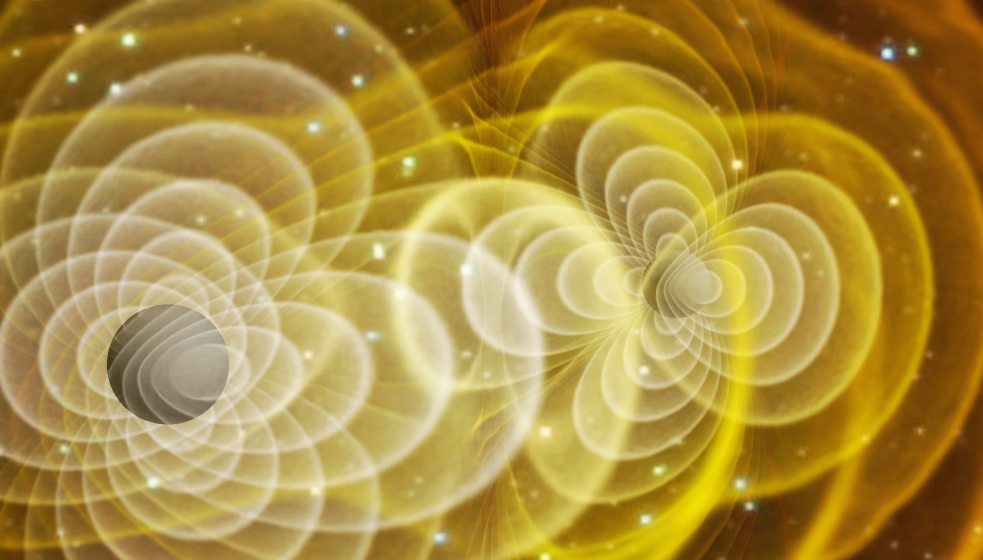




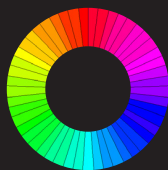
Pedro G. Ferreira

Nádherná teorie

Sto let

obecné teorie relativity

VYŠEHRAĐ





Pedro G. Ferreira

Nádherná teorie

Sto let
obecné teorie relativity

Pedro G. Ferreira

Nádherná teorie

Sto let
obecné teorie relativity

VYŠEHRAĐ

Edice Spektrum, svazek 1.

Z anglického originálu, vydaného nakladatelstvím
Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company
v New Yorku a Bostonu roku 2014, přeložil Jiří Langer
Obálku a grafickou úpravu navrhl Vladimír Verner
Redakčně zpracoval Vladimír Roskovec
Odpovědný redaktor Martin Žemla
E-knihu vydalo nakladatelství Vyšehrad, spol. s r. o.,
roku 2015 jako svou 1419. publikaci
Vydání v elektronickém formátu první
(podle prvního vydání v tištěné podobě)
Doporučená cena E-knihy 210 Kč

Nakladatelství Vyšehrad, spol. s r. o.,
Praha 3, Víta Nejedlého 15
e-mail: info@ivysehrad.cz
www.ivysehrad.cz

The Perfect Theory
Copyright © Pedro G. Ferreira 2014
Translation © Jiří Langer 2015

ISBN 978-80-7429-587-4

Tištěnou knihu si můžete zakoupit na www.ivysehrad.cz

Obsah

Prolog 9

1. Jaké to je volně padat 17
2. Nejcennější objev 29
3. Správná matematika, ohavná fyzika 46
4. Kolabující hvězdy 66
5. Zcela bláznivý Einstein? 86
6. Dny rádia 105
7. Wheelerovštiny 120
8. Singularity 140
9. Útrapy se sjednocením 160
10. Vidět gravitaci 177
11. Temný vesmír 198
12. Konec prostoročasu 219
13. Působivá extrapolace 235
14. K něčemu dojde 250

Poděkování 265

Poznámky 267

Literatura 291

Ediční poznámka 306

Jmenný rejstřík 307

Prolog

VYSTOUPENÍ ARTHURA EDDINGTONA na společném zasedání Královské společnosti a Astronomické královské společnosti dne 6. listopadu 1919 tiše skoncovalo s vládnoucím paradigma-tem fyziky gravitace. V monotónně pronášené slavnostní řeči líčil svou výpravu k malému ostrůvku Príncipe u západního pobřeží Afriky, na kterém instaloval teleskop a fotografoval úplné zatmění Slunce, přičemž se především snažil zachytit málo zřetelný oblak hvězd rozprostřených kolem Slunce. Měřením jejich polohy prokázal, že teorie gravitace objevená patronem britské vědy Isaakem Newtonem, která byla pokládána za pravdivou po dvě stě let, není správná. Místo ní, prohlásil Eddington, je třeba přijmout novou správnou teorii navrženou Albertem Einsteinem, známou pod jménem „obecná teorie relativity“.

