

# Einstein opět v Praze (2. část)

## Ohlédnutí za „českým“ seriálem z produkce National Geographic aneb „fyzik potkává filmaře“

Jiří Podolský, Pavel Cejnar

Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8; jiri.podolsky@mff.cuni.cz; pavel.cejnar@mff.cuni.cz

Na podzim roku 2018 odvysílala Česká televize na ČT2 unikátní desetidílný seriál *Génius: Einstein*, věnovaný životu a dílu asi nejslavnějšího fyzika všech dob. Každý pátek od září do listopadu mezi 20. a 21. hodinou tak měl každý možnost chronologicky sledovat celý Einsteinův pozoruhodný osud, často dramatický v osobní, vědecké i celospolečenské rovině. Na jeho pozadí tvořil své objevy, z nichž mnohé byly hodny Nobelových cen a doslova změnily historii (vzpomňme jeho podíl na vzniku kvantové teorie, formulování speciální i obecné relativity, či pozemský i kosmický dosah jeho rovnice  $E = mc^2$ ). To vše bylo nyní bravurně zachyceno v HD kvalitě, precizní dobové výpravě, s hvězdným hereckým obsazením postav. Co více si může přát fyzik, jemuž není lhostejná historie ani obraz toho, jaký má jeho obor mezi ostatními lidmi! Seriálem *Génius* dostal možnost sdílet „to nejlepší z dějin fyziky“ se svými rodinami, přáteli nefyziky, se všemi ostatními. Nám, autorům tohoto článku, však bylo řízením osudu dopřáno více. Dostali jsme šanci aktivně se podílet na tvorbě takového výjimečného díla.

### Rok plný zázraků (JP)

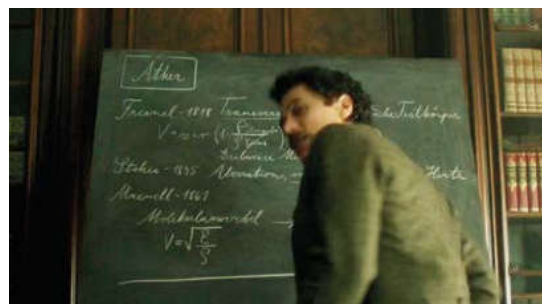
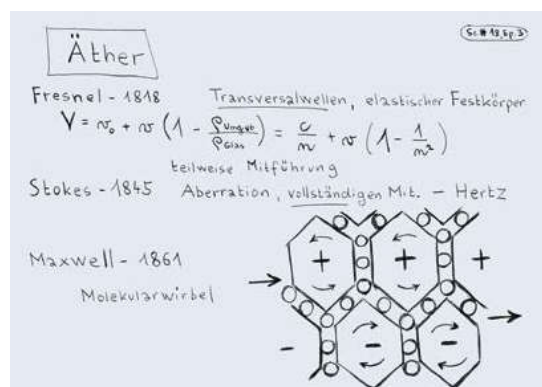
Po studiích v Curychu prožil Einstein několik těžkých let. Nemohl najít uplatnění v akademické sféře, a dokonce ani jiné relevantní zaměstnání. I jeho osobní život, zejména vztah k Milevě, procházel složitým vývojem. To je poměrně věrně zachyceno ve 3. epizodě seriálu. Protože se už neodehrává ve školním prostředí a Einsteinovo vědecké období ještě nezačalo, tabulí se vzorci oproti předchozím dvěma epizodám rapidně ubylo.

Vlastně jediná zajímavá se vyskytuje ve scéně, kdy Albert v roce 1901 dává soukromé hodiny chlapci. Má za úkol doučovat ho elementární matematiku a fyziku, ale místo toho mu sděluje své historicko-filozofické úvahy o éteru, což ve scénáři předjímá Einsteinovu cestu ke speciální teorii relativity. Měl jsem za úkol připravit jednu tabulí pro tuto scénu, výsledek je na obr. 15.<sup>1</sup>

Je to docela jednoduchá tabule. Nahoře jsou zmíněni dva hlavní tvůrci fyzikální teorie éteru Fresnel a Stokes i vzorec pro strhávání éteru, dole je obrázek pozoruhodného mechanického modelu éteru od Maxwella z roku 1861. Tento obrázek i příslušný vzorec jsem převzal z Maxwellovy originální práce [14], historii éterových teorií jsem dohledával v klasické Whittakerově knize [15].

Ve 4. epizodě seriálu již nacházíme Einsteina ve šťastnějším období života: s manželkou Milevou

<sup>1</sup> Číslování obrázků i odkazů navazuje na předchozí díl článku.



