

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Alena Šolcová; Michal Křížek

Čas plyne, jméno zůstává: Albert Einstein

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 43 (1998), No. 4, 265--277

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139743>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1998

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Čas plyne, jméno zůstává: Albert Einstein

Alena Šolcová a Michal Krížek, Praha

*Jen život, který žijeme
pro druhé, stojí za to.*

A. Einstein

1. Úvod

Jen málo fyziků se zapsalo do povědomí širší společnosti tak jako Albert Einstein. Jeho vědecká práce, osobní život, myšlenky a názory jsou tématem mnoha prací psaných v různých jazycích (česky např. [1], [2], [8], [9], [13], [17], [19], [31], [32]). Na policích knihoven se podobná díla počítají na metry. Tento článek prodlouží jejich řadu jen o necelý milimetr.

V neděli 14. března 1999 uplyne právě 120 let, kdy se Einstein v německém Ulmu narodil. Toto výročí nám dává příležitost stručně připomenout jeho přínos pro fyziku a přiblížit osobnosti zejména z doby jeho pražského pobytu, s nimiž se Einstein přátelil a které se podílely na formování jeho myšlení.

Zatímco laická veřejnost spojuje Einsteina především s geniálně jednoduchou rovností $E = mc^2$, do dějin fyziky vstoupil Einstein zejména tím, že si jako jeden z prvních povšiml, že klasická Newtonova mechanika nestačí na popis některých fyzikálních jevů v blízkosti velmi hmotných objektů, což vedlo k vytvoření obecné teorie relativity. Během svého pobytu v Praze (1911–1912) Einstein úspěšně zdůvodnil, proč se v gravitačním poli mění frekvence elektromagnetických vln a zakřivuje jejich dráha (viz [5]). Rádi bychom se proto též krátce zmínili o základních důsledcích jeho obecné teorie relativity a jejich prověřování.

Albert Einstein získal Nobelovu cenu až v roce 1921, překvapivě nikoli za teorii relativity, ale za práci na fotoelektrickém jevu z roku 1905.

2. Hledání vhodných matematických prostředků pro teorii relativity

2.1. Údiv malého Alberta. V dětství jej okouznil kompas, začínajícímu studentovi učarovala eukleidovská geometrie. Připomeňme Albertův zážitek z doby, kdy navštěvoval Luitpoldovo gymnázium v Mnichově:

RNDr. ALENA ŠOLCOVÁ (1950), Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: solcova@mbx.cesnet.cz;

RNDr. MICHAL KRÍŽEK, DrSc. (1952), Matematický ústav AV ČR, Žitná 25, 115 67 Praha 1, e-mail: krizek@mbx.cesnet.cz

„Když mi bylo dvanáct let, prožil jsem neobvyklý zázrak díky knížce o Eukleidově geometrii roviny, která se mi dostala na začátku školního roku do rukou. Byly v ní poučky, např. že tři výšky v trojúhelníku se protínají v jednom bodě, a i když to není v žádném případě zřejmé, přece se to dalo dokázat s takovou jistotou, že pochybnost se zdála vyloučená. Tato jasnost a jistota učinily na mne nepopsatelný dojem.“ (Viz [14], str. 30.)

Pak na otázku: „Proč jsem se nestal matematikem?“ nechme promluvit ještě jednou samotného Einsteina:

„Viděl jsem, že matematika se dělí na mnoho speciálních oblastí a každá z nich nám může zaplnit celý nám daný krátký život. Ocitl jsem se v situaci »Buridanova osla«, jenž se nemůže rozhodnout, kterou otýpku sena si má vybrat.¹⁾ Moje intuice v oblasti matematiky nebyla dostatečně silná, aby s jistotou rozlišila základní a důležité od ostatní učenosti, bez níž nebylo možno se obejít. Kromě toho i zájem o zkoumání přírody byl nepochybně silnější; jako studentovi mi nebylo ještě jasné, že přístup k principiálním problémům matematiky vyžaduje nejjemnější matematické metody. To se začalo vyjasňovat až postupně, až po mnoha letech samostatné vědecké práce. I fyzika byla rozdělená na speciální oblasti a každá z nich mohla pohltit



krátký život naplněný prací, a přitom neuspokojit touhu po hlubším poznání. Ohromné množství empirických faktů, které nebylo dostatečně sladěné, působilo také zde brzdícím způsobem. Ale zde jsem se naučil vyhledávat to, co může vést do hloubky, a odsouvat všechno ostatní, všechno, co zatěžuje rozum a odpoutává od podstatného.“ (Viz [24].)

2.2. Geometrie pro stavitele vesmíru. Geometrie se však přesto stala pro Einsteina vzorem uspořádání stavby světa a možnosti jej zkoumat abstraktním uvažováním. Sám vyjádřil úctu k antické tradici takto:

„Starověké Řecko ctíme jako kolébku západní vědy. Tam byl nejdříve skutečněn div lidského uvažování — logická soustava, jejíž tvrzení vyplývala jedno z druhého s takovou přesností, že každé dokázané bylo absolutně nepochybné: mluvím o Eukleidově geometrii. Tento skvělý triumf dodal lidskému duchu víru v sebe, která je nutná pro

¹⁾ JEAN BURIDAN (1295–1358) mistr a rektor pařížské univerzity, se ve spise *Quaestiones super octo phisicorum libros Aristotelis* také věnoval zkoumání pojmu nekonečno. Proslavil jej rozbor problému volby: Osel stojící mezi dvěma stejnými otýpkami sena zajde hlady, protože se nemůže rozhodnout, do které se má zakousnout dřívě. Otýpky se nijak neliší a nerozhodnost způsobí oslův tragický konec.

další činnost. Jestli Eukleidova práce nedokázala zapálit vaše mladické nadšení, tak nejste rozenými teoretiky.“ (Viz [24].)