V té době už byla tato teorie známá jak pro svou schopnost vyrovnat se s popisem vesmíru jako celku, tak pro svou neobyčejnou komplikovanost. Po skončení slavnostní přednášky posluchači vyšli ven do londýnského podvečera. K Eddingtonovi se přitočil polský fyzik Silberstein, který už napsal knihu o Einsteinově méně obecné teorii zvané „speciální teorie relativity“, a sledoval proto Eddingtonovu přednášku s velkým zájmem. Řekl: „Profesore Eddingtone, vy musíte být jedním z těch tří lidí na světě, kteří rozumějí obecné teorii relativity.“ Když Eddington váhal s odpovědí, dodal: „Nebud'te tak skromný, pane profesore!“ Eddington se na něj zahleděl a řekl:

„Právě naopak, nejsem vůbec skromný, snažím se jen přijít na to, kdo je ten třetí.“

V době, kdy jsem já poprvé zjistil, že existuje nějaká obecná teorie relativity, by musel být Silbersteinův odhad počtu lidí, kteří jí rozumějí, už samozřejmě vyšší. Bylo to počátkem osmdesátých let minulého století, když jsem se díval na televizní seriál *Vesmír* a slyšel jsem Karla Sagana hovořit o tom, jak se prostor a čas mohou natahovat a smršťovat. Zeptal jsem se hned tatínka, zda mi to může vysvětlit. Vše, co mi řekl, bylo, že je to velmi obtížné. A i 60 let po Silbersteinovi prohlásil, že obecné teorii relativity nerozumí skoro nikdo. Nenechal jsem se však tak lehce odbýt. V té bizarní teorii, která například připouštěla, aby se pokroucený prostoročas ovíjel kolem hlubokých hrdel nicoty, bylo něco neobyčejně přitažlivého. Obecnou relativitu jsem viděl v akci v jedné ze starších episod *Star Treku*, když je vesmírná loď *Enterprise* odkopnuta „černou hvězdou“ zpět v čase, nebo když se James T. Kirk zmítá mezi různými dimenzemi prostoročasu. Je opravdu tak těžké jí porozumět?

O pár let později jsem začal studovat na lisabonské univerzitě technické vědy. Univerzita sídlila v monolitické budově z kamene, oceli a skla, perfektní ukázce fašistické architektury Salazarova režimu. Poslouchali jsme nekonečné přednášky o tom, jak stavět počítače, mosty a stroje. Někteří z nás unikali nudné dřině tím, že jsme si ve volném čase četli o moderní fyzice. Všichni jsme chtěli být Albertem Einsteinem, jehož některé myšlenky se občas v našich přednáškách objevovaly. Například jsme se dozvěděli, jaký je vztah mezi energií a hmotností a že světlo je vlastně tvořeno částicemi. Když jsme studovali elektromagnetické vlny, seznámili jsme se s Einsteinovou speciální teorií relativity, kterou objevil v roce 1905 v pouhých dvaceti šesti letech, kdy tedy byl jen o málo starší než my. Jeden z osvětenějších přednášejících nám doporučil přečíst si jeho původní články. Ve srovnání s nudnými přednáškami nám tyto články připadaly jako průzračné drahokamy. Nicméně obecná teorie relativity v tomto menu zahrnuta nebyla.

A pak přišla chvíle, kdy jsem se rozhodl naučit se obecnou teorii relativity sám. Pátral jsem v univerzitní knihovně a objevil jsem okouzující sbírku monografií a učebnic, z nichž některé byly od největších fyziků a matematiků dvacátého století. Byl mezi nimi Arthur Eddington, Královský astronom z Cambridge, Hermann Weyl, geometr z Göttingen, otcové kvantové teorie Erwin Schrödinger a Wolfgang Pauli a všichni ukazovali, jak by se Einsteinova teorie měla podle nich učit. Jedna kniha vypadala jako velký černý telefonní seznam, měla více než tisíc stránek a byla plná květnatých komentářů tria amerických relativistů. Naopak jiná, napsaná kvantovým fyzikem Paulem Dirakem, vystačila s pouhými sedmdesáti stránkami, ovšem velmi elegantně napsanými. Cítil jsem, že jsem vstoupil do zcela nového vesmíru idejí, ve kterém sídlí neobyčejně fascinující osobnosti.