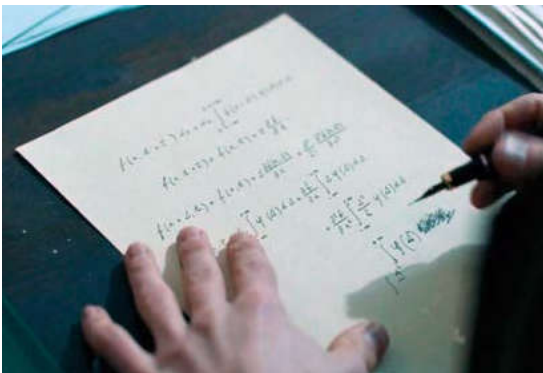
**Obr. 15** Návrh tabule (nahore) pro scénu, kdy Einstein dává soukromé doučovací hodiny, a výsledný záběr (dole). Místo základů matematiky a fyziky chlapci vysvětluje teorii éteru. Zdroj: osobní archiv J. Podolského a National Geographic



**Obr. 16** Planck a von Laue v Berlíně přebírají článek od Alberta Einsteina o kvantové podstatě fotoefektu, který v březnu 1905 zaslal do časopisu *Annalen der Physik*. Zdroj: *National Geographic*

a synkem Hansem Albertem žije ve švýcarském Bernu a našel solidní stálé zaměstnání na patentovém úřadu. V roce 1905 nadchází jeho *annus mirabilis*, doslova „rok zázraků“. V rychlém sledu v jarních měsících sepsuje a dokončuje články týkající se tří zcela odlišných témat. Každý z nich je přitom revoluční: vysvětlení fotoefektu pomocí hypotézy světelných kvant, určení rozměrů molekul z Brownova pohybu, a formulace speciální teorie relativity. Všechny tři jsou doručeny do nejprestižnějšího fyzikálního časopisu oné doby *Annalen der Physik* (dne 18. 3., 11. 5., respektive 30. 6.), kde vždy po zhruba dvou měsících vycházejí [16–18]. V seriálu je to zachyceno scénami, kdy doručené Einsteinovy rukopisy přebírá v Pruské akademii věd v Berlíně editor časopisu Max Planck a jeho asistent Max von Laue, viz obr. 16. Oba jsou čím dál více zaujati geniálními články, které přicházejí od zcela neznámého patentového úředníka z Bernu.

Není cílem tohoto textu rozebírat obsah a význam Einsteinových fundamentálních článků, jde nám zde pouze o jejich vizualizaci v seriálu *Génius*. Pokud jde



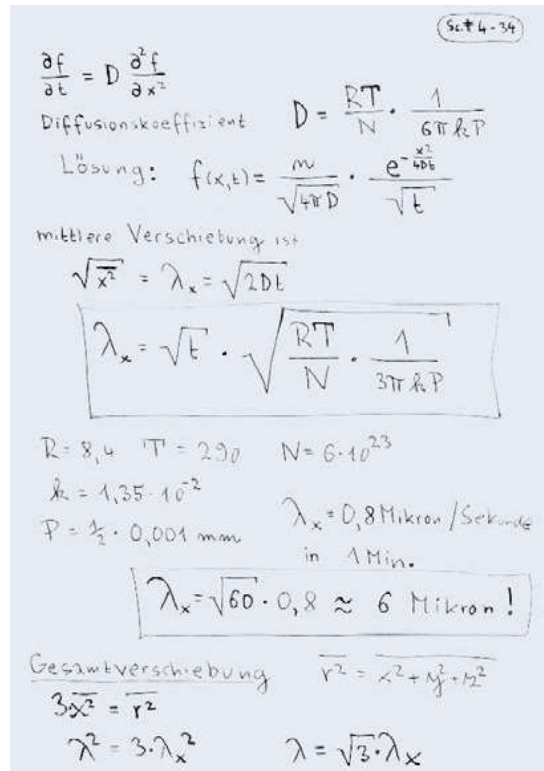
**Obr. 17** Einstein odvozuje rovnici difuze, kterou se řídí distribuční funkce částice Brownova pohybu. Zdroj: *National Geographic*

o konkrétní vzorce a výpočty, najdeme je (bohužel!) jenom v souvislosti s druhým článkem [17], který se týká Brownova pohybu malých částic rozprostřených v kapalině. Ve 12. minutě 4. epizody na pár sekund zahlédneme, jak Einstein vlastnoručně odvozuje, že pohyb částic se řídí rovnicí difuze, viz obr. 17.

Explicitním řešením této rovnice pak dostane, že střední kvadratická vzdálenost  $\lambda_x$ , kterou částice urazí ze své výchozí polohy, je úměrná odmocnině ze součinu času  $t$  a koeficientu difuze  $D$ . Po dosazení fyzikálních konstant mu vyjde, že za jednu minutu urazí 6 mikrometrů, což je pozorovatelné mikroskopem. Vzo-

rec lze však použít i opačně: z měření vzdálenosti lze naopak určit Avogadrovu konstantu, tedy počet částic v látkovém množství. Výrazy, rovnice i hodnoty konstant pro příslušný text, který je na obr. 18, jsem pochoptitelně převzal z Einsteinova článku [17].