Matematickou výbavu, do níž se později teorie relativity oděla, rozvíjeli matematici Ricci-Curbastro²⁾ a jeho žák Levi-Civita³⁾ v Itálii, Riemann, Christoffel a Minkowski v Německu a Poincaré ve Francii⁴⁾. Transformace, jichž se v teorii užívá, jsou objevy Larmorovy⁵⁾ a Lorentzovy⁶⁾. Einstein jejich úsilí završil poznáním, že události v prostoru a čase lze určovat geometricky pomocí čtyřrozměrného Minkowského prostoročasu. První představu o nutnosti relativistických transformací si uvědomil již Maxwell⁷⁾, když zjistil, že jeho rovnice při přechodu od jedné inerciální soustavy ke druhé použitím Galileovy transformace mění tvar.

2.3. Nekonečno v úvahách o vesmíru a prostoru. Někdy mluvíme o „nekonečném“ vesmíru a „nekonečném“ čase, ale výraz „nekonečný“ je výraz matematický. Je dosti snadné představit si nekonečnou řadu. Může se však naše usuzování rozvíjet neomezeně bez nějaké hranice? Riemannova eliptická geometrie, kterou Einstein s úspěchem použil, je nejčastěji modelována na povrchu koule. Zde je nejkratší spojnice dvou bodů (tzv. geodetika) částí hlavní kružnice, tj. kružnice s největším poloměrem ležící na povrchu koule.

Uvažujeme tedy kulovou plochu, nazveme ji rovinou, její hlavní kružnice nazveme přímkami a průsečíky těchto přímek nazveme body. Jak patrně, v této geometrii nelze daným bodem vést rovnoběžnou přímku k dané přímce, protože se dvě hlavní kružnice vždy protínají.

Riemann se pokusil zobecnit předchozí úvahy a dokázat, že prostor může být bez „hranice“, a přesto konečný (např. povrch koule je konečný a nemá nikde „hranici“). Riemannův prostor je jen abstraktní matematický útvar, který lze logicky odvodit z premis, ale jenž pouze modeluje prostor, který známe. Riemann se domníval, že pouhým pozorováním nelze ověřit, že prostor je eukleidovský, tj. nezakřivený⁸⁾.

Einstein používá termín „konečnost“ v metrickém smyslu, není to topologická vlastnost. Jiné projevy fyzikální reality však topologické jsou. Uvažujme například na kulové ploše přímku (v předchozím smyslu), na níž leží dva různé body *A* a *C*, které na přímce vymezují dvě úsečky. Nechť bod *B* rozděluje jednu z nich na dvě části, tj.

²⁾ GREGORIO RICCI-CURBASTRO (1853–1925), studoval u Kleina, Brilla, od roku 1880 byl profesorem v Padově. Základům tenzorové analýzy se věnoval v letech 1884–1890.

³⁾ TULLIO LEVI-CIVITA (1873–1941) byl v letech 1897–1918 profesorem v Padově, pak v Římě. Levi-Civitův absolutní diferenciální počet doporučil Einsteinovi Georg Pick v Praze.

⁴⁾ GEORG FRIEDRICH BERNHARD RIEMANN (1826–1866), ELWIN BRUNO CHRISTOFFEL (1829–1900), studoval u Eisensteina, Steinera a Dirichleta v Berlíně, HERMANN MINKOWSKI (1864–1909), známý svým dílem *Raum und Zeit* z r. 1908, HENRI POINCARÉ (1854–1912).

⁵⁾ JOSEPH LARMOR (1857–1942), irský teoretický fyzik a matematik, profesor v Cambridge.

⁶⁾ HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853–1928), profesor matematické fyziky v Leidenu v letech 1875–1912, nositel Nobelovy ceny za rok 1902, předseda první Solvayovy konference v roce 1911, na niž přijel Einstein z Prahy.

⁷⁾ JAMES CLERK MAXWELL (1831–1879), skotský fyzik.

⁸⁾ Viz Riemannova habilitační práce: *O hypotézách, které leží v základech geometrie (Über die Hypothesen welche der Geometrie zu Grunde liegen)*, 1854.

bod B leží mezi body A a C . „Být mezi“ je vlastnost, která je spojována s geometrickou situací (Leibnizova analysis situs). V „kružnicovém vesmíru“ však nalézáme ještě další cestu z bodu A do bodu C . Relace „být mezi“ není na kružnici jednoznačná. Můžeme říci, že B je mezi A a C , ale stejně tak, že A je mezi B a C nebo C je mezi A a B .

2.4. Tenzorový počet a teorie relativity⁹). Na přelomu 19. a 20. století si někteří fyzikové, Einsteina nevyjímaje, uvědomovali, že klasická mechanika a elektromagnetismus musí být reformovány. Ve speciální teorii relativity Einstein vyšetřoval rovnoměrný přímočarý pohyb a odvodil vztahy pro dilataci času, kontrakci délek aj. za předpokladu, že rychlost světla je konstantní (tj. nezávislá na pohybu zdroje i pozorovatele), což bylo již dříve potvrzeno měřením. Odvodil též, že nelze dosáhnout vyšší rychlosti šíření signálu, než je rychlost světla ve vakuu¹⁰). Později se rozhodl prozkoumat též relativitu rovnoměrně zrychleného pohybu a snažil se dospět k závěrům platným pro všechny pozorovatele, kteří se vůči sobě navzájem pohybují s různým, dokonce proměnným zrychlením.

Svůj model vesmíru Einstein založil na gravitačním působení hmoty. Principiálním problémem v jeho rodící se teorii bylo určit složky metrického tenzoru $g_{\mu\nu}$ (jímž lze definovat velikosti vektorů, úhly mezi nimi apod.). Kolem roku 1915 Einstein předložil poměrně „jednoduchý“ vztah (viz (1)), který vyjadřoval předpokládanou souvislost mezi hmotou a metrickým tenzorem. Mistrně tak spojil geometrické vlastnosti prostoru s gravitací pomocí tenzorového počtu. Je to jeden z nejkrásnějších výsledků jeho teorie gravitace, jež se též nazývá *obecná teorie relativity*. V ní se postuluje, že gravitační efekty mohou být vysvětleny křivostí prostoročasu, který je modelován jako čtyřrozměrná Riemannova varieta.

