka neutronů, jež tvoří gigantické jádro přibližně o rozměru Manhattanu (30 kilometrů napříč). Tomuto klubku neutronů brání ve zhroucení Fermiho síla, jež znemožňuje více než jedné částici s danými kvantovými čísly (např. spinem) být ve stejném stavu. Pokud je gravitační síla dostatečně intenzivní, může Fermiho sílu překonat a stlačit tak tuto hvězdu pod Schwarzschildův poloměr, kdy již žádná síla, již dnes věda zná, nedokáže zabránit úplnému zhroucení. Do nalezení neutronových hvězd a objevu

černých děr však zbývaly ještě asi tři desítky let, takže většina článků o šokujících vlastnostech černých děr byla považována za vysoce spekulativní.

Co se černých děr týče, byl Einstein spíše skeptický, zato však nepochyboval, že jednoho dne se naplní další z jeho předpovědí – tedy že dojde k objevu gravitačních vln. Jak jsme viděli, jedním z triumfů Maxwellových rovnic byla předpověď, že vibrující elektrické a magnetické pole vytváří pohybující se vlnu, již je možné pozorovat.

Podobně i Einstein by byl rád věděl, zda jeho rovnice připouštějí gravitační vlny. V newtonovském světě gravitační vlny existovat nemohou, protože gravitační „síla“ působí okamžitě v celém vesmíru a všechny objekty zasáhne současně. V obecné relativitě však v jistém smyslu gravitační vlny existovat musí, protože vibrace gravitačního pole nemohou přesáhnout rychlost světla. Proto každá kataklyzmatická událost, například srážka dvou černých děr, vyvolá šokovou vlnu gravitace – gravitační vlnu šířící se rychlostí světla.

Již v roce 1916 uměl Einstein dokázat, že pomocí vhodných přibližných výpočtů dávají jeho rovnice vlnový gravitační pohyb. Tyto vlny se podle očekávání šíří strukturou prostoročasu rychlostí světla. Se svým studentem Nathanem Rosenem našel roku 1937 přesné řešení rovnic, jež dávalo gravitační vlny bez jakékoliv aproximace. Obecná relativita nyní gravitační vlny předpovídala s konečnou platností. Einstein ovšem nedoufal, že by se někdy mohl stát svědkem tohoto jevu. Výpočty ukazovaly, že tyto vlny leží zcela mimo tehdejší experimentální možnosti. (Od okamžiku, kdy Einstein ve svých rovnicích gravitační vlny objevil, mělo trvat ještě téměř osmdesát let, než byla fyzikům, kteří našli první nepřímý důkaz existence gravitačních vln, udělena Nobelova cena. První gravitační vlny možná budou přímo zachyceny teprve devadesát let po jeho předpovědi, a snad se stanou oním rozhodujícím nástrojem, který nám umožní zkoumat samotný velký třesk a nalézt sjednocenou teorii pole.)

Roku 1936 se na Einsteina obrátil český elektroinženýr Rudi Mandl s dalším nápadem týkajícím se podivných vlastností prostoru a času. Ptal se, zda by gravitaci nějaké blízké hvězdy nebylo možné využít jako čočky, jež by zesílila světlo vzdálených hvězd stejně, jako lze k zesílení světla používat čočky skleněné. Einstein o této možnosti uvažoval již roku 1912, ale teprve na Mandlův popud vypočítal, že tato čočka by z hlediska pozorovatele na Zemi vytvářela prstencový obrazec. Uvažujme například o světle ze

vzdálené galaxie, které míjí nějakou blízkou galaxii. Gravitace této blízké galaxie může procházející světlo rozdělit na dvě poloviny, z nichž každá bude kolem galaxie procházet z jedné strany. Až světelné paprsky galaxii zcela obletí a dorazí k Zemi, opět se spojí. My bychom tyto paprsky světla viděli jako světelný prstenec – jde o optický klam způsobený ohybem světla kolem této blízké galaxie. Einstein však došel k závěru, že „není přílišná naděje, že bychom tento jev přímo pozorovali“.⁴ Dokonce tehdy napsal, že tato práce „nemá velký význam, ale udělá tomu chudákovi [Mandlovi] radost“.⁵ Einstein tehdy opět natolik předběhl svou dobu, že mělo trvat ještě dalších šedesát let, než byly Einsteinovy čočky a prstence nalezeny a než se nakonec staly nepostradatelnými nástroji, pomocí nichž astronomové zkoumají vesmír.

Ač obecná relativita zaznamenala veliký úspěch a její důsledky byly dalekosáhlé, nepřipravila Einsteina na jeho životní zápas – od poloviny dvacátých let minulého století se snažil zformulovat sjednocenou teorii pole, jež měla sloučit fyzikální zákony, a současně vedl bitvu se „strašidlem“ kvantové teorie.

III. ČÁST

NEDOKONČENÁ PŘEDSTAVA

Sjednocená teorie pole

7 . K A P I T O L A

Sjednocování a kvantová výzva

Když Einstein roku 1905 rozvinul speciální teorii relativity, začal o ni takřka vzápětí ztrácet zájem, protože si dělal záslusk na větší kořist: obecnou relativitu. Roku 1915 se situace opakovala. Jakmile dokončil formulaci teorie gravitace, začal se jeho zájem přesouvat k ještě ambicióznějšímu projektu: sjednocené teorii pole, jež měla spojit jeho teorii gravitace s Maxwellovou teorií elektromagnetismu. Mělo jít o jeho mistrovské dílo a o shrnutí dvou tisíciletí vědeckého zkoumání podstaty gravitace a světla. Tato teorie mu měla dát schopnost „vyčíst boží záměr“.

Einstein nebyl první, kdo naznačoval, že mezi elektromagnetismem a gravitací existuje nějaká souvislost. Michael Faraday, jenž v devatenáctém století pracoval v Královském ústavu v Londýně, uskutečnil několik základních experimentů, které měly vztah mezi těmito dvěma všudypřítomnými silami zkoumat. Pouštěl například magnety z hlavního londýnského mostu a sledoval, jestli se rychlost jejich pádu neliší od rychlosti obyčejných kamenů. Pokud se magnetismus a gravitace vzájemně ovlivňují, možná by magnetické pole mohlo mít na gravitaci brzdny účinek, což by způsobilo, že magnety by padaly odlišnou rychlostí. Házel také od stropu přednáškové místnosti na podložku na podlaze kousky kovu a snažil se zjistit, zda by pád nedokázal v kovu vyvolat elektrický proud. Všechny jeho pokusy dávaly záporné výsledky. Jak ale poznamenal: „Neotřásl mým silným přesvědčením o souvislosti mezi gravitací a elektřinou, ač nedávají žádný důkaz, že takovýto vztah existuje.“¹ I Riemann, jenž vybudoval teorii zakřiveného prostoru v libovolné dimenzi, byl hluboce přesvědčen, že jak gravitaci, tak elektromagnetismus lze zjednodušit na čistě geometrická tvrzení. Neměl bohužel žádnou fyzikální představu ani rovnice pole, takže jeho myšlenky nikam nevedly.

Einstein kdysi svůj postoj ke sjednocování shrnul tak, že srovnával mramor se dřevem. Mramor, domníval se Einstein, popisuje krásný svět

geometrie, v němž se plochy deformují hladce a spojitě. Vesmír hvězd a galaxií hraje svou kosmickou hru na krásném mramoru prostoročasu. Naopak dřevo představuje chaotický svět hmoty se spleť subatomárních částic a absurdními pravidly, jimiž se řídí kvanta. Toto dřevo roste nepředvídatelně a náhodně, jako pokroucená liána. Protože v atomu byly objeveny stále nové částice, ztrácela teorie hmoty půvab. Einstein si byl vědom vady-na kráse svých rovnic: jejich zásadním nedostatkem je to, že strukturu mramoru určuje dřevo. Míra zakřivení prostoročasu v každém bodě je dána množstvím dřeva.

Einsteinovi byla tudíž další strategie jasná: chtěl *vytvořit teorii čistého mramoru* a zbavit se dřeva tak, že jej přeformuluje výlučně řečí mramoru. Pokud by se podařilo ukázat, že i samotné dřevo je složeno z mramoru, měl by Einstein čistě geometrickou teorii. Například bodová částice je nekonečně malá a nezabírá žádné místo v prostoru. V teorii pole představuje bodovou částici „singularita“ – bod, v němž intenzita pole roste donekonečna. Einstein chtěl tuto singularitu nahradit spojitou deformací prostoru a času. Představte si například smyčku nebo uzel na provázku. Zpovzdálí může smyčka vypadat jako částice, ale zblízka není tato smyčka či uzel nic jiného než záhyb na provázku. Podobně chtěl Einstein vytvořit teorii, jež by byla čistě geometrická a neobsahovala vůbec žádné singularity. Sub-atomární částice, jako je například elektron, by byly tvořeny smyčkami neboli jakýmsi druhem drobných záhybů na povrchu prostoročasu. Zásadní problém však spočíval v tom, že Einsteinovi chyběla konkrétní symetrie a princip, který by elektromagnetismus a gravitaci dokázal sjednotit. Jak jsme viděli již dříve, východiskem Einsteinových úvah bylo sjednocování prostřednictvím symetrie. V případě speciální relativity ho celou dobu vedla představa závodu se světelným paprskem. Ta odhalila fundamentální rozpor mezi newtonovskou mechanikou a Maxwellovým polem, a Einstein z ní vytěžil princip konstantní rychlosti světla. Nakonec se mu podařilo zformulovat symetrii, jež sjednotila prostor a čas – Lorentzovu transformaci.

I v případě obecné relativity měl podobnou představu – že gravitaci způsobuje zakřivení prostoru a času. Tato představa ukázala zásadní rozkol mezi Newtonovou gravitací (kde se gravitace šíří okamžitě) a relativitou (kde se nic nemůže pohybovat rychleji než světlo). Z této představy odvodil princip – princip ekvivalence –, podle něž se urychlené i gravitující soustavy řídí týmiž fyzikálními zákony. Nakonec se mu podařilo

zformulovat zobecněnou symetrii popisující zrychlení a gravitaci – obecnou kovarianci.

Ted' stál Einstein před problémem vsutku hrozivým, protože jeho práce předbíhala svou dobu nejméně o padesát let. Ve dvacátých letech 20. století, kdy se sjednocenou teorií polí začal zabývat, byly jedinými uznávanými silami gravitační a elektromagnetická interakce. Jádro atomu objevil Ernest Rutherford teprve roku 1911 a síly, jež je drží pohromadě, byly dosud obestřeny tajemstvím. Bez pochopení jaderných sil však Einsteinovi chyběl klíčový díl celé skládky. Navíc žádný experiment ani pozorování neodhalily rozpor mezi gravitací a elektromagnetismem, kterého by se Einstein mohl chytit jako vodítka.

První vážný pokus v tomto směru podnikl roku 1918 matematik Hermann Weyl, inspirovaný Einsteinovým hledáním sjednocené teorie pole. Na Einsteina udělaly jeho výsledky nejprve silný dojem. „Je to mistrovská symfonie,“ napsal.² Weyl Einsteinovu starou teorii gravitace rozšířil tak, že Maxwellovo pole přidal přímo do jejích rovnic. Dále požadoval, aby tyto rovnice byly kovariantní vůči dokonce ještě více symetriím než Einsteinova původní teorie, a to včetně škálovacích transformací (tj. transformací, které prodlužují či zkracují všechny vzdálenosti). Einstein ale brzy v jeho teorii našel jisté anomálie. Pokud byste například cestovali po kružnici a vrátili se zpět do výchozího bodu, zjistili byste, že jste menší, i když má vaše tělo stejný tvar. Jinými slovy se nezachovávala délka. (V Einsteinově teorii se délky také mohou měnit, ale pokud se vrátíte tam, odkud jste vyrazili, zůstávají stejné.) Při cestě po uzavřené dráze docházelo také k posunu času – to však bylo v rozporu s naším chápáním fyzikálního světa. Znamenalo by to například, že pokud bychom nějaké kmitající atomy posunovali po kružnici, kmitaly by po návratu na začátek s jinou frekvencí. Přestože Weylova teorie vypadala velice důmyslně, bylo nutné ji opustit, protože neodpovídala pozorováním. (Z dnešního pohledu vidíme, že Weylova teorie byla příliš symetrická. Škálovací invariance je zřejmě symetrií, již příroda při popisu viditelného vesmíru nepoužívá.)

Roku 1923 podlehl této mánii také Arthur Eddington. Inspirován Weylovou prací se i on (a po něm mnozí další) pokusil o formulaci sjednocené teorie pole. Podobně jako Einstein vytvořil teorii založenou na Ricciho křivosti, avšak v jeho rovnicích nevystupoval pojem vzdálenosti. Jinými slovy, v této teorii nešlo definovat metry ani sekundy – byla to

teorie „předgeometrická“. Vzdálenost se objevila teprve v posledním kroku jako důsledek Eddingtonových rovnic. Elektromagnetismus tu měl vycházet jako součást Ricciho křivosti. Fyzikovi Wolfgangu Paulimu se tato teorie vůbec nelíbila a tvrdil, že „pro fyziku nemá žádný význam“.³ Einstein ji také ostře kritizoval a domníval se, že nemá žádný fyzikální obsah.

Do hloubi duše ovšem Einsteina zasáhl článek, jehož si povšiml roku 1921 a který napsal téměř neznámý matematik Theodor Kaluza z univerzity v Královci. Kaluza navrhoval, aby Einstein, jenž byl průkopníkem koncepce čtvrtého rozměru, přidal do svých rovnic ještě další dimenzi. Pro začátek Einsteinovu vlastní obecnou relativitu přeformuloval v *pěti rozměrech* (čtyři dimenze prostoru a jedna dimenze času). To není nic těžkého, protože Einsteinovy rovnice lze snadno napsat pro libovolný počet dimenzí. Potom Kaluza na několika řádcích ukázal, že pokud pátý rozměr od zbývajících čtyř oddělíme, vyjdou Einsteinovy rovnice společně s těmi Maxwellovými. Maxwellovy rovnice – onu hrůzostrašnou sérii osmi parciálních diferenciálních rovnic, již se učí z paměti každý inženýr a fyzik – lze tedy zjednodušit na vlny šířící se pátou dimenzí. Jinak řečeno pokud relativitu rozšíříme na pět rozměrů, je Maxwellova teorie skryta již v teorii Einsteinově.

Kaluzova práce Einsteina překvapila svou smělostí a krásou. Napsal tehdy Kaluzovi: „Myšlenka dosáhnout [sjednocení] prostřednictvím pětirozměrného cylindrického světa mě nikdy nenapadla... Váš nápad se mi nesmírně zalíbil hned na první pohled.“⁴ O pár týdnů později, po prostudování této teorie, napsal: „Formální jednota Vaší teorie je ohromující.“⁵ Roku 1926 zobecnil Kaluzovu práci matematik Oskar Klein. Ten vyslovil domněnku, že pátý rozměr nelze pozorovat, protože je příliš malý a možná souvisí s kvantovou teorií. Kaluza s Kleinem tedy přišli se zcela odlišným přístupem ke sjednocování. Pro ně nebyl elektromagnetismus ničím jiným než vibracemi vlnícími se po povrchu malého pátého rozměru.

Představme si například ryby, jež žijí v mělkém rybníce a plavou těsně pod listy leknínů. Tyto ryby by mohly usoudit, že jejich vesmír je dvourozměrný. Mohou se pohybovat dopředu a dozadu, doleva a doprava, ale pojem „nahoru“ do třetího rozměru by jim byl cizí. Byl-li by jejich vesmír dvourozměrný, jak by si mohly uvědomit existenci záhadného třetího rozměru? Představte si, že jednoho dne se dá do deště. Hladinou rybníka se šíří jemné vlnky ve třetím rozměru a rybky je jasně vidí. Jak se

tyto vlnky šíří po hladině, mohou ryby dojít k závěru, že existuje tajemná síla, která dokáže jejich vesmír rozsvítit. V této představě jsme rybami my. Věnujeme se svým záležitostem ve třech prostorových rozměrech a neuvědomujeme si, že by mohly existovat vyšší dimenze ležící těsně mimo dosah našich smyslů. Jediný přímý kontakt s neviditelným pátým rozměrem bychom mohli navázat prostřednictvím světla, které je pro nás oněmi vlnkami šířícími se podél páté dimenze.

Existuje důvod, proč Kaluzova-Kleinova teorie fungovala tak dobře. Vzpomeňme si na to, že jedním z Einsteinových úspěšných postupů, který vedl ke vzniku relativity, bylo *sjednocování prostřednictvím symetrie*. V Kaluzově-Kleinově teorii sjednocuje elektromagnetismus a gravitaci nová symetrie – pětirozměrná obecná kovariance. Ačkoliv tato představa – sjednocení gravitace a elektromagnetismu zavedením dalšího rozměru – byla na první pohled lákavá, pořád ještě zůstávala naléhavá otázka, kde je tato pátá dimenze. Až do dnešních dnů žádný experiment nikdy nezachytil jediný důkaz přítomnosti jakékoliv jiné dimenze prostoru vyjma délky, šířky a výšky. Pokud tyto vyšší dimenze existují, musejí být nesmírně malé – mnohem menší než atom. Víme například, že když do nějaké místnosti vypustíme plynný chlór, proniknou jeho atomy pomalu do všech zákoutí a škvír libovolného prostoru, aniž by mizely do nějakých tajemných dodatečných dimenzí. Víme tedy, že každá skrytá dimenze musí být menší než libovolný atom. Pokud v této nové teorii předpokládáme, že pátý rozměr je menší než atom, potom je tato teorie v souladu se všemi laboratorními měřeními, jež nikdy přítomnost páté dimenze nezaznamenala. Kaluza s Kleinem předpokládali, že pátý rozměr je „stočený“ do klubíčka příliš malého na to, aby jej bylo možné experimentálně pozorovat.

Ačkoliv Kaluzova-Kleinova teorie přišla s neotřelým a fascinujícím přístupem ke sjednocení elektromagnetismu s gravitací, začaly v Einsteinovi hlodat pochybnosti. Znepokojovala ho myšlenka, že pátý rozměr nemusí existovat, že může jít o matematickou fikci nebo iluzi. Působilo mu také potíže rozpoznat v Kaluzově-Kleinově teorii subatomární částice. Dal si za cíl odvodit elektron z rovnic gravitačního pole, ale ať se snažil, jak chtěl, žádné takové řešení najít nedokázal. (Z dnešního pohledu tehdy fyzika propásla ohromnou příležitost. Pokud by fyzikové brali Kaluzovu-Kleinovu teorii vážněji, možná by přidali více dimenzí než jen jednu. Když zvýšíme počet rozměrů, můžeme Maxwellova pole zobecnit na

takzvaná „Yangova-Millsova pole“. Klein v podstatě koncem třicátých let 20. století Yangova-Millsova pole objevil, jeho práce však v chaosu 2. světové války upadla v zapomnění. Tato pole byla znovu objevena teprve po téměř dvou desetiletích, v polovině padesátých let. Yangova-Millsova pole tvoří základ současné teorie jaderné síly. Pomocí těchto polí je formulována téměř celá subatomární fyzika. Po dalších dvaceti letech byla Kaluzova-Kleinova teorie vzkříšena v podobě nové teorie – teorie strun, jež je nyní považována za předního kandidáta na sjednocenou teorii pole.)

Einstein sázel na jistotu. Jestliže Kaluzova-Kleinova teorie selhala, musí se při pátrání po sjednocené teorii pole vydat jiným směrem. Rozhodl se, že prozkoumá geometrie ležící za hranicemi geometrie riemannovské. Radil se s mnoha matematiky a brzy bylo zřejmé, že jde o zcela otevřenou oblast. Mnozí matematici se vlastně „post-riemannovskými“ geometriemi neboli „teoriemi konexí“ začali zabývat na Einsteinovo naléhání, aby mu umožnili zkoumat nové možné vesmíry. V důsledku těchto snah byly brzy zkonstruovány nové geometrie s „torzí“ a „twistované prostory“. (Tyto abstraktní prostory neměly ve fyzice žádné uplatnění celých následujících sedmdesát let, až do nástupu teorie superstrun.)

Práce na post-riemannovských geometriích však byla hotový zlý sen. Einstein neměl k ruce žádný fyzikální princip, který by ho změtí těchto abstraktních rovnic vedl. Dříve používal jako kompas princip ekvivalence a obecnou kovarianci. Oba tyto výchozí body měly pevnou oporu v experimentálních datech. Einstein také spoléhal na to, že mu cestu ukážou fyzikální představy. V případě sjednocené teorie pole však žádný takový fyzikální princip ani představu neměl.

Celý svět byl na Einsteinovu práci tak zvědavý, že zpráva o pokroku v oblasti sjednocené teorie pole, kterou Einstein předložil pruské akademii, byla předána listu *New York Times*, jenž dokonce některé části Einsteinova článku uveřejnil. Brzy se před jeho domem hemžily stovky novinářů, kteří doufali, že ho alespoň zahlédnou. Eddington mu psal: „Možná Vás pobaví, až uslyšíte, že jeden z našich velkých londýnských obchodních domů (Selfridges) si Váš článek vylepil do výlohy (šest stránek nalepených jedna vedle druhé), aby si jej kolemjdoucí mohli celý pročíst. Postávají u něj velké davy čtenářů.“⁶ Einstein by však tehdy rád obdiv a chválu celého světa vyměnil za jednoduchou fyzikální představu, která by ho správně nasměřovala.

Ostatní fyzikové začali postupně naznačovat, že Einstein je na špatné cestě a že je jeho fyzikální intuice zklamala. Jedním z kritiků byl i jeho přítel a kolega Wolfgang Pauli, jeden z průkopníků kvantové teorie, jenž byl ve vědeckých kruzích proslulý svým nelítostným humorem. O jakémsi chybném fyzikálním článku jednou řekl: „Tohle dokonce není ani špatně.“⁷ Jistému kolegovi, jehož článek posuzoval, sdělil: „Nemám nic proti tomu, že vám to myslí pomalu, jen mi vadí, když publikujete rychleji, než vám to myslí.“⁸ Po jednom zmateném, nesouvislém semináři podotkl: „To, co jste říkal, bylo tak popletené, že nelze říci, zda je to nesmysl, či nikoliv.“⁹ Když si jeho kolegové fyzici stěžovali, že Pauli je příliš kritický, odpovídal: „Někteří lidé mají velmi citlivá kuří oka a dá se s nimi vydržet jedině tak, že jim na ta kuří oka šlapete, dokud si na to nezvyknou.“¹⁰ Pauliho mínění o sjednocené teorii pole odráží jeho slavná poznámka, že to, co Bůh rozpojil, nechť žádný člověk nespojuje. (Ironií osudu podlehl této mánii později i Pauli a navrhnul svou vlastní verzi sjednocené teorie pole.)

S Pauliho pohledem by souhlasili mnozí jeho kolegové fyzici, jejichž pozornost stále více poutala kvantová teorie – ona druhá velká teorie dvacátého století. Kvantová teorie představuje jednu z nejúspěšnějších fyzikálních teorií všech dob. Dosáhla nesmírného úspěchu při objasňování tajemného světa atomu a zároveň otevřela cestu laserům, moderní elektronice, počítačům a nanotechnologii. Paradoxně však stojí na hliněných nohou. Ve světě atomů se elektrony zdánlivě objevují na dvou místech najednou, přeskakují bez varování mezi orbitami a mizí do přízračného světa kdesi mezi bytím nebytím. Jak Einstein podotknul již v roce 1912: „Čím více úspěchů kvantová teorie zaznamenává, tím pošetilejší se jeví.“¹¹

Některé z bizarních rysů kvantového světa se projeví roku 1924, kdy Einstein dostal neobvyklý dopis od neznámého indického fyzika Šatendranátha Boseho, jehož články o statistické fyzice byly tak podivné, že je vědecké časopisy odmítaly zveřejňovat. Bose navrhoval rozšíření jedné dřívější Einsteinovy práce o statistické mechanice, snažil se popisovat plyn plně kvantově mechanicky a zacházel s atomy jako s kvantovými objekty. Stejně jako Einstein rozvinul Planckovu práci a vybudoval teorii světla, naznačoval i Bose, že Einsteinovu práci by šlo rozšířit na plně kvantovou teorii atomů plynu. Einstein, mistr v tomto oboru, zjistil, že ačkoliv Bose nadělal četné chyby a vycházel z předpokladů, které nebylo možné odůvodnit, zdálo se, že jeho konečná

odpověď je správná. Einsteina nejen že tento článek zaujal – dokonce ho přeložil do němčiny a zaslal k uveřejnění.