Velkým zjednodušením je, omezíme-li nejdříve tento výpočet na jednorozměrný pohyb. Vzdálenost  $\lambda$  ve trojrozměrném prostoru lze pak získat pouhým přenásobením  $\lambda_x$  faktorem  $\sqrt{3}$  (počítáme přece střední kvadratickou vzdálenost a počet rovnoprávných dimenzí je 3, viz dolní řádky textu na obr. 18). Inspirátorem tohoto pěkného triku je podle scénáře Albertův pří-



**Obr. 18** Navržený text s hlavními vzorci, ze kterých lze odvodit střední kvadratickou vzdálenost  $\lambda$  částice Brownova pohybu. Vzorce převzaté z Einsteinova článku [17] měly být použity ve scéně v bernské pivnici, záběr však byl vypuštěn. Zdroj: *osobní archiv J. Podolského*

tel Michele Besso: oba jsou zrovna v rozjařené náladě v bernské pivnici. Kvůli rozvernému chování zúčastněných bohužel nezbyl čas, aby kamera zachytila také příslušné vzorce...

V seriálu je zmíněn i jakýsi čtvrtý Einsteinův článek o molekulách z roku 1905 poslaný do *Annalen der Physik*. Jde o drobnou časovou nepřesnost scénáře: je míněn článek, který vyšel až v roce 1906. Jeho obsah je prakticky totožný s Einsteinovou doktorskou disertační prací nazvanou *Nové určení rozměrů molekul*. Disertace má 19 stran a je datována 30. 4. 1905. Do časopisu *Annalen der Physik* byla doručena 19. 8. 1905, ale publikována až 8. 2. následujícího roku.

Hlavním Einsteinovým objevem roku 1905 však bezesporu je *formulace speciální teorie relativity*, která revolučním způsobem změnila klasické chápání prostoru a času [18]. V seriálu žádné vzorce nenajdeme, podstata teorie je naznačena jenom v dialogích postav. Dobře je, že zdůrazňují hlavní fakt, totiž že *čas není absolutní* neboli že jeho plynutí závisí na rychlosti pohybu pozorovatelů. Tato relativita současnosti je zdraži-



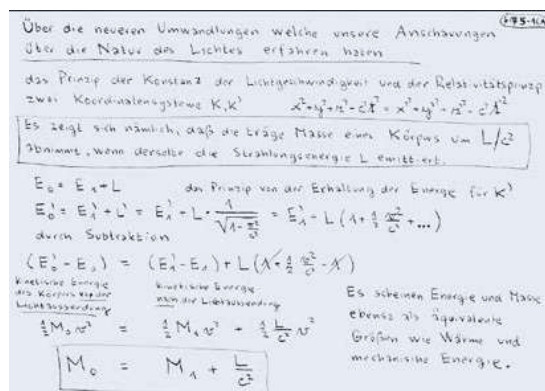
**Obr. 19** Myšlenkový experiment, ve kterém Albert Einstein a Michele Besso sledují dva blesky. V téměř dvouminutové sekvenci je velmi zdařilým způsobem demonstrováno, že čas nemůže být absolutní, protože pojem současnosti je relativní. Zdroj: National Geographic

le ilustrována animovaným myšlenkovým experimentem ve 40. minutě 4. epizody: Albert Einstein a Michele Besso sledují za bouřky vlak jedoucí velmi rychle potmělou krajinou, viz obr. 19. Náhle zazáří dva blesky. Zatímco stojící Albert vidí oba záblesky současně, Michele uprostřed vlaku spatří nejprve blesk vepředu a až potom blesk vzadu. Světlo ze zadního blesku totiž musí jedoucí vlak dohánět, zatímco světlu z předního blesku naopak jede vlak vstříc. A protože se světlo šíří vždy stejnou univerzální rychlostí, nemohou oba záblesky dorazit k Michelovi současně. Klasický pojem absolutní současnosti je tedy nesprávný.

Více se o Einsteinově speciální relativitě už nedozvíme, škoda. V samotném závěru 4. epizody alespoň zahlédneme Einsteinovu nejslavnější rovnici  $E = mc^2$ . Přestože není zapsána v autentické notaci roku 1905 (ani poučený divák by ji totiž jistě neidentifikoval), z historického hlediska je správné, že tento nesmírně důležitý důsledek speciální relativity, klíčový v kontextu jaderné fyziky a astrofyziky, odvodil Albert Einstein bezprostředně poté, co svoji teorii zformuloval a zveřejnil.