Pochopit jejich myšlenky nebylo snadné. Musel jsem se naučit uvažovat zcela novým způsobem, seznamovat se s těžko pochopitelnou geometrií a abstraktní matematikou. Dekódovat Einsteinovu teorii vyžaduje mistrovsky ovládnout cizí jazyk matematiky. Tehdy jsem nevěděl, že něco podobného zažíval i Einstein, když se snažil plně pochopit svou vlastní teorii. Jakmile jsem se ale naučil základní slova a gramatiku, byl jsem unesen možnostmi, jež mi to dávalo. A tak začala má celoživotní láska k obecné relativitě.

Zní to jako přehnané nadhodnocení, ale nemohu si pomoci: odměnou za ovládnutí obecné teorie relativity Alberta Einsteina není nic menšího než získání klíče k porozumění vesmíru, jeho historii, počátku času a vývoji galaxií v něm. Obecná relativita nám může říci, co leží v těch nejvzdálenějších oblastech vesmíru a vysvětlit, jak vzdálená minulost vesmíru ovlivňuje naši existenci nyní a zde. Einsteinova teorie vrhá světlo na ty nejmenší škály existence, kde mohou vysokoenergetické částice vznikat z ničeho. Může vysvětlit i to, jak se objevují základní struktury reality – prostor a čas.

Během těchto měsíců intenzivního studia jsem především pochopil, že obecná teorie relativity oživuje prostor a čas. Prostor

už není jen pevným jevištěm, na kterém věci existují, a čas není jen předem daným pozadím tikajících hodin. Podle Alberta Einsteina jsou navzájem propleteny v kosmickém tanci, jehož figury ovlivňuje každý kousek vesmírné hmoty, od jednotlivých částic až k celým galaxiím. Tento tanec obsahuje neobyčejně složité figury, jež mohou způsobovat ty nejbizarnější jevy. A od chvíle, kdy Einstein svou teorii předložil, byly její důsledky užívány ke zkoumání přírodního světa. Vesmír byl odhalován jako dynamické prostředí, které se závratnou rychlostí rozpíná a kde nacházíme spoustu černých děr, katastrofálních poruch struktury prostoru a času i veliké energetické vlny, jež nesou energii srovnatelnou s energií galaxií. Obecná relativita nás dovedla dále, než jsme si kdy dovedli představit.

Bylo tu však ještě něco jiného, co mne ohromilo, když jsem se s obecnou relativitou seznámil poprvé. Einsteinovi trvalo téměř deset let, než teorii vytvořil, od té doby však zůstala nezměnná. Dnes už je to celé století, co je většinou fyziků pokládána za dokonalou teorii a je předmětem hlubokého obdivu těch, kteří měli to privilegium se s ní setkat. Obecná teorie relativity se stala ikonou pro svou sílu, je úhelným kamenem moderního myšlení a do kulturních dějin se zapsala stejně nesmazatelně jako elegantní linie Sixtinské kaple, Bachovy suity pro violoncello nebo některý Antonioniho film. Obecnou relativitu lze stručně shrnout do několika rovnic a pravidel, jež se dají přehledně zapsat. Tato pravidla nejenže jsou elegantní, ale vypovídají i něco o reálném světě. Na jejich základě byly učiněny předpovědi o vesmíru a objektech v něm, jež pak byly potvrzeny pozorováním, a panuje pevné přesvědčení, že obecná teorie relativity skrývá ještě mnohem hlubší tajemství, která dosud čekají na odhalení.

Obecná teorie relativity je součástí mého každodenního života už téměř pětadvacet let. Tvořila jádro velké části mého bádání a o ni se opíralo vše, čemu se snažím se svými spolupracovníky porozumět. A moje okouzlení obecnou relativitou není vůbec ojedinělé. Setkal jsem se se spoustou lidí z celého světa, které obecná relativita tak zaujala, že pak věnovali celý svůj život

odkrývání jejích tajemství. A když říkám z celého světa, míním to doslova – od Kinshasy po Krakov, od Canterbury po Santiago. Pravidelně dostávám články, jejichž autoři se snaží najít nová řešení Einsteinových rovnic, nebo zkoumají, zda je možné obecnou teorii relativity nějak pozměnit. Einsteinovu teorii je sice obtížné si osvojit, ale ona se na oplátku chová demokraticky. Její obtížnost spočívá především v tom, že se musí udělat spousta práce, než vyjdou na povrch její skutečné důsledky. Je zde mnoho příležitosti pro každého, kdo má pero, papír a dostatek energie.