Bosého práci potom rozvinul a napsal vlastní článek, v němž výsledky aplikoval na nesmírně studenou hmotu, balancující těsně nad teplotou absolutní nuly. Bose s Einsteinem zjistili o kvantovém světě zvláštní věc: atomy jsou nerozlišitelné. To znamená, že na žádný atom nelze nalepit cedulku, jak se domnívali Boltzmann a Maxwell. Zatímco kameny a stromy a ostatní běžnou hmotu lze označit štítky a pojmenovat, v kvantovém světě jsou při jakémkoliv experimentu všechny atomy vodíku identické – neexistují žádné zelené nebo modré či žluté vodíkové atomy. Einstein potom zjistil, že pokud nějaký soubor atomů podchladíme na teplotu blízkou absolutní nule, při níž téměř ustává veškerý pohyb atomů, spadnou všechny atomy do stavu o nejnižší energii a vytvoří jediný „superatom“. Tyto atomy zkondenzují do téhož kvantového stavu a budou se chovat v podstatě jako jediný gigantický atom. Einstein přišel se zcela novým stavem hmoty, který na Zemi nebyl nikdy předtím pozorován. Než se však atomy mohou sesypat do stavu o nejnižší energii, musíme dosáhnout neuvěřitelně nízké teploty – příliš nízké na to, aby mohla být experimentálně pozorována: okolo milióntiny stupně nad absolutní nulou. (Při těchto nesmírně nízkých teplotách vibrují všechny atomy do taktu a jemné kvantové efekty pozorovatelné pouze na úrovni jednotlivých atomů se nyní projevují v celém kondenzátu. Atomy v „Boseho-Einsteinově kondenzátu“ se chovají, jako by vše vibrovalo v jediném rytmu, asi jako diváci na fotbalovém zápase, když se synchronizované zvedají a zase si sedají a vytvářejí tak „lidské vlny“, které se ženou napříč tribunami.) Einstein si však nedělal naději, že by Boseho-Einsteinova kondenzace byla pozorována ještě za jeho života, protože technologie dvacátých let 20. století experimenty za teplot blízkých absolutní nule neumožňovala. (Einstein ve skutečnosti natolik předběhl svou dobu, že tato předpověď byla ověřena až zhruba za sedmdesát let.)

Vedle Boseho-Einsteinovy kondenzace se Einstein zajímal i o to, zda princip duality může být aplikován kromě světla také na hmotu. V přednášce z roku 1909 ukázal, že světlo je dvojí povahy – může mít současně jak částicové, tak vlnové vlastnosti. Ač to byla kacířská myšlenka, experimentální výsledky ji plně potvrzovaly. Mladý student, vévoda Louis de Broglie, kterého Einsteinův program hledání dualit inspiroval, vyslovil roku 1923 domněnku, že dokonce i samotná hmota může mít jak

částicové, tak vlnové vlastnosti. Šlo o odvážnou a převratnou myšlenku, protože představa, že hmota se skládá z částic, byla hluboce zakořeněná. De Broglie, povzbuzený Einsteinovou prací o dualitě, dokázal vysvětlit některé ze záhad atomu zavedením představy, že hmota má vlnové vlastnosti.

Einsteinovi se smělost de Broglieho „hmotných vln“ líbila a jeho teorii propagoval. (De Brogliemu byla nakonec za tuto plodnou myšlenku udělena Nobelova cena.) Jestliže má ale hmota vlastnosti podobné vlnám, jak zní rovnice, jíž se tyto vlny řídí? Klasičtí fyzikové měli bohaté zkušenosti se sepisováním rovnic mořských a zvukových vln, což rakouského fyzika Erwina Schrödingera inspirovalo k sestavení rovnice vln hmotných. Když Schrödinger, známý lamač ženských srdcí, trávil Vánoce 1925 s jednou ze svých nesčetných přítelkyň ve vile Herwig v Arose, podařilo se mu odpoutat se od radovánek aspoň na tak dlouho, aby sestrojil rovnici, jež se měla brzy stát jedním z nejproslulejších vzorců celé kvantové fyziky – Schrödingerovu vlnovou rovnici. Schrödingerův životopisec Walter Moore napsal: „Dáma z Arosy zůstane možná navždy záhadou stejně jako ona tajemná dáma, jež inspirovala Shakespearovy sonety.“¹² (Schrödinger měl za život tolik přítelkyň, milenek i nemanželských dětí, že se bohužel nedá s jistotou určit, kdo byl múzou této historické rovnice.) Během následujících několika měsíců ukázal Schrödinger v pozoruhodné sérii článků, že tajemná pravidla chování vodíkového atomu, jež objevil Niels Bohr, jsou jednoduchými důsledky jeho rovnice. Fyzikové tak měli poprvé k dispozici detailní představu o nitru atomu, pomocí níž bylo v principu možné spočítat vlastnosti složitějších atomů a dokonce i molekul. Během pár měsíců se nová kvantová teorie rozjela plnou parou vpřed, zodpověděla mnohé z nejpálčivějších otázek světa atomů a vyřešila ty největší záhady, které vědce mátly již od časů starých Řeků. Rej elektronů, které se pohybují mezi orbitami, vydávají světelné záblesky či svazují molekuly, bylo najednou možné vypočítat – šlo o řešení standardních parciálních diferenciálních rovnic. Jistý mladý a troufalý kvantový fyzik, Paul Adrian Maurice Dirac, se dokonce holedbal, že pomocí různých řešení Schrödingerovy rovnice lze vysvětlit i celou chemii, čímž tuto vědu snížil na pouhou aplikovanou fyziku.

Einstein, jenž byl otcem „staré kvantové teorie“ fotonu, se tedy stal duchovním otcem „nové kvantové teorie“ založené na Schrödingerových vlnách. (Středoškolští studenti chemie, kteří se dnes musejí učit nazpaměť

„kvantová čísla“ a označení legračních „orbitalů“, které obklopují jádro a mají tvar ragbyového míče, se vlastně učí řešení Schrödingerovy vlnové rovnice.) Vývoj v kvantové fyzice nyní postupoval kupředu daleko rychleji. Dirac, jenž si uvědomil, že Schrödingerova rovnice neobsahuje relativitu, ji o pouhé dva roky později zobecnil na plně relativistickou teorii elektronů – a fyzikální veřejnost zase jednou žasla. Zatímco věhlasná Schrödingerova rovnice byla nerelativistická a platila pouze pro elektrony pohybující se ve srovnání s rychlostí světla pomalu, Diracovy elektrony se plně řídily Einsteinovou symetrií. Navíc dokázala Diracova rovnice automaticky vysvětlit jisté nesrozumitelné vlastnosti elektronu, včetně toho, co se nazývá „spin“. Z dřívějších pokusů Otto Sterna a Waltera Gerlacha bylo známo, že elektron se v magnetickém poli chová jako otáčející se dětský vlček, přičemž jeho moment hybnosti má hodnotu $\frac{1}{2}$ krát Planckova konstanta). Diracův elektron dával přesně spin $\frac{1}{2}$ zjištěný ve Sternově-Gerlachově experimentu. (Maxwellovo pole, které představuje foton, má spin 1, zatímco Einsteinovy gravitační vlny mají spin 2. Díky Diracově práci bylo zřejmé, že spin subatomární částice bude jednou z jejích důležitých vlastností.)

Poté Dirac postoupil ještě o krok dál. Když zkoumal energii těchto elektronů, zjistil, že Einstein jedno řešení svých vlastních rovnic přehlédl. Když počítáme druhou odmocninu z nějakého čísla, zavádíme obvykle jak kladné, tak záporné řešení. Například odmocnina ze 4 může být buď plus 2, nebo minus 2. Protože Einstein ve svých rovnicích opominul druhou odmocninu, nebyla jeho slavná rovnice $E=mc^2$ zcela správně. Správná rovnice zní $E=\pm mc^2$. Dirac tvrdil, že toto dodatečné znaménko minus připouští existenci nového druhu zrcadlového vesmíru – takového, v němž částice mohou existovat v podobě „antihmoty“.¹³

(Myšlenkou na antihmotu se o pouhých pár let dříve – roku 1925 – kupodivu zabýval i sám Einstein, který ukázal, že při změně znaménka náboje elektronu v relativistické rovnici lze získat totožné rovnice, pokud otočíme také orientaci prostoru. Dokázal, že ke každé částici o určité hmotnosti musí existovat jiná částice s opačným nábojem, avšak stejnou hmotností. Teorie relativity nejen že nám dala čtvrtý rozměr – teď nám otevírala i paralelní svět antihmoty. Einstein, jenž se o prvenství nikdy nehašteřil, však byl taktní a Diracův primát nezpochybňoval.)

Radikální Diracovy myšlenky nejprve narážely na zarputilou nedůvěru. Představa celého vesmíru zrcadlových částic, jež plynou z rovnice $E=\pm mc^2$,

vypadala jako z jiného světa. Kvantový fyzik Werner Heisenberg (který společně s Nielsem Bohrem nezávisle objevil formulaci kvantové teorie, jež je ekvivalentní se Schrödingerovou) napsal: „Nejsmutnější kapitolou moderní fyziky je a zůstává Diracova teorie... Diracovu teorii považuji za... učený brak, jenž nikdo nemůže brát vážně.“¹⁴ Nakonec však fyzikové museli svou samolibost překousnout, protože roku 1932 byl antielektron neboli pozitron skutečně objeven – a Dirac později dostal Nobelovu cenu. Heisenberg konečně připustil: „Domnívám se, že ze všech velkých okamžiků tohoto století byl objev antihmoty patrně tím největším skokem vpřed.“¹⁵ Teorie relativity nám zase jednou nadělila nečekaný poklad – tentokrát nám otevřela úplně nový vesmír složený z antihmoty.

(Je zvláštní, že Schrödinger a Dirac, kteří sestrojili dvě nejdůležitější vlnové rovnice kvantové teorie, byli povahově svými pravými opaky. Zatímco Schrödingera vždy doprovázela nějaká přítelkyně, Dirac byl před ženami nesmírně plachý a vždy byl nápadně nemluvný. Když chtěli po Diracově smrti Britové ocenit jeho přínos světu fyziky, nechali jeho relativistickou rovnici vyryt do kamene ve westminsterském opatství nedaleko Newtonova hrobu.)

Zanedlouho se už vědci v každém fyzikálním výzkumném ústavu na této planetě snažili podivné a krásné vlastnosti Schrödingerovy a Diracovy rovnice pochopit. Přes všechny nepopiratelné úspěchy se však kvantoví fyzikové dosud museli potýkat se znepokojující filozofickou otázkou: pokud hmota je vlnění, *co přesně se potom vlní?* Jde o stejnou otázku, která pronásledovala vlnovou teorii světla a z níž se zrodila nesprávná teorie éteru. Schrödingerova vlna je podobná vlně na oceánu, a pokud ji ponecháme jejímu osudu, rozplyne se do prostoru. Má-li vlnová funkce dostatek času, rozptýlí se nakonec po celém vesmíru. To však bylo v rozporu se vším, co fyzikové o elektronech věděli. O subatomárních částicích se domnívali, že jde o bodové objekty, jež zanechávají hmatatelné, výtryskům podobné stopy, které je možné vyfotografovat. Ačkoliv tedy tyto kvantové vlny dosáhly téměř zázračného úspěchu při popisu vodíkového atomu, nezdálo se, že by Schrödingerova vlna mohla popisovat elektron pohybující se volným prostorem. Pokud by Schrödingerova vlna doopravdy představovala elektron, ten by se pomalu rozptýlil a vesmír by se vlastně rozplynul.

Někde byla zásadní chyba. Nakonec Einsteinův celoživotní přítel Max Born navrhnul velice kontroverzní řešení této záhady. Roku 1926 udělal

rozhodující krok a prohlásil, že Schrödingerova vlna vůbec nepopisuje elektron, ale pouze *pravděpodobnost* nalezení elektronu. Tvrdil, že „pohyb částic se řídí zákony pravděpodobnosti, ale sama pravděpodobnost se šíří v souladu se zákony kauzality“.¹⁶ Podle této nové představy je hmota skutečně složena z částic, a nikoliv z vln. Čáry zachycené na fotografických deskách jsou stopami, které zanechaly bodové částice, nikoliv vlny. Šanci nalézt částici v kterémkoliv daném bodě však určuje vlna. (Přesněji řečeno, absolutní hodnota kvadrátu Schrödingerovy vlny představuje pravděpodobnost nalezení částice v konkrétním bodě prostoru a času.) Není tedy důležité, že se Schrödingerova vlna s postupem času rozplývá. Znamená to prostě, že kdybyste nechali elektron, ať si dělá, co chce, toulal by se v průběhu času po okolí a vy byste přesně nevěděli, kde je. Veškeré paradoxy byly nyní vyřešeny: Schrödingerova vlna není samotná částice, představuje však pravděpodobnost jejího nalezení.

Werner Heisenberg tuto představu dotáhl ještě dál. Donekonečna se tehdy s Bohrem trápil diskuzemi o záhadách, jež pravděpodobnost do této nové teorie vnášela, a často se se svým starším kolegou dostával do vášnivých sporů. Po jedné noci strávené marným zápolením s problémem pravděpodobností si vyšel na dlouhou procházku parkem Faelled, který ležel hned za univerzitou, a neustále si kladl otázku, jak je možné, že přesnou polohu elektronu nelze zjistit. Jak může být poloha elektronu neurčitá, jak tvrdil Born, když můžete jednoduše změřit, kde je?

Vtom mu to došlo. Všechno bylo najednou jasné. Abyste zjistili, kde elektron je, musíte se na něj podívat. To znamená, že na něj musíte posvítit světelným paprskem. Do elektronu budou ale vrážet fotony ve světelném paprsku, a proto bude jeho poloha neurčitá. Neurčitost sem, jinak řečeno, nutně vnáší sám akt pozorování. Heisenberg tuto otázku přeformuloval do nového fyzikálního principu, principu neurčitosti, jenž tvrdí, že *nelze určit jak polohu, tak rychlost částice současně*. (Přesněji řečeno musí být součin neurčitosti polohy a hybnosti větší nebo roven Planckově konstantě vydělené 4π). Nejde pouze o důsledek nepřesnosti našich přístrojů – jde o fundamentální přírodní zákon. Dokonce ani Bůh nemůže znát přesnou polohu i hybnost elektronu zároveň.

V tomto rozhodujícím okamžiku se kvantová teorie vnořila do hlubokých a naprosto nezmapovaných vod. Až do této chvíle bylo možné tvrdit, že kvantové jevy jsou statistické povahy a představují průměrný pohyb bilionů elektronů. Nyní nešlo s určitostí stanovit ani pohyb jednoho

jediného elektronu. Einstein se zděsil. Cítil se téměř podvedený, protože si uvědomoval, že jeho dobrý přítel Max Born opouští determinismus – jeden z nejuctívanějších pojmů celé klasické fyziky. Determinismus v podstatě tvrdí, že pokud víte všechno o přítomnosti, dokážete určit budoucnost. Newtonův veliký přínos fyzice například spočíval v tom, že pokud znal stav sluneční soustavy v daném okamžiku, dokázal pomocí svých pohybových zákonů předpovídat pohyb komet, měsíců a planet. Nad přesností Newtonových zákonů a nad tím, že v principu dokáží předpovídat polohu nebeských těles na miliony let dopředu, žasli fyzikové celá staletí. Na determinismu neboli představě, že vědec dokáže předpovědět výsledek experimentu, pokud zná polohu a rychlosti všech částic, byla vlastně do tohoto okamžiku založena veškerá věda. Newtonovi stoupenci přirovnávali vesmír k obrovskému orloji. Na počátku času Bůh tento hodinový stroj natáhl, a ten od té doby neměnně tiká podle Newtonových pohybových zákonů. Pokud znáte polohu a rychlost každého atomu ve vesmíru, dokážete pomocí Newtonových pohybových zákonů vypočítat další vývoj vesmíru s nekonečnou přesností. Princip neurčitosti však toto všechno popřel a naopak tvrdil, že budoucí stav vesmíru se předpovědět nedá. Nemůžete například spočítat, kdy se rozpadne atom uranu, můžete pouze zjistit pravděpodobnost, že se to stane. Dokonce ani bohové vlastně nevědí, kdy se tento atom uranu rozpadne.

V prosinci roku 1926 v reakci na Bornův článek Einstein napsal: „Kvantová mechanika si zasluhuje naši úctu. Jakýsi vnitřní hlas mi však říká, že toto není ten pravý Jákob. Tato teorie nabízí hodně, ale k rozluštění tajemství Starého pána nás přiblížila jen stěží. Co se mě týče, jsem přinejmenším přesvědčen, že Bůh nemetá kostky.“¹⁷ Když Einstein Heisenbergovu teorii komentoval, poznamenal: „Heisenberg snesl veliké kvantové vejce. V Göttingenu v něj věří (já nikoliv).“¹⁸ Tato představa se nezamlouvala ani samotnému Schrödingerovi. Jednou řekl, že pokud jeho rovnice představuje pouze pravděpodobnosti, potom je mu líto, že s ní měl co do činění. Einstein mu přizvukoval s tím, že kdyby tušil, že kvantová revoluce, již pomohl spustit, zavede do fyziky náhodu, byl by se býval stal „ševcem nebo šel pracovat do kasina“.¹⁹

Fyzikové se začínali rozdělovat do dvou táborů.²⁰ Einstein vedl ten, který se dosud držel deterministického přesvědčení – představy, jež pocházela od samotného Newtona a vedla fyziky po celá staletí. Jeho spojenci byli Schrödinger a de Broglie. Druhý, mnohem větší tábor vedl

Niels Bohr, jenž věřil v neurčitost a prosazoval novou verzi kauzality založenou na středních hodnotách a pravděpodobnostech.

Bohr a Einstein byli v jistém smyslu svými pravými opaky i v jiných ohledech. Einstein se jako dítě vyhýbal sportům a nemohl se odtrhnout od knih o geometrii a filozofii, kdežto Bohr proslul po celém Dánsku jako fotbalová hvězda. Zatímco Einstein hovořil důrazně a dynamicky, psal téměř lyricky a dokázal žertovat s novináři i členy královských rodin, Bohr byl škrobený, příšerně huhňal, často se vyjadřoval nesrozumitelně či neslyšitelně a když byl ponořen do svých úvah, mnohdy donekonečna opakoval jediné slovo. Einstein hravě dokázal vytvořit elegantní a krásný text, kdežto Bohr nedokázal sepsat obyčejný článek. Jako středoškolský student diktoval všechny texty matce. Po svatbě je diktoval své ženě (když bylo třeba nadiktovat jistý dlouhý a důležitý článek, přerušil dokonce i líbánky). Občas do psaní svých článků zapojoval celou laboratoř – jeden článek se přepisoval dokonce více než stokrát, což zcela narušilo práci. (Když Wolfgang Pauliho kdysi pozvali, aby zajel do Kodaně za Bohrem, odpověděl: „Jestli už poslal poslední korekturu, tak přijedu.“²¹) Oba však byli posedlí svou největší láskou – fyzikou. Když Bohr dostal během fotbalového zápasu nějaký nápad, zapisoval si rovnice na brankovou tyč. Oba také své myšlenky vybrušovali díky lidem kolem sebe, s jejichž pomocí své představy ověřovali. (Je zvláštní, že Bohr mohl pracovat pouze tehdy, když měl kolem sebe asistenty, jimž své nápady předkládal. Bez asistenta, který by mu dělal vrbu, byl bezradný.)

Rozhodující bitva vypukla na šesté Solvayské konferenci v Bruselu roku 1930. V sázce nebylo nic menšího než sama podstata skutečnosti. Einstein bez ustání dorážel na Bohra, který pod nepřetržitými útoky sice kolísal, ale dařilo se mu obratně hájit své pozice. Nakonec Einstein předložil elegantní „myšlenkový experiment“, který měl podle jeho názoru „strašidlo“ principu neurčitosti rozdrtit: představte si krabici, v níž je záření. Krabice má otvor s uzávěrem. Krátkým otevřením uzávěru můžeme z krabice vypustit jeden foton. Lze tedy velice přesně určit okamžik, kdy byl tento foton vyzářen. Později můžeme krabici zvážit. Po vypuštění fotonu váží krabice méně. Díky ekvivalenci hmoty a energie dokážeme teď říci, kolik energie krabice celkově obsahuje – a to také s velikou přesností. Známe tedy jak celkovou energii, tak okamžik otevření uzávěru s libovolnou přesností, bez jakékoliv neurčitosti, a princip neurčitosti je tudíž chybný.

Einstein se domníval, že konečně našel nástroj, pomocí něž novou kvantovou teorii vyvrátí.

Paul Ehrenfest, jeden z účastníků konference a svědek této urputné bitvy, později napsal: „Pro Bohra to byl těžký úder. V dané chvíli neviděl žádné řešení. Celý večer byl nesmírně nešťastný, chodil od jednoho člověka k druhému a snažil se je všechny přesvědčit, že tohle nemůže být pravda, protože pokud by E. měl pravdu, znamenalo by to konec fyziky. Nedokázal však přijít na žádný způsob, jak tento argument vyvrátit. Nikdy nezapomenu na to, jak tito dva sokové opouštěli univerzitní klub – Einstein s mírným ironickým úsměvem klidně, důstojně kráčí a po jeho boku kluše nesmírně rozrušený Bohr.“²²

Když Bohr později onoho večera s Ehrenfestem mluvil, nedokázal ze sebe vypravit nic víc než: „Einstein... Einstein... Einstein.“ Po těžké, bezesné noci se však Bohrovi konečně podařilo nalézt v Einsteinově argumentu mezeru a využít jeho vlastní teorii relativity k tomu, aby jej porazil. Všiml si totiž, že jelikož krabice teď váží méně než předtím, o trochu se v zemském gravitačním poli zvedne. Když však gravitace zeslábne, plynutí času se podle obecné relativity zrychlí (takže například čas na Měsíci odtikává rychleji). Libovolně malá nepřesnost při určování okamžiku, kdy byl uzávěr otevřen, by tedy přešla do neurčitosti měřené polohy krabice. Polohu krabice proto nemůžete změřit s absolutní jistotou. Navíc se jakákoliv neurčitost hmotnosti krabice odrazí v neurčitosti její energie a také její hybnosti, a proto hybnost krabice nemůžete znát s absolutní přesností. Když všechny tyto argumenty složíme dohromady, shodují se tyto dvě neurčitosti, jež Bohr rozpoznal – neurčitost polohy a neurčitost hybnosti –, přesně s principem neurčitosti. Bohr tedy kvantovou teorii úspěšně obhájil. Když se Einstein ohrazoval, že „Bůh se světem nehraje v kostky“, Bohr údajně odseknul: „Přestaňte říkat Bohu, co má dělat.“

Einstein musel nakonec uznat, že Bohr jeho argumenty úspěšně vyvrátil. Později napsal: „Jsem přesvědčen, že tato teorie nepochybně obsahuje kus skutečné pravdy.“²³ Když tuto historickou debatu mezi Bohrem a Einsteinem komentoval John Wheeler, řekl, že šlo o „největší diskusi v historii lidského myšlení, o níž vím. Za třicet let jsem nikdy neslyšel o debatě mezi dvěma významnějšími muži, jež by trvala déle a zabývala se hlubšími otázkami, které by měly pro chápání našeho podivuhodného světa zásadnější důsledky.“²⁴

Schrödinger, kterému nová interpretace jeho rovnic také nebyla po chuti, hodlal podkopat základy principu neurčitosti svým slavným kočičím problémem. Schrödinger o kvantové mechanice napsal: „Nelíbí se mi a je mi líto, že jsem s ní měl co společného.“²⁵ Nejabsurdnější problém, psal, je problém kočky uzavřené v krabici, uvnitř níž je láhev kyseliny kyanovodíkové – jedovatého plynu. K láhvi je připevněno kladívko, které může být uvolněno Geigerovým počítacem připojeným ke kousku radioaktivní látky. Není pochyb o tom, že radioaktivní rozpad je kvantový jev. Pokud se uran nerozpadne, bude kočka naživu. Jestliže se však nějaký atom rozpadne, počítáč se aktivuje, uvolní kladívko, které rozbije sklo, a kočka bude usmrcena. Podle kvantové teorie ale nedokážeme předpovědět, kdy se atom uranu rozpadne. V principu může existovat v obou stavech najednou – být neporušený i rozpadlý. Pokud ale atom uranu může existovat současně v obou stavech, znamená to, že v obou stavech musí existovat také kočka. Otázka tedy zní, zda je kočka mrtvá, či živá.

Za normálních okolností je to směšná otázka. Dokonce i když krabici nemůžeme otevřít, říká nám selský rozum, že kočka je buď mrtvá, nebo živá. Člověk nemůže být současně mrtvý i živý – to by popíralo všechno, co víme o vesmíru a fyzikální realitě. Kvantová teorie nám ale dává zvláštní odpověď. Ta zní, že vlastně nevíme. Než krabici otevřete, představuje kočku vlna, a vlny se, podobně jako čísla, mohou sčítat. Musíme sečíst vlnovou funkci mrtvé kočky a vlnovou funkci živé kočky. *Než krabici otevřete, není tedy kočka ani mrtvá, ani živá.* Dokud je uzavřena v krabici, můžete říct pouze to, že v krabici jsou vlny, které představují kočku, jež je mrtvá i živá zároveň.

Když nakonec krabici otevřeme, můžeme provést měření a sami se přesvědčit, zda je kočka mrtvá či živá. Proces měření, které provádí vnější pozorovatel, způsobí „zhroucení“ vlnové funkce a umožní nám určit přesný stav kočky. Nyní už víme, zda je kočka mrtvá, nebo živá. Klíčem je proces měření, které uskutečnil vnější pozorovatel: protože pozorovatel do krabice posvítí, vlnová funkce se zhroutila a objekt uvnitř se náhle dostal do konkrétního stavu.

Jinak řečeno je koncový stav objektu určen procesem pozorování. Slabina Bohrovy kodaňské interpretace spočívá v otázce, zda objekty doopravdy existují před tím, než vykonáme nějaké měření. Einsteinovi a Schrödingerovi to všechno připadalo absurdní. S těmito hlubokými

filozofickými otázkami (jež jsou dokonce ještě dnes předmětem náruživých diskuzí) se Einstein potýkal po celý zbytek života.