### Konečně přichází uznání (JP)

Není divu, že fenomenální rok 1905 Einsteinovi změnil život. V lednu následujícího roku získává doktorát, v patentovém úřadu je povýšen a dostává vyšší plat, v roce 1908 se stává soukromým docentem na univerzitě v Bernu a o rok později pak mimořádným profesorem



**Obr. 20** Návrh dvou tabulí pro Einsteinovu přednášku v Salcburku 21. 9. 1909. Vlevo je elegantní odvození vztahu  $E = mc^2$ , napravo Planckův vyzařovací zákon potvrzující hypotézu existence kvant světla. Zdroj: osobní archiv J. Podolského

rem v Curychu. Konečně se mu zdařilo, po čem tolik toužil – vstoupit do akademického světa.

V roce 1909 dokonce zazáří mezi vědeckou elitou. Jako čestný host výročního zasedání Společnosti německých přírodovědců a lékařů v Salcburku má 21. 9. brilantní zvanou přednášku o teorii záření. Je odměněn potleskem a ovacemi více než stovky předních německých vědců včetně Plancka, se kterým se třicetiletý Einstein poprvé osobně setkává.

Emotivní scéna je zachycena v 11. minutě 5. epizody seriálu. V režijně skvělém zrychleném záznamu snímaném shora Einstein popíše plně dvě tabule vzorců, otočí se k publiku a pohlédne do sálu v očekávání reakce přítomných. Je nadšená a oslavná, Einsteinova tvář se rozjasní dětsky upřímným úsměvem.

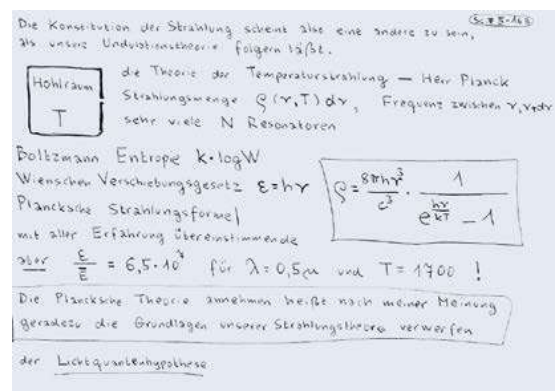
Mým úkolem bylo vymyslet předlohy obou tabulí, na kterých hodně záleží. Objeví se ve velkém detailu a mají demonstrovat Einsteinovu vědeckou erudici a originalitu. Tematický obsah tabulí byl jasný: v *Sebraných pracích Alberta Einsteina* [4] jsem vyhledal tištěnou verzi jeho salcburské přednášky [19] (*O vývoji našich názorů na povahu a složení záření* (název článku a přednášky se mírně liší – viz záhlaví 60. dokumentu ve 2. svazku [4])). Text je naštěstí logicky uspořádaný, obsahuje pěkné a krátké vzorce. Bylo potěšením vybírat z něj hlavní věty, hesla a rovnice. Výsledná předloha obou tabulí je na obr. 20. Nalevo vidíme Einsteinovo elegantní odvození rovnice  $E = mc^2$  (setrvačná hmotnost  $M$  tělesa se vyzařením elektromagnetické energie  $L$  zmenší o hodnotu  $L/c^2$ ), napravo pak snadno identifikujeme Planckův zákon vyzařování absolutně černého tělesa a vzorec pro energii světelného kvanta (Einstein přesvědčivě argumentuje, že přijmeme-li Planckův vzorec, nevyhnutelně musíme odvrhnout klasickou vlnovou teorii vyzařování světla).

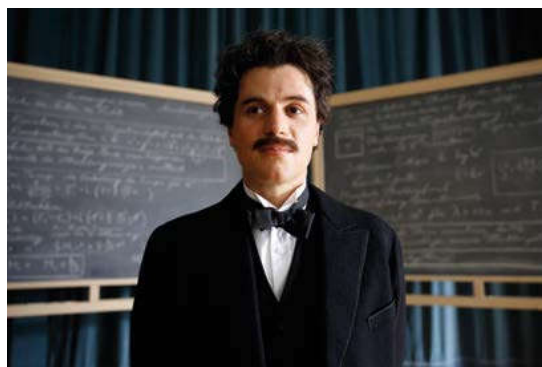
Na obr. 21 jsou pak dvě krásné fotografie, které při natáčení této impresivní scény pořídil Dušan Martinček.

### Pražská gravitační přitažlivost (JP)

Salcburská přednáška z roku 1909 se natáčela v nádherných secesních prostorách pražského Obecního domu. Významnou roli sehrál i tamější dobový výtah – je jím demonstrován Einsteinův slavný myšlenkový experiment s padající zdviží, který ilustruje princip ekvivalence mezi gravitačním polem a zrychlením vztažné soustavy. Právě tento princip stojí v základu Einsteinova největšího intelektuálního díla – *obecné teorie relativity*.

Experiment s padajícím a zrychlujícím výtahem je báječně vizualizován později v 16. minutě 5. epizody.