Často slýchám od kolegů, kteří školí doktorandy, že jejich studenti nechťejí pracovat na problémech z obecné relativity, protože se bojí, že by pak nenalezli zaměstnání. Mnohým se zdá tato tematika příliš ezoterická. Obětovat život obecné relativitě vyžaduje vskutku milostné poblouznění a podlehnout mu je málo zodpovědné. Jakmile ale k relativitě přičichnete, už se jí nezbavíte. Nedávno jsem se setkal s jednou z vůdčích osobností v oblasti modelování klimatických změn. Dotyčný je v tomto oboru skutečným průkopníkem, dostalo se mu cti se stát členem Královské společnosti, a v předpovědích počasí a klimatu, což je pokládáno za vysoce obtížný obor, je stále vysoce uznávaným expertem. Vždycky se tím však nežil, jako mladík se v sedmdesátých letech minulého století zabýval obecnou relativitou. Už je tomu přes čtyřicet let, ale když jsme se setkali, řekl mi s mírně nahořklým úsměvem: „Vždyť já jsem vlastně relativista.“

Jeden můj přítel nedávno opustil akademickou dráhu, když předtím téměř dvacet let pracoval na Einsteinově teorii. Teď pracuje pro programátorskou firmu, vyvíjí a instaluje zařízení pro uchovávání velkého množství dat. Svůj týden tráví tím, že létá po světě a instaluje tato náročná a drahá zařízení v bankách, korporacích a vládních institucích. Když se ale setkáme, vždy se vyptává, co je v obecné relativitě nového a sděluje mi své nové myšlenky z této oblasti. Prostě to ze sebe nemůže setrást.

Další věc, která mě na obecné relativitě fascinuje, je skutečnost, že stále přináší neznámé nové výsledky, přestože se už dožila úctyhodných sta let. Člověk by si myslel, že všechno to

fenomenální duševní úsilí, jež jí bylo věnováno, mohlo vyčerpat její tajemství už před několika desetiletími. I když je teorie složitá, musí být nějaké limity toho, co v sobě skrývá. Nepředstavují černé díry a rozpínání vesmíru více než dost fantastických výsledků? Jak jsem se ale postupně seznamoval s důsledky Einsteinovy teorie a setkával se s brilantními vědci, kteří na ní pracovali, uvědomil jsem si, že příběh obecné teorie relativity je strhujícím vyprávěním, možná stejně komplikovaným jako teorie sama. Klíčem k porozumění tomu, proč je tato teorie stále tak živá, je sledovat její vývoj během století jejího života.

Tato kniha je takovou biografií obecné teorie relativity. Einsteinova myšlenka, že prostor a čas jsou navzájem provázány, žila ve dvacátém století svým vlastním životem a byla zdrojem potěšení i frustrace těch nejskvělejších mozků. Obecná relativita je teorie, která neustále přináší údiv nad svými důsledky a nezvyklé nové pohledy na svět přírody, s nimiž měl problémy i sám Albert Einstein. A jak teorie putovala od jednoho učenice ke druhému, přicházely stále nové a nečekané objevy s těmi nejpodivuhodnějšími výsledky. Představa černých děr byla počata na bojištích první světové války a své zralosti dosáhla v rukou otců americké a sovětské atomové bomby. Rozpínání vesmíru bylo poprvé předpovězeno belgickým knězem a ruským matematikem a meteorologem. Nové podivné astronomické objekty, pro které bylo potřeba vzít v úvahu obecnou relativitu, byly objeveny náhodou. Jocelyn Bellová v Cambridge objevila neutronové hvězdy pomocí drátěného pletiva nataženého na vratké konstrukci ze dřeva a hřebíků.