V Einsteinově obecné teorii relativity je gravitační pole popsáno soustavou deseti nelineárních parciálních diferenciálních rovnic hyperbolického typu, které spojují gravitaci, definovanou metrickým tenzorem $g_{\mu\nu}$, s jejími zdroji danými tenzorem energie a hybnosti $T_{\mu\nu}$, tj.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}, \quad \mu, \nu = 0, 1, 2, 3, \quad (1)$$

kde $R_{\mu\nu}$ je Ricciho (nebo též zúžený Riemannův-Christoffelův) tenzor křivosti (viz (2)), který obsahuje druhé derivace $g_{\mu\nu}$, R je stopa $R_{\mu\mu}$, κ je gravitační konstanta a všechny tři tenzory $R_{\mu\nu}$, $g_{\mu\nu}$ a $T_{\mu\nu}$ jsou symetrické. Tato soustava pro deset gravitačních potenciálů $g_{\mu\nu}$ je obdobou klasické skalární Poissonovy rovnice pro Newtonův gravitační potenciál. Tenzor křivosti prostoru vlastně posloužil Einsteinovi jako nejpřirozenější nástroj pro popis gravitace, která se tak stává geometrickou záležitostí.

Práci s tenzory si Einstein zjednodušil zavedením vlastní sčítací konvence přes dvakrát se opakující index. Například zúžením Riemannova-Christoffelova tenzoru

⁹) O tenzorovém počtu se čtenář může poučit v [22], např. skalár je tenzor 0. řádu, vektor je tenzor 1. řádu atd.

¹⁰) Pozn., že v nevodivém prostředí, jehož absolutní index lomu je větší než jedna (voda, sklo apod.), se některé nabitě částice (např. elektron) mohou pohybovat rychleji než fotony, přičemž vzniká známé Čerenkovovo záření.

křivosti $R_{\mu\nu\lambda}^\alpha$ čtvrtého řádu (viz [10], str. 106) lze dostat Ricciho tenzor $R_{\mu\nu}$ druhého řádu takto:

$$R_{\mu\nu} = R_{\mu\nu\lambda}^\lambda \quad \left(\equiv \sum_{\lambda=0}^3 R_{\mu\nu\lambda}^\lambda \right) \quad \text{pro } \mu, \nu = 0, 1, 2, 3, \quad (2)$$

tj. suma se nepíše a sčítá se přes λ . Tento elegantní zápis se v tenzorovém počtu dodnes velice často používá a nazývá se *Einsteinova sčítací konvence*.

V roce 1945 Einstein publikoval matematické zobecnění své relativistické teorie gravitace v *Annals of Mathematics* (viz [6]). V dodatku třetího vydání monografie [7] se pak pokusil o vytvoření zcela nové teorie pole, která by sjednocovala jak gravitaci, tak elektromagnetismus. V této teorii je gravitační pole popsáno opět symetrickým tenzorem 4×4 , zatímco pro popis elektromagnetického pole slouží antisymetrický tenzor 4×4 o šesti nezávislých složkách. Sjednocené pole je tak určeno šestnácti potenciály, které definují křivost a torzi čtyřrozměrného prostoročasu a splňují soustavu šestnácti nelineárních parciálních diferenciálních rovnic. Poznamenejme, že na práci [7] později navázal významný český matematik Hlavatý¹¹⁾, který se proslavil mnoha vědeckými články o neeuklidovské diferenciální geometrii a zejména monografií [15].

3. Testy obecné teorie relativity

Podle obecné teorie relativity (viz např. [10], [21], [23]) přítomnost hmoty a energie způsobuje změnu geometrických vlastností prostoru a času. V následujících odstavcích 3.1–3.5 si stručně připomeňme pět důsledků této teorie, z nichž první tři předpověděl sám Einstein.

3.1. Ohyb světla. Ve své pražské práci [5]: *O vlivu tíhové síly na šíření světla* z roku 1911 Einstein odvodil, že se dráha světla hvězd v okolí Slunce zakřivuje v důsledku gravitace¹²⁾. Efekt byl poprvé vyfotografován až při úplném slunečním zatmění v r. 1919, kdy se světlo hvězd v blízkosti slunečního kotouče měřitelně odchýlilo od svého původního směru. Porovnáním tohoto snímku s nočními fotografiemi téže části oblohy se zjistilo, že naměřená hodnota odchylky činí téměř dvě úhlové vteřiny. Experiment je podrobně popsán v [13]. Pozdější měření se ještě více přiblížila Einsteinem předpovězené hodnotě 1,75" těsně u okraje Slunce.

3.2. Gravitační červený posuv¹³⁾. Einsteinově teorii nepředcházela experiment ani ve druhém případě. Německý astronom Bessel¹⁴⁾ předpověděl, že kolem nejjasnější hvězdy na obloze v souhvězdí Velkého psa — Síria (α CMa) obíhá malý průvodce Síria B (viz [30], str. 139). Avšak skutečně jej uviděl Alvan G. Clark v roce 1862.

¹¹⁾ VÁCLAV HLAVATÝ (1894–1969), od roku 1948 působil na Indiana University v USA. Více podrobností o jeho životě a díle nalezne čtenář v [18].

¹²⁾ Později tento výsledek ještě doplnil o zpomalení plynutí času v gravitačním poli.

¹³⁾ Do roku 1989 se používal termín „rudý posuv“.

¹⁴⁾ FRIEDRICH WILHELM BESSEL (1784–1846), ředitel hvězdárny v Königsbergu, se objevu Síria B nedočkal.