Tato záhada má několik znepokojivých aspektů, které Einsteinovi nedaly spát. Za prvé – předtím, než je provedeno měření, existujeme jako součet všech možných vesmírů. Nemůžeme s jistotou říct, zda jsme mrtví nebo živí, ani zda dosud nežijí dinosauři, či zda nebyla Země zničena již před miliardami let. Před měřením jsou možné všechny varianty. Za druhé to vypadá, jako by realitu vytvářel sám proces pozorování! Máme tu tedy další zvrát v diskusi o staré filozofické otázce, zda strom v lese skutečně spadnul, pokud jej nikdo neslyšel. Zastánce newtonovského pojetí by tvrdil, že strom může spadnout nezávisle na pozorování. Zástupce kodaňské školy by však prohlásil, že dokud strom není pozorován, může existovat ve všech možných stavech (jako padlý nebo stojící kmen, jako semenáček, jako vzrostlý strom, může být spálený, shnilý atd.), a jeho existence náhle začíná teprve v okamžiku pozorování. Kvantová teorie tak přináší zcela nečekanou interpretaci: pozorování stromu *určuje* jeho stav, tedy to, zda spadnul, či nikoliv.

Einstein měl již od dob svého působení na patentovém úřadu zvláštní schopnost vystihnout jádro každého problému. Lidí, co za ním přicházeli na návštěvu, se proto ptával: „Existuje Měsíc proto, že na něj hledí nějaká myš?“²⁶ Pokud má pravdu kodaňská škola, pak existence Měsíce opravdu v jistém smyslu začíná v tom okamžiku, kdy jej tato myš pozoruje a kdy se zhroutí jeho vlnová funkce. V průběhu následujících desetiletí bylo navrženo mnoho „řešení“ kočičího problému, žádné z nich však není zcela uspokojivé. Ačkoliv téměř nikdo nezpochybňuje platnost kvantové mechaniky samotné, zůstávají tyto otázky stále jedním z největších filozofických problémů celé fyziky.

„O kvantových problémech jsem uvažoval stokrát víc než o obecné teorii relativity,“ napsal Einstein o tom, jak se donekonečna potýkal s východisky kvantové teorie.²⁷ Po hlubokých úvahách vyrazil do protiútoků a přišel s myšlenkou, již považoval za rozhodující kritiku kvantové teorie. Roku 1933 společně se svými studenty Borisem Podolským a Nathanem Rosenem navrhnul neobvyklý experiment, z něž jde dokonce ještě dnes hlava kolem mnoha kvantovým fyzikům i filozofům. Tento takzvaný „EPR experiment“ sice navzdory Einsteinovým nadějím kvantovou teorii nevyvrátil, ale zato dokázal, že kvantová teorie, která byla již tehdy pěkně bizarní, je ještě podivnější. Představte si, že nějaký atom vyzáří opačnými

směry dva elektrony. Každý z těchto elektronů se otáčí jako dětský vlček a ukazuje buď nahoru nebo dolů. Předpokládejte dále, že tyto elektrony se otáčejí opačně, takže celkový spin je nulový, i když nevíte, kterým směrem se otáčejí. Jeden elektron se například může otáčet nahoru, zatímco druhý se otáčí dolů. Jestliže počkáte dost dlouho, vzdálí se možná tyto elektrony od sebe na miliardy kilometrů. Před měřením spiny elektronů neznáte.

Teď si představte, že spin jednoho z těchto elektronů konečně změříte. Zjistíte například, že se otáčí nahoru. Potom okamžitě znáte i spin druhého elektronu, ačkoliv je vzdálen mnoho světelných let – protože jeho spin je opačný než v případě jeho partnera, musí se otáčet dolů. Znamená to, že ve zdánlivém rozporu se speciální relativitou měření v jedné části vesmíru okamžitě určí stav elektronu na opačném konci vesmíru. Einstein tomu říkal „strašidelné působení na dálku“.²⁸ Filozofické důsledky těchto úvah jsou poněkud překvapivé. Znamená to, že některé atomy v našem těle mohou být jakousi neviditelnou sítí propojeny s atomy na opačném konci vesmíru tak, že pohyby v našem těle ve zdánlivém rozporu se speciální relativitou okamžitě ovlivňují stav atomů vzdálených miliardy světelných let. Einsteinovi se tato myšlenka nelíbila, protože znamenala, že *vesmír je nelokální*; to znamená, že události zde na Zemi okamžitě ovlivňují stav na opačném konci vesmíru a šíří se rychleji než světlo.

Jakmile se o této nové námitce proti kvantové mechanice doslechli Schrödinger, napsal Einsteinovi: „Velice mě potěšilo, že v onom článku... jste očividně dogmatické kvantové mechanice pořádně zatopil.“²⁹ Když o Einsteinově nejnovějším článku uslyšel Bohrov kolega Leon Rosenfeld, zapsal si: „všeho jsme nechali; takovéto nedorozumění jsme museli okamžitě vyjasnit. Silně rozrušený Bohr začal okamžitě diktovat koncept odpovědi.“³⁰

Kodaňská škola tuto výzvu ustála, ale zaplatila za to:

Bohr musel Einsteinovi přiznat, že kvantový vesmír je skutečně nelokální (neboli že události v jedné části vesmíru mohou okamžitě ovlivnit jinou část vesmíru). Všechno ve vesmíru je nějakým způsobem propojené a jaksi kosmicky „provázané“. EPR experiment tedy kvantovou mechaniku nevyvrátil, ale pouze odhalil, jak podivná doopravdy je. (V průběhu let byl tento experiment často špatně chápán a vyskytly se tucty spekulací o tom, že by šlo postavit EPR rádio vysílající nadsvětelnou rychlostí, nebo že lze posílat signály do minulosti, či že tento jev můžeme využívat k telepatii.)

EPR experiment však nepopírá relativitu. V tomto směru se naposledy smál Einstein. Pomocí EPR experimentu nelze nadsvětelnou rychlostí přenášet žádnou užitečnou informaci. EPR přístrojem například nemůžete odeslat morseovkou žádný text rychleji než světlo. Fyzik John Bell vysvětloval tento problém na příkladu matematika jménem Bertlmann, který vždy nosil jednu ponožku růžovou a druhou zelenou. Když jste zjistili, na které noze je zelená ponožka, hned jste věděli, že druhá ponožka je růžová. Přesto z jedné nohy na druhou neputoval žádný signál. Jinými slovy, něco vědět je něco úplně jiného, než tuto informaci odesílat. Mezi držením informace a jejím přenosem je propastný rozdíl.

Koncem dvacátých let 20. století tak vedle sebe stály dva impozantní fyzikální obory: relativita a kvantová teorie. Do těchto dvou teorií se daly shrnout veškeré vědomosti, které lidstvo o fyzikálním vesmíru dosud získalo. Jedna teorie, relativita, nám dala popis objektů, které jsou ohromně velké – teorii velkého třesku a černých děr. Druhá teorie, kvantová fyzika, nám dala popis objektů, které jsou velmi malé – popis bizarního světa atomu. Ačkoliv byla kvantová teorie založena na neintuitivních představách, nikdo nemohl zpochybňovat její úžasný experimentální úspěch. Na mladé fyziky, kteří byli ochotni kvantovou teorii používat, se Nobelovy ceny v podstatě jen hrnuly. Einstein byl příliš zkušeným fyzikem na to, aby průlomové objevy, k nimž v kvantové teorii docházelo téměř denně, ignoroval. Její experimentální úspěchy nezpochybňoval. Připouštěl, že kvantová mechanika je „nejúspěšnější fyzikální teorie naší doby“.³¹ Nebránil také kvantové mechanice v rozvoji, jak by to možná udělal nějaký menší fyzik. (Roku 1929 Einstein navrhnul, aby se o Nobelovu cenu podělili Schrödinger s Heisenbergem.) Místo toho změnil strategii. Tuto teorii již nenapadal kvůli tomu, že by byla chybná. Jeho novým cílem bylo pojmout kvantovou teorii do sjednocené teorie pole. Když jej šik kritiků z Bohrova tábora obviňoval, že kvantový svět ignoruje, odrážel je tím, že velikost jeho skutečného cíle je vpravdě kosmická: do nové teorie chtěl kvantovou teorii pohltnout v celé její šíři. Einstein používal analogii založenou na své vlastní práci. Relativita nedokázala, že by newtonovská teorie byla zcela chybná; ukázala pouze, že není úplná – že ji lze zahrnout do nějaké širší teorie. Newtonovská mechanika je tedy plně platná ve své vlastní specifické doméně: sféře nízkých rychlostí a velkých objektů. Podobně se Einstein domníval, že bizarní domněnky kvantové teorie o kočkách, které jsou současně mrtvé i

živé, je možné vysvětlit v nějaké vyšší teorii. V tomto ohledu celé zástupy Einsteinových životopisců nepochopily, o co jde. Einsteinovým cílem nebylo dokázat, že se kvantová teorie mýlí, jak tvrdili mnozí z jeho kritiků. Příliš často byl líčen jako poslední dinosaur klasické fyziky – stárnoucí rebel, z něž se náhle stává hlas reakce. Einsteinovým skutečným cílem bylo ukázat neúplnost kvantové teorie a použít sjednocenou teorii pole k jejímu završení. Jedním z požadavků na sjednocenou teorii pole dokonce bylo, aby v nějakém přiblížení zreprodukovala princip neurčitosti.

Einstein hodlal použít obecnou relativitu a sjednocenou teorii pole k vysvětlení původu samotné hmoty – chtěl *zkonstruovat hmotu z geometrie*. Roku 1935 zkoumal Einstein s Nathanem Rosenem nový postup, pomocí něž by kvantové částice – například elektron – vycházely jako přirozený důsledek jeho teorie, a nikoliv jako fundamentální objekty. Doufal, že tímto způsobem odvodí kvantovou teorii, aniž by musel čelit problému pravděpodobnosti a náhody. Ve většině teorií se elementární částice objevují jako singularity, neboli oblasti, kde rovnice divergují. Vezměte si například Newtonovu rovnici, kde síla je dána jako převrácená hodnota kvadrátu vzdálenosti mezi dvěma objekty. Jestliže tato vzdálenost klesá k nule, roste gravitační síla do nekonečna a dostáváme singulárity. Protože Einstein chtěl kvantovou teorii odvodit z nějaké hlubší teorie, usuzoval, že potřebuje teorii bez jakýchkoliv singularit. (Takové příklady existují i v jednoduchých kvantových teoriích. Nazývají se „solitony“ a připomínají smyčky v prostoru. Jsou tedy hladké a nesingulární, mohou se od sebe vzájemně odrážet a udržují si původní tvar.)

Einstein s Rosenem navrhovali originální způsob, jak takovéto řešení dostat. Začali se dvěma Schwarzschildovými černými dírami definovanými na dvou rovnoběžných listech papíru. Singularity obou černých děr se dají vystříhnout a potom můžeme oba listy slepit. Dostáváme tak hladké řešení bez singularit, o němž se Einstein domníval, že by mohlo představovat subatomární částici. *Kvantové částice lze tudíž pokládat za nepatrné černé díry.* (Tato myšlenka byla oživena o šedesát let později v teorii strun, podle jejichž matematických vztahů se subatomární částice mohou přeměňovat na černé díry a naopak.)

Na tento „Einsteinův-Rosenův most“ však lze pohlížet i z jiné stránky. Jde o první případ, kdy se vědecká literatura zmiňuje o „červí díře“, jež propojuje dva vesmíry. Červí díry jsou zkratky prostorem a časem podobné bráně či průchodu, jenž spojuje dva rovnoběžné listy papíru. Veřejnost s

představou červí díry seznámil Charles Dodgson (jinak známý jako Lewis Carroll), oxfordský matematik, který se více proslavil jako autor knih *Alenka v říši divů* a *Alenka za zrcadlem*. Když Alenka prostrčí ruku zrcadlem, vstupuje v podstatě na jakýsi Einsteinův-Rosenův most propojující dva vesmíry – podivuhodný svět říše divů a venkovskou krajinu kolem Oxfordu. Bylo samozřejmě jasné, že ten, kdo by Einsteinovým-Rosenovým mostem propadl, by byl rozdrčen ohromnou gravitační silou, jež dokáže roztrhat i atomy v lidském těle. Průchod červí dírou do paralelního vesmíru není možný, pokud je příslušná černá díra nehybná. (Významnou roli sehrál pojem červích děr ve fyzice teprve za šedesát let.)

Nakonec Einstein tuto myšlenku vzdal – částečně kvůli tomu, že neuměl vysvětlit bohatost subatomárního světa. Nedokázal zcela objasnit všechny zvláštní vlastnosti „dřeva“ pomocí „mramoru“. Subatomární částice měly zkrátka příliš mnoho vlastností (např. hmotnost, spin, náboj, kvantová čísla atd.), které se z jeho rovnic nepodařilo získat. Jeho cílem bylo nalézt představu, která by sjednocenou teorii pole ukázala v celé její nádheře – zásadní problém však spočíval v tom, že tehdy se toho ještě o vlastnostech jaderné interakce moc nevědělo. Einstein pracoval o celá desetiletí dříve, než data z výkonných urychlovačů částic podstatu subatomární hmoty vyjasnila. Proto tuto představu nikdy nevytvořil.

8 . K A P I T O L A

Válka, mír a $E=mc^2$

Ve třicátých letech 20. století, kdy se svět zmítal v drtivém stisku Velké hospodářské krize, se ulicemi Německa opět šířil chaos. Když se zhroutila měna, těžce pracující příslušníci střední vrstvy přišli prakticky ze dne na den o celoživotní úspory. Na neštěstí a pocitu křivdy německého lidu se přižívovala sílící nacistická strana a jeho hněv usměřňovala na příhodného obětního beránka – na Židy. Nacisté se díky podpoře vlivných průmyslníků brzy stali nejvýznamnější silou v Říšském sněmu. Einstein, jenž antisemitům vzdoroval již celé roky, si uvědomil, že tentokrát je situace životu nebezpečná. Ačkoliv byl pacifista, uvažoval realisticky a svůj názor ve světle prudkého vzestupu nacistické strany změnil. „Znamená to, že jsem proti použití síly za jakýchkoliv okolností, vyjma případu, kdy proti sobě máme nepřítel, pro nějž je ničení života cílem samo o sobě,“ napsal.¹ Jeho přizpůsobivost ovšem ještě čekala zkouška.

Roku 1931 vyšla kniha nazvaná *Sto odborníků proti Einsteinovi*, která obsahovala všemožné antisemitské špinavosti namířené proti slavnému fyzikovi. „Cílem naší publikace je čelit teroru einsteinovců a předvést sílu těch, kdo jim vzdorují,“ soptil tento spis.² Einstein později žertem říkal, že k popření relativity nebylo žádných sto odborníků potřeba. Kdyby byla relativita chybná, stačil by jediný důkaz.

V prosinci roku 1932 Einstein, jenž vzestupu nacismu nedokázal vzdorovat, opustil Německo nadobro. Vzal tehdy Elsu k jejich venkovskému domu v Caputhu a smutně jí řekl: „Ještě se ohlédni, už jej nikdy nespatříš.“³ Situace se dramaticky zhoršila 30. ledna 1933, kdy se nacisté, kteří byli již tehdy největším uskupením v parlamentu, definitivně chopili moci a německým kancléřem byl jmenován Adolf Hitler. Nacisté zabavili Einsteinův majetek a bankovní účet a zanechali jej oficiálně bez prostředků. Zabrali také jeho milovaný prázdninový dům v Caputhu, protože tvrdili, že tam našli jakousi nebezpečnou zbraň. (Později se zjistilo,

že šlo o nůž na chleba. Dům v Caputhu užívala za Třetí říše nacistická organizace Bund Deutscher Mädel – „Svaz německých dívek“.) Dne 10. května uspořádali nacisté veřejné pálení zakázaných knih, mezi nimiž byla i Einsteinova díla. Téhož roku oslovil Einstein belgický lid, jenž žil v temném stínu Německa: „Kdybych byl za dnešních okolností Belgičanem, vojenskou službu bych neodmítal.“⁴ Jeho komentář zveřejnila mezinárodní média, čímž si Einstein okamžitě vysloužil opovržení jak ze strany nacistů, tak ze strany ostatních pacifistů, z nichž mnozí se domnívali, že Hitlerovi se lze postavit jedině mírovými prostředky. Einstein, který si uvědomoval skutečnou hloubku brutality nacistického režimu, ze svého postoje neslevil: „Antimilitaristé se na mne vrhají jako na hříšného odpadlíka... ti lidé mají prostě klapky na očích.“⁵

Poté, co byl donucen z Německa uprchnout, byl světoběžník Einstein zase člověkem bez domova. Při cestě po Anglii navštívil roku 1933 Winstona Churchilla v jeho sídle. V Churchillově knize hostů do kolonky „adresa“ napsal: „Žádná“. Einstein, jenž nyní figuroval na jednom z čelných míst nacistické černé listiny, se musel starat o svou osobní bezpečnost. Jeden německý časopis uveřejnil seznam nepřátel nacistického režimu a na přední stránce otiskl Einsteinovu fotografii s titulkem: „Ještě nevisí“. Antisemité nadutě říkali, že když dokázali z Německa vypudit Einsteina, dokáží vyhnat všechny židovské vědce. Mezitím přijali nacisté nový zákon nařizující propuštění všech židovských úředníků, což pro německou fyziku znamenalo bezprostřední pohromu. Za první rok muselo kvůli novému zákonu o státní správě opustit Německo devět nositelů Nobelovy ceny a propuštěno bylo sedmnáct set členů profesorských sborů, což zasadilo novým technologiím a celé německé vědě ohromnou ránu. Následoval masový exodus z nacisty ovládané Evropy, který v podstatě odčerpал výkvět vědeckých kruhů.

Věčně smířlivý Max Planck odmítal veškeré snahy svých kolegů postavit se Hitlerovi veřejně. Raději zvolil cestu osobních kontaktů. V květnu 1933 se dokonce s Hitlerem setkal a naposledy ho naléhavě žádal, aby zabránil zhroucení německé vědy. Planck o tomto setkání napsal: „Doufal jsem, že jej přesvědčím, že vyhnáním našich židovských kolegů... způsobuje ohromné škody; že poukážu na to, jak nesmyslné a naprosto nemorální je pronásledovat lidi, již se vždy sami považovali za Němce a kteří pro Německo obětovali životy stejně jako kdokoliv jiný.“⁶ Na tomto setkání Hitler prohlásil, že proti Židům nic nemá, ale že jsou všichni

komunisté. Když se Planck pokusil odpovědět, Hitler na něj vyjel: „Říká se, že mívám záchvaty úzkosti, ale já mám nervy z ocele!“⁷ Pak se plácnul do kolena a pokračoval ve své protižidovské tirádě. Planck později litoval: „Nepodařilo se mi se s ním dorozumět... Pro komunikaci s takovými lidmi prostě neexistuje žádný jazyk.“⁸

Všichni Einsteinovi židovští kolegové z Německa prchali, aby si zachránili život. Když zemi opouštěl Leo Szilard, měl své celoživotní úspory nacpané v botách. Fritz Haber utekl roku 1933 z Německa do Palestiny. (Haber jako loajální německý vědec pomáhal při vývoji jedovatého plynu pro německou armádu – tehdy vzniknul smutně proslulý plyn Cyklon B. Ironií osudu právě jeho vynález usmrtil v koncentračním táboře Osvětim řadu jeho příbuzných.) Hysterie se obrátila i proti Erwinu Schrödingerovi, jenž židovského původu nebyl. Dne 31. března 1933, kdy nacisté vyhlásili celonárodní bojkot všech židovských obchodů, byl náhodou před velkým židovským obchodním domem Wertheim's v Berlíně a stal se svědkem toho, jak bandy jednotek SA s nacistickými svastikami bijí židovské obchodníky, zatímco kolem postávají policisté a dav lidí a smějí se. Schrödinger se rozzuřil, přistoupil k jednomu příslušníkovi SA a vynadal mu. Členové SA se otočili a místo Židů se vrhli na Schrödingera. Vědec byl zřejmě vážně zraněn, nebýt toho, že ho okamžitě poznal jeden mladý fyzik, rovněž ozdobený hákovým křížem, a podařilo se mu dostat jej do bezpečí.⁹ Nato hluboce otřesený Schrödinger Německo opustil a odjel do Anglie a Irska.

Roku 1943 zabrali nacisté Dánsko a Bohr, jenž byl částečně židovského původu, měl být odstraněn. Gestapu unikl jen o vlásek – utekl přes neutrální Švédsko a potom odletěl do Británie, přičemž se během letu kvůli špatně těsnící kyslíkové masce skoro udusil. Nesmírně trpěl i Planck, loajální vlastenec, jenž Německo nikdy neopustil. Jeho syn byl zatčen za pokus o atentát na Hitlera, nacisté jej mučili a později popravili.

I v exilu Einsteina zasypávaly pracovní nabídky z celého světa. O světoznámou osobnost projevovaly mimořádný zájem přední anglické, španělské i francouzské univerzity. Einstein již dříve působil jako hostující profesor na princetonské univerzitě. Zimy trávil v Princetonu a léta v Berlíně. Abraham Flexner, zastupující nový ústav, jenž měl v Princetonu vzniknout hlavně díky pěti milionům dolarů od mecenáše Louise Bambergera, se s Einsteinem několikrát setkal a oťukával možnost, že by se Einstein do nového ústavu přesunul. To, že by mohl volně cestovat a

neměl pedagogické povinnosti, se Einsteinovi zamlouvalo. I když byl oblíbeným přednášejícím, který svým humorem pravidelně dostával posluchače a zábavnými historkami okouzloval členy královských rodin, braly mu učitelské povinnosti a přednášení čas, jenž by jinak věnoval své zamilované fyzice.

Jeden kolega Einsteina varoval, že pokud se natrvalo přestěhuje do Spojených států, bude to stejné, jako kdyby „spáchal sebevraždu“. Spojené státy byly před náhlým přílivem židovských vědců, již prchali před nacistickým Německem, považovány za vědecký zapadákov, kde téměř žádné z univerzitních institucí nebyly schopny konkurovat ústavům evropským. V dopisu belgické královně Elisabeth Einstein svou volbu obhajoval takto: „Princeton je krásné místečko... malebná, škrobená vesnička plná titěrných afektovaných polobohů. Protože nedbám jistých zvláštních zvyklostí, podařilo se mi kolem sebe vytvořit atmosféru, jež napomáhá studiu a nerozptyluje mne.“¹⁰ Zprávu o tom, že Einstein se usadil ve Spojených státech, zaznamenal celý svět. „Papež fyziky“ opustil Evropu. Novým Vatikánem se měl stát Ústav pokročilých studií v Princetonu.

Když Einsteinovi poprvé ukazovali jeho kancelář, zeptali se jej, co potřebuje. Řekl, že kromě stolu a židle potřebuje „velký koš... abych mohl vyhazovat všechny své chyby“.¹¹ (Institut patrně učinil nabídku také Erwinu Schrödingerovi. Říká se však, že Schrödingerovi, jenž byl často doprovázen manželkou a přítelkyní a prakticoval „otevřené manželství“ s dlouhým seznamem milenek, se místní atmosféra zdála příliš tísnivá a konzervativní.) Nový obyvatel New Jersey, jenž se okamžitě stal nejslavnějším vědcem v zemi, Američany fascinoval. Brzy o něm věděli už úplně všichni. Jistí dva muži z Evropy se vsadili a poslali dopis s adresou „Dr. Einstein, Amerika“, aby zjistili, zda dojde. Došel.¹²

Třicátá léta byla pro Einsteina těžká i osobně. Potvrzovaly se jeho nejhorší obavy o syna Eduarda (jemuž něžně přezdíval Tedel). Roku 1930 se Eduardovi rozpadl vztah s jistou starší ženou a on se nervově zhroutil. Byl odvezen na psychiatrickou kliniku v Burghozli u Curychu, do téhož ústavu, kde byla hospitalizována i Milevina sestra. Eduardovi byla diagnostikována schizofrenie. Po celý zbytek života – až na krátké vycházky – ústavní péči neopustil. Einstein, jenž se vždy obával, že jeden z jeho synů by mohl psychické problémy jeho ženy podědit, dával vinu „temné dědičnosti“.¹³ „Už od Tedelova dětství jsem sledoval, jak se to pomalu, ale

neodvratně blíží,“ napsal smutně.¹⁴ Jeho blízký přítel Paul Ehrenfest, který v počátcích podnítil rozvoj obecné relativity, trpěl depresemi. Roku 1933 spáchal sebevraždu a zastřelil přitom i svého duševně zaostalého synka.