Obecná teorie relativity byla též předmětem největších intelektuálních bitev dvacátého století. V hitlerovském Německu byla cílem perzekucí, byla napadána ve stalinském Sovětském svazu a v padesátých letech dvacátého století se setkávala s nepřízní i ve Spojených státech. Stavěla proti sobě v boji o formu konečné teorie vesmíru ta největší jména. Vystupovala ve vážné rozepři o to, zda vesmír vznikl velkým třeskem, nebo zda je věčný, a také v diskusi o tom, co je skutečně fundamentální struk-

turou prostoru a času. Sváděla též dohromady velmi různá společenství. Uprostřed studené války spojili své síly britští, sovětsí a američtí fyzikové, aby vyřešili problém původu černých děr.

Příběh obecné relativity se však netýká jen minulosti. Během posledních deseti let se přesvědčivě ukázalo, že platí-li obecná relativita, je většina vesmíru temná, že vesmír je naplněn látkou, která nejen že nevyzařuje světlo, ale ani ho nepohlcuje a neodráží. Svědčí o tom drtivé empirické důkazy. Téměř třetina hmoty ve vesmíru je tvořena takzvanou temnou hmotou, těžkou neviditelnou látkou, která obklopuje galaxie jako roj rozzlobených včel. Zbývající dvě třetiny tvoří takzvaná temná energie, která se snaží prostor roztáhnout. A pouhá čtyři procenta jsou z hmoty, kterou běžně známe – z atomů různých prvků. Z této hmoty jsme i my, což nám dává ve vesmíru nedůležitou pozici.

To je ovšem pravda v případě, že obecná teorie relativity je skutečně správná za všech podmínek. Není vyloučeno, že jsme se ocitli na samé hranici platnosti obecné relativity a ani ona není tou úplnou teorií gravitace.

Einsteinova teorie je důležitá i pro novou fundamentální teorii přírody, kvůli které planou mezi teoretickými fyziky divoké vášně. Teorie strun, která se snaží jít za Newtona i Einsteina a chce *všechno* v přírodě sjednotit, spočívá na složité struktuře prostoročasu ve vyšších dimenzích s podivnými geometrickými vlastnostmi. Je mnohem ezoteričtější, než kdy byla Einsteinova teorie, a některými vědci je oslavována jako ta pravá konečná teorie všeho, zatímco jiní ji prohlašují za romantickou fantastiku, dokonce ani ne vědeckou. Teorie superstrun je odpadlické náboženství, které se odštěpilo od pravověrné obecné relativity a nikdy by bez ní nevzniklo. Mnoho praktikujících relativistů se však na tuto herezi dívá se skepsí.

Temná hmota, temná energie, černé díry, jež dnes ovládají astrofyziku, i teorie strun – to všechno jsou potomci obecné teorie relativity. Při přednáškách na různých univerzitách, při diskusích na různých seminářích i na zasedáních Evropské kosmické agentury, která zodpovídá za činnost řady světově důležitých

vědeckých satelitů, jsem si uvědomil, že jsme uprostřed důležité přeměny moderní fyziky. Máme dnes řadu talentovaných mladých vědců, kteří se dívají na obecnou relativitu pohledem založeným na zkušenosti vybudované ve století géníů. Dolují z Einsteinovy teorie poklady v ní ukryté pomocí bezprecedentní výpočetní techniky a zkoumají alternativní teorie, jež by ji mohly sesadit z trůnu. Ve vesmíru hledají exotické objekty, jejichž pozorování by mohlo potvrdit nebo vyvrátit základní principy obecné teorie relativity. Stále větší společenství vědců se spojuje při konstrukci kolosálních přístrojů, které nám dovolují pohlédnout do vesmíru dále, než jsme kdy byli schopni, nebo družic, jež mohou potvrdit či vyvrátit ty nejpodivnější předpovědi obecné teorie relativity.

Příběh obecné relativity je úžasný a poučný a stojí za vyprávění. Dnes, kdy už jsme doopravdy vstoupili do jednadvacátého století, stojí před námi řada důležitých objevů a trápí nás spousta nezodpovězených otázek. V příštích několika letech se jistě objeví něco zásadního a až to přijde, musíme být připraveni tomu porozumět. Domnívám se, že zatímco dvacáté století bylo érou kvantové fyziky, ve století jednadvacátém dojde k plnému uplatnění obecné teorie relativity.

Kapitola 1.