V 19. století nikoho nepřekvapovalo, že objevené těleso má stejnou hmotnost jako Slunce, a přitom dává jen 10^{-5} jeho světla. Roku 1914 Walter Adams pomocí tehdy největšího dalekohledu na Mount Wilsonu zjistil, že průvodce je bílý a že jeho povrchová teplota je jen o málo nižší než Síriova. Tato hvězda je menší než např. planeta Uran, a proto dostala název bílý trpaslík. Musí mít tedy mnohem vyšší hustotu: 1 cm^3 jeho materiálu má hmotnost 130 kg. Až v roce 1924 potvrdil Adams správnost těchto závěrů objevem červeného posuvu spektrálních čar průvodce, který podle Einsteinovy teorie relativity (viz opět [5]) vzniká, když světlo opouští silné gravitační pole, jaké při velké hmotě a malých rozměrech na povrchu bílého trpaslíka jistě je (viz [11], [16, str. 312], [20, str. 141])¹⁵).

Dnes lze červený posuv měřit přímo na elektromagnetickém záření směřujícím od Země při využití Mössbauerova jevu¹⁶), který umožňuje měřit neobyčejně malé změny frekvence záření γ .

3.3. Stáčení perihelia Merkura. Již v minulém století bylo pozorováno, že se perihelium Merkura stáčí. Einstein pomocí obecné teorie relativity zdůvodnil, proč tomu tak je, a předpověděl hodnotu stáčení ve směru oběhu na $43''$ za století (po odečtení vlivu ostatních planet). Tato hodnota je plně v souladu s pozdějšími měřeními [23]. Pro naši Zemi činí stáčení perihelia méně než 5 úhlových vteřin za století.

3.4. Zpoždění rádiových vln. Z Einsteinovy teorie se později odvodilo, že bude možno pozorovat snížení rychlosti elektromagnetických vln v blízkosti hmotných objektů. Tento čtvrtý efekt obecné teorie relativity byl experimentálně prověřen pomocí radarových pulzů vyslaných k planetám Venuši a Merкуру, když zapadaly za sluneční kotouč. V tomto případě přímé rádiové vlny ze Země i odražené vlny putovaly těsně podél Slunce, a pak byly opět zachyceny na Zemi. Pro pozdější přesnější měření bylo též použito sond Mariner 6 a 7 jako „aktivních“ odražečů, které po přijetí radarového pulzu okamžitě vyslaly k Zemi signál. Naměřené zpoždění $200 \mu\text{s}$ je v souladu s obecnou teorií relativity (viz [25], [26], [27]).

3.5. Precese osy gyroskopu. Z obecné teorie relativity též plyne, že dochází k precesi osy gyroskopu, který volně obíhá hmotný objekt. Tento pátý relativistický efekt sice zatím nebyl změřen, ale bude testován v družici, kterou vynese raketoplán pravděpodobně v říjnu roku 2000 (viz [10], str. 153). Pro oběžnou dráhu v blízkosti Země by hodnota precese osy měla činit $8''$ za rok. Gyroskop, který je už nyní připraven, udržuje v laboratoři polohu své osy s odchylkou maximálně $0,1$ úhlové milivteřiny za rok!

V rámci sluneční soustavy je všech pět předchozích efektů velice malých. Naproti tomu v blízkosti černých děr, neutronových hvězd apod. se tyto efekty mohou velice

¹⁵) Nejnovější měření teploty Síria B ukazují, že hvězda je ještě teplejší, než Adams předpokládal. Když uvážíme jeho povrchovou teplotu $32\,000^\circ\text{C}$ a nepatrný zářivý výkon, musí být Sírius B ještě menší než Země.

¹⁶) V některých krystalech jsou atomy tak těsně vázané, že při emisi fotonu γ vykonává zpětný pohyb místo jednotlivého atomu celý krystal. Tento úkaz se označuje jako Mössbauerův jev.

výrazně projevovat. Například zakřivení světelných paprsků ze vzdáleného kvazaru při průchodu kolem mezilehlé galaxie způsobuje jev zvaný gravitační čočka, červený posuv pro černou díru je vlastně nekonečný a u známého milisekundového pulsaru ve dvojhvězdě v kulové hvězdokupě 47 Tucanae činí stáčení jeho eliptické dráhy až několik desítek stupňů za rok (viz [12], str. 67).

Zmiňme se ještě o jedné důležité předpovědi Einsteinovy teorie.

3.6. Konečnost rychlosti šíření gravitace. Podle Einsteinovy teorie je rychlost šíření gravitačního vlivu konečná a je rovna rychlosti světla ve vakuu. Tento fakt se dosud nepodařilo přímo experimentálně potvrdit, ale lze jej částečně ověřit nepřímo. Je totiž zapotřebí jej vzít v úvahu při výpočtu meziplanetárních letů (viz [12], str. 14), abychom nemuseli dělat velké korekce dráhy zvláště v blízkosti cílové planety. Například trajektorie sondy Voyager II, která putovala k Jupiteru téměř dva roky, by se lišila o mnoho stovek kilometrů, kdybychom při nasměrování sondy předpokládali, že rychlost šíření gravitace je nekonečná, jak hlásá newtonovská mechanika.

Jak známo, gravitace je velmi slabá síla ve srovnání s ostatními fyzikálními interakcemi. Proto zatím detektory gravitačních vln jen šumí, i když se na zvýšení jejich účinnosti usilovně pracuje. Existence gravitačních vln je však potvrzena nepřímo tím, že se zkracuje oběžná doba pulsaru PRS 1913+16, jenž obíhá kolem společného těžiště s jinou neutronovou hvězdou v souhvězdí Orla, asi o 0,1 ms za rok (viz [12], str. 87). Existují ale i jiná vysvětlení tohoto jevu.

4. Toulky Prahou po stopách Einsteinových

Albert Einstein získal v Praze svou první řádnou profesuru. V letech 1911–1912 zde působil na pražské německé univerzitě. Přednášel 5 hodin týdně v Klementinu, pracovnu měl v dnešní budově přírodovědecké fakulty UK ve Viničné ulici č. 7, Praha 2. Během pražského pobytu publikoval 11 vědeckých prací (srov. [2]), včetně prvních prací o gravitaci a obecné teorii relativity (viz např. [5]). Po celou dobu bydlel s rodinou v Lesnické ulici č. 7 na Smíchově. Prahu navštívil ještě jednou v roce 1921.