Roku 1936 zemřela po delší bolestivé nemoci Elsa, jež žila s Einsteinem dvě desítky let. Podle přátel byl Einstein „úplně sinalý a otřesený“.¹⁵ Její smrt „převala to nejsilnější pouto, jež jej kdy k nějaké lidské bytosti vázalo“.¹⁶ Nesl to těžce, ale pomalu se zotavoval. Později napsal: „Velice jsem si na zdejší život zvykl. Žiji tu jako medvěd v doupěti... Smrt mé družky, jež to s druhými uměla lépe než já, mou medvědovitost jen umocnila.“¹⁷

Po Elsině smrti bydlel se svou sestrou Májou, jež také uprchla před nacisty, s nevlastní dcerou Margot a sekretářkou Helen Dukasovou. Začala poslední fáze jeho života. Během třicátých a čtyřicátých let 20. století rychle zestárnul a bez Elsy, která v jednom kuse pečovala o jeho vzhled, se elegantní, charismatická osobnost, která ve smokingu oslňovala krále a královny, vrátila ke starým bohémským způsobům z mládí. Právě tehdy se z něj stala ona stříbrovlasá postava, již si veřejnost připomíná nejraději, onen mudrc z Princetonu, jenž stejně dobromyslně zdravil děti i členy královských rodin.

Klid ale Einsteina nečekal. Už v době, kdy žil v Princetonu, přišla další výzva – tentokrát šlo o sestrojení atomové bomby. Již roku 1905 vyslovil Einstein domněnku, že jeho teorie by mohla vysvětlit, jak může malé množství radia vydávat ve tmě silnou záři a jak to, že tyto atomy zdánlivě bez omezení uvolňují velké množství energie. Ve skutečnosti může být množství energie uzavřené v jádře snadno sto-milionkrát větší než energie ukrytá v nějaké chemické zbrani. Ve dvacátých letech 20. století už Einstein pochopil, jak ohromný praktický dopad může energie skrytá v jádře atomu mít, a napsal: „Je možné – a není to vůbec nepravděpodobné –, že budou zpřístupněny nové, nesmírně vydatné zdroje energie. Žádná dnes známá fakta ovšem tuto představu přímo nepodporují. Je tedy těžké cokoliv prorokovat, ale tato myšlenka patří do říše možného.“¹⁸ Roku 1921 dokonce spekuloval o tom, že někdy v daleké budoucnosti by současná ekonomika založená na uhlí mohla být nahrazena jadernou energií. Byl si však také jasně vědom dvou velikých problémů. Za prvé by tento kosmický oheň mohl být použit k sestrojení atomové bomby, což by mělo pro lidstvo strašlivé důsledky. Einstein napsal prorocká slova: „V porovnání s jejími destruktivními účinky by bylo veškeré bombardování a ostřelování od

vynálezu střelných zbraní nevinnou dětskou hrou.“¹⁹ Napsal také, že atomová bomba by mohla spustit jaderný terorismus a dokonce i rozpoutat jadernou válku: „Pokud by se tato nesmírná energie opravdu dala uvolnit, ocitli bychom se v epoše, ve srovnání s níž by naše ukoptěná současnost vypadala jako zlatý věk.“²⁰

A konečně – a to bylo nejdůležitější – si uvědomoval, jak nesmírně obtížné bude takovou zbraň sestrojít. Pochyboval o tom, že by k tomu mohlo dojít ještě za jeho života. Úkol vzít strašlivou energii uzamčenou v jediném atomu a bilionkrát ji zesílit s sebou nesl takové praktické problémy, jaké byly ve dvacátých letech 20. století zcela mimo dosah vědy. Einstein napsal, že to je stejně obtížné „jako střílet ptáky potmě a ještě někde, kde je jich málo“.²¹

Chápal, že klíč by mohl spočívat v jakémsi znásobení energie jediného atomu. Kdyby šlo vzít energii nějakého atomu a následně spustit další uvolňování energie z okolních atomů, možná by se tato jaderná energie zesílit dala. Einstein naznačoval, že pokud „budou uvolňované paprsky... schopny vyvolat zase tytéž účinky“, mohlo by dojít k řetězové reakci.²² Ve dvacátých letech 20. století však neměl žádnou představu o tom, jak by takovéto řetězové reakce bylo možné docílit. S představou jaderné energie si samozřejmě pohrávali i jiní vědci – těm však nešlo o prospěch lidstva a jejich pohnutky nebyly nijak ušlechtilé. V dubnu roku 1924 informovali Paul Harteck a Wilhelm Groth muniční úřad německé armády, že „země, jež ji využije jako první, bude mít nad ostatními nevyčísitelnou převahu“.²³

Problém spojený s uvolněním této energie je následující: jádro atomu je kladně nabitě, a ostatní kladné náboje tudíž odpuzuje. Jádro je tedy chráněno před všemi náhodnými srážkami, jež by jeho téměř neomezenou energii mohly uvolnit. Ernest Rutherford, jehož průkopnická práce vedla k objevu jádra atomu, představu atomové bomby zavrhnul a prohlásil, že „kdokoliv očekává v transformaci těchto atomů zdroj energie, plácá nesmysly“.²⁴ Tato patová situace byla dramaticky prolomena roku 1932, kdy James Chadwick objevil novou částici – neutron. Tento společník protonu v jádře je nábojově neutrální. Kdyby bylo možné vystřelit na jádro svazek těchto částic, mohl by neutron, jenž není okolním elektrickým polem odpuzován, jádro roztržít a jadernou energii tak uvolnit. Fyziky tehdy napadlo, že svazek neutronů by mohl atom lehce rozštěpit a atomovou bombu odpálit.

I když měl Einstein o možnosti sestrojení atomové bomby pochybnosti, klíčové události vedoucí k jadernému štěpení se odvíjely stále rychleji. Roku 1938 nadchli fyzikální veřejnost Otto Hahn a Fritz Strassmann z Fyzikálního ústavu císaře Viléma v Berlíně, kteří rozštěpili jádro uranu. Po ostřelování uranu neutrony našli stopy barya, což nasvědčovalo tomu, že uranové jádro se rozpůlilo a vzniklo tak baryum. Výzkumnice Lise Meitnerová, Hahnova kolegyně, jež před nacisty kvůli svému židovskému původu uprchla, a její synovec Otto Frisch dali Hahnovu výsledku chybějící teoretický základ. Jejich výsledky ukazovaly, že úlomky, které po tomto procesu zbyly, váží o něco méně než původní uranové jádro. Vypadalo to, jako by se při této reakci ztrácela hmota. Rozštěpením uranového atomu se také uvolnila zdánlivě z ničeho energie 200 milionů elektronvoltů. Kam se poděla ona chybějící hmota a odkud se vzala ona tajemná energie? Meitnerová si uvědomila, že klíč k této hádance je skryt v Einsteinově rovnici $E=mc^2$. Vezmeme-li chybějící hmotu a vynásobíme-li ji c^2 , dostaneme 200 milionů elektronvoltů – přesně podle Einsteinovy teorie. Když se o tomto překvapivém ověření Einsteinovy rovnice dozvěděl Bohr, okamžitě význam tohoto výsledku pochopil. Plácnul se do čela a zvolal: „Ach, to jsme byli ale všichni hlupáci!“²⁵

V březnu 1939 řekl Einstein deníku *New York Times*, že výsledky nás dosud „neopravňují předpokládat praktické využití atomové energie uvolněné při tomto procesu... Neexistuje však jediný fyzik, jenž by měl tak málo kuráže, že by připustil, aby tato skutečnost ovlivnila jeho zájem o toto velice důležité téma.“²⁶ Ironií osudu zjistili téhož měsíce Enrico Fermi a Frédéric Joliot-Curie (zeť Marie Curieové), že rozštěpením uranového jádra je možné uvolnit dva neutrony. Šlo o ohromující výsledek. Pokud by tyto dva neutrony mohly opět rozštěpit dvě další uranová jádra, dostaneme čtyři neutrony, potom osm, potom šestnáct, potom třicet dva – až donekonečna. Nepředstavitelná energie jaderných sil se tak uvolní v řetězové reakci. Během zlomku sekundy by rozštěpení jediného atomu uranu mohlo spustit štěpení bilionů a bilionů dalších atomů uranu a uvolnit tak neskutečné množství jaderné energie. Fermi se díval z okna své kanceláře na newyorské Kolumbijské univerzitě a chmurně přemítal o tom, že jediná atomová bomba by dokázala zničit všechno to, co vidí.

Závod byl odstartován. Szilard, vyděšený ohromným tempem událostí, se strachoval, že by Němci, kteří byli v atomové fyzice nejlepší, mohli jadernou bombu sestrojít jako první. Roku 1939 odjeli Szilard a Eugene

Wigner na Long Island, kde chtěli navštívit Einsteina, aby podepsal dopis, jenž měl být předán prezidentu Rooseveltovi.

Onen osudný dopis – jeden z nejdůležitějších ve světových dějinách – začínal slovy: „Nedávné práce E. Fermiho a L. Szilarda, jejichž rukopisy mi byly předány, mě vedou k předpokladu, že prvek uran bude zřejmě v nejbližší budoucnosti možné využít jako nový a důležitý zdroj energie.“²⁷ Tento dopis poukazoval na zlověstnou skutečnost, že Hitler vpadl do Československa a neprodyšně uzavřel české smolincové doly – bohatý zdroj uranové rudy. Dopis dále varoval: „Jediná bomba tohoto typu, převážená lodí či odpálená v přístavu, by snadno mohla zničit celý tento přístav i část okolního území. Pro leteckou přepravu však budou patrně takovéto bomby příliš těžké.“ Dopis byl odevzdán Alexanderu Sachsovi, Rooseveltovu poradci, jenž jej měl prezidentovi předat. Když se Sachs Roosevelta zeptal, zda chápe, jak nesmírně je tento dopis závažný, Roosevelt odpověděl: „Vy si, Alexi, prostě chcete být jistý, že nás nacisté nevyhodí do vzduchu.“ Obrátil se ke generálu E. M. Watsonovi a řekl: „Tohle volá po činu.“²⁸ Na celý rok výzkumu uranu bylo schváleno pouhých šest tisíc dolarů. Zájem o atomovou bombu však náhle ožil, když do Washingtonu na podzim roku 1941 dorazila tajná zpráva Frische a Peierlse. Tito britští vědci nezávisle na Američanech potvrdili všechny podrobnosti, které nastínil Einstein, a 6. prosince 1941 tak byl tajně spuštěn projekt Manhattan.

Pod vedením J. Roberta Oppenheimera, jenž se předtím zabýval Einsteinovou teorií černých děr, byly tajně kontaktovány stovky předních světových vědců, kteří byli potom převezeni do města Los Alamos v poušti ve státě Nové Mexiko. Vědci jako Hans Bethe, Enrico Fermi, Edward Teller a Eugene Wigner mizeli potichu ze všech významných univerzit poté, co jim někdo diskrétně poklepal na rameno. (Všichni ale z velkého zájmu o atomovou bombu radost neměli. Lise Meitnerová, jejíž práce pomohla tento projekt spustit, jakoukoliv spolupráci na vývoji bomby vytrvale odmítala. Byla jedinou významnou odbornicí na jadernou fyziku na straně Spojenců, jež odmítla výzvu, aby se připojila ke skupině v Los Alamos. „S bombou nechci mít nic společného!“ prohlásila kategoricky.²⁹ Když se o mnoho let později hollywoodští scenáristé snažili idealizovat ji ve filmu *The Beginning of the End* [Začátek konce] jako ženu, jež při svém útěku z nacistického Německa statečně propašovala plán bomby, řekla, že než se

podílet na takovém vulgárním nesmyslu, to by „se raději prošla po Broadwayi nahá“.³⁰⁾

Einsteinovi neušlo, že všichni jeho blízcí spolupracovníci z Princetonu najednou mizí a nechávají na sebe záhadné poštovní spojení do městečka Santa Fe v Novém Mexiku. Einsteinovi samotnému však nikdo na rameno nezaťukal, a tak celou válku strávil v Princetonu. Proč tomu tak bylo, to odhalily odtajněné válečné dokumenty. Vannevar Bush, šéf Úřadu pro vědecký výzkum a vývoj a poradce, jemuž Roosevelt plně důvěřoval, napsal: „Velice bych si přál, abych mu [Einsteinovi] mohl celou tu záležitost předložit... vzhledem k postoji lidí tady ve Washingtonu, kteří prozkoumali jeho minulost, to je však zcela nemožné.“³¹ FBI a vojenská rozvědka totiž došly k závěru, že Einsteinovi nelze důvěřovat: „Vzhledem k radikálním názorům dr. Einsteina nedoporučuje tento úřad využívat ho pro projekty tajné povahy bez velice pečlivého šetření, protože se nezdá být pravděpodobné, že by se člověk jeho názorů mohl v tak krátkém čase stát loajálním americkým občanem.“³² FBI si zřejmě neuvědomila, že Einstein si byl existence projektu velice dobře vědom, a především že jej vlastně pomohl spustit.

Einsteinův spis u FBI, jenž byl nedávno odtajněn, má 1427 stránek. J. Edgar Hoover měl na Einsteina spadeno a považoval jej buď za komunistického špiona, nebo přinejlepším za důvěřivou oběť komunistů. FBI pečlivě prověřovala veškeré klepy o Einsteinovi a zakládala je do spisu. Paradoxem ale je, že co se týče přímé konfrontace s Einsteinem, byla tato organizace podivně nesevdomitá – jako by se jej bála. Místo toho agenti raději vyslýchali a obtěžovali osoby kolem něj. To mělo za následek, že se na FBI začaly vršit stovky dopisů od všech možných pomatenců a paranoiků. FBI archivovala zejména zprávy o tom, že Einstein pracuje na jakémsi druhu paprsků smrti. V květnu roku 1943 navštívil Einsteina jistý námořní poručík a zeptal se jej, zda by byl ochoten pracovat na zbraních a výbušninách pro americké námořnictvo. „Měl velice špatný pocit z toho, že jej opomíjejí. Vůbec nikdo jej nekontaktoval, aby se do válečného úsilí jakkoliv zapojil,“ napsal později poručík.³³ Einstein, jenž měl vždy po ruce nějaký ten vtípek, poznamenal, že je teď u námořnictva, a přitom se ani nemusel nechat ostříhat.

Soustředěné spojenecké úsilí o sestrojení atomové bomby bylo posilováno obavami z bomby německé. Německé válečné soukolí ovšem ve skutečnosti trpělo silným nedostatkem lidí i peněz. Werner Heisenberg,

největší německý kvantový fyzik, dostal na starost tým vědců, kteří měli na německém projektu pracovat. Když si němečtí vědci na podzim roku 1942 uvědomili, že výroba atomové bomby si vyžádá ještě další tři roky vyčerpávajícího úsilí, Albert Speer, nacistický ministr odpovědný za výzbroj armády, se rozhodl tento projekt dočasně odložit. V tom Speer udělal strategickou chybu, protože předpokládal, že Německo válku během tří let vyhraje, takže bomba nebude zapotřebí. Přesto i nadále finančně podporoval výzkum ponorek s jaderným pohonem.

Heisenberga omezovaly i jiné problémy. Hitler vyhlásil, že vývoj munice bude pokračovat pouze v případě programů, jež slibují výsledky do šesti měsíců, což byl nesplnitelný termín. Kromě toho, že se jim nedostávalo peněz, byly německé laboratoře také napadány Spojeneckými silami. Roku 1942 vyhodil přepadový oddíl do vzduchu Heisenbergovu továrnu na těžkou vodu v norském městě Vemork. Na rozdíl od Fermiho, jenž se rozhodl vybudovat reaktor založený na uhlíku, si totiž Němci vytkli za cíl postavit těžkovodní reaktor, v němž lze používat přírodní uran, jehož je dostatek, a nikoliv pouze nesmírně vzácný uran 235. Roku 1943 Spojenci tvrdě udeřili na Berlín kobercovými nálety a přinutili tak Heisenberga, aby svou laboratoř přesunul. Fyzikální ústav císaře Viléma byl tedy vystěhován do města Hechingen ležícího v kopcích jižně od Stuttgartu. Heisenberg musel německý reaktor postavit v podzemní skalní hale v nedalekém Haigerlochu. V situaci, kdy byli pod neustálým tlakem a hrozilo bombardování, se zde vědcům řetězovou reakci nepodařilo udržet.

Mezitím se fyzikové zapojení do projektu Manhattan snažili rychle zpracovat dostatečné množství plutonia a uranu na čtyři atomové bomby. Potřebné výpočty prováděli až do samotného okamžiku osudového výbuchu u města Alamogordo v Novém Mexiku. První bomba na bázi plutonia 239 byla odpálena v červenci roku 1945. Po přesvědčivém Spojeneckém vítězství nad nacisty se mnozí fyzikové domnívali, že proti zbývajícím nepříteli – Japonsku – bomba nebude zapotřebí. Někteří měli za to, že atomová bomba by měla být odpálena jako názorná ukázka nad nějakým opuštěným ostrovem a výbuchu by měla přihlížet delegace představitelů Japonska. Toto varování by je mělo upozornit, že kapitulace je neodvratná. Další dokonce sepsali koncept dopisu, v němž žádali prezidenta Harryho Trumana, aby bombu na Japonsko neshazoval. Tento dopis však bohužel nebyl doručen. Jeden vědec, Joseph Rotblat, z projektu na sestrojení atomové bomby dokonce odstoupil. Uvedl, že jeho práce je u

konce a že bomba by proti Japonsku nikdy neměla být použita. (Později získal Nobelovu cenu za mír.)

Přesto bylo rozhodnuto, že v srpnu 1945 bude na Japonsko shozena nikoliv jedna, ale hned dvě atomové bomby. Einstein byl tehdy na dovolené ve městečku Saranac Lake ve státě New York. Téhož týdne zaslechla tuto zprávu v rádiu i Helen Dukasová. Později vzpomínala, že ve zprávách „říkali, že na Japonsko byl shozen nějaký nový druh bomby. Hned jsem věděla, o co jde, protože jsem něco matně tušila o té záležitosti se Szilardem... Když profesor Einstein přišel dolů na čaj, pověděla jsem mu to a on řekl: Ach, Weh' [Ach běda].“³⁴

Roku 1946 se Einstein dostal na obálku časopisu *Time*.³⁵

Za ním se tentokrát zlověstně zdvíhala ohnivá jaderná koule. Svět si najednou uvědomil, že příští, třetí světová válka, by mohla být vedena pomocí atomových bomb. Einstein však poznamenal, že jelikož jaderné zbraně možná vrátí civilizaci o tisíce let zpátky, bude se ve čtvrté světové válce bojovat kameny. Téhož roku se Einstein stal předsedou Mimořádného výboru atomových vědců – patrně první velké protijaderné organizace – a využil jej jako platformu, z níž bojoval proti pokračující výrobě jaderných zbraní a propagoval jeden ze svých oblíbených cílů – celosvětovou vládu.

Uprostřed bouře, kterou atomové a vodíkové bomby rozpoutaly, si Einstein duševní vyrovnanost a zdravý rozum udržoval díky tomu, že se stále tvrdošijně vracel ke své fyzice. Ve čtyřicátých letech 20. století stále ještě docházelo k zásadním objevům v oblastech, jež pomáhal zakládat, včetně kosmologie a sjednocené teorie pole. Měl to být jeho poslední a závěrečný pokus „vyčíst boží záměr“.

Po válce udržoval Schrödinger s Einsteinem přes moře čilou korespondenci. Oba otcové kvantové teorie v téměř naprostém osamocení vzdorovali vzestupu kvantové mechaniky a soustředili se na hledání sjednocené teorie pole. Roku 1946 se Schrödinger Einsteinovi svěřil: „Vyjdete po velké kořisti. Jste na lovu lva, zatímco mně jde o králíky.“³⁶ Schrödinger, povzbuzovaný Einsteinem, pokračoval ve svém honu za konkrétním druhem sjednocené teorie pole nazývaným „afinní teorie pole“. Brzy dokončil svou vlastní teorii, která jej přesvědčila, že konečně dosáhl toho, co se Einsteinovi nepodařilo – sjednocení světla a gravitace. Užasle prohlašoval, že jeho nová teorie je úplný „zázrak“, „naprosto neočekávaný boží dar“.

Schrödinger, jenž pracoval v Irsku, si připadal izolovaný od hlavního proudu fyziky, práce univerzitního hodnostáře mu připadala degradující a cítil se jako omšelý stín své vlastní minulosti. Nyní byl přesvědčen o tom, že by mu jeho nová teorie mohla přinést druhou Nobelovu cenu. Spěšně svolal velkou tiskovou konferenci. Jeho vystoupení si přišli poslechnout i irský ministerský předseda Eamon De Valera a další osobnosti. Když se ho jeden reportér zeptal, nakolik si je svou teorií jistý, řekl: „Věřím, že se nepletu. Pokud se mýlím, naprosto se znemožním.“³⁷ Einstein však rychle pochopil, že Schrödinger se zabývá teorií, již on sám odložil již před mnoha roky. Jak kdysi napsal fyzik Freeman Dyson, cesta vedoucí ke sjednocené teorii pole je posetá torzy neúspěšných pokusů.

Einstein v práci na sjednocené teorii pole nezdolně pokračoval, a to převážně nezávisle na zbytku fyzikální obce. Protože mu chyběl fyzikální princip, jenž by ho vedl, snažil se ve svých rovnicích hledat krásu a eleganci. Jak jednou řekl matematik G. H. Hardy: „I matematické obrazce musí být krásné, stejně jako obrazy malířské či básnické. Myšlenky do sebe musí harmonicky zapadat podobně jako barvy či slova. První zkouškou je krása. Ošklivá matematika dlouho nevydrží.“³⁸ Einstein však při hledání sjednocené teorie pole postrádal něco, co by odpovídalo principu ekvivalence, a tak před sebou neměl žádnou hvězdu, za kterou by mohl jít. Stěžoval si na to, že ostatní fyzikové nevidí svět stejně jako on, ale nikdy se tím příliš netrápil. Jednou napsal: „Stal se ze mě samotářský stařík. Jakási patriarchální postava, jež je známá hlavně tím, že nenosí ponožky, a kterou při různých příležitostech vystavují jako kuriozitu. Pracuji ale horlivěji než kdy dříve a skutečně chovám naději, že jsem své staré problémy při sjednocování fyzikálního pole vyřešil. Je to ovšem něco takového, jako kdybyste byli ve vzducholodi, v níž můžete křížovat mezi oblaky, ale jak se vrátit do reality, tedy na zem, to nevidíte.“³⁹

Einstein si uvědomoval, že je izolován od hlavních směrů výzkumu v ústavu, protože nepracuje na kvantové teorii, ale na své sjednocené teorie pole. „Musím vypadat jako pštros, jenž navždy schoval hlavu v relativistickém písku, aby nemusel čelit ďábelským kvantům,“ stěžoval si.⁴⁰ S postupujícími roky se mezi fyziky začalo šířit, že už není nejmladší a že zaspal dobu, ale to jej netrápilo. „Všeobecně jsem pokládán za jakousi zkamenělinu, která s léty přišla o zrak i sluch. Nepřipadá mi to nijak nevkusné, protože tato role odpovídá mé povaze,“ napsal.⁴¹

Roku 1949 oslavil Einstein sedmdesátiny a v ústavu byla na jeho počest uspořádána zvláštní oslava. Desítky fyziků přišly vzdát čest největšímu vědci své doby a přispěly články do knihy vydané při této příležitosti. Z tónu některých řečníků a z rozhovorů pro tisk však nakonec vyplynulo, že někteří z nich mají Einsteinovi za zlé jeho postoj ke kvantové teorii. Einsteinovi přívrženci z toho moc šťastní nebyli, ale Einstein to bral smířlivě. Rodinný přítel Thomas Bucky poznamenal, že „Oppenheimer si v jakémsi časopise z Einsteina utahoval výroky typu: ‚Je starý. Nikdo už mu nevěnuje žádnou pozornost.‘ Nás to rozzuřilo doběla. Einstein se ale vůbec nezlobil. Jen tomu prostě nevěřil, a Oppenheimer později popřel, že by to řekl.“⁴²

Brát kritiky s rezervou bylo přesně v Einsteinově stylu. Když ona kniha na jeho počest vyšla, napsal v dobrém rozmaru: „Toto není kniha vydaná k mému jubileu, ale obžaloba.“⁴³ Byl natolik ostříleným vědcem, aby věděl, že nové myšlenky se rodí obtížně a že nápady již nepřicházejí tak rychle jako v mládí. Jak kdysi napsal: „Na to doopravdy nové člověk přichází jen v mládí. Později získá více zkušeností, stane se slavnějším – a zhloupne.“⁴⁴

Sílu pokračovat mu dávaly náznaky, které viděl všude kolem sebe a které svědčily o tom, že sjednocení je jedním z velkých vesmírných principů. Jednou napsal: „Příroda nám ukazuje jen lví ocas. Nepochybuji ale o tom, že na jeho konci je lev, i když je tak ohromný, že se nemůže ukázat najednou.“⁴⁵ Každý den si hned po probuzení položil jednoduchou otázku: Jak by stvořil vesmír, kdyby byl Bohem? A vzhledem ke všem podmínkám, jež je při stvoření vesmíru nutné splnit, se ptal také: Měl Bůh vůbec na výběr? Když hleděl na vesmír, všechno nasvědčovalo tomu, že sjednocení je největším tématem přírody, že Bůh nemohl stvořit vesmír, v němž by gravitace, elektřina a magnetismus byly oddělené entity. To, co mu – jak věděl – chybělo, byl princip, jímž by se řídil, fyzikální představa, jež by mu osvětlila cestu ke sjednocené teorii pole. Žádná nepřicházela.