**Obr. 21** Fotografie výsledných tabulí (vlevo) a Einsteina stojícího po přednášce před nimi (vpravo). Zdroj: *National Geographic*. Foto: Dušan Martinček

Einstein líčí své zvláštní představy: má pocit, že výtah padá a on se v něm volně vznáší. Jako by vůbec nic nevážil. Padající člověk nevnímá vlastní váhu, protože on sám, podlaha i papíry padají stejnou rychlostí, viz obr. 22. Pod nohama proto nemůže cítit tlak podlahy. A naopak: urychlování výtahu směrem nahoru vyvolá pocit silnějšího gravitačního působení opačným směrem. Zrychlení a gravitace jsou tedy totéž! Právě to je klíčová myšlenka, kterou Einstein potřeboval k zobecnění své teorie relativity. Později ji dokonce označil za jeden z nejšťastnějších nápadů svého života...



**Obr. 22** Myšlenkový experiment s padajícím výtahem, který demonstruje princip ekvivalence, východisko Einsteinovy teorie gravitace. V seriálu byl použit secesní výtah v pražském Obecním domě. Zdroj: *National Geographic*

Myšlenku principu ekvivalence měl Einstein již v Bernu v roce 1907. Pak ji ovšem na několik let odložil a vrátil se k ní až během svého působení na Ústavu teoretické fyziky německé části Karlo-Ferdinandovy univerzity v Praze v letech 1911–1912. Zde princip lépe zformuloval a rozmyslel jeho hlavní fyzikální důsledky na šíření světla. To byl začátek jeho cesty k obecné teorii relativity.

Není zde prostor podrobněji popisovat okolnosti Einsteinova jmenování profesorem ani jeho působení v Praze. Odkazují na klasické biografie [20, 21], které se tímto obdobím jeho života speciálně zabývají, a především na nejnovější knihu profesora Gordina *Einstein in Bohemia*, která vyšla začátkem roku 2020 v Princeton University Press [22]. Řadu informací a dokumentů lze najít i na digitálně dostupných panelech z výstavy *Einstein a Praha, gravitace a vesmír* [2].

Omezme se jenom na stručný komentář „pražských scén“. Není jich mnoho. V seriálu začínají ve 14. minutě 5. epizody audiencí Alberta Einsteina u císaře Fran-

tiška Josefa I. v Schönbrunnu. Vypadá hodně působivě, viz obr. 23, ale ve skutečnosti k ní nikdy nedošlo. Einstein sice 28. 9. 1910 přijel do Vídně, aby na ministerstvu jednal o svém povolání do Prahy. Setkal se však s Ernstem Machem a Victorem Adlerem, nikoli s císařem. Jmenovací dekret podepsal sám císař 6. ledna 1911 s tím, že Einstein v Praze nastoupí k 1. dubnu (podrobnosti a některé faksimilie jsou na příslušném panelu [2]).

O pět minut později v seriálu je Einstein již v pražském literárním a uměleckém salonu Berty Fantové na Staroměstském náměstí a hovoří s Franzem Kafkou. Jejich vzájemný dialog je vtipný, ale opět vymyšlený (AE: *Takže jste umělec?* FK: *Mohl bych tvrdit, že jsem spisovatel, ale pravdou je, že pracuji ve státní správě. Ubíjí mě to.* AE: *Chápu vás. Mnoho let jsem pracoval jako úředník.* FK: *Nepřipadal jste si jako šváb?* AE: *Jaká nevhodná metafora.* FK: *Myslíte?*). Podle dobových svědectví sedával Kafka v místnosti tichý a zamyšlený a postupně do salonu i přestal docházet, protože mu prostředí přišlo snobské. Einstein byl u Berty Fantové příležitostným hostem, hrával na housle a měl i přednášet o své teorii relativity. Také prý nikdy nepřišel se svou ženou Milevou. V seriálu naopak spolu ze salonu odcházejí a na Karlově mostě se pohádají. Nesprávné je i to, že po mostě jdou směrem z Malé Strany, tedy opačně než ze Starého Města. Tak by se domů na Smíchov dostali jen obtížně... Noční záběr poloprázdného Karlova mostu je nicméně nádherný a ikonický, Prahu díky tomu na první pohled pozná i ne jeden divák z jiné země či dokonce kontinentu.

Následuje Einsteinova účast na první Solvayově konferenci v Bruselu, tematicky věnované teorii záře-



**Obr. 23** Filmová verze jmenování Einsteina profesorem teoretické fyziky v Praze. K osobnímu setkání s císařem ve skutečnosti nikdy nedošlo. Zdroj: *National Geographic*

ní a kvant. Tam se Einstein jako zástupce Rakousko-Uherska setkal s Lorentzem, Planckem, Poincarém, Langevinem, Perrinem, Rutherfordem, de Broglie, Sommerfeldem, Wienem, Jeansem a dalšími předními fyziky oné doby, spřátelil se s Marií Curie-Sklodowskou (kterou výborně ztvárnila Klára Issová). Bohužel se nedozvíme nic o vědeckých otázkách tenkrát diskutovaných v Bruselu, scénář se soustředí na domnělé milostné pletky této výjimečné ženy, dvojnásobné laureátky Nobelovy ceny (za fyziku 1903 a za chemii 1911). A po návratu do Prahy řeší Einstein zase jenom žárlivost a náladovost své ženy Milevy.