Jaké to je volně padat

BĚHEM PODZIMU 1907 pracoval Einstein pod značným tlakem. Byl požádán o přehledový článek o konečné formě své speciální teorie relativity pro *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* (Ročenka pro radioaktivitu a elektroniku). Shrnout tak fundamentální výsledky v krátkém přehledu byl těžký úkol a on se mu mohl věnovat jen ve svém volném čase. Od osmi ráno do šesti večer od pondělka do soboty jej totiž bylo možno najít na bernském Federálním patentovém úřadě v nové Poštovní a telegrafní budově, kde byl zaměstnán. Zde pečlivě studoval různá novátorská elektrická „udělátka“ a zkoumal, zda nejde o nesmysly. Jeho šéf mu dal radu: „Když se chopíte žádosti, přijměte zásadu, že všechno, co vynálezce tvrdí, je špatně.“ Einstein si to vzal k srdci. Po většinu dne musel nechávat své vlastní teorie a objevy na pokoji. Své vlastní výpočty měl v šuplíku, kterému říkal „mé oddělení teoretické fyziky“.

Einsteinův přehledový článek stručně shrnoval podstatu triumfálního sňatku staré mechaniky Galilea Galileiho a Isaaka Newtona s novým elektromagnetismem Michaela Faradaye a Jamese Clerka Maxwella. Vysvětloval některé podivnosti, jež Einstein předtím objevil, například, že hodiny jdou pomaleji, když se pohybují a že předměty se zkracují ve směru svého pohybu. V článku byl zmíněn i magický vztah mezi hmotností a energií i skutečnost, že nic se nemůže pohybovat rychleji než světlo. Rozbor principu relativity měl osvětlit, jak skoro celé fyzice vládne jednotný systém zákonů.

V roce 1905 napsal Einstein během pár měsíců několik zásadních článků, které podstatně změnily fyziku. V tomto výbuchu inspirace odhalil i to, že světlo se chová jako soubor nedělitelných balíčků energie, podobných v určitém ohledu částicám hmoty. Dále ukázal, že nervózní chaotické chování částíček pylu či prachu v kapalině je důsledkem nárazů chaoticky poskakujících molekul kapaliny, které vibrují a odrážejí se jedna od druhé. A zabýval se problémem, který trápil fyziky téměř půl století: proč se zdá, že fyzikální zákony vypadají různě podle toho, ve kterém vztažném systému je sledujete. Spojil je dohromady právě svým *principem* relativity.

Všechny tyto výsledky představovaly ohromující objevy, které Einstein učinil jako nízko postavený úředník na patentovém úřadě v Bernu. Byl tam i v roce 1907 a probíral se vynálezy, které se tam dostávaly s žádosti o patent. Stále se mu nedařilo posunout se do důstojného akademického světa, který mu nebyl, jak se zdálo, příliš nakloněn. Einstein totiž během svého studia vůbec nevypadal jako někdo, kdo přepíše základy fyziky. Studoval na curyšské polytechnice (Schule für Fachlehrer des Polytechnikums Zürich) a nepůsobil nijak výrazně, navíc vynechával přednášky, které ho nebavily, a dělal si nepřátele z lidí, kteří mohli rozvoji jeho génia pomoci. Jeden z profesorů mu řekl: „Vy jste velmi chytrý mladík ... Ale máte jednu ohromnou chybu, nikdy si nenecháte nic říct.“ Když mu jeho školitel nedovolil pracovat na tématu podle vlastního výběru, Einstein odevzdal nevýraznou závěrečnou esej a tím snížil své hodnocení natolik, že nemohl získat místo asistenta na žádné z univerzit, na které podal přihlášku.

Od absolutoria v roce 1900 až do roku 1902, kdy zakotvil na patentovém úřadě, byl jeho život plný neúspěchů. Jeho frustraci zvýšilo, že doktorská práce, kterou předložil v roce 1901 na Curyšské univerzitě, byla v následujícím roce zamítnuta. Einstein v ní vyvracel některé myšlenky velkého teoretického fyzika Ludwiga Boltzmannova z konce devatenáctého století. Einsteinův ikonoklasmus se mu nevyplatil. Doktorát získal až v roce 1905, když jako disertaci podal jeden ze svých kouzelných článků

„Nové určení rozměrů molekul“. Doktorský titul „podstatně ulehčil vztah s lidmi“, jak konstatoval Einstein, který se přece jen naučil určité diplomacii.