V případě speciální relativity mu pomohla představa šestnáctiletého mladíka honícího světelný paprsek. V případě obecné relativity to byl muž balancující na nakloněné židli nebo kuličky kutálející se zakřiveným prostorem. V případě sjednocené teorie pole však žádné takové vodítko neměl. Einstein se proslavil svým výrokiem: „Náš Pán je rafinovaný, avšak zlomyslný není.“⁴⁶ Po desítkách let, kdy se potýkal s problémem sjednocení, se přiznal své asistentce Valentine Bargmanové: „Rozmyslel jsem si to. Možná že Bůh zlomyslný je.“⁴⁷

Ačkoliv hledání sjednocené teorie pole proslulo jako nejobtížnější problém celé fyziky, šlo též o problém nejatraktivnější, který zlákal celé zástupy vědců. Je paradoxní, že této mánii nakonec podlehl například i Wolfgang Pauli, jeden z nejpřísnějších Einsteinových kritiků v otázkách sjednocené teorie pole. Koncem padesátých let 20. století se Heisenberg i Pauli stále více zajímali o jistou verzi sjednocené teorie pole, o níž tvrdili, že by mohla vyřešit problémy, jež Einsteinovi nedaly spát celých třicet let. Jak píše Pais: „Od roku 1954 až do konce života byl Heisenberg (zemřel roku 1976) pohroužen do pokusů odvodit celou částicovou fyziku z fundamentální nelineární vlnové rovnice.“⁴⁸ Roku 1958 navštívil Pauli Kolumbijskou univerzitu, kde promluvil o Heisenbergově-Pauliho verzi sjednocené teorie pole. Posluchači byli samosebou skeptičtí. Niels Bohr, jenž byl mezi nimi, si nakonec stoupl a řekl: „My tady vzadu jsme přesvědčeni, že vaše teorie je šílená. Rozcházíme se však v názoru na to, zdaje šílená dostatečně.“⁴⁹

Fyzik Jeremy Bernstein, jenž byl také mezi posluchači, poznamenal: „Bylo to zvláštní setkání dvou velikánů moderní fyziky. Pořád jsem dumal o tom, jaký dojem by z toho měl návštěvník, který by nebyl fyzik.“⁵⁰ Nakonec byla tato teorie pro Pauliho rozčarováním – usoudil, že má příliš mnoho nedostatků. Když Heisenberg naléhal, aby na teorii pracovali dál, napsal Pauli svému spolupracovníkovi dopis, k němuž přiložil prázdný list papíru. V dopisu psal, že pokud je tato teorie skutečně sjednocenou teorií pole, potom je ten list papíru obraz od Tiziana.

Pokrok v oblasti sjednocené teorie pole byl pomalý a bolestný, ale Einsteina zaměstnávaly i mnohé jiné zajímavé objevy, k nimž docházelo. K jedněm z nejzvláštějších patřily stroje času.

Pro Newtona byl čas jako šíp. Když je jednou vystřelen, letí neomylně po přímce a nikdy se neodchýlí ze své dráhy. Jedna sekunda na Zemi byla jednou sekundou v kosmu. Čas byl absolutní a tikal stejnou rychlostí rovnoměrně po celém vesmíru. K událostem mohlo docházet po celém vesmíru současně. Einstein však zavedl pojem relativního času, takže jedna sekunda na Zemi již nebyla jednou sekundou na Měsíci. Čas byl najednou jako stará dobrá Mississippi – kroutil se na své pouti mezi planetami a hvězdami a zpomaloval, když procházel kolem nebeských těles. Otázka, již nyní vnesl matematik Kurt Gödel, zněla: může řeka času obsahovat víry a otáčet směr svého toku? Může se rozdělovat do dvou toků a vytvářet tak paralelní vesmír? Touto otázkou se Einstein musel zabývat v roce 1949,

když Gödel, Einsteinův soused v ústavu a pravděpodobně největší matematický logik minulého století, ukázal, že Einsteinovy rovnice připouštějí cestování časem. Gödel vycházel z představy vesmíru, jenž je naplněný plynem a otáčí se. Pokud byste se vydali na cestu vesmírnou lodí a obletěli kolem celého vesmíru, mohli byste zpět na Zemi doletět dřív, než jste ji opustili. Jinými slovy, v Gödelově vesmíru bylo cestování časem přirozeným jevem – člověk by při cestě kolem vesmíru běžně cestoval zpět v čase.

To Einsteina zarazilo. Zatím pokaždé, když se lidé snažili nalézt řešení Einsteinových rovnic, dospěli k výsledkům, jež – jak se zdálo – odpovídaly pozorováním. Stáčení perihelia Merkuru, rudý posuv, ohyb světla, gravitace hvězd a tak dále, to vše velmi dobře odpovídalo experimentálním datům. Nyní dávaly jeho rovnice řešení, jež zpochybňovalo veškeré naše představy o čase. Pokud by se běžně dalo cestovat časem, nedaly by se psát dějiny. Minulost by byla jako písek unášený větrem a bylo by ji možné změnit pokaždé, když by někdo vstoupil do svého stroje času. A co je ještě horší – kdyby člověk vytvořil časový paradox, mohl by zničit samotný vesmír. Co kdybyste odcestovali do minulosti a zastřelili své rodiče dřív, než jste se narodili? Tady nastává problém. Jak jste se vůbec mohli narodit, když jste právě zabili své rodiče?

Stroje času narušují kauzalitu, což je uctíváný fyzikální princip. Z kvantové teorie nebyl Einstein příliš šťastný právě kvůli tomu, že nahradila kauzalitu pravděpodobnostmi. Gödel nyní kauzalitu zrušil úplně! Po zralé úvaze Einstein nakonec Gödelovo řešení zavrhnul, protože, jak upozornil, neodpovídá pozorovaným skutečnostem: vesmír se rozpíná a neotáčí se, takže cestování časem mohlo být odloženo – přinejmenším prozatím. Zůstávala tak ale otevřená eventualita, že pokud by se vesmír otáčel, místo aby se rozpínal, cestování časem by bylo běžnou záležitostí. Pojem cestování časem znovu ožil a stal se z něj důležitý výzkumný obor, ale trvalo to ještě pět desítek let.

Čtyřicátá léta 20. století byla bouřlivým obdobím také v kosmologii. George Gamow, jenž byl za války Einsteinovým styčným bodem s americkým námořnictvem, se nezajímal tolik o vývoj výbušnin, jako spíš o otázky týkající se té největší exploze ze všech – velkého třesku. Gamow si položil několik otázek, jež posléze převrátily kosmologii vzhůru nohama. Dotáhl teorii velkého třesku k logickému závěru. Chytře odhadnul, že pokud se vesmír skutečně zrodil v ohnivém výbuchu, mělo by být možné

zbytky tepla oné počáteční ohnivé koule zachytit. Měli bychom slyšet „ozvěnu zrodu“ samotného velkého třesku. Využil práce Boltzmann a Plancka, kteří ukázali, že barva horkého tělesa by měla odpovídat jeho teplotě, protože obě jsou pouze odlišnými formami energie. Pokud je například nějaké těleso rozžhavené doruda, znamená to, že jeho teplota je přibližně 3 000 stupňů Celsia. Pokud je těleso rozžhavené dožluta (jako Slunce), má zhruba 6 000 stupňů Celsia (což je teplota povrchu Slunce). Podobně hřejí i naše vlastní těla, takže můžeme vypočítat jejich „barvu“, která odpovídá infračervenému záření. (Vojenské brýle pro noční vidění pracují právě tak, že zachycují infračervené záření, jež vyzařují naše těla.) Dva členové Gamowovy skupiny, Robert Herman a Ralph Alpher, argumentovali tím, že velký třesk nastal před miliardami let, a již v roce 1948 vypočítali, že jeho dosvit by měl mít teplotu 5 stupňů nad absolutní nulou, což leží pozoruhodně blízko správné hodnoty. Toto záření odpovídá záření mikrovlnnému. „Barvou stvoření“ je tedy mikrovlnné záření. (Toto záření – které bylo nakonec objeveno o desítky let později a jehož teplota byla určena na 2,7 stupně nad absolutní nulou – způsobilo v oboru kosmologie naprostý převrat.) Ačkoliv byl Einstein v Princetonu poměrně izolovaný, přesto se dožil doby, kdy se z jeho teorie obecné relativity zrodily nové směry výzkumu v oblasti kosmologie, černých děr, gravitačních vln, ale i v dalších oborech. Poslední roky jeho života mu ale přinesly i zármutek. Roku 1948 se dozvěděl, že po dlouhém a těžkém životě stráveném péčí o jejich duševně nemocného syna zemřela Mileva – zřejmě na mozkovou mrtvici během jednoho z Eduardových záchvatů vzteku. (Později se v její posteli našlo osmdesát pět tisíc franků v hotovosti – patrně šlo o poslední peníze, jež jí zbyly z jejích curyšských domů. Těmito penězi byla částečně uhrazena dlouhodobá Eduardova léčba.) Roku 1951 zemřela Einsteinova milovaná sestra Maja.

V roce 1952 zemřel Chaim Weizmann, muž, jenž roku 1921 zorganizoval Einsteinovo triumfální turné po Americe a který se poté stal prezidentem Izraele. Izraelský premiér, David Ben-Gurion, funkci prezidenta Izraele neočekávaně nabídl Einsteinovi. Ačkoliv šlo o velkou poctu, Einstein musel odmítnout.

Roku 1955, se Einstein doslechl, že zemřel Michele Besso, jenž Einsteinovi pomáhal vybrušovat představy o speciální relativitě. V dojemném dopisu Bessovu synovi Einstein psal: „Na Michelelem jsem nejvíce obdivoval to, že dokázal tolik let žít s jedinou ženou, a to nikoliv

pouze ve shodě, ale také v trvalé jednotě, což je něco, v čem jsem já dvakrát politováníhodně selhal... I v odchodu z tohoto podivného světa mě tedy opět o něco málo předešel. To však nic neznamená. Pro ty z nás, kdo věří ve fyziku, je rozlišování mezi minulostí, přítomností a budoucností pouhou, byť houževnatou, iluzí.“⁵¹

Jak se mu onoho roku zhoršovalo zdraví, řekl: „Je nevkusné prodlužovat život uměle. Svůj díl jsem vykonal; je čas jít. Odejdu elegantně.“⁵² Zemřel 18. dubna 1955 na prasknutí srdeční výdutě. Po jeho smrti publikoval karikaturista Herblock v deníku *Washington Post* dojemný kreslený vtip znázorňující Zemi při pohledu z kosmu – je na ní veliký nápis: „Zde žil Albert Einstein.“ Ještě téže noci si noviny po celém světě prostřednictvím telegrafních tiskových agentur předávaly fotografii Einsteinova pracovního stolu. Ležel na něm rukopis jeho největší nedokončené teorie – sjednocené teorie pole.

Einsteinův prorocký odkaz

Posledních třicet let Einsteinova života většina životopisců shodně opomíná a považuje je téměř za přítěž nehodnou génia, za skvrnu na jeho jinak bezchybné kariéře. Vývoj vědy v posledních několika desetiletích nám však umožňuje zcela nový pohled na Einsteinův odkaz. Protože jeho práce byla tak fundamentální a přetvářela samy základy lidského vědění, prostupuje jeho vliv i nadále celou fyzikou. Mnohá ze semínek, jež zasel Einstein, začínají klíčit až nyní, ve dvacátém prvním století, a to hlavně díky tomu, že naše přístroje – jako jsou například vesmírné dalekohledy, rentgenové kosmické observatoře a lasery – jsou dnes již natolik výkonné a citlivé, že mohou prověřovat nejrůznější předpovědi, které Einstein vyslovil před mnoha desítkami let.

Drobky, jež spadly z Einsteinova talíře, dnes vlastně přinášejí Nobelovy ceny dalším vědcům. Einsteinova představa sjednocování všech sil, jež byla kdysi předmětem posměchu a opovržlivých poznámek, je navíc dnes – se vzestupem teorie superstrun – ve světě teoretické fyziky středem pozornosti. Tato kapitola pojednává o nejnovějším vývoji ve třech oblastech, v nichž Einsteinův trvalý odkaz i nadále vévodí světu fyziky: v kvantové teorii, obecné relativitě a kosmologii a ve sjednocené teorii pole.

Když Einstein roku 1924 psal svůj první článek o Boseho-Einsteinově kondenzaci, nevěřil, že by tento podivný jev mohl být v dohledné době objeven. Než by se všechny kvantové stavy zhroutily do obřího superatomu, bylo by třeba zchladit danou látku na teplotu blízkou absolutní nule.

Přesně to roku 1995 provedli Eric A. Cornell z Národního ústavu standardů a technologie a Carl E. Weiman z Coloradské univerzity. Získali tehdy čistý Boseho-Einsteinův kondenzát složený ze dvou tisíc atomů rubidia o teplotě dvaceti miliardtin stupně nad absolutní nulou. Wolfgang Ketterle z MIT navíc nezávisle vytvořil Boseho-Einsteinův kondenzát

obsahující dostatek sodíkových atomů na to, aby se s nimi daly provádět důležité pokusy – například dokázat, že tyto atomy vykazují interferenční obrazce odpovídající atomům, jež jsou všechny vzájemně sladěné. Jinými slovy že se chovají jako superatom, jenž o více než sedmdesát let dříve předpověděl Einstein.

Po prvních zprávách přicházely objevy v této svižně se vyvíjející oblasti velice rychle. Roku 1997 vytvořil Ketterle se svými kolegy na MIT pomocí Boseho-Einsteinova kondenzátu první „atomový laser“ na světě. Podivuhodné vlastnosti laserového světla plynou ze skutečnosti, že jeho fotony se pohybují všechny v tomtéž rytmu a ve vyrovnaných řadách, zatímco běžné světlo je chaotické a nesourodé. Jelikož vlnové vlastnosti má i hmota, uvažovali fyzikové o tom, že „laserovat“ by mohly i svazky atomů, avšak absence Boseho-Einsteinových kondenzátů vývoj v této oblasti brzdila. Zmínění vědci dosáhli cíle tak, že nejprve zchladili soubor atomů natolik, až zkondenzoval. Potom kondenzát zasáhli laserovým paprskem, který tyto atomy přeměnil na synchronizovaný svazek.

Roku 2001 dostali Cornell, Weiman a Ketterle Nobelovu cenu za fyziku. Výbor pro udělování Nobelových cen je ocenil „za dosažení Boseho-Einsteinovy kondenzace ve zředěném plynu alkalických atomů a za prvotní fundamentální výzkum vlastností těchto kondenzátů“. Praktické aplikace Boseho-Einsteinových kondenzátů se objevují již dnes. Tyto paprsky z atomových laserů by mohly být v budoucnu užitečné v oblasti nanotechnologie. Možná nám pomohou manipulovat s jednotlivými atomy a vytvářet tenké atomární vrstvy pro potřeby polovodičů v budoucích počítačích.

Někteří fyzikové uvažují o tom, že kromě atomových laserů by na Boseho-Einsteinových kondenzátech mohly být založeny i kvantové počítače (počítače, které výpočty provádějí na jednotlivých atomech), jež by nakonec mohly nahradit počítače křemíkové. Další vědci spekulují o tom, že z Boseho-Einsteinových kondenzátů by mohla být částečně složena temná hmota. Pokud tomu tak je, mohl by tento zvláštní stav hmoty tvořit většinu vesmíru.

Einsteinova práce také přiměla kvantové fyziky, aby přehodnotili svou oddanost původní kodaňské interpretaci kvantové teorie. Ve třicátých a čtyřicátých letech 20. století, kdy se kvantová fyzikové Einsteinovi smáli za zády, bylo snadné tohoto velikána fyziky nebrat na vědomí, protože v kvantové fyzice docházelo k objevům takřka denně. Kdo měl čas rozjímat

nad základy kvantové teorie, když se fyzikové honili za Nobelovými cenami, které jim samy padaly do klína? Najednou bylo možné provádět stovky výpočtů vlastností kovů, polovodičů, kapalin, krystalů a jiných látek, z nichž každý mohl otevřít celá nová průmyslová odvětví. Jednoduše na to nezbýval čas. Vedlo to k tomu, že si fyzikové během desetiletí na kodaňskou školu zvykli a hlubší nezodpovězené filozofické otázky zametli pod koberec. Debaty mezi Bohrem a Einsteinem byly zapomenuty. Dnes, kdy jsou mnohé z „jednoduchých“ otázek týkajících se hmoty obrány až na kost, zůstávají mnohem obtížnější otázky, které položil Einstein, dosud nezodpovězeny. Po celém světě se například konají desítky mezinárodních konferencí, na nichž fyzikové znovu rozebírají problém Schrödingerovy kočky, zmíněný v 7. kapitole. V dnešní době, kdy vědci v laboratořích dokáží manipulovat s jednotlivými atomy, nejde již jen o pouhou akademickou otázku. Na jeho řešení může dokonce záviset konečný osud počítačové technologie, z níž plyne velká část světového bohatství, protože budoucí počítače možná využijí tranzistory vyrobené z jednotlivých atomů.

Dnes se má za to, že ze všech alternativ má Bohrova kodaňská škola na problém Schrödingerovy kočky tu nejméně elegantní odpověď, ačkoliv od původní Bohrovy interpretace nebyly při pokusech zaznamenány žádné odchylky. Kodaňská škola postuluje, že existuje jakási „hradba“ oddělující obyčejný makroskopický svět stromů, hor a lidí, jenž vidíme kolem sebe, od mysteriозního a neintuitivního mikroskopického světa kvant a vln. V tomto mikroskopickém světě existují subatomární částice v jakémsi podivném stavu mezi bytím a nebytím. My však žijeme na opačné straně této hradby, kde se všechny vlnové funkce zhroutily, takže se náš makroskopický vesmír zdá být jednoznačný a přesně určený. Jinými slovy existuje hradba oddělující pozorovatele od pozorovaného.

Někteří fyzikové, včetně nositele Nobelovy ceny Eugena Wignera, zašli dokonce ještě dál. Jak Wigner zdůrazňoval, je klíčovým prvkem pozorování vědomí pozorovatele. K uskutečnění pozorování a určení reálného stavu kočky je zapotřebí vědomého pozorovatele. Kdo však pozoruje pozorovatele? Pozorovatel potřebuje dalšího pozorovatele (kterému se říká „Wignerův přítel“), jenž určí, že první pozorovatel je naživu. Takto ale dostáváme nekonečný řetězec pozorovatelů, z nichž každý pozoruje dalšího pozorovatele a každý ověřuje, že předchozí pozorovatel je naživu a v pořádku. Pro Wignera to znamenalo, že možná existuje jakési kosmické

vědomí, jež určuje podstatu samotného vesmíru. Kdysi poznamenal: „Právě výzkum vnějšího světa vedl k závěru, že nejvyšší realitou je obsah vědomí.“¹ Někteří lidé proto tvrdili, že to dokazuje existenci Boha – určitého druhu kosmického vědomí –, nebo že i sám vesmír má jakési vědomí. Jak jednou řekl Planck: „Věda ono nejvyšší mystérium Přírody vyřešit nedokáže. To proto, že součástí záhady, již se snažíme vyřešit, jsme vlastně i my sami.“²

V průběhu desítek let byly předloženy další interpretace. Roku 1957 navrhl Hugh Everett, jenž byl tehdy studentem fyzika Johna Wheelera, pravděpodobně nejradikálnější řešení problému Schrödingerovy kočky – teorii „mnoha světů“, jež tvrdí, že všechny možné vesmíry existují současně. Kočka skutečně může být mrtvá i živá současně, protože sám vesmír se rozdělil na dva vesmíry. Důsledky této myšlenky jsou značně znepokojivé, protože z ní plyne, že vesmír se v každém kvantovém okamžiku neustále rozvětjuje a odvíjí se z něj nekonečný počet kvantových vesmírů. Sám Wheeler, jenž byl původně přístupem svého studenta nadšený, později tento názor opustil a prohlásil, že sebou nese příliš „metafyzické přítěže“. Představte si například kosmický paprsek, který by pronikl do dělohy matky Winstona Churchilla a způsobil potrat. Jediná kvantová událost nás tak dělí od vesmíru, v němž Churchill nikdy nežil a nemohl tedy sjednotit anglický lid i svět proti vražedným silám Adolfa Hitlera. V tomto paralelním vesmíru nacisté možná II. světovou válku vyhráli a zotročili většinu světa. Nebo si představte svět, kde před 65 miliony let nějaké kvantové události vyvolaly sluneční vítr a ten vytlačil jistou kometu či meteorit z původní dráhy, takže toto kosmické těleso nezasáhlo mexický poloostrov Yucatán a nevyhladilo dinosaury. V tomto paralelním vesmíru se nikdy neobjevili lidé a Manhattan, kde dnes bydlím, je plný zuřivých ještěřů.

Z přemítání o všech těch možných vesmírech se člověku točí hlava. Roku 1965, po desítkách let bezvýsledných pří o různé interpretace kvantové teorie, analyzoval John Bell, fyzik z jaderné laboratoře CERN v Ženevě, pokus, jenž měl definitivně dokázat či vyvrátit Einsteinovu kritiku kvantové teorie. Měla to být zkouška ohněm.³ Bell měl porozumění pro hluboké filozofické otázky, jež Einstein vznesl o desítky let dříve, a navrhnul teorém, jenž měl tento problém definitivně vyjasnit. (Bellův teorém vychází z jisté obměny starého EPR experimentu a rozebírá vzájemný vztah mezi příslušnými dvěma částicemi, které se pohybují

opačnými směry.) První hodnověrný experiment uskutečnil roku 1983 Alain Aspect na pařížské univerzitě a jeho výsledky potvrdily kvantově mechanické pojetí. Einstein se ve své kritice kvantové teorie mýlil.

Jestliže je ale dnes možné Einsteinovu kritiku kvantové teorie odmítnout, která z mnoha různých kvantově mechanických škol má tedy pravdu? V současnosti se většina fyziků domnívá, že kodaňská interpretace je žalostně neúplná. Zdá se, že Bohrova hradba oddělující mikroskopický svět od světa makroskopického není v dnešním světě odůvodnitelná, protože již umíme manipulovat i s jednotlivými atomy. „Skenovací tunelová mikroskopie“ dokáže ve skutečnosti jednotlivé atomy i přemísťovat – pomocí ní byl z atomů sestaven nápis „IBM“ a byl také vytvořen fungující abakus. Kromě toho vznikl na základě možnosti manipulovat s atomy zcela nový technologický obor nazývaný „nanotechnologie“. Pokusy podobné experimentu se Schrödingerovou kočkou lze nyní provádět s jednotlivými atomy.

Takové řešení problému Schrödingerovy kočky, které by uspokojilo všechny fyziky, ale přesto dosud neexistuje. Téměř osmdesát let poté, co se Bohr s Einsteinem střetli na Solvayské konferenci, se však názory některých předních fyziků včetně několika nositelů Nobelovy ceny sblížily. Tito vědci dnes chtějí problém Schrödingerovy kočky řešit pomocí „dekoherence“. Představa dekoherence vychází ze skutečnosti, že vlnová funkce kočky je velice složitá, protože popisuje řádově 10^{25} atomů – to je skutečně astronomický počet. Interference mezi okolím a vlnami živé a mrtvé kočky je tudíž velmi silná. Díky ní mohou tyto vlnové funkce vedle sebe existovat současně ve stejném prostoru, ale nemohou se vzájemně ovlivňovat. U těchto dvou vlnových funkcí došlo k „dekoherenci“, a tak již svou přítomnost vzájemně nepociťují. Podle jedné verze představy o dekoherenci ke „zhroucení“ vlnových funkcí, které požadoval Bohr, nedochází. Funkce se jednoduše oddělí a prakticky spolu už neinteragují.

Nositel Nobelovy ceny Steven Weinberg to přirovnává k poslechu rádia. Otáčením ovládače si můžeme postupně naladit různé rozhlasové stanice. Každá frekvence se oddělila od ostatních, takže mezi stanicemi nedochází k interferenci. Náš pokoj je zaplněn signály ze všech rozhlasových stanic zároveň a každá z nich přináší nepřeborné množství informací – přesto se vzájemně neovlivňují. A naše rádio naladí vždy pouze jednu stanici.

Myšlenka dekoherence vypadá lákavě, protože tato představa znamená, že k vyřešení problému Schrödingerovy kočky můžeme použít běžnou vlnovou teorii, aniž bychom se museli uchýlit ke „zhroucení“ vlnové funkce. Podle této představy se vlny nikdy nehroutlí. Její logické důsledky jsou však zneklidňující – z dekoherence nakonec plyne interpretace podle teorie „mnoha světů“. Místo rozhlasových stanic, jež se vzájemně neruší, ovšem teď máme celé vesmíry, jež se vzájemně neovlivňují. Může se to zdát divné, ale znamená to, že v téže místnosti, kde čtete tuto knihu, existují vlnové funkce paralelních světů, kde nacisté vyhráli II. světovou válku, kde lidé hovoří neznámými jazyky, kde ve vašem obýváku zápasí dinosauři, kde se po Zemi procházejí mimozemské bytosti, nebo kde Země především nikdy neexistovala. Naše „rádio“ je vyladěno pouze na nám známý svět, v němž žijeme, ale v této místnosti jsou také jiné „rozhlasové stanice“, kde vedle našeho světa existují i světy šílené a bizarní. S dinosaury, příšerami a mimozemšťany prohánějícími se po našem obýváku nemůžeme interagovat, protože žijeme na odlišné „rozhlasové“ frekvenci a mezi jejich a naším světem došlo k dekoherenci. Jak jednou řekl nositel Nobelovy ceny Richard Feynman: „Domnívám se, že mohu s jistotou prohlásit, že kvantové mechanice nerozumí nikdo.“⁴

I když Einsteinova kritika kvantové teorie možná nepřinesla zcela uspokojivé řešení jejích paradoxů – ač pomohla usměrnit její vývoj byly jeho myšlenky potvrzeny v jiných oblastech, nejpůsobivěji v obecné relativitě. V době atomových hodin, laserů a superpočítačů hromadí vědci výsledky velice přesných testů obecné relativity, o nichž mohl Einstein pouze snít. Roku 1959 potvrdili například Robert V. Pound a G. A. Rebka z Harvardu konečně laboratorním pokusem Einsteinovu předpověď gravitačního rudého posuvu neboli skutečnost, že hodiny v gravitačním poli tikají různě rychle. Vzali radioaktivní kobalt a jeho záření vyslali ze sklepa harvardské Lymanovy laboratoře na její střeche o 21 metrů výš. Pomocí nesmírně citlivého měřicího zařízení (využívajícího Mössbauerův jev) ukázali, že fotony ztrácejí během své cesty do nejvyššího bodu laboratoře energii (a tudíž mají sníženou frekvenci). Roku 1977 analyzoval astronom Jesse Greenstein se svými kolegy odtikávání času na několika hvězdách – takzvaných bílých trpaslících – a podle očekávání potvrdil, že čas je v silném gravitačním poli zpomalený.