Vše zachraňuje jediná fyzikální scéna. Opět se odehrává na Karlově mostě. Tentokrát za bílého dne Albert diskutuje s přítelem Bessem, který ho přijel navštívit, viz obr. 24.

Sděluje mu, že si uvědomil velmi významný důsledek principu ekvivalence: *gravitace ohýbá světlo*. Podle Einsteina gravitace hmotného objektu, například Slunce, mění geometrii okolního prostoru a plynutí času. To způsobí, že jinak přímý paprsek bude odchýlen. Takový jev lze pozorovat při slunečním zatmění: stačí porovnat polohy hvězd vyfotografované v blízkosti zakrytého disku Slunce s jejich obvyklými polohami na nočním nebi. Je ilustrován na pohybu klády plující po Vltavě pod mostem. Když se kláda přiblíží k protijedoucímu parníku, je odkloněna, protože parník rozrází vodu a mění její proudění, její „geometrii“. Je to docela pěkný nápad, až na to, že trajektorie klády je od parníku odkloněna, zatímco paprsek hvězdy je naopak gravitací Slunce přitahován. Ale budiž...

Scénář zde správně reflektuje nejdůležitější vědecké téma, kterým se Einstein v Praze zabýval. Již v červnu 1911 (pouhé dva měsíce po příjezdu) odesílá do *Annalen der Physik* přehledný článek [23] nazvaný *O vlivu gravitace na šíření světla*. V něm mimo jiné odvozuje vzorce pro astronomicky měřitelný *gravitační rudý posuv* a také *ohyb světelných paprsků* způsobený gravitací hmotného objektu. Na obr. 25 vpravo je kopie poslední stránky tohoto článku se vzorcem pro úhlový odklon paprsku procházejícího v těsné blízkosti slunečního disku. Protože se Einstein v té době zabýval jenom statickým polem a domníval se, že vliv gravitace lze popsat pouze lokální změnou rychlosti světla (nikoli metrickým tenzorem pro deformaci celého prostoročasu), liší se tento vzorec od správného



**Obr. 24** Einstein na Karlově mostě vysvětluje příteli Bessovi, že v důsledku principu ekvivalence musí gravitace ohýbat světelné paprsky. Zdroj: National Geographic

z roku 1915 o faktor  $\frac{1}{2}$ . V Praze konkrétně předpověděl odklon o 0,83 úhlové sekundy, o tři roky později pak správnou hodnotu 1,75 úhlové sekundy (podrobnosti lze najít v [24]). Je pozoruhodné, že přesně tento vzorec i obrázek z článku [23] lze zahlédnout na tabuli v české bláznivé sci-fi komedii *Zabil jsem Einsteina, pánové...*, jak dokládají záběry z filmu na obr. 25 vlevo. Barrandovští tvůrci v roce 1969 evidentně odvedli skvělou práci!

### Berlín a válka – Einstein, Haber, Freundlich (JP)

Druhá polovina seriálu líčí géniovu životní i vědeckou dráhu na pozadí dějinných událostí od roku 1913 až do závěrečného roku 1955. Einstein z Prahy přechází do Curychu, aby tam se svým dávným přítelem Marcelem Grossmannem dále rozvinul svou ideu obecné teorie relativity. Záhy vzniká jejich společné dílo [25]. Albert je autorem první, fyzikální části, zatímco Marcel druhá, matematická část. Ale nenechte se mýlit: i v první části je spousta složitých a krásných vzorců z Riemannovy–Christoffelovy diferenciální geometrie a tenzorového počtu v dobovém formalismu! Tuto pokročilou teorii se Einstein s pomocí přítele Grossmana tehdy rychle naučil z významné práce italských matematiků Ricciho a Levi-Civity [26].

Ale ani v Curychu Einstein nevydrží déle než tři semestry. Brzy je přilákan do epicentra tehdejší německé fyziky – do Berlína (kromě vědy ho tam vábí také sestřenice Elsa Löwenthalová, jeho milénka a následně i druhá manželka). Max Planck mu nabízí prestižní členství v Královské Pruské akademii věd (Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften). Tomu nemůže a ani nechce odolat. Do Berlína Einstein přijíždí v předvečer 1. světové války na jaře roku 1914.

Válečné období vykresluje 6. a 7. epizoda seriálu. Setkáváme se v nich především se dvěma vědeckými kolegy a blízkými Albertovými přáteli: *Fritzem Haberem* a *Erwinem Freundlichem*.