Zatímco Einstein bojoval, jeho přítel Marcel Grossmann byl na cestě stát se důstojným profesorem. Metodický, pilný student, oblíbený u svých profesorů, takový byl Grossmann, jehož detailní pečlivě vedené poznámky z přednášek zachraňovaly Einsteina se špatnou docházkou na přednášky. Během společných studií v Curychu se Grossmann stal blízkým přítelem Einsteina a jeho pozdější ženy Milevy Marićové; všichni tři absolvovali ve stejném roce. Na rozdíl od Einsteina se další Grossmannova kariéra vyvíjela hladce. Získal místo asistenta v Curychu a v roce 1902 i doktorát. Po krátkém období, kdy učil na středních školách, se stal profesorem deskriptivní geometrie na ETH, *Eidgenössische Technische Hochschule* v Curychu, zatímco Einsteinovi se nepodařilo získat ani místo středoškolského učitele. Jen díky doporučení Grossmannova otce, jenž využil své známosti s šéfem patentového úřadu v Bernu, získal Einstein zaměstnání alespoň jako patentový expert.

Pro Einsteina však bylo i toto místo požehnáním. Po letech finanční nestability a závislosti na otcových příspěvcích si mohl dovolit oženit se s Milevou a založit v Bernu rodinu. Relativní poklid na patentovém úřadu s jasně definovanými povinnostmi a monotónní prací bez vyrušování mu dával možnost promýšlet si věci opravdu do hloubky. Práce, za kterou byl placen, mu zabírala každý den jen několik hodin a to mu poskytovalo čas, aby se mohl soustředit na své problémy. Seděl za malým dřevěným stolem jen s několika knihami a poznámkami ze svého „oddělení teoretické fyziky“ a prováděl pokusy v mysli. V těchto myšlenkových experimentech (německý termín *Gedankenexperimente* se dnes užívá i mezinárodně) si představoval různé konstrukce a situace, ve kterých studoval důsledky fyzikálních zákonů a přemýšlel o jejich vztahu k reálnému světu. Bez skutečné laboratoře si přehrával v hlavě hru s přesně stanovenými pravidly a uvědomoval si ty okamžiky, na které se musí soustředit důkladněji.

Einstein znal právě tolik matematiky, aby své myšlenky mohl zapsat a vytvořit skvělé klenoty, jež posléze zásadně změnily směr fyziky.

Jeho nadřazení v patentovém úřadě byli přitom s jeho prací spokojeni a povýšili ho na experta II. třídy, nevšímali si však jeho rostoucí reputace. V roce 1907, kdy ho německý fyzik Johannes Stark požádal o sepsání přehledného článku s názvem „O principu relativity a jeho důsledcích“, Einstein stále zpracovával svou denní dávku patentů. Na jeho napsání dostal dva měsíce a během práce na něm si uvědomil, že princip relativity je neúplný. Měl-li být *opravdu* obecný, potřeboval kompletně přepracovat.

ČLÁNEK V *JAHRBUCH* byl shrnutím důsledků původního Einsteina principu relativity. Tento princip říká, že přírodní zákony musí vypadat stejně ve všech inerciálních vztažných soustavách. Základní myšlenka tohoto principu nebyla nová a byla vlastně ve fyzice přítomná několik století.

Fyzikální zákony mechaniky jsou pravidla, podle nichž se objekty pohybují. Určují, jak jsou tělesa urychlována či zpomalována pod vlivem sil. V sedmnáctém století předložil anglický fyzik a matematik Isaac Newton soubor zákonů, jež určovaly, jak objekty reagují na mechanické vnější síly. Tyto pohybové zákony konzistentně vysvětlují, co se stane, když se srazí dvě kulečnickové koule, jak se pohybuje náboj vystřelený z děla či míč vržený do vzduchu.

Inerciální vztažný systém je takový, vzhledem ke kterému se všechny hmotné body, na něž nepůsobí žádné síly, pohybují rovnoměrně přímočaře. Takový systém není jediný – všechny systémy, jež se pohybují rovnoměrně přímočaře vzhledem k jednomu inerciálnímu systému, jsou také inerciální. Čtete-li tyto řádky v pohodlném křesle ve vašem pokoji nebo v kavárně, jste se značnou přesností v inerciálním systému. Jiným klasickým příkladem je rychle se pohybující vlak se zacloněnými okny. Jedete-li v něm, tak potom, co se urychlil na určitou rychlost a tou pak jede, nemáte žádnou možnost zjistit, že se pohybujete. Prin-

cipálně není možné zjistit rozdíl mezi systémem, který je pevně spojen se Zemí, a systémem, který se vzhledem k ní pohybuje rovnoměrně, byť i velkou rychlostí. Experimentujete-li v jednom inerciálním systému a necháváte na objekty působit různé síly, dostanete stejné výsledky, jako když tytéž pokusy provádíte v jiném inerciálním systému. Zákony přírody jsou totožné ve všech inerciálních systémech.