Také zatmění Slunce bylo mnohokrát znovu pozorováno, a to s neobyčejnou přesností. Roku 1970 astronomové přesně určili polohu dvou

nesmírně vzdálených kvazarů – 3C 279 a 3C 273. Světlo přicházející z těchto kvazarů se ohýbalo podle předpovědi Einsteinovy teorie.

Zavedení atomových hodin znamenalo také zvrát ve způsobu provádění přesných testů. Roku 1971 byly atomové hodiny umístěny do tryskových letadel, která potom létala jak z východu na západ, tak ze západu na východ.

Tyto atomové hodiny byly potom porovnány s nehybnými atomovými hodinami v námořní observatoři ve Washingtonu. Na základě rozboru chování atomových hodin na palubě letadel pohybujících se různými rychlostmi (avšak v konstantní výšce) ověřovali vědci speciální relativitu. Rozborem případu letadel pohybujících se stejnou rychlostí, avšak v různých výškách, potom testovali předpovědi obecné relativity. V obou případech výsledky v rámci chyby měření potvrdily Einsteinovy předpovědi.

Převrat v možnostech testování obecné relativity způsobilo i vypouštění umělých družic. Družice Hipparchos, vypuštěná Evropskou vesmírnou agenturou roku 1989, strávila čtyři roky počítáním ohybu světla hvězd kolem Slunce a analyzovala dokonce i hvězdy, které jsou patnáctsetkrát slabší než hvězdy ve Velkém voze. V kosmickém prostoru není třeba čekat na zatmění a experimenty je možné provádět neustále. Bez jediné výjimky bylo zjištěno, že světlo hvězd se ohýbá podle Einsteinovy předpovědi. Zjistilo se dokonce, že Slunce ohýbá světlo hvězd z celé poloviny oblohy.

Na dvacáté první století jsou plánovány rozmanité exaktní testy, jež mají ověřit přesnost obecné relativity, a to včetně dalších experimentů s dvojhvězdami a dokonce i pokusů s laserovými signály odrážejícími se od Měsíce. Nejzajímavější přesné testy však možná přijdou z oblasti gravitačních vln. Einstein gravitační vlny předpověděl roku 1916. Nechoval ovšem žádnou naději, že by se kdy potvrzení tohoto obtížně zachytitelného jevu dožil. Experimentální vybavení počátku dvacátého století bylo prostě příliš primitivní. Roku 1993 však byla fyzikům Russellu Hulseovi a Josephu Taylorovi udělena Nobelova cena za nepřímé ověření existence gravitačních vln založené na rozboru pohybu dvojhvězdy, jejíž složky kolem sebe vzájemně obíhají.

Tito vědci zkoumali dvojitou neutronovou hvězdu PSR 1510-07 vzdálenou asi 16 000 světelných let od Země, v níž kolem sebe každých sedm hodin a čtyřicet pět minut oběhnou dvě mrtvé hvězdy a vyzařují

přítom na své dráze velké množství gravitačních vln. Představte si na okamžik, že dvěma lžícemi mícháte hrnec plný sirupu tak, že lžice kolem sebe vzájemně krouží. Jak se lžice pohybují sirupem, zanechávají na své dráze sirupovou stopu. Když teď nahradíme sirup osnovou prostoročasu a lžice mrtvými hvězdami, vidíme dvě hvězdy, které se pronásledují prostorem a vyzařují přítom gravitační vlny. Jelikož tyto vlny odnášejí energii, hvězdy o ni přicházejí a postupně se k sobě po spirále přibližují. Rozborem signálů z tohoto dvojhvězdného systému lze přesně vypočítat rychlost zmenšování dráhy složek dvojhvězdy. Jak očekáváme podle Einsteinovy obecné teorie relativity, posunou se tyto dvě hvězdy k sobě při každém oběhu o jeden milimetr blíže. Při oběžné dráze o průměru 700 000 kilometrů se jejich vzdálenost za jeden rok sníží asi o jeden metr, což je přesně hodnota, kterou dostaneme z Einsteinových rovnic. Dvojhvězda se vlastně za 240 milionů let v důsledku vyzařování gravitačních vln úplně zhroutí. Tento exaktní experiment je možné nově interpretovat jako metodu testování přesnosti Einsteinovy obecné relativity. Experimentální údaje jsou tak přesné, že docházíme k závěru, že obecná relativita platí s přesností 99,7 % (bohatě se vejde do chyby měření).

V nedávné době výrazně vzrostl zájem o řadu převratných pokusů, při nichž mají být gravitační vlny pozorovány přímo. Projekt LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory – „laserová interferometrická observatoř pro pozorování gravitačních vln“) možná brzy jako první gravitační vlny zachytí – třeba půjde o záření černých děr srážejících se kdesi v kosmu. Projekt LIGO je splněným snem každého fyzika – jde o první přístroj, jenž je dost výkonný na to, aby gravitační vlny naměřil. LIGO sestává ze tří laserových zařízení ve Spojených státech (dvou v Hanfordu ve státě Washington a jednoho v Livingstonu v Louisianě). Jedná se vlastně o součást mezinárodní sítě zahrnující francouzsko-italský detektor nazvaný VIRGO, jenž byl vybudován v italské Pise, japonský detektor nazvaný TAMA, který se nachází u Tokia, a britsko-německý detektor nazvaný GEO600, který stojí v německém Hannoveru. Celkově budou konečné konstrukční náklady na projekt LIGO činit 292 milionů dolarů (plus 80 milionů dolarů na uvedení do provozu a budoucí modernizaci), takže půjde o vůbec nejdražší projekt, který kdy americká grantová agentura (National Science Foundation) financovala.

Laserové detektory používané v rámci projektu LIGO se velice podobají zařízení, které na přelomu minulého století používali Michelson a Morley,

když se snažili zachytit éterový vítr, až na to, že dnes se místo běžných světelných paprsků používají paprsky laserové. Laserový paprsek je rozdělen do dvou oddělených svazků, jež se pohybují kolmo k sobě. Po odrazu od zrcadla se oba paprsky opět spojí. Kdyby interferometr zasáhla gravitační vlna, došlo by k narušení délky drah těchto laserových paprsků, což bychom viděli jako interferenční obrazec daný skládáním těchto paprsků. Aby bylo jisté, že signál, jenž do tohoto laserového přístroje narazí, není falešný, je zapotřebí, aby tyto laserové detektory byly rozmístěny po celé zeměkouli. Všechny detektory najednou může potom spustit pouze obrovská gravitační vlna – vlna mnohem větší než Země.

NASA a Evropská kosmická agentura řadu těchto laserových detektorů rozmístí v kosmu. Kolem roku 2010 vypustí NASA tři družice nazývané LISA (Laser Interferometry Space Antenna – „kosmická laserová interferometrická anténa“). Budou obíhat kolem Slunce přibližně ve stejné vzdálenosti jako Země. Tyto tři laserové detektory budou v kosmu tvořit rovnostranný trojúhelník (o straně dlouhé okolo 5 milionů kilometrů). Celý systém bude tak citlivý, že dokáže zachytit vibrace o velikosti jedna ku miliardě bilionů (což odpovídá posunu o velikosti setiny průměru jediného atomu) a umožní tak vědcům odhalit původní šokové vlny pocházející ze samotného velkého třesku. Pokud všechno půjde dobře, měla by být LISA schopná nahlédnout do období první biliontiny sekundy po velkém třesku, takže půjde patrně o nejvýkonnější ze všech kosmologických nástrojů, pomocí nichž zkoumáme zrod vesmíru. Jde o zásadní věc, protože se má za to, že LISA by nám mohla přinést první přesné experimentální údaje o podstatě sjednocené teorie pole – teorie všeho.

Dalším důležitým nástrojem, jenž nám Einstein dal, jsou gravitační čočky. Již roku 1936 dokázal, že blízké galaxie mohou působit jako obrovské čočky soustřeďující světlo přicházející ze vzdálených těles. Tyto Einsteinovy čočky byly pozorovány až za mnoho desítek let. Průlom přišel roku 1979, kdy astronomové pozorovali kvazar Q0957+561 a zjistili, že prostor je v této části oblohy deformován a působí jako čočka koncentrující světlo.

První pozorování Einsteinova prstence bylo oznámeno roku 1988 u rádiového zdroje MG1131+0456, a od té doby bylo pozorováno kolem dvaceti převážně neúplných prstenců. První plně kruhové Einsteinovy prstence byly pozorovány roku 1997 pomocí Hubbleova vesmírného dalekohledu a britské soustavy radioteleskopů MERLIN (Multi-Element

Radio Linked Interferometer Network – „víceprvková rádiově propojená interferometrická síť“). Při rozboru snímku vzdálené galaxie 1938+666 našli vědci charakteristický prstenec, který celou galaxii obklopoval. „Na první pohled vypadal nepřírodně a my jsme si mysleli, že jde o nějakou vadu obrazu, ale potom jsme si uvědomili, že se díváme na dokonalý Einsteinův prstenec!“ řekl dr. Ian Brown z manchesterské univerzity.⁵ Britské astronomy tento objev velice potěšil a prohlašovali, že to je opravdová trefa do černého.⁶ Jde o skutečně maličký prstenec. Má rozměr pouze jedné úhlové vteřiny, což je zhruba velikost korunové mince, na kterou se díváme ze vzdálenosti čtyř kilometrů. Jde však o potvrzení předpovědi, kterou Einstein vyslovil o celá desetiletí dříve.

Oblastí, kde došlo k asi nejprudšímu rozvoji obecné relativity, byla kosmologie. Roku 1965 zachytili fyzikové Robert Wilson a Arno Penzias pomocí trubkovitého radioteleskopu v Bellových laboratořích v New Jersey slabé mikrovlnné záření přicházející z kosmu. Tito vědci o průkopnické práci Gamowa a jeho studentů nevěděli a kosmické záření z doby velkého třesku zachytili náhodou, aniž by si to uvědomili. (Podle tradované historky si mysleli, že zaznamenávají interferenci způsobenou ptačím trusem, kterým byl jejich radioteleskop znečištěn. Princetonský fyzik R. H. Dicke později toto záření správně identifikoval jako Gamowovo mikrovlnné záření.) Penzias a Wilson za svou průkopnickou práci dostali Nobelovu cenu. Mezitím nám družice COBE (Cosmic Background Explorer – „průzkumník kosmického mikrovlnného záření“), vypuštěná roku 1989, poskytla velmi detailní obrázek tohoto kosmického mikrovlnného záření, které je nápadně jednolitě. Když fyzikové pod vedením George Smoota z Kalifornské univerzity v Berkeley provedli pečlivý rozbor všech drobných vlnek na tomto hladkém pozadí, získali pozoruhodnou fotografii kosmického mikrovlnného záření z doby, kdy bylo vesmíru pouze asi 400 000 let. Sdělovací prostředky tento obrázek mylně nazvaly „tvář Boží“. (Nejde však o snímek božského obličeje, ale o „dětskou“ momentku vesmíru z doby velkého třesku.) Na tomto obrázku je zajímavé, že ony vlnky pravděpodobně odpovídají nepatrným kvantovým fluktuacím v okamžiku velkého třesku. Podle principu neurčitosti nemohl být velký třesk dokonale rovnoměrnou explozí, protože kvantové jevy musely vytvořit vlnky o určité velikosti. A právě to skupina z Berkeley zjistila. (Kdyby vědci vlnky nenašli, zasadili by tím principu neurčitosti velkou ránu.) Tyto vlnky nejen že ukázaly, že princip neurčitosti platil v okamžiku

zrození vesmíru, ale odhalily také vědcům přesvědčivý mechanismus vzniku našeho „hrudkovitého vesmíru“. Když se kolem sebe rozhlédneme, vidíme, že galaxie se vyskytují v kupách, díky čemuž má vesmír zrnitou texturu. Tuto hrudkovitost lze možná snadno vysvětlit jako vlnky pocházející z prvotního velkého třesku, které s rozpínáním vesmíru nabývaly na velikosti. Proto když na nebi vidíme kupy galaxií, možná hledíme na původní vlnky velkého třesku, které po sobě zanechal princip neurčitosti.

Asi nejpůsobivějším způsobem byla Einsteinova práce znovu doceněna v případě „temné energie“. Jak jsme viděli dříve, zavedl Einstein roku 1917 pojem kosmologické konstanty (neboli energie vakua), aby zabránil vesmíru v rozpínání. (Vzpomeňme si, že obecná kovariance připouští pouze dva možné výrazy – Ricciho křivost a objem prostoročasu –, takže člen s kosmologickou konstantou, která se pojí právě s objemem vesmíru, nelze jen tak zavrhnout.) Když později Edwin Hubble ukázal, že vesmír se opravdu rozpíná, nazval Einstein tuto konstantu svým největším omylem. Výsledky získané v roce 2000 však ukazují, že Einstein měl nejspíše přece jen pravdu: nejen že kosmologická konstanta existuje, ale temná energie je patrně největším zdrojem hmoty-energie v celém vesmíru. Rozborem supernov ve vzdálených galaxiích dokázali astronomové vypočítat rychlost rozpínání vesmíru v průběhu miliard let. Ke svému údivu zjistili, že místo toho, aby se rozpínání vesmíru zpomalovalo, jak se domnívala většina vědců, se ve skutečnosti zrychluje. Náš vesmír nekontrolovatelně roste a bude se rozpínat navždy. Už dnes tedy můžeme předpovědět, jak vesmír zanikne.

V minulosti se někteří kosmologové domnívali, že ve vesmíru je možná dost hmoty na to, aby kosmickou expanzi zvrátila, takže vesmír by se mohl nakonec začít smršťovat a v kosmu bychom tak pozorovali modrý posuv. (Fyzik Stephen Hawking měl dokonce za to, že až se vesmír začne smršťovat, mohl by se čas obrátit a dějiny by se mohly opakovat pozpátku. To by znamenalo, že lidé by mládli, až by se nakonec vrátili do matčiny dělohy, vylétali by pozadu z bazénu a přistávali suší na skokanském prkně a smažící se vejce by skákala do nerozbité skořápky. Později ale Hawking připustil, že se mýlí.) Nakonec by se vesmír zhroutil sám do sebe a během tohoto „velkého krachu“ by se nesmírně zahřál. Jiní vědci dokonce vyslovili domněnku, že vesmír by potom mohl prodělat další velký třesk, takže by vznikl vesmír oscilující.

To všechno ale dnes vyvrací experimentálně potvrzená skutečnost, že rozpínání vesmíru se zrychluje. Nejjednodušším vysvětlením, které – jak se zdá – odpovídá pozorováním, je předpoklad, že celým vesmírem prostupuje obrovské množství temné energie, která působí jako antigravitace a odstrkuje galaxie od sebe. Čím je vesmír větší, tím více vakuové energie obsahuje, a ta zase odstrkuje galaxie ještě dále od sebe, takže vzniká urychlený vesmír.

Zdá se, že to potvrzuje správnost jedné verze koncepce „inflačního vesmíru“, již jako první navrhl Alan Guth, fyzik z MIT, a která je obměnou původní Friedmannovy a Lemaitreovy teorie velkého třesku. Zhruba řečeno má rozpínání podle inflační představy dvě fáze. První je rychlá, exponenciální expanze, kdy ve vesmíru převládá velká kosmologická konstanta. Tato exponenciální inflace nakonec skončí, expanze se zpomalí a vesmír se začne podobat obvyklému rozpínajícímu se vesmíru, který objevili Friedmann a Lemaitre. Je-li tato teorie správná, znamená to, že vesmír, jenž vidíme kolem sebe, je pouhou špendlíkovou hlavičkou v mnohem rozsáhlejší prostoročasu, který představuje skutečný kosmos. Věrohodný důkaz inflace také podaly nedávné pokusy s balóny vypuštěnými vysoko do atmosféry, které ukázaly, že vesmír je zřejmě přibližně plochý, což naznačuje, jak velký ve skutečnosti musí být. Jsme jako mravenci stojící na velikém balónu – to, že náš vesmír je plochý, si myslíme jenom proto, že jsme tak malí.

Temná energie nás také nutí přehodnotit naši skutečnou roli a místo ve vesmíru. Už Koperník ukázal, že na poloze lidstva ve sluneční soustavě není nic výjimečného. Existence temné hmoty ukazuje, že nic výjimečného není ani na atomech, z nichž je složen náš svět, protože devadesát procent hmoty ve vesmíru tvoří tajemná temná hmota. Zjištěná hodnota kosmologické konstanty teď dále naznačuje, že temné energie je mnohem více než temné hmoty, a té je zase mnohem více než energie hvězd a galaxií. Zdaleka největším zdrojem energie ve vesmíru je tedy pravděpodobně kosmologická konstanta, kterou Einstein kdysi neochotně zavedl, aby vesmír ustálil. (V roce 2003 ověřila družice WMAP, že 4 % hmoty a energie ve vesmíru se vyskytují v běžných atomech, 23 % v nějaké formě neznámé temné hmoty a 73 % je temná energie.)

Dalším zvláštním jevem, který obecná relativita předpověděla, je existence černých děr. Když Schwarzschild roku 1916 znovu zavedl pojem temných hvězd, byly považovány za fikci. Hubbleův vesmírný dalekohled a

radioteleskop VIA (Very Large Array – „velmi rozsáhlá anténní soustava“) dnes však již potvrdily existenci více než padesáti černých děr, které číhají hlavně v nitrech velkých galaxií. Dnes se mnozí astronomové domnívají, že černou díru má ve svém středu možná až polovina ze všech těch bilionů galaxií na obloze.

Einstein si uvědomoval, jaké obtíže s sebou hledání těchto exotických vesmírných útvarů nese: podle definice jsou neviditelné, protože ani samotné světlo z nich nemůže uniknout, a tudíž je nesmírně těžké je zaznamenat přímo. Hubbleův vesmírný dalekohled při nahlížení do niter vzdálených kvazarů a galaxií dnes již pořídil působivé fotografie rotujících disků obklopujících černé díry, které se nacházejí v samém srdci vzdálených galaxií, jako jsou M 87 a NGC 4258. U části hmoty obíhající kolem těchto černých děr lze dokonce naměřit rychlost přes milion kilometrů za hodinu. Nejpodrobnější fotografie z Hubbleova teleskopu ukazují, že v samém středu černé díry je tečka, která má napříč pouhý jeden světelný rok, ale má takovou sílu, že roztáčí celou galaxii o průměru kolem 100 000 světelných let. Po letech spekulací bylo roku 2002 konečně dokázáno, že i za našimi vlastními humny, v Mléčné dráze, číhá černá díra, jejíž hmotnost odpovídá přibližně 2 milionům Sluncí. Měsíc tedy obíhá kolem Země, Země obíhá kolem Slunce a Slunce obíhá kolem černé díry.

Podle prací Michella a Laplace z osmnáctého století je hmotnost temné hvězdy neboli černé díry úměrná jejímu poloměru. Černá díra ve středu naší galaxie má tudíž zhruba rozměr desetiny poloměru oběžné dráhy Merkuru. Je ohromující, že tak malý objekt dokáže ovlivnit dynamiku celé naší galaxie. V roce 2001 astronomové oznámili, že díky efektu Einsteinovy čočky byla objevena toulavá černá díra pohybující se Mléčnou dráhou. Jak se tato černá díra posunovala, zkreslovala světlo okolních hvězd. Podle pohybu těchto světelných deformací dokázali astronomové vypočítat její dráhu na obloze. (Kdyby se taková potulná černá díra přiblížila k Zemi, způsobila by katastrofu. Spořádala by celou sluneční soustavu, jen by to mlasklo.)

Roku 1963 výzkum černých děr ožil poté, co novozélandský matematik Roy Kerr zobecnil Schwarzschildovu černou díru tak, že teď zahrnovala i otáčející se černé díry. Protože ve vesmíru se zřejmě otáčí úplně všechno a protože objekty se roztočí rychleji, když se zhroutí, přirozeně se čekalo, že každá skutečná černá díra se bude otáčet fantastickou rychlostí. K velkému překvapení všech vědců našel Kerr takové přesné řešení Einsteinových

rovnic, v němž se hvězda zhroutila do otáčejícího se prstence. Gravitace se snaží prstenec rozdrtit, ale odstředivé síly jsou zde dostatečně silné na to, aby gravitaci vyvážily, a tento otáčející se prstenec je tedy stabilní. To, co relativisty mátló nejvíce, byla skutečnost, že pokud byste prstencem propadli, nebyli byste rozdraceni. Gravitace ve středu prstence je totiž sice velká, ale konečná, takže byste v principu mohli skrz prstenec propadnout a dostat se do jiného vesmíru. Cesta tímto Einsteinovým-Rosenovým mostem by tedy nemusela nutně být smrtící. Pokud by byl prstenec dost velký, bylo by možné do paralelního vesmíru vstoupit bezpečně.

Fyzikové okamžitě začali rozebírat, co by se mohlo stát, kdybyste do Kerrovy černé díry spadli. Setkání s takovouto černou dírou by jistě byl nezapomenutelný zážitek. V principu by nám mohla otevřít zkratku ke hvězdám a přenést nás v jediném okamžiku do jiné části naší galaxie nebo třeba do úplně jiného vesmíru. Jak byste se přibližovali ke Kerrově černé díře, prošli byste horizontem událostí, takže byste se nikdy nemohli vrátit tam, odkud jste vyrazili (pokud by neexistovala další Kerrova černá díra, jež by tento paralelní vesmír propojovala opět s naším vesmírem a umožňovala tak okružní cestu). Byly tu také problémy se stabilitou. Dá se ukázat, že kdybyste padali Einsteinovým-Rosenovým mostem, mohly by poruchy prostoročasu, které vyvoláte, způsobit, že se tato Kerrova černá díra uzavře, takže by nebylo možné přejít celý most.

Ať byla představa Kerrovy černé díry, která funguje jako brána či průchod mezi dvěma vesmíry, jakkoliv podivná, nešlo ji odmítnout z fyzikálních důvodů, protože černé díry se skutečně velmi rychle otáčejí. Brzy se však ukázalo, že tyto černé díry propojují nejen dva vzdálené body v prostoru, ale také dva různé časy. Fungují tedy jako stroje času.

První řešení Einsteinových rovnic připouštějící cestování časem, které roku 1949 našel Gödel, bylo považováno za kuriozitu a osamocenou anomálii rovnic. Od té doby však byly objeveny tucty řešení Einsteinových rovnic, která cestování časem umožňují. Zjistilo se například, že takové je i jedno staré řešení, které roku 1936 objevil W. J. van Stockum. Toto van Stockumovo řešení obsahuje nekonečný válec, který se rychle otáčí kolem své osy podobně jako barevné reklamní tyče před starými holičskými krámkami. Pokud byste kolem tohoto rotujícího válce cestovali dokola, mohlo by se vám podařit vrátit se do původního místa dřív, než jste jej opustili, což je hodně podobné Gödelovu řešení z roku 1949. I když je toto řešení fascinující, spočívá jeho problém v tom, že válec musí mít

nekonečnou délku. Konečný otáčející se válec zřejmě nebude fungovat. V principu lze tedy jak Gödelovo, tak van Stockumovo řešení vyloučit z fyzikálních důvodů.

Roku 1988 našli Kip Thorne a jeho kolegové na Caltechu ještě jiné řešení Einsteinových rovnic, které připouští cestování časem pomocí červí díry. Problém jednosměrné cesty horizontem událostí se jim podařilo vyřešit tak, že ukázali, že jistý nový typ červí díry je zcela průchozí. Vypočítali dokonce, že cesta takovýmto strojem času může být stejně pohodlná jako cesta letadlem.