Působení Alberta Einsteina v Praze se dnes připomíná na dvou místech. Na domě v Lesnické 7 je od roku 1979 pamětní busta a ve vstupní hale budovy ve Viničné 7 visí nenápadná pamětní deska. Obě místa jsou ale poměrně vzdálená od centra Prahy. Ulice pojmenovaná po Einsteinovi je dokonce až v Praze-Petrovicích.

4.1. Praha a hudba. Procházky po Praze znamenaly pro Einsteina zdroj důležitých dojmů: chorály evangelických kostelů, smutné nápěvy židovských melodií, zvuky varhan v katolických chrámech, to vše se prolínalo s lidovými písněmi a skladbami, hlavně českých a německých skladatelů. Einsteinovy vycházky začínaly na levém břehu Vltavy. Cestou do Klementina procházel po dnešním Janáčkově nábřeží na Kampu a přecházel Karlův most. Jindy přešel po mostě Palackého, a pak kolem Faustova domu do své pracovny ve Viničné ulici. Se svými syny se rád procházel v zahradě Kinských. Patřil k pravidelným hostům úterních večerů v salónu paní Bertý Fantové, matky prof. J. Fanty, v domě „U jednorozce“ na Staroměstském náměstí č. 17. S Georgem Pickem

a s Vladimírem Heinrichem¹⁷), pozdějším profesorem astronomie na české univerzitě, sedával v kavárně Louvre na Národní třídě.



Albert Einstein s Rabíndranáthem Thákurem.
Berlín 1930

Nedělní odpoledne často trávil návštěvami u Winternitzů. Moritz Winternitz¹⁸) byl univerzitní profesor indologie na pražské německé univerzitě. Mezi Einsteinovy přátele patřil i Rabíndranáth Thákur, pozdější nositel Nobelovy ceny za literaturu (1913). Paní Berta Winternitzová byla původně koncertní pěvkyní. Při návštěvách se diskutovalo na literární témata a muzicírovalo. V kruhu harmonické rodiny svého kolegy Einstein nacházel při hře na housle a radostné zábavě zasloužené uvolnění (viz [29], str. 46). Přitahovalo jej i pět Winternitzových dětí. Einstein dětem rád dával k řešení různé matematické problémy. Nejstarší z dětí, Arthur¹⁹), se stal matematikem v Oxfordu. Arthur Winternitz byl v letech Einsteinova působení v Praze 18–19letý. Studium matematiky ukončil na pražské německé univerzitě disertací na téma: O jedné třídě lineárních funkcionálních nerovnic a o konvexních funkcionálech²⁰). První práci publikoval již za rok po Einsteinově odchodu z Prahy²¹). Brzy se stal na pražské německé univerzitě asistentem a později zde byl jmenován profesorem. V roce 1939 emigroval do svého rodiště v Oxfordu. V Anglii se zabýval především teorií Lieových grup (viz [4], str. 182)²²). Hudební odpoledne se také konala v Mezibranské ulici č. 63 u Ottilie Nagelové²³). Zněla při nich díla Mozartova, Beethovenova, Brahmsova a jiných klasiků.

¹⁷) VLADIMÍR VÁCLAV HEINRICH (1884–1965) — zabýval se nebeskou mechanikou pohybu planetek a Měsíce.

¹⁸) MORITZ WINTERNITZ (1863–1937), po studiu na vídeňské univerzitě se v Oxfordu podílel na vydávání Rgvédy, nejstarší indické sbírky náboženských hymnů a písní z doby 4500 až 2500 př. n. l., a pak od roku 1898 sídlil v Praze nejprve jako soukromý docent indoevropské indologie a etnologie, roku 1902 se stal mimořádným profesorem, řádnou profesuru dostal ve stejném roce jako Einstein, tj. v roce 1911.

¹⁹) ARTHUR WINTERNITZ (1893–1961).

²⁰) *Über eine Klasse von linearen Functional-Ungleichungen und über konvexe Functionale.*

²¹) *Lineare Functionalgleichungen und konvexe Functionale*, Leipziger Berichte 69 (1913), 349–390.

²²) Mladší sourozenci Arthurovi postupně: Ida (1894) — dětská lékařka, Josef (1896) — vystudoval fyziku a filozofii, vykládal Einsteinovu teorii, Jiří (1898) — právník, emigroval s rodinou do Anglie, po válce se vrátil do Čech, Max (1900) — uznávaný kardiolog se též po válce vrátil do Prahy.

²³) OTTILIE NAGELOVÁ (1861–1943), sestra paní Winternitzové, učitelka hudby, doprovázela Einsteinovu hru na housle, zahynula v 82 letech v Terezíně.

4.2. Setkání s nevšedním člověkem. Hudba a matematika sblížila Einsteina s profesorem matematiky na pražské německé univerzitě Georgem Pickem (1859–1942). Georg Pick přivedl Einsteina k některým pojmům geometrie, obrátil Einsteinovu pozornost k Ricci-Curbastrovým a Levi-Civitovým metodám absolutního diferenciálního počtu²⁴). Pick byl dříve asistentem experimentální fyziky u Ernsta Macha²⁵). Vzpomínal na své zážitky v dlouhých rozhovorech s Einsteinem v kavárně Louvre nebo doma u Einsteinů. Georg Pick hrával na housle a seznámil Einsteina s dalšími milovníky hudby. Narodil se 10. 8. 1859 ve Vídni, kde studoval a promoval na vídeňské univerzitě disertací *O jedné třídě Abelových integrálů*²⁶). V roce 1882 se habilitoval na pražské německé univerzitě prací *O integraci hypereliptických diferenciálů pomocí logaritmu*²⁷). Po šesti letech se stal mimořádným profesorem a od roku 1892 zde byl jmenován řádným profesorem²⁸). Jeho vědecké zájmy byly rozmanité: eliptické funkce, binomické integrály, Abelovy funkce, křivky 3. a 4. řádu, kanonické formy diferenciálních rovnic, diferenciační procesy v teorii invariantů.²⁹) Když se Albert Einstein vrátil do Curychu, převzal Pickovu roli Einsteinův přítel a bývalý spolužák Marcel Grossmann³⁰). Diskutoval s ním o otázkách křivosti čar a ploch. Řešení problémů se střídalo s vášnivými spory o význam matematiky a fyziky podobně jako ve studentských letech.