Zatímco Einstein je pacifista, který zaslepené německé vlastenectví a z něj plynoucí válku považuje za katastrofu (kvůli čemuž se ocitá ve společenské izolaci), Haber (také židovského původu) se aktivně zapojí do válečné mašinerie. Společně je vidíme na obr. 26. Je opravdu krutou ironií, že Haber, který vynálezem syntézy amoniaku z plynného dusíku zachránil stovky milionů lidí před smrtí hladem, současně naopak přímo přispěl ke kruté smrti statisíců vojáků na frontách. Jako ředitel chemické sekce při ministerstvu války byl vůdčí osobností vývoje chemických zbraní. Jeho žena



**Obr. 25** Poslední strana článku [23] se vzorcem a obrázkem pro ohyb světelných paprsků gravitačním polem Slunce (vpravo). Článek odeslaný z Prahy koncem června 1911 je významným krokem na Einsteinově cestě k formulaci obecné teorie relativity. Přesně tento vzorec a obrázek vidíme na tabuli (vlevo) na záběrech z české komedie „Zabil jsem Einsteina, pánové...“. Zdroj: *Knihovna dějin přírodních věd MFF UK*

Clara kvůli tomu 2. května 1915 spáchala sebevraždu, což je v seriálu rovněž zachyceno.

Z hlediska obecné relativity je ale důležitější jiná linie příběhu, která je v seriálu působivě a docela věrně vykreslena (i když diváka může třeba zarazit, že v prvních dnech války leží na polích snůh – ale co měli filmaři při natáčení v prosinci v Čechách dělat?). Jde o výpravu astronoma Erwina Freundlicha na Krym. Tam měl 21. srpna roku 1914 pozorovat úplné zatmění Slunce, aby potvrdil anebo vyvrátil Einsteinovu pražskou předpověď o ohybu světelných paprsků v gravitačním poli. Einstein osobně shání finance pro nákladnou expedici. Dokonce kvůli tomu navštíví velkopřemyslníka Gustava Kruppa (jeho sídlo v Essenu ztvárnil zámek a park Sychrov) a podaří se mu získat od něj „sponzorský příspěvek“. Freundlichova výprava odjíždí na východ, ale po sarajevském atentátu 28. června 1914 propuká o měsíc později válka, která se brzy stane celoevropskou. Německá vědecká výprava je ruskými vojáky zajata a obviněna ze špionáže (fotografická technika a dalekohledy samozřejmě vzbudí podezření), viz obr. 27. Po velkém úsilí je sice propuštěna výměnou za ruské zajatce (ve věci se dokonce angažují pruský císař a ruský car), zatmění ale už dávno proběhlo, expedice neuspěla. Koho by to však zajímalo, když šlo doslova o holý život.

### Ted' je teorie kompletní! (JP)

Děsivá válka dosud nebyvalého rozsahu doléhá na miliony lidí po celé Evropě. Einstein se přesto dokáže plně soustředit na své největší dílo: *zobecnění teorie relativity*.

Již v Bernu a Praze zformuloval klíčový princip ekvivalence, takže ví, že zobecněním na *neinerciální* (tedy zrychlené) vztažné soustavy vybuduje relativistickou teorii gravitace. Díky spolupráci s Grossmannem také už našel nezbytný matematický aparát tenzorového počtu v obecně zakřivených (neeuclidovských) prostoročasech. Novým ústředním pojmem popisu gravitačního pole se tak stává *metrika*  $g_{\mu\nu}$ , *čtyřrozměrného prostoročasu*. Ta určuje, jak se v okolí kteréhokoliv bodu měří vzdálenosti a také úhly mezi různými směry. Protože je nutné kombinovat informace ze tří prostorových směrů a jednoho časového, nabývají oba indexy  $\mu$  a  $\nu$  čtyř hodnot. Metrika  $g_{\mu\nu}$  je proto matice 16 funkcí, ale kvůli symetrii  $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$  jich je jenom 10 nezávislých. Právě tato sada *deseti metrických funkcí*  $g_{\mu\nu}$  *popisuje gravitační pole* v Einsteinově obecné relativitě.