Klíčem ke všem těmto strojům času je hmota či energie, která zakřivuje prostoročas do sebe. Abyste čas stočili do preclíku, potřebujete neskutečné množství energie, které se zcela vymyká všemu, co moderní věda zná. Na Thorneův stroj času je zapotřebí záporná hmota nebo energie (hmota či energie se zápornou hustotou). Zápornou hmotu ale ještě nikdy nikdo neviděl. Kdybyste jí kousek drželi v ruce, nepadala by dolů, ale nahoru. Hledání záporné hmoty bylo bezvýsledné. Pokud by na Zemi před miliardami let nějaká existovala, už by dávno spadla do kosmu a byla by navždy ztracena. Záporná energie ovšem doopravdy existuje a jejím důsledkem je Casimirův jev. Vezmeme-li dvě neutrální rovnoběžné kovové desky, víme, že jsou nenabitě a že se tudíž vzájemně ani nepřitahují, ani neodpužují. Měly by tedy zůstat v klidu. Roku 1948 však Hendrik Casimir objevil neobvyklý kvantový jev. Ukázal, že tyto dvě rovnoběžné desky se budou ve skutečnosti vzájemně přitahovat malou, avšak nenulovou silou, jež byla později skutečně naměřena v laboratoři.

Thorneův stroj času lze tedy postavit takto: vezměte dvě sady rovnoběžných kovových desek. Díky Casimirovu jevu bude mít oblast mezi deskami zápornou energii. Záporná energie uvnitř této oblasti otevře podle Einsteinovy teorie drobné dírký či bublinky v prostoročasu (menší než subatomární částice). Nyní čistě teoreticky předpokládejte, že nějaká rozvinutá civilizace, která daleko předstihla tu naši, dokáže s těmito dírami manipulovat. Představte si, že obě sady desek vezme a vzdaluje je od sebe, dokud nebudou spojeny dlouhou trubicí neboli červí dírou. (Propojení tohoto páru rovnoběžných desek pomocí červí díry ovšem leží zcela mimo možnosti dnešní technologie.) Pak jeden pár desek pošlete na cestu raketou, jež se pohybuje téměř rychlostí světla, takže čas na palubě této raketové lodi je zpomalený. Jak jsme si říkali dříve, jdou hodiny v raketě pomaleji než hodiny na Zemi. Skočíte-li do mezery mezi deskami, které

zůstaly na Zemi, budete protaženi červí dírou, jež obě sady desek propojuje, a octnete se v raketě v minulosti, v odlišném místě prostoru a času.

Od té doby se z výzkumu strojů času (neboli správněji „uzavřených časopodobných křivek“) stala živá oblast fyziky. Na toto téma vycházejí desítky článků popisujících různá schémata strojů času, které jsou ovšem vždy založeny na Einsteinově teorii. Ne všechny fyziky to ale těší. Například Stephen Hawkinga myšlenka cestování časem neuchvátila. Jednou poněkud ironicky řekl, že pokud by se dalo časem cestovat, byli bychom zaplaveni turisty z budoucnosti, ale přitom tu nikoho takového nevidáme. Kdyby stroje času byly běžné, nedaly by se zaznamenávat dějiny, protože by se změnily vždycky, když by někdo otočil ovladačem svého stroje času. Hawking prohlásil, že chce historikům zajistit bezpečný svět. Kniha T. H. Whitea nazvaná *The Once and Future King* popisuje mravenčí společenství, jež se řídí výrokem: „vše, co není zakázáno, je povinné.“ Fyzikové si tento zákon berou k srdci, takže Hawking byl donucen postulovat „hypotézu o ochraně časového pořadí“, která stroje času úředně zapovídá. (Hawking mezitím pokusy o důkaz tohoto předpokladu vzdal. Dnes hájí názor, že stroje času jsou sice teoreticky možné, ale v praxi jsou nepoužitelné.)

Tyto stroje času se zřejmě řídí fyzikálními zákony, které již v současnosti známe. Vtip spočívá samozřejmě v tom, dostat se nějak ke zdroji této ohromné energie (kterou mají k dispozici pouze „dostatečně rozvinuté civilizace“) a ukázat, že tyto červí díry jsou skutečně stabilní vůči kvantovým korekcím a nevybuchnou ani se nezavřou, jakmile do některé z nich vstoupíte.

Měli bychom také poznamenat, že stroje času by mohly vyřešit časové paradoxy (například to, že zavraždíte své rodiče dříve, než se narodíte). Einsteinova teorie je založena na hladkých, zakřivených Riemannových plochách, takže když vstoupíme do minulosti a způsobíme časový paradox, nemůže se stát, že bychom jednoduše zmizeli. Paradoxy spojené s cestováním časem mají dvě možná řešení. Za první – můžou-li se v řece času tvořit víry, potom svou cestou ve stroji času minulost možná prostě jen naplníme. Znamená to, že cestování časem je možné, ale minulost nemůžeme změnit, pouze ji dovršíme. To, že jsme do stroje času vstoupili, se muselo stát. Tento názor zastává ruský kosmolog Igor Novikov, jenž říká: „Nemůžeme poslat cestovatele časem do zahrady rajské, aby vysvětlil Evě, že to jablko ze stromu nemá trhat.“⁷ Za druhé – sama řeka času se

může rozdělit na dvě řeky; to znamená, že se může otevřít paralelní vesmír. Pokud tedy zastřelíte své rodiče dřív, než se narodíte, zabili jste prostě osoby, které jsou sice geneticky totožné s vašimi rodiči, ale vašimi rodiči ve skutečnosti vůbec nejsou. Vaši vlastní rodiče vás skutečně porodili a umožnili existenci vašeho těla. Došlo k tomu, že jste přeskočili mezi naším a cizím vesmírem, takže všechny časové paradoxy jsou vyřešeny.

Einsteinovu srdci ale byla nejbližší jeho sjednocená teorie pole. Einstein jednou před Helen Dukasovou poznamenal, že tomu, co dělá, možná fyzikové porozumí za sto let. Mýlil se. K oživení zájmu o sjednocenou teorii pole došlo ani ne za padesát let. Sjednocení, jemuž se kdysi fyzikové vysmívali, protože prý beznadějně přesahuje naše možnosti, máme dnes možná na dosah ruky. Je hlavním bodem programu téměř každého setkání teoretických fyziků.

Po dvou tisíciletích zkoumání vlastností hmoty, jež začalo okamžikem, kdy si Démokritos a jeho řečtí krajané položili otázku, z čeho je vesmír, zplodila fyzika dvě konkurenční teorie, které jsou zcela neslučitelné. První z nich je kvantová teorie, která jedinečně popisuje svět atomů a subatomárních částic. Druhou je Einsteinova obecná relativita, jež nám dala závratnou teorii černých děr a rozpínajícího se vesmíru. Největším paradoxem je to, že tyto dvě teorie jsou svými pravými opaky. Jsou založeny na odlišných předpokladech, odlišné matematice a odlišných fyzikálních představách. Kvantová teorie spočívá na oddělených balíčcích energie nazývaných „kvanta“ a na reji subatomárních částic. Teorie relativity je založena na hladkých plochách.

Nejrozvinutější verze kvantové fyziky, kterou fyzikové zformulovali, je shrnuta do takzvaného „standardního modelu“ a dokáže vysvětlit experimentální data popisující subatomární částice. V jistém smyslu jde o nejúspěšnější teorii přírody, která dokáže popsat vlastnosti tří ze čtyř základních sil (síly elektromagnetické a dále slabé a silné jaderné interakce). Standardní model má přes svůj velký úspěch dva do očí bijící nedostatky. V první řadě je to model krajně ošklivý – jde asi o vůbec nejošklivější teorii, jež byla kdy ve vědeckém světě předložena. Tato teorie totiž slabou, silnou a elektromagnetickou interakci prostě uměle svazuje. Je to zhruba totéž, jako byste kancelářskou páskou slepili dohromady velrybu, mravenečníka a žirafu a tvrdili, že jde o vrcholné dílo přírody, o konečný výsledek milionů let evoluce. Při bližším pohledu je standardní

model složený z matoucí, nesourodé kolekce subatomárních částic s podivnými jmény, která příliš nedávají smysl – jde například o kvarky, Higgsovy bosony, Yang-Millsovy částice, W-bosony, gluony a neutrina. A co hůř, standardní model vůbec nezmiňuje gravitaci. Když se člověk pokusí naroubovat gravitaci na standardní model ručně, zjistí, že tato teorie selže. Dává nesmyslný výsledek. V průběhu téměř padesáti let se ukázalo, že veškeré pokusy o skloubení kvantové teorie a relativity jsou marné. Vezmeme-li v úvahu všechny estetické nedostatky této teorie, dojdeme k závěru, že jediná věc, která mluví v její prospěch, je skutečnost, že v rámci své experimentální domény je nepopíratelně správná. Je tedy zjevně třeba jít za standardní model a znovu přezkoumat Einsteinův přístup ke sjednocování.

Hlavním kandidátem na teorii všeho – teorii, která by spojovala kvantovou teorii s obecnou relativitou, je po padesáti letech to, čemu říkáme „teorie superstrun“. Vlastně je to to jediné, co máme, protože všechny konkurenční teorie byly vyloučeny. Jak jednou řekl fyzik Steven Weinberg: „Zásluhou teorie strun máme prvního přijatelného kandidáta na konečnou teorii.“⁸ Weinberg má za to, že všechny mapy, podle nichž se plavili starověcí mořeplavci, ukazovaly na existenci legendárního severního pólu, a přitom mělo trvat ještě celá staletí, než na něj roku 1909 Robert Peary skutečně vkročil. Podobně všechny objevy, k nimž došlo v částicové fyzice, ukazují na existenci „severního pólu“ vesmíru, tedy sjednocené teorie pole. Teorie superstrun dokáže s překvapivou jednoduchostí převzít všechny dobré vlastnosti kvantové teorie a relativity. Je založena na myšlence, že subatomární částice lze chápat jako tóny na vibrující struně. Einstein hmotu kvůli všem jejím nepřehledným vlastnostem a zdánlivě chaotické povaze přirovnával ke dřevu, zatímco teorie superstrun zjednodušuje hmotu na hudbu. (Einsteinovi, který byl vynikajícím houslistou, by se to asi líbilo.)

V padesátých letech 20. století si fyzikové zoufali, že subatomárním částicím nikdy neporozumí, protože se jako na běžícím pásu objevovaly pořád nové a nové. J. Robert Oppenheimer jednou dokonce zhnuseně prohlásil: „Nobelova cena za fyziku by měla být udělena tomu fyzikovi, jenž v daném roce žádnou novou částici *neobjeví*.“⁹ Tyto subatomární částice dostávaly tolik podivných řeckých jmen, že Enrico Fermi řekl: „Kdybych býval věděl, že bude existovat tolik částic s řeckými jmény, raději bych se stal botanikem než fyzikem.“¹⁰ Kdybyste ale měli supermikroskop

a mohli se do elektronu podívat přímo, neviděli byste podle teorie strun bodovou částici, nýbrž vibrující strunu. Vibruje-li superstruna jinak, čili vydává-li jiný tón, změní se na odlišnou subatomární částici, například foton nebo neutrino. Podle této představy lze na subatomární částice, jež pozorujeme v přírodě, pohlížet jako na nejnižší oktávu superstruny. Smršť subatomárních částic objevených v uplynulých desetiletích představuje tedy prostě jen tóny, které na této superstruně znějí. Zdánlivě zmatené a nahodilé chemické zákonitosti jsou melodie přehrávané na superstrunách. I samotný vesmír je symfonií strun. A fyzikální zákony nejsou ničím jiným než souzněním superstrun.

Teorie superstrun dokáže též obsáhnout veškerou Einsteinovu práci v oblasti relativity. Jak se struna pohybuje prostoročasem, způsobuje, že se prostor kolem ní zakřivuje přesně tak, jak to roku 1915 předpověděl Einstein. Pokud se struny nepohybují v prostoročasu odpovídajícím obecné relativitě, je teorie superstrun ve skutečnosti nekonzistentní. Jak jednou řekl fyzik Edward Witten, dokonce i kdyby Einstein teorii obecné relativity nikdy neobjevil, možná by se na ni přišlo pomocí teorie strun. Witten tvrdí: „Teorie strun je nesmírně lákavá, protože nám vnucuje gravitaci. Všechny známé bezrozporné teorie strun gravitaci obsahují, takže i když gravitaci není možné zahrnout do kvantové teorie pole, jak jsme ji znali, v teorii strun je nutností.“¹¹

Teorie strun však dává několik dalších dost překvapivých předpovědí. Bez logických problémů se struny mohou pohybovat pouze v deseti dimenzích (jeden časový rozměr a devět rozměrů prostorových). Teorie strun je vlastně jedinou teorií, která pevně určuje počet rozměrů svého vlastního prostoročasu. Podobně jako Kaluzova--Kleinova teorie z roku 1921 sjednocuje teorie strun gravitaci s elektromagnetismem, jelikož předpokládá, že vyšší dimenze mohou vibrovat a vytvářet tak síly, jež se podobně jako světlo šíří ve třech rozměrech. (Jestliže přidáme jedenáctou dimenzi, připouští teorie strun existenci membrán vibrujících v hyperprostoru. Tato teorie se nazývá „M-teorie“, zahrnuje teorii strun a umožňuje nám nový pohled na celý systém z hlediska jedenácté dimenze.)

Co by si Einstein myslel o teorii superstrun, kdyby dnes žil? Fyzik David Gross říká: „Einstein by byl spokojený – pokud ne se samotnou realizací, tak aspoň s naším cílem. Líbilo by se mu, že tu existuje základní geometrický princip, jemuž však bohužel dosud plně nerozumíme.“¹² Jak jsem viděli, podstatou Einsteinovy sjednocené teorie pole bylo vytvořit

hmotu (dřevo) z geometrie (mramoru). Gross k tomu poznamenává: „Vybudovat samotnou hmotu z geometrie – to je v jistém smyslu právě to, co dělá teorie strun... [Jde o] teorii gravitace, z níž částice hmoty i ostatní přírodní síly plynou stejně, jako gravitace plyne z geometrie.“ Je poučné vrátit se k Einsteinovým raným pracem v oblasti sjednocené teorie pole z pohledu teorie strun. Klíčovou stránkou Einsteinova génia bylo to, že dokázal vystihnout nejdůležitější symetrie vesmíru, jež sjednocují přírodní zákony. Symetrií, která sjednocuje prostor a čas, je Lorentzova transformace neboli rotace ve čtyřech dimenzích. Symetrií, jež stojí v pozadí gravitace, je obecná kovariance neboli libovolné transformace prostoročasových souřadnic.

Při svém třetím pokusu o velkou sjednocující teorii však Einstein neuspěl, a to hlavně proto, že mu chyběla symetrie, jež by sjednocovala gravitaci a světlo neboli mramor (geometrii) se dřevem (hmotou). Einstein si samozřejmě naléhavě uvědomoval, že postrádá fundamentální princip, který by jej vedl změtí tenzorového počtu. Kdysi napsal: „Domnívám se, že aby člověk skutečně postoupil kupředu, musí se opět v přírodě dopídit nějakého obecného principu.“¹³

A přesně to nám dávají superstruny. Symetrie, jež je základem superstrun, se nazývá „supersymetrie“ – jde o zvláštní a krásnou symetrii, která sjednocuje hmotu se silami. Jak jsme se zmínili již dříve, mají subatomární částice vlastnost zvanou „spin“ a chovají se tedy jako roztočené dětské vlčky Elektron, proton, neutron i kvarky, jež tvoří hmotu ve vesmíru, mají spin $\frac{1}{2}$ a nazývají se „fermiony“ podle Enrica Fermiho, jenž zkoumal vlastnosti částic s poločíselným spinem. Částice, které zprostředkovávají síly, jsou však založeny na elektromagnetismu (se spinem 1) a gravitaci (se spinem 2). Všimněte si, že mají spin celočíselný. Tyto částice se nazývají „bosony“ (podle práce Bosého a Einsteina). Základní myšlenka spočívá v tom, že hmota (dřevo) je obecně tvořena fermiony s poločíselným spinem, zatímco síly (mramor) jsou tvořeny bosony s celočíselným spinem. *Supersymetrie sjednocuje fermiony s bosony*. To je to nejpodstatnější – supersymetrie umožňuje sjednotit dřevo s mramorem, jak si přál Einstein. Supersymetrie vlastně připouští nový druh geometrie, jenž překvapil dokonce i matematiky. Nazývá se „superprostor“ a umožňuje existenci „supermramoru“. Podle tohoto nového přístupu musíme původní dimenze prostoru a času zobecnit tak,

aby nyní zahrnovaly i fermionové dimenze, což nám umožňuje vytvořit „supersílu“, z níž v okamžiku vzniku vesmíru vzešly všechny síly.

Někteří fyzikové tedy vyslovili domněnku, že Einsteinův původní princip obecné kovariance je třeba zobecnit takto: *fyzikální rovnice musí být superkovariantní* (tj. musí zachovávat stejný tvar při superkovariantní transformaci).

Teorie superstrun nám umožňuje znovu analyzovat Einsteinovy staré práce o sjednocené teorii pole, tentokrát však ve zcela novém světle. Když začneme rozebírat řešení rovnic superstrun, setkáme se s mnohými z prapodivných prostorů, jejichž průkopníkem byl Einstein již ve dvacátých a třicátých letech 20. století. Jak jsme viděli už dříve, pracoval s různými zobecněními riemannovského prostoru, které dnes odpovídají určitým prostorům, jež se vyskytují v teorii strun. Einstein tyto bizarní prostory zoufale prohlížel jeden po druhém (včetně komplexních prostorů, prostorů s „torzí“, „twistovaných prostorů“, „antisymetrických prostorů“ atd.), ale ztratil se v nich, protože mu chyběl jakýkoliv fyzikální princip či představa, jež by jej ze spleti matematiky vyvedla. A právě zde do hry vstupuje supersymetrie – funguje jako princip, jenž sem vnáší řád a umožňuje nám analyzovat mnohé z těchto prostorů z jiného pohledu.

Je však supersymetrie onou symetrií, jež Einsteinovi poslední tři desetiletí jeho života unikala? Základem Einsteinovy sjednocené teorie pole bylo to, že měla být tvořena čistě mramorem neboli čistě geometrií. Nehezské „dřevo“, jež zaplevelilo jeho původní teorii relativity, mělo být zahrnuto do geometrie. Supersymetrie by mohla klíč k teorii čistého mramoru obsahovat. Lze v ní totiž zavést cosi, co nazýváme „superprostor“ a v čem je i samotný prostor supersymetrický. Jinými slovy je možné, že *konečná sjednocená teorie pole bude ze „supermramoru“ tvořené novou „supergeometrií“*.

Fyzikové se dnes domnívají, že v okamžiku velkého třesku byly všechny symetrie na světě sjednocené, jak věřil i Einstein. Ony čtyři síly, jež v přírodě pozorujeme (gravitace, elektromagnetismus a silná a slabá jaderná interakce), byly v okamžiku vzniku vesmíru propojené do jediné „supersíly“ a rozštěpily se teprve později, jak vesmír chladnul. Einsteinovo hledání sjednocené teorie pole se zdálo marné jen proto, že dnes tyto čtyři hybné síly světa vidíme roztržené na čtyři části. Kdybychom posunuli čas o 13,7 miliard let zpátky, do okamžiku počátečního velkého třesku, viděli bychom

kosmickou jednotu vesmíru v celé její kráse, tak, jak si ji Einstein představoval.

Witten tvrdí, že teorie strun bude jednoho dne vévodit fyzice stejně, jako fyzice v uplynulém půlstoletí dominovala kvantová mechanika. Přesto i ona s sebou nese ohromné překážky a její kritici poukazují na některá její slabá místa. Za prvé ji není možné testovat přímo. Protože teorie superstrun je teorií celého vesmíru, lze ji testovat pouze tak, že znovu vytvoříme velký třesk, neboli že na nějakém urychlovači dosáhneme energie, jež bude přibližně odpovídat počátku vesmíru. Abychom toho docílili, budeme potřebovat urychlovač o velikosti celé galaxie. To by nedokázala dokonce ani rozvinutá civilizace. Ve fyzice se však většinou postupuje nepřímo, takže vědci vkládají značné naděje do velkého hadronového urychlovače (LHC, Large Hadron Collider), jenž má být vybudován u Ženevy a který by mohl mít dostatečný výkon na to, aby tuto teorii dokázal prověřit. Až bude v nedaleké budoucnosti LHC spuštěn, bude urychlovat protony na energie bilionů elektronvoltů, což bohatě stačí k rozbití atomu. Fyzikové doufají, že při zkoumání úlomků z takovýchto neuvěřitelných srážek naleznou nový druh částice – superčástici, která bude představovat vyšší rezonanci čili oktávu superstrany.

Objevují se dokonce i úvahy o tom, že ze superčástic je možná složena temná hmota. Například protějšek fotonu nazývaný „fotino“ je nábojově neutrální, stabilní a má nenulovou hmotnost. Pokud by byl vesmír vyplněn plynem složeným z fotin, nemohli bychom je pozorovat, ale tato fotina by se chovala velmi podobně jako temná hmota. Jestli se nám někdy podaří určit skutečnou podstatu temné hmoty, mohli bychom z ní vytěžit nepřímý důkaz teorie superstrun.

Další možností, jak tuto teorii nepřímo testovat, je analýza gravitačních vln pocházejících z velkého třesku. Až budou v příštím desetiletí v rámci projektu LISA vypuštěny do kosmu detektory gravitačních vln, možná nakonec zachytí gravitační vlny vyslané jednu biliontinu sekundy po okamžiku vzniku vesmíru. A pokud budou tyto vlny odpovídat předpovědím založeným na teorii strun, mohla by příslušná data teorii strun potvrdit jednou provždy.

M-teorie možná také vysvětlí některé z hádanek kolem starého Kaluzova-Kleinova vesmíru. Vzpomeňte si, že jednou z vážných námitek proti Kaluzovu-Kleinovu vesmíru bylo to, že tyto vyšší dimenze v laboratoři nepozorujeme a že zřejmě musí být mnohem menší než atom (jinak by

atomy do těchto vyšších dimenzí odplouvaly). M-teorie ale tento problém možná řeší, protože předpokládá, že i sám náš vesmír je membránou vznášející se nekonečným jedenácti-rozměrným hyperprostorem. Subatomární částice a atomy by tedy byly omezeny na naši membránu (náš vesmír), ale gravitace, jež je deformací hyperprostoru, by se mohla volně přelévat mezi různými vesmíry.

Ať tato hypotéza vypadá jakkoliv podivně, lze ji testovat. Již od dob Isaaca Newtona je fyzikům známo, že gravitace ubývá s převrácenou hodnotou čtverce vzdálenosti. Ve čtyřech prostorových rozměrech by gravitace měla ubývat s převrácenou hodnotou třetí mocniny vzdálenosti. Měřením nepatrných odchylek od přesné závislosti dané převrácenou hodnotou čtverce vzdálenosti lze tedy zjistit přítomnost jiných vesmírů. Nedávno byla vyslovena domněnka, že pokud se ve vzdálenosti pouhého jednoho milimetru od našeho vesmíru nachází nějaký paralelní vesmír, mohl by být v souladu s newtonovskou gravitací a také by ho možná šlo odhalit pomocí LHC. Fyzikové si s nadšením uvědomili, že jeden aspekt teorie superstrun by již brzy mohl být testován, a to buď hledáním superčástic, nebo pátráním po paralelních vesmírech vzdálených pouhý milimetr od toho našeho.

Takové paralelní vesmíry by nám mohly poskytnout ještě další vysvětlení temné hmoty. Pokud je v našem sousedství nějaký paralelní vesmír, neuvidíme jej ani si na něj nebudeme moci sáhnout (jelikož hmota je omezena na náš membránový vesmír), ale budeme cítit jeho gravitaci (která může mezi oběma vesmíry přecházet). Z našeho hlediska by to vypadalo, jako kdyby na nás nějak gravitačně působily neviditelné části kosmu, což by značně připomínalo temnou hmotu. Někteří teoretičtí fyzikové zabývající se superstrunami skutečně spekulují o tom, že temnou hmotu lze možná vysvětlit jako gravitační působení nedalekého paralelního vesmíru.

Skutečným problémem při dokazování správnosti teorie superstrun však není experiment. Kvůli jejímu ověření není třeba konstruovat obrovité urychlovače ani kosmické sondy. Skutečný problém je čistě teoretický: pokud budeme dost chytrí a tuto teorii se nám podaří plně dokončit, měli bychom být schopni nalézt všechna její řešení, mezi něž by měl patřit i náš vesmír se svými hvězdami, s galaxiemi, planetami i lidmi. Zatím na Zemi není nikdo dost schopný na to, aby tyto rovnice plně vyřešil. Možná ale už zítra – a možná až za desítky let – někdo oznámí, že se mu to podařilo.

Teprve tehdy budeme moci říct, zda jde o teorii všeho, nebo o teorii ničeho. Teorie strun je totiž naprosto přesně vymezená a nemá žádné volné parametry, a tak mezi těmito dvěma extrémy neexistuje žádná jiná možnost.

Umožní nám teorie superstrun či M-teorie sjednotit přírodní zákony do jednoduchého a soudržného celku, jak kdysi chtěl Einstein? V tomto okamžiku je na odpověď ještě příliš brzy. Na mysli nám vytanou Einsteinova slova: „Podstata tvořivosti tkví v matematice. V jistém smyslu proto mám za to, že realita je skutečně uchopitelná čistým rozumem, jak o tom snily starověké národy.“¹⁴ Snad se nějaký mladý čtenář nechá jeho snahou o sjednocení všech fyzikálních sil inspirovat a tento program dokončí.