Einstein rozlišoval ve vývoji matematiky tři období. V prvním byla matematika pokládána za poloempirickou vědu. V dalším období byla matematika na fyzice nezávislá a vyvolávala iluzi apriorního nebo konvenčního původu axiomů. Třetí období nastalo, když byla objevena souvislost s fyzikálním experimentem, když experiment měl odpovídat na otázky týkající se reálné existence matematických konstrukcí.

Zkušenost zůstane jediným kritériem možnosti použití matematických konstrukcí ve fyzice, ale právě v matematice je obsažen skutečně tvořivý princip. Odtud považují za oprávněné přesvědčení minulých generací: čistý rozum je schopen vystihnout realitu.

A. Einstein

²⁴) Ke skutečnému setkání Einsteina s Levi-Civitou došlo až v Princetonu, kdy bylo Levi-Civitovi kolem 60 let. Drobný vyhublý italský matematik nechtěl přísahat věrnost fašistům, a proto též přesídlil do Princetonu. Klidný Einstein a živě gestikulující Levi-Civita ukazovali na vzorce a domlouvali se jazykem, který byl podle jejich názoru angličtinou.

²⁵) K osobnímu setkání Einsteina s Ernstem Machem došlo později ve Vídni.

²⁶) *Über eine Klasse Abelscher Integrale.*

²⁷) *Über Integration hyperelliptischer Differentiale durch Logarithmen.*

²⁸) Poznamenejme ještě, že zůstal v Praze do smutné doby protektorátu. Ve věku 80 let byl deportován do terezínského ghetta a tam zemřel 26. 7. 1942.

²⁹) Též se věnoval geometrii čísel, konformním zobrazením, neukleidovským geometriím, afinní geometrii, funkcionální analýze atd. Jeho bibliografie je shromážděna v článku A. Dikové a M. Pinla (viz [4]).

³⁰) MARCEL GROSSMANN (1878–1936) studoval v Basileji a v Curychu, v roce 1900 se stal asistentem prof. W. Fiedlera, v roce 1907 získal profesuru DG na technice v Curychu. Prof. W. Fiedler působil dříve též v Praze, studovali u něho např. Emil a Eduard Weyrové. Po odchodu z Prahy byl jeho asistentem v Curychu Jan Sobotka (1891), později profesor deskriptivní geometrie na pražské české univerzitě.

4.3. Hrdina románu Maxe Broda. Skromnost, družnost, humor a dobrosrdečnost získaly Einsteinovi v Praze mnoho přátel. Mezi ně patřil též mladý spisovatel Max Brod³¹). Einstein si však svými vtipy a ironií způsobil i některé komplikace, např. mezi univerzitními kolegy.

Tři sta let trvající keplerovská tradice byla živá i v době Einsteinova příchodu do Prahy. Kepler³²) zde strávil dvanáct let (1600–1612), vydal zde především důležitý spis *Astronomia nova*, kde na základě dat z pozorování Tychona Brahe formuloval první dva Keplerovy zákony. V Keplerových listech přátelům se setkáváme s osobností jemných citů, zcela a vášnivě upoutanou hledáním cesty k hlubšímu proniknutí do podstaty přírodních jevů. Zaujme nás člověk, který nehledí na vnitřní a vnější těžkosti, když se snaží dosáhnout stanoveného cíle. Johannes Kepler dospěl k náhledu, že logicko-matematické teoretizování nezaručuje pravdu. Poznal, že i nejkrásnější logická teorie musí být podpořena experimenty a pozorováními. Einstein znal Keplerovy úvahy a seznámil se i s jeho dopisy přátelům.

Není proto divu, že si Max Brod vybral Einsteina jako vzor pro jednu z postav svého románu *Tychona Brahe cesta k Bohu*³³) (viz [3]). Čtenáři knihy poznávali Einsteina v Johannu Keplerovi hledajícím harmonii světa. Einsteina můžeme charakterizovat tak, jak on sám vzpomínal na Nielse Bohra. Spojoval jej s představou „nejvyšší hudebnosti“, s pocity harmonie stavby světa, snem o harmonické společnosti, s harmonií architektonických tvarů ve městě a s harmonií zvuků. V Brodově románu Johannes Kepler, lhostejný k životnímu prospěchu a pozemským radostem, čerpá radost z hledání vědecké pravdy.

Tricet let po vydání Brodova románu *Tychona Brahe cesta k Bohu* vydal Brod opět román čerpající z historie fyziky, a to *Galileo v zajetí*, a zaslal jej Einsteinovi.

Einstein uvažuje o hrdinovi románu: „*Co se týče Galilea, představoval jsem si, že je jiný. Nelze pochybovat o tom, že vášnivě usiloval o pravdu — více než kdokoli jiný. Je ale těžké uvěřit, že zralý člověk vidí smysl ve spojení nalezené pravdy s myšlenkami povrchního davu, který uvízl v malicherných zájmech. Což je možné, aby taková úloha byla pro něj natolik důležitá, aby jí věnoval poslední léta života? ... Bez zvláštní potřeby se vydá do Říma, aby bojoval s kněžími a politiky. Takový obraz neodpovídá mé představě o vnitřní nezávislosti starého Galilea. Nedovedu si představit, že bych já například podnikl něco podobného, abych hájil teorii relativity. Pomyslel bych si: pravda je mnohem silnější než já. Zdálo by se mi směšným donkichotstvím osedlat si Rosinantu a bránit ji mečem...*“ (Viz [24].)

Můžeme říci, že Einsteinův životní styl připomínal spíše Johanna Keplera než Galilea Galilei. Skromný znalec umění se stal součástí literatury, i když si to jistě nepřál. Odmítal i jiné veřejné pocty.