Devatenácté století přineslo zcela novou sadu zákonů, které vzájemně propojily dvě fundamentální síly – elektřinu a magnetismus. Na první pohled se elektřina a magnetismus jeví jako úplně rozdílné jevy. Elektřina produkuje světlo v našich domovech a je zodpovědná za blesky, magnetická síla drží magnetické příchytky na našich ledničkách a stáčí magnetickou střílku kompasu k severu. Skotský fyzik James Clerk Maxwell však ukázal, že na obě tyto síly se můžeme dívat jako na různé projevy jedné základnější elektromagnetické síly. Jak se tato základní síla projevuje, závisí na pohybu pozorovatele. Člověk sedící vedle tyčového magnetu bude pozorovat magnetické působení, nikoli elektrické. Ale člověk, který kolem prosvítí, zaregistruje kromě magnetismu i působení elektrické. Maxwell sloučil tyto dvě síly do jedné, jež je popsána jednotným způsobem bez ohledu na polohu či rychlost pozorovatele.

Když ale chcete sloučit Newtonovy pohybové zákony s Maxwellovými zákony elektromagnetismu, narazíte na problém. Jestliže ve světě platí obě sady těchto zákonů, dá se v principu zkonstruovat zařízení z magnetů, drátů a kladek, jež nebude pociťovat žádnou sílu v jednom inerciálním systému, ale bude ji cítit v jiných inerciálních systémech a tím narušovat pravidlo, že inerciální systémy jsou navzájem nerozlišitelné. Zdá se tedy, že Newtonovy zákony a Maxwellova pravidla pro elektromagnetismus jsou navzájem nekonzistentní. Tuto „asymetrii“ v přírodních zákonech chtěl Einstein napravit.

Do roku 1905 Einstein zformuloval svůj omezený princip relativity, dnes zvaný „speciální“, na základě celé řady myšlenkových experimentů, které pro tento účel vymyslel. Jeho duševní

kutilství kulminovalo ve dvou postulátech. První byl prostě novou formulací principu: Zákony fyziky musí vypadat stejně ve všech inerciálních systémech. Ten druhý byl radikálnější: Ve *všech* inerciálních vztažných systémech má rychlost světla ve vakuu vždy tutéž hodnotu 299 792 kilometrů za sekundu. Na základě těchto postulátů lze upravit pohybové zákony Newtonovy mechaniky tak, že když se skombinují s Maxwellovými zákony elektromagnetismu, inerciální systémy jsou skutečně nerozlišitelné. Einsteinův nový princip relativity však vedl k některým ohromujícím důsledkům.

Sladění Newtonových a Maxwellových zákonů, aby byl splněn Einsteinův princip relativity, vyžadovalo úpravu pohybových zákonů. V klasickém Newtonově vesmíru je rychlost aditivní. Kulka vystřelená z lokomotivy ve směru jízdy se pohybuje rychleji, než kulka vystřelená ze stejné zbraně, jež je však na kolejích v klidu. Soudili bychom, že pro světlo vrhané reflektorem na lokomotivě by tomu mělo být obdobně. V Einsteinově vesmíru to však není pravda – v něm je stanovená nejvyšší povolená rychlost na 299 792 kilometrů za sekundu a tuto bariéru nemůže překonat ani ta nejvýkonnější raketa. Jenže se děje něco velmi podivného. Například cestující sedící ve vlaku, který se pohybuje rychlostí blízkou rychlosti světla, bude stárnout pomaleji, než člověk sedící na nádraží a pozorující projíždějící vlak. Vlak sám se bude pozorovatelům stojícím kolem trati zdát kratší, než když je v klidu. Čas se zpomaluje a délky se zkracují. Takové podivné jevy svědčí o tom, že ve skutečnosti je za tím něco hlubšího – čas a prostor jsou navzájem propojené a v určitém smyslu jsou si podobné.

Svým principem relativity Einstein fyziku zjednodušil, i když se zdálo, že to má zvláštní důsledky. Jenže na podzim roku 1907, když začal psát svůj přehledový článek, Einstein přiznal, že i když jeho teorie zdánlivě funguje dobře, není stále úplná. Postulátu relativity nevyhovovala Newtonova teorie gravitace.