Jak bychom tedy měli Einsteinův skutečný odkaz nově zhodnotit? Nebudeme patrně prohlašovat, že se po roce 1925 měl věnovat rybaření. Vhodnější poklonou by asi mohla být následující slova: *Veškeré fyzikální vědění je na fundamentální úrovni obsazeno ve dvou pilířích fyziky – v obecné relativitě a v kvantové teorii. Einstein byl zakladatelem první teorie, duchovním otcem druhé a připravil nám cestu pro případné sjednocení obou.*

Poznámky

Předmluva

1. Brian, str. 436
2. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 43

1. kapitola, Fyzika před Einsteinem

1. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 152
2. French, str. 171
3. Cropper, str. 19
4. tamtéž, str. 173
5. tamtéž, str. 163
6. tamtéž, str. 164

2. kapitola, První roky

1. Brian, str. 3
2. Clark, str. 27
3. Brian, str. 3
4. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 38
5. Cropper, str. 205
6. Schilpp, str. 9
7. tamtéž, str. 5
8. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 38
9. Schilpp, str. 9
10. Sugimoto, str. 14
11. Brian, str. 7
12. Clark, str. 65
13. Folsing, str. 39
14. tamtéž, str. 44
15. Brian, str. 12; Folsing, str. 42
16. Schilpp, str. 15
17. tamtéž, str. 53
18. Calaprice, str. 261
19. Clark, str. 55
20. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 44; Brian, str. 31
21. Folsing, str. 57

22. Sugimoto, str. 19
23. Folsing, str. 71
24. Brian, str. 31
25. tamtéž, str. 47
26. tamtéž
27. tamtéž, str. 25
28. tamtéž
29. Thorne, str. 69
30. Schilpp, str. 3
31. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 41
32. Brian, str. 69
33. tamtéž, str. 52
34. tamtéž, str. 53
35. tamtéž
36. Sugimoto, str. 33
37. tamtéž, str. 31
38. Brian, str. 55

3. kapitola, Speciální relativita a „záračný rok“

1. Folsing, str. 166
2. Brian, str. 61
3. tamtéž

4. tamtéž, str. 152. Mnoho životopisů odvozuje Einsteinovy myšlenky od Michelsonova a Morleyho experimentu. Jak ale při několika příležitostech objasňoval sám Einstein, ovlivnil tento pokus směr jeho úvah pouze okrajově. K teorii relativity jej přivedly Maxwellovy rovnice. Jediným stěžejním bodem jeho původního článku bylo ukázat, že Maxwellovy rovnice obsahují skrytou symetrii, již odhalila jeho teorie relativity, a že tato symetrie by měla být povýšena na univerzální fyzikální princip.

5. Folsing, str. 155; Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 139
6. Cropper, str. 206
7. Folsing, str. 196
8. tamtéž, str. 197
9. Brian, str. 71
10. tamtéž, str. 72
11. tamtéž, str. 76
12. Cropper, str. 220
13. Clark, str. 159
14. Cropper, str. 220
15. Brian, str. 73
16. tamtéž, str. 75
17. Cropper, str. 215

18. V průběhu následujících desetiletí přišli lidé s mnoha dalšími paradoxy, jež měly ilustrovat zdánlivou bizarnost speciální relativity. Tyto úvahy obvykle využívají dvě vztažené soustavy, které se pohybují různými rychlostmi a pozorují tentýž objekt. K paradoxu dochází proto, že pozorovatelé v těchto soustavách vnímají stejný objekt naprosto odlišně. Téměř všechny paradoxy lze vyřešit na základě dvou postřehů. Za prvé musí být kontrakce

délek v jedné soustavě vyvážena dilatací času v soustavě druhé. Zapomeneme-li deformaci prostoru vyvážit deformací času, dochází k paradoxům. K paradoxům dochází i tehdy, když tyto dvě soustavy na konci pokusu zapomeneme přiblížit k sobě. Ke konečnému rozhodnutí o tom, kdo je doopravdy mladší či kratší, dospějeme, teprve když tyto dva pozorovatele dostaneme do téhož prostorového bodu a časového okamžiku a porovnáme je. Jestliže je k sobě nepostavíme, můžeme mít dva objekty, jež jsou oba kratší a mladší než ten druhý, což v newtonovské fyzice možné není.

19. [Překlad J. Langer.] Prolomit bariéru času a cestovat do minulosti tak, že byste se pohybovali rychleji než světlo, není možné. Když se blížíte rychlosti světla, narůstá vaše hmotnost téměř do nekonečna, vy jste smáčknuti tak, že jste skoro nekonečně tencí, a čas se takřka zastaví. Rychlost světla je tedy nejvyšší rychlostí ve vesmíru. Možné mezery v tomto argumentu však proberu později, až budu psát o červích dírách a Einsteinových-Rosenových mostech.

20. Sugimoto, str. 44

21. Cropper, str. 216

22. Folsing, str. 336

23. tamtéž, str. 332

24. Brian, str. 151

4. kapitola, Obecná relativita a „nejšťastnější myšlenka mého života“

1. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 239

2. tamtéž, str. 179; Folsing, str. 303

3. Folsing, str. 435

4. Calaprice, str. 9

5. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 212

6. Folsing, str. 315

7. Calaprice, str. 252

8. Machův princip: Machův princip přesněji řečeno tvrdí, že setrvačnost každého tělesa a tudíž i jeho hmotnost je důsledkem přítomnosti veškeré ostatní hmoty ve vesmíru, například vzdálených hvězd. Mach znovu zformuloval postřeh známý již od časů Newtona – hladina v roztočeném vědru vody se prohne dolů (kvůli dostředivým silám). Čím rychlejší je otáčení, tím více se hladina prohne. Jestliže jsou všechny pohyby včetně otáčení relativní, můžeme si představit, že vědro je v klidu a všechny vzdálené hvězdy obíhají kolem něj. Mach tedy usoudil, že průhyb hladiny nehybného vědra je důsledkem otáčení vzdálených hvězd. Přítomnost vzdálených hvězd proto určuje inerciální vlastnosti vědra vody včetně jeho hmotnosti. Einstein tento zákon pozměnil v tom smyslu, že gravitační pole je jednoznačně určeno rozložením hmoty ve vesmíru.

9. Folsing, str. 320

10. Obecná kovariance znamená, že rovnice si zachovávají stejný tvar při změně souřadnic (dnes se tomu říká „kalibrační transformace“). Einstein si roku 1912 neuvědomil, že podle tohoto principu i fyzikální předpovědi jeho teorie zůstávají při změně souřadnic nezměněné. Roku 1912 tak ke svému zděšení zjistil, že jeho teorie dává v případě gravitačního pole kolem Slunce nekonečný počet řešení. O tři roky později si ale najednou uvědomil, že všechna tato řešení popisují stejný fyzikální systém – Slunce. Ricciho křivost je proto přesně definovaným matematickým objektem, jímž lze gravitační pole kolem dané hvězdy popsat jednoznačně, a tedy ve shodě s Machovým principem.

11. Folsing, str. 374
12. tamtéž, str. 373
13. tamtéž, str. 372
14. Brian, str. 89
15. Sugimoto, str. 51
16. Folsing, str. 343

17. V chaosu vyvolaném I. světovou válkou byla berlínská univerzita málem zavřena poté, co studenti univerzitní areál obsadili a zajali rektora. Členové profesorského sboru okamžitě povolali Einsteina, aby pomohl vyjednat jeho propuštění. Einstein pro změnu pozval fyzika Maxe Borna, aby ho při nebezpečné cestě za zástupci studentů podpořil. Born později napsal, že jeli „bavorskou čtvrtí ulicemi plnými mladíků divokého vzezření, kteří na nás pokřikovali a měli rudé odznaky... O Einsteinovi se dobře vědělo, že je levicového politického zaměření – pokud není přímo ‚rudý‘ – a že je ideální osobou, jež by mohla při vyjednávání se studenty pomoci.“ (Brian, str. 97) Studenti Einsteina poznali a předali mu své požadavky. Souhlasili s propuštěním svých zajatců, pokud to schválí nově zvolený sociálně demokratický prezident Friedrich Ebert. Einstein s Bornem tedy odcestovali do paláce říšského kancléře a naléhali v tomto smyslu na prezidenta, jenž propuštění zajatců odsouhlasil. Born později vzpomínal: „Palác říšského kancléřství jsme opouštěli v nejlepší náladě a měli jsme pocit, že jsme se zúčastnili historické události. Tehdy jsme skutečně doufali, že doba pruské arogance skončila – že junkeři, hegemonie aristokratů i lobby úředníků a armády jsou ty tam a že německá demokracie zvítězila.“ Einstein a Born, dva teoretičtí fyzikové, kteří se zajímali o tajemství atomu a vesmíru, při záchraně univerzity zjevně své vlohy uplatnili poněkud praktičtěji.

5. kapitola, Nový Koperník

1. Sugimoto, str. 57
2. Calaprice, str. 97
3. Parker, str. 124
4. tamtéž
5. Clark, str. 290; Parker, str. 124
6. Parker, str. 126
7. tamtéž
8. Folsing, str. 445
9. tamtéž
10. tamtéž, str. 451
11. tamtéž, str. 343
12. Cropper, str. 217
13. tamtéž, str. 217
14. Brian, str. 106
15. tamtéž, str. 102
16. tamtéž, str. 101
17. tamtéž, str. 102
18. tamtéž, str. 103
19. Folsing, str. 199
20. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 219
21. Sugimoto, str. 66

22. Brian, str. 113

23. Einsteinovi sionističtí přátelé, jak je třeba podotknout, se často obávali, že Einstein, známý zásadou „co na srdci, to na jazyku“, bude říkat věci, s nimiž oni sami nesouhlasí. Einstein se například jistou dobu domníval, že židovská vlast by měla být v Peru, a zdůrazňoval, že kdyby se tam Židé usadili, nikdo by odtamtud nebyl zbytečně vysídlován. Často prohlašoval, že má-li být jakýkoliv pokus o vytvoření židovského státu na Blízkém východě úspěšný, mají přátelství a vzájemná úcta mezi židovským a arabským národem zcela zásadní význam. Kdysi napsal: „Mnohem raději bych viděl rozumnou dohodu s Araby založenou na mírovém soužití, než vytvoření židovského státu.“ (Calaprice, str. 135)

24. Brian, str. 120

25. tamtéž, str. 121

26. Sugimoto, str. 74

27. Brian, str. 123

28. tamtéž, str. 130

29. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 154

30. Folsing, str. 505

31. Brian, str. 131

32. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 152

33. Sugimoto, str. 63

34. tamtéž, str. 64

35. Clark, str. 360

36. Brian, str. 150

37. tamtéž, str. 146

38. Brian, str. 144

39. Einstein, lev německých salónů, byl neustále obklopen zámožnými matrány, jež dychtily vyslechnout jeho důvtipnosti a moudra a mnohé z nichž štědře přispívaly jeho oblíbeným sdružením a dobročinným spolkům. Některé z nich občas poslaly pro Einsteina svou osobní limuzínu, aby jej vyzvedla v jeho letním domě v Caputhu a odvezla na benefiční akci nebo koncert. Nevyhnutelně se začaly šířit klepy o údajných aféřkách. Jestliže člověk vysleduje zdroj těchto drbů, zjistí, že pocházejí hlavně ze vzpomínek služebné v tomto letním domě, Herty Waldowové, která svůj příběh prodala tisku. O žádných mimomanželských aféřkách však neměla jediný důkaz a přiznala, že tyto vysoce postavené dámy vždycky osobně předávaly Else bonboniéry, aby vyloučily jakékoliv podezření, že jde o něco nepřístojného. I Konrád Wachsmann, architekt, jenž pomáhal letní dům v Caputhu navrhovat a měl do Einsteinovy domácnosti po nějakou dobu přístup, měl za to, že tyto vztahy byly dokonale nevinné. Domníval se, že byly „téměř bez výjimky“ platonické povahy a že Einstein nikdy nebyl Else s těmito ženami nevěrný

40. Cropper, str. 217

41. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 184

42. Sugimoto, str. 122

43. Brian, str. 205

44. Calaprice, str. 336

45. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 318

46. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 186

47. Calaprice, str. 293

48. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 122

49. tamtéž, str. 119
50. Sugimoto, str. 113
51. Brian, str. 186

6. kapitola, Velký třesk a černé díry

1. Misner a kol., str. 756
2. Crowell, str. 35
3. Thorne, str. 210
4. Petters a kol., str. 7
5. tamtéž

7. kapitola, Sjednocování a kvantová výzva

1. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 23
2. Parker, str. 209
3. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 343
4. tamtéž, str. 330
5. tamtéž, str. 330
6. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 179
7. Cropper, str. 257
8. tamtéž
9. tamtéž
10. tamtéž
11. Calaprice, str. 231
12. Moore, str. 195

13. Protože hmota ráda přechází do stavu s nejnižší energií, znamenalo to, že do těchto stavů se zápornou energií by mohly spadnout všechny elektrony a vesmír by se zhroutil. Aby Dirac této katastrofě zabránil, postuloval, že všechny stavy se zápornou energií jsou již obsazeny. Procházející paprsek gama záření však může elektron ze stavu se zápornou energií vyrazit, takže po něm zůstane jakási „díra“ či bublina. Tato díra, jak předpověděl Dirac, se bude chovat jako elektron s kladným nábojem neboli antihmota.

14. Pais, *Inward Bound*, str. 348
15. tamtéž, str. 360
16. Folsing, str. 585
17. tamtéž
18. Brian, str. 156
19. Ferris, str. 290

20. Einstein svůj postoj k determinismu a neurčitosti nejjasněji vyjádřil následujícími slovy: „Jsem determinista, jenž je donucen předstírat, že existuje svobodná vůle, protože chci-li žít v civilizované společnosti, musím se chovat zodpovědně. Z filozofického hlediska vím, že vrah není za své zločiny odpovědný, ale čaj s ním raději popíjet nebudu... Nemám nad tím žádnou moc – zejména ne nad oněmi tajemnými žlázami, v nichž příroda připravuje samu esenci života. Henry Ford to možná označuje za svůj vnitřní hlas, Sokrates to nazýval svým démonem: každý jen po svém vysvětluje tu skutečnost, že lidská vůle není svobodná... Vše – počátek i konec – je předurčeno silami, kterými nevládneme. Jak pro hmyz, tak pro hvězdy je vše předurčeno. Lidské bytosti, zelenina i kosmický prach – to všechno tančí podle tajemné hudby, již v dále vyluzuje neviditelný hudebník.“ (Brian, str. 185)

21. Cropper, str. 244
22. Folsing, str. 561
23. tamtéž, str. 591
24. Brian, str. 306
25. Kaku, *Hyperspace*, str. 280
26. tamtéž, str. 260
27. Calaprice, str. 260
28. Brian, str. 281
29. tamtéž
30. Folsing, str. 698
31. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 128

8. kapitola, Válka, mír a $E=mc^2$

1. Cropper, str. 226
2. Sugimoto, str. 127
3. Pais, *Einstein Lived Here*, str. 190
4. Folsing, str. 675
5. tamtéž
6. Cropper, str. 271
7. Brian, str. 247
8. Cropper, str. 271
9. Moore, str. 265
10. Cropper, str. 226
11. Brian, str. 251
12. Parker, str. 17
13. Folsing, str. 672
14. tamtéž
15. Brian, str. 297
16. tamtéž
17. Folsing, str. 699
18. tamtéž, str. 707
19. tamtéž, str. 708
20. tamtéž
21. tamtéž, str. 709
22. tamtéž, str. 708
23. tamtéž, str. 712
24. Pais, *Inward Bound*, str. 436
25. Cropper, str. 340
26. Folsing, str. 710
27. tamtéž, str. 712
28. tamtéž
29. Cropper, str. 342
30. tamtéž
31. Folsing, str. 714
32. tamtéž
33. tamtéž, str. 715

34. Brian, str. 344

35. Roku 1948 pomohl sepsat koncept Poselství intelektuálům, v němž se uvádělo: „Člověku se nepodařilo vytvořit takové politické a ekonomické formy společnosti, jež by zajistily mírové soužití národů světa. My vědci, jejichž tragickým osudem je pomáhat při hledání stále hrůznějších a účinnějších metod ničení, musíme považovat za svou důležitou a mimořádnou povinnost udělat vše, co je v naší moci, abychom zabránili použití těchto zbraní za oním brutálním účelem, pro něž byly vynalezeny. Jaký úkol by pro nás mohl být důležitější? Jaký společenský cíl by mohl být bližší našim srdcím?“ (Sugimoto, str. 153)

Svůj pohled na celosvětovou vládu Einstein vyjasnil, když uvedl: Jediná spása civilizace... spočívá v ustavení celosvětové vlády, kdy budou mezinárodní bezpečnost určovat zákony... Dokud budou mít suverénní státy i nadále samostatnou výzbroj a vojenská tajemství, budou další světové války neodvratné.“ (Folsing, str. 721)

36. Brian, str. 350

37. tamtéž, str. 359

38. Weinberg, str. 153

39. Brian, str. 331

40. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 465

41. tamtéž, str. 162

42. Brian, str. 377

43. Cropper, str. 223

44. tamtéž

45. Calaprice, str. 232

46. tamtéž, str. 241

47. tamtéž

48. Pais, *Inward Bound*, str. 585

49. Kaku, *Beyond Einstein*, str. 11

50. Cropper, str. 252

51. Overbye, str. 377

52. Calaprice, str. 63

9. kapitola, Einsteinův prorocký odkaz

1. Crease a Mann, str. 67

2. Barrow, str. 378

3. Přesněji řečeno Bell navrhoval, že by měl být znovu přezkoumán starý EPR experiment. Úhly určené osou polarizace těchto elektronových párů lze v principu změřit. Po podrobném rozboru korelací mezi různými úhly polarizace danými těmito elektronovými páry se Bellovi podařilo sestavit nerovnost, nazývanou dnes „Bellova nerovnost“, jež tyto úhly omezovala. Pokud by kvantová mechanika byla správná, bude splněna jedna soustava vztahů. Pokud by kvantová mechanika byla chybná, byla by splněna jiná soustava vztahů. Při každém provedení tohoto pokusu se ukázalo, že předpovědi kvantové mechaniky jsou správné.

4. Barrow, str. 144

5. Petters a kol., str. 155; *New York Times*, 31. března 1998

6. *New York Times*, tamtéž

7. Hawking a kol., str. 85

8. Weinberg, str. 212

9. Kaku, *Beyond Einstein*, str. 67

10. tamtéž

11. Měli bychom také upozornit na to, že nejnovější verze teorie strun se nazývá „M-teorie“. Teorie strun je definována v desetirozměrném prostoru (s devíti dimenzemi prostorovými a jednou časovou). V deseti dimenzích však lze napsat pět vnitřně nerozporných teorií strun, což vrtá hlavou teoretikům, kteří by na pozici sjednocené teorie pole rádi měli jediného kandidáta a o pět uchazečů nestojí. Witten se svými kolegy nedávno ukázal, že pokud danou teorii definujeme v jedenáctirozměrném prostoru (s deseti prostorovými dimenzemi a jednou dimenzí časovou), jsou všechny tyto teorie ve skutečnosti ekvivalentní. V jedenácti dimenzích mohou existovat vícerozměrné membrány a někteří vědci spekulují o tom, že právě takovou membránou by mohl být i náš vesmír. Ačkoliv zavedení M-teorie znamenalo pro teorii strun ohromný pokrok, její přesné rovnice v současnosti nikdo nezná (Davies a Brown, str. 95).

12. tamtéž, str. 150

13. Pais, *Subtle Is the Lord*, str. 328

14. Kaku, *Quantum Field Theory*, str. 699

Seznam literatury

Ve své poslední vůli odkázal Einstein všechny své rukopisy a dopisy uložené v Einsteinových archivech Hebrejské univerzitě v Jeruzalémě. Kopie těchto dokumentů se nacházejí na univerzitách v Princetonu a Bostonu. Překlad těchto rozsáhlých materiálů obsahuje soubor knih *The Collected Papers of Albert Einstein* (svazek i až 5), editovaný Johnem Stachelem.

- Barrow, John D. *The Universe That Discovered Itself*. Oxford University Press, Oxford, 2000
- Bartusiak, Marcia. *Einstein's Unfinished Symphony*. Joseph Henry Press, Washington, D.C., 2000
- Bodanis, David. $E=mc^2$. Walker, New York, 2000; česky: $E=mc^2$: životopis nejslavnější rovnice na světě. Dokořán, Praha, 2002
- Brian, Denis. *Einstein: A Life*. John Wiley and Sons, New York, 1996
- Calaprice, Alice, ed. *The Expanded Quotable Einstein*. Princeton University Press, Princeton, 2000
- Clark, Ronald. *Einstein: The Life and Times*. World Publishing, New York, 1971
- Crease, R. a Mann, C. C. *Second Creation*. Macmillan, New York, 1986
- Cropper, William H. *Great Physicists*. Oxford University Press, New York, 2001
- Crowell, Ken. *The Universe at Midnight*. Free Press, New York, 2001
- Davies, P. C. W. a Brown, Julian, eds. *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge University Press, New York, 1988
- Einstein, Albert. *Ideas and Opinions*. Random House, New York, 1954
- Einstein, Albert. *The Meaning of Relativity*. Princeton University Press, Princeton, 1953
- Einstein, Albert. *Relativity: The Special and the General Theory*. Routledge, New York, 2001; česky: *Theorie relativity speciální i obecná*. Fr. Borový, Praha, 1923
- Einstein, Albert. *The World as I Seelt*. Kensington, New York, 2000; česky: *Jak vidím svět*. Lidové noviny, Praha, 1993
- Einstein, Albert, Lorentz, H. A., Weyl, H. a Minkowski, H. *The Principle of Relativity*. Dover, New York, 1952
- Ferris, Timothy. *Corning of Age in the Milky Way*. Anchor Books, New York, 1988
- Flückiger, Max. *Albert Einstein in Bern*. Paul Haupt, Bern, 1972
- Folsing, Albrecht. *Albert Einstein*. Penguin Books, New York, 1997; česky: *Albert Einstein*. Volvox Globator, Praha, 2001
- Frank, Philip. *Einstein: His Life and His Thoughts*. Alfred A. Knopf, New York, 1949
- French, A. P., ed. *Einstein: A Centenary Volume*. Harvard University Press, Cambridge, 1979
- Gell-Mann, Murray. *The Quark and the Jaguar*. W. H. Freeman, San Francisco, 1994

- Goldsmith, Donald. *The Runaway Universe*. Perseus Books, Cambridge, Mass., 2000
- Hawking, Stephen, Thorne, Kip, Novikov, Igor, Ferris, Timothy a Lightman, Alan. *The Future of Spacetime*. W. W. Norton, New York, 2002
- Highfield, Roger a Carter, Paul. *The Private Lives of Albert Einstein*. St. Martina, New York, 1993
- Hoffman, Banesh a Dukas, Helen. *Albert Einstein, Creator and Rebel*. Penguin, New York, 1973
- Kaku, Michio. *Beyond Einstein*. Anchor Books, New York, 1995
- Kaku, Michio. *Hyperspace*. Anchor Books, New York, 1994
- Kaku, Michio. *Quantum Field Theory*. Oxford University Press, New York, 1993
- Kragh, Helge. *Quantum Generations*. Princeton University Press, Princeton, 1999
- Miller, Arthur I. *Einstein, Picasso*. Perseus Books, New York, 2001
- Misner, C. W., Thorne, K. S. a Wheeler, J. A. *Gravitation*. W. H. Freeman, San Francisco, 1973
- Moore, Walter. *Schrödinger, Life and Thought*. Cambridge University Press, Cambridge, 1989
- Overbye, Dennis. *Einstein in Love: A Scientific Romance*. Viking, New York, 2000
- Pais, Abraham. *Einstein Lived Here: Essays for the Layman*. Oxford University Press, New York, 1994
- Pais, Abraham. *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical world*. Oxford University Press, New York, 1986
- Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press, New York, 1982
- Parker, Barry. *Einstein's Brainchild: Relativity Made Relatively Easy*. Prometheus Books, Amherst, N.Y., 2000
- Petters, A. O., Levine, H. a Wambuganss, J. *Singularity Theory and Gravitational Lensing*. Birkhauser, Boston, 2001
- Sayen, Jamie. *Einstein in America*. Crown Books, New York, 1985
- Schilpp, Paul. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. Tudor, New York, 1951
- Seelig, Carl. *Albert Einstein*. Staples Press, London, 1956
- Silk, Joseph. *The Big Bang*. W. H. Freeman, San Francisco, 2001
- Stachel, John, ed. *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 1 and 2. Princeton University Press, Princeton, 1989
- Stachel, John, ed. *Einstein's Miraculous Tear*. Princeton University Press, Princeton, 1998
- Sugimoto, Kenji. *Albert Einstein: A Photographic Biography*. Schocken Books, New York, 1989
- Thorne, Kip S. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. W. W. Norton, New York, 1994; česky: *Černé díry a zborcený čas: podivuhodné dědictví Einsteinova génia*. Mladá fronta, Praha, 2004
- Trefil, James S. *The Moment of Creation*. Collier Books, New York, 1983
- Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory*. Pantheon Books, New York, 1992; česky: *Snění o finální teorii*. Hynek, Praha, 1996
- Zackheim, Michele. *Einstein's Daughter*. Riverhead Books, New York, 1999
- Zee, A. *Einstein's Universe: Gravity at Work and Play*. Oxford University Press, New York, 1989