³¹) MAX BROD (1884–1968), pražský německý spisovatel, přítel Kafkův a vydavatel jeho díla.

³²) JOHANNES KEPLER (1571–1630).

³³) Jediný český překlad byl pořízen Adolfem Wenigem v roce 1917, jinak se toto dílo uvádí i pod jinými názvy: *Vykoupení Tychona Brahe* nebo *Spasení Tychona Brahe* (viz [2]).

5. Einsteinův středoevropský itinerář

V Praze Einstein strávil poměrně krátké, ale velice plodné období. Přijel sem s rodinou z Curychu, kam se znovu vrátil v roce 1912. Připomeňme si další místa, která zachycují jeho putování Evropou:

- Německo: Ulm, Mnichov, Berlín, Caputh, Postupim
- Švýcarsko: Aarau, Curych, Bern

Ulm — Albert Einstein se zde narodil v pátek 14. března 1879 v 11.30 dopoledne. Rodiče Hermann Einstein a Pauline, roz. Kochová, žili v domě nedaleko nádraží na Bahnhofstrasse. Rodný dům se nezachoval, byl zničen v roce 1944. Dnes na jeho místě stojí Einsteinův památník. Dostanete se k němu podchodem z nádraží. Einsteinovi bydleli též v blízkosti historického Kornhausu³⁴).

Mnichov — zde Einstein vyrostl. Rodina žila nejprve uprostřed města, a potom na jižním předměstí v Sendlingu.

Aarau — hlavní město švýcarského kantonu Aargau. Ve Švýcarsku žil Einstein od roku 1895. Pamětní desku, připomínající Einsteinův pobyt, nalezneme na domě č. 119 v Laurenzenvorstadt v blízkosti kantonální školy. Mladičký Albert tady studoval v roce 1895/96.

Curych — je univerzitním městem od roku 1833. Proslavená Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) vznikla v roce 1855. Einstein na ETH studoval a v letech 1909–1911 byl na zdejší univerzitě mimořádným profesorem. Po pražské epizodě se zde stal na krátkou dobu řádným profesorem. V roce 1913 již pokračoval v přednáškách o relativitě a diferenciální geometrii v Curychu Hermann Weyl³⁵). Na pamětní desce na domě č. 4 v Unionstrasse se můžeme dočíst, že: „Hier wohnte von 1896–1900 der große Physiker und Friedensfreund Albert Einstein“ (viz [28]).

Bern — po studiu fyziky v Curychu byl Einstein od roku 1902 technickým expertem 3. třídy na patentovém úřadě v Bernu, a pak se vrátil do Curychu na místo profesora na univerzitě (1909). Jeho pobyt v Bernu připomíná pamětní deska v loubí v Kramgasse č. 49, kde Einstein bydlel v letech 1903–1905.

Berlín — V roce 1913 se stal ředitelem Ústavu císaře Viléma (KWI) v Berlíně, kde působil až do roku 1933. Jeho kolegové Max Planck, Erwin Schrödinger, Max von Laue a mnozí další mu zde vytvořili skutečnou tvůrčí atmosféru. V dubnu roku 1914 se Einstein nastěhoval do berlínského předměstí Dahlem. Od roku 1915 bydlel v Berlíně-Wilmersdorfu, Wittelbacherstrasse č. 13, v téměř prázdném bytě jako starý mládenec. V září 1917 se přestěhoval do Haberlandstrasse č. 5 ke své druhé ženě Else, jež byla zároveň jeho pravou sestřenicí. Text na kameni před domem č. 8 v Nördlingerstrasse,

³⁴) Ulm leží na Dunaji asi 130 km západně od Mnichova na hranici Württenberska a Bavorska. Ulmu vévodí 600 let stará katedrála — Münster. Uvnitř najdete bohatě vyřezávané lavice, představující Ptolemaia, Pythagora atd.

³⁵) HERMANN WEYL (1885–1955). Přednášel zde do roku 1930, pak přešel na tři roky do Göttingen, a poté do Princetonu. Jádro jeho přednášek je zachyceno ve známém spise *Raum-Zeit-Materie*, 1923, 5. vydání.

v blízkosti Bundesplatz, připomíná, že v domě, který zde stál, bydlel Einstein v letech 1918–1933. V treptowském parku, v zahradě Archenholdovy hvězdárny, je od roku 1963 umístěna v trávě Einsteinova bronzová busta. V roce 1933 Einstein Berlín opouští a emigruje do USA (Institute for Advanced Study, Princeton).

Caputh — ve vesnici na řece Havole (něm. Havel), jihozápadně od Postupimi, si Einstein postavil v roce 1929 ve Waldstrasse č. 7 dům. Od roku 1979 je zde muzeum.

Postupim — na Telegraphenbergu, tam, kde je dnes Ústav pro astrofyziku a geofyziku, stojí pozoruhodná raná betonová expresionistická stavba architekta E. Mendelsohna z let 1920/21 — hvězdárna s otočným dalekohledem, nazvaná Einsteinova věž. Jejím prvním ředitelem byl Erwin Freundlich³⁶). Na druhé hvězdárně v Postupimi-Babelsbergu, starší podle doby vzniku, najdeme ještě Einsteinovu mramorovou bustu.

6. Několik slov na závěr

Einsteinova první manželka Mileva Maričová, původem Srbka, vystudovala rovněž fyziku na univerzitě v Curychu a byla mu v prvních letech jejich společného života velkou oporou.

Česká odborná veřejnost reagovala poměrně rychle na Einsteinovy práce. První srozumitelný výklad principu relativity vyšel v časopise *Přehled*³⁷) v době Einsteinova pražského pobytu. Brzy vydali své práce i další autoři, A. Dittrich, F. Závíška, F. Nachtikal.³⁸)

Nezmínili jsme se o Einsteinových pracích z optiky, elektrodynamiky, statistické a kvantové mechaniky. Do našeho krátkého článku jsme ani nezařadili mnoho jiných zajímavostí, například z Einsteinova pobytu v USA či jeho úsilí o mír. Tento geniální tvůrce teorie gravitace zemřel 18. dubna 1955 v Princetonu ve státě New Jersey.

Poděkování. Práce vznikla za částečné podpory grantu č. 201/98/1452 GA ČR. Autoři děkují J. Chlebounovi, K. Segethovi a M. Šolcovi za kritické posouzení textu a cenné připomínky.

L i t e r a t u r a

- [1] BIČÁK, J.: *Einsteinova cesta k obecné teorii relativity*. Čs. čas. fyz. A 29 (1979), 222–243.
- [2] BIČÁK, J. (ed.): *Einstein a Praha*. K stému výročí narození Alberta Einsteina. JČSMF, Praha 1979.

³⁶) ERWIN FINLAY FREUNDLICH (1885–1964), student Felixe Kleina, získal doktorát roku 1910 v Göttingen, podílel se na měření dráhy planety Merkur, věnoval řadu prací výkladu a dokazování Einsteinových myšlenek, v letech 1937–1939 působil též v Praze. Z Prahy přešel do Skotska na Univerzitu v Saint Andrews, kde se stal profesorem astronomie.

³⁷) J. SUCHÝ: *Princip relativity*. *Přehled* 9 (1911), str. 401, 419.

³⁸) *Přehled* o těchto raných pracích najdeme ve spise Nachtikalově: *Princip relativity. Názorný výklad*. Brno, 1922.

- [3] BROD, M.: *Tychona Brahe cesta k Bohu*. (Z originálu *Tycho Brahes Weg zu Gott* přel. A. Wenig.) Topič, Praha 1917.
- [4] DICK, A., PINL, M.: *Kollegen in einer dunklen Zeit*. Schluß. Jber. d. Deutsch. Math.-Verein 75 (1974), 166–208.
- [5] EINSTEIN, A.: *Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes*. Ann. d. Phys. 35 (1911), 898–908.
- [6] EINSTEIN, A.: *A generalization of the relativistic theory of gravitation*. Ann. of Math. 46 (1945), 578–584.
- [7] EINSTEIN, A.: *The meaning of relativity*. 3rd edition, Princeton Univ. Press, Princeton 1950 (4th edition 1953).
- [8] EINSTEIN, A.: *Jak vidím svět*. (Upraveno z originálu: *The world as I see it*, New York, 1934), Lidové noviny, Praha 1993.
- [9] EINSTEIN, A.: *Z mých pozdějších let*. (Upraveno z originálu: *Out of my later years*, New Jersey, 1967), Lidové noviny, Praha 1995.
- [10] FOSTER, J., NIGHTINGALE, J. D.: *A short course in general relativity*. Springer-Verlag, Berlin 1995.
- [11] GRYGAR, J.: *Rudý posuv v astronomii*. PMFA 18 (1973), 18–26.
- [12] GRYGAR, J.: *Vesmír, jaký je*. Mladá Fronta, Praha 1997.
- [13] HAVRÁNEK, J., ŠOLC, M., GRYGAR, J.: *V Praze o Einsteinovi a o Einsteinovi v Praze*. Vesmír 58 (1979), 178–183.
- [14] HERNECK, F.: *Albert Einstein — ein Leben für Wahrheit, Menschlichkeit und Frieden*. Buchverlag der Morgen, Berlin 1963.
- [15] HLAVATÝ, V.: *Geometry of Einstein's Unified Field Theory*. P. Noordhoff LTD., Groningen 1958.
- [16] HORSKÝ, Z., PLAVEC, M.: *Poznávání vesmíru*. Orbis, Praha 1962.
- [17] KOTYK, J.: *Albert Einstein, vědec a prorok*. Rozhledy mat.-fyz. 48 (1969/70), 326–329.
- [18] KOWALSKI, O.: *Věnováno Václavu Hlavatému. (Některé dokumenty o životě a díle)*. PMFA 38 (1993), 65–81.
- [19] KUZNĚCOV, B. G.: *Einstein — Život. Smrt. Nesmrtelnost*. Praha 1984.
- [20] MIKOLÁŠEK, Z., POKORNÝ, Z.: *220 základních otázek z astronomie*. Rovnost, Brno 1996.
- [21] MISNER, C. W., THORNE, K. S., WHEELER, J. A.: *Gravitation*. V. H. Freeman Comp., San Francisco 1973.
- [22] MOTL, L., ZAHRADNÍK, M.: *Pěstujeme lineární algebru*. Karolinum, Praha 1995.
- [23] PAULI, W.: *Theory of relativity*. G. Field. Trans., New York 1958, Nauka, Moscow 1983.
- [24] SEELIG, C.: *Albert Einstein — Eine dokumentarische Biographie*. Zürich, Stuttgart, Wien 1954.
- [25] SHAPIRO, I. I.: *Fourth test of general relativity*. Phys. Rev. Lett. 13 (1964), 789–791.
- [26] SHAPIRO, I. I., ASH, M. E., CAMPBELL, D. B., DYCE, R. B., INGALLS, R. P., JURGENS, R. F., PETTINGILL, G. H.: *Fourth test of general relativity: New radar results*. Phys. Rev. Lett. 26 (1971), 1132–1135.
- [27] SCHILPP, P. A.: *Albert Einstein: Philosopher-Scientist, 2. vol.* Harper-Torchbooks, New York 1959.
- [28] SCHWARZBACH, M.: *Auf den Spuren unserer Naturforscher*. Hirzel Verlag, Stuttgart 1981.
- [29] STROHS, S.: *Josef Winternitz a teorie relativity*. Filosofía, Praha 1995.
- [30] ŠOLC, M., ŠOLCOVÁ, A.: *Astronom Bessel. Z dějin geodézie a kartografie 05/107*, NTM Praha (1986), 135–150.
- [31] WILL, M. C.: *Ostře sledovaný Einstein*. PMFA 18 (1973), 256–270.
- [32] ZAJAC, R.: *Albert Einstein a fyzika 20. století*. PMFA 24 (1979), 61–77.