Obr. 26 Fritz Haber s Albertem Einsteinem v seriálu Génius. Zdroj: National Geographic



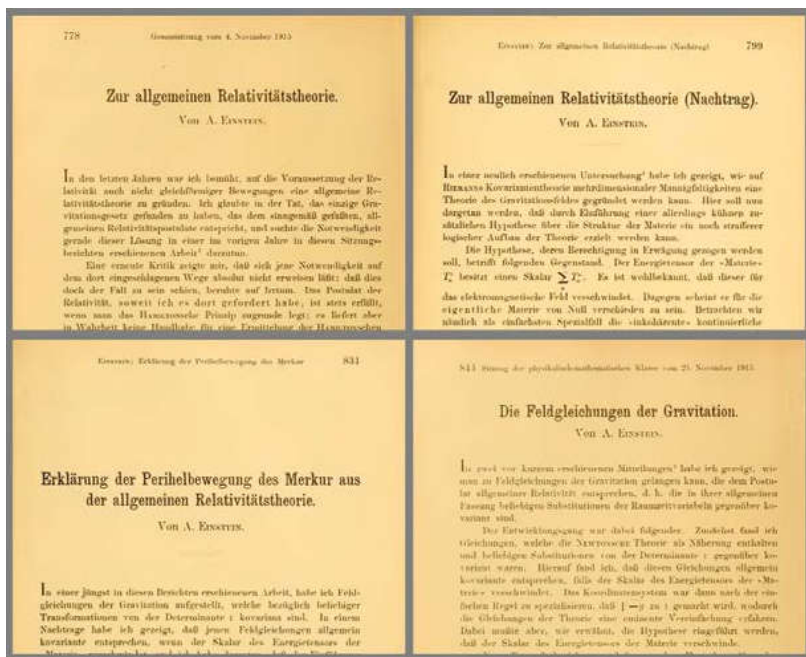
Obr. 27 Zatmění astronoma Erwina Freundlicha ruskými vojáky znemožnilo, aby 21. 8. 1914 na Krymu pozoroval zatmění Slunce. Zdroj: National Geographic

Jak ale vypadají správné *rovnice gravitačního pole*? Konkrétní geometrie, která je popsána metrikou  $g_{\mu\nu}$  musí být fyzikálně určena přítomnou hmotou. Lze předpokládat, že čím větší bude hmota (neboli energie) v daném místě, tím větší tam bude lokální zakřivení. Ale jaké jsou všechny relevantní vlastnosti hmoty? Jak vůbec popsat zakřivení geometrie? A jak dát oboje správně dohromady?

S těmito složitými otázkami Einstein urputně zápolil dva roky. Je to těžký a osamělý boj. Tápe, dělá chyby, občas má správný nápad, ale pak ho zase zavrhne a vydá se jinou cestou, která ho zavede do slepé uličky. Spletitý příběh je popsán v důkladných biografiích a historických studiích, například [27]. Až na podzim roku 1915 si Einstein definitivně uvědomí, že klíčovým objektem hledaných rovnic musí být *Ricciho tenzor*  $R_{\mu\nu}$ . Ten lze spočítat z Riemannova tenzoru křivosti  $R_{\alpha\mu\beta\nu}$  když se prostě zúží v indexech  $\alpha$  a  $\beta$  (přičemž složky  $R_{\alpha\mu\beta\nu}$  lze explicitním vzorcem spočítat z metriky  $g_{\mu\nu}$  a z jejich 1. a 2. parciálních derivací podle všech čtyř prostoročasných souřadnic). Riemannův tenzor křivosti má hodně indexů a složek, protože v různých dvojrozměrných řezech je čtyřrozměrný prostoročas obecně zakřiven různým způsobem. Do rovnic gravitačního pole ale vstupují jenom jejich specifické kombinace popsané právě Ricciho tenzorem  $R_{\mu\nu}$ . To je klíčový Einsteinův objev.

Pak už jde všechno ráz na ráz. Během pár týdnů v listopadu roku 1915 Einstein svou teorii úplně dokončí. Najde správné, zcela unikátní rovnice gravitačního pole. Jsou tak dobré, že ani dnes po sto letech ještě neznáme lepší. Skrývají v sobě dosud netušené jevy, které ovlivní fyziku a astronomii 20. století – předpoví rozpínání vesmíru, existenci černých děr, gravitačních vln. Ale také správně zkorigují všechny předpovědi Newtonovy teorie ve sluneční soustavě. Díky Einsteinovým rovnicím dnes přesně fungují globální navigační systémy, jako je GPS či Galileo, které všichni běžně používáme.

Jestliže rok 1905 byl pro Einsteina plný zázraků, pak jeho listopad 1915 byl měsícem ještě zázračnějším. Jak probíhal? Einstein dnem i nocí hekticky pracoval, přemýšlel, počítal. A každý čtvrtek předkládal své nápady i výsledky nejbližším kolegům na pravidelných plenárních zasedáních Pruské akademie věd v Berlíně. Takto



**Obr. 28** Čtyři fundamentální příspěvky Alberta Einsteina z listopadu roku 1915, v nichž během několika týdnů zcela dobudoval svou teorii gravitace – obecnou relativitu.

zformuloval, sepsal a prezentoval celkem čtyři fundamentální příspěvky [28–31], které jsou datovány 4., 11., 18. a 25. listopadu 1915 (v *Sebraných pracích Alberta Einsteina* [4] to jsou dokumenty 21., 22., 24. a 25. obzářené v 6. svazku). Záhloví jejich titulních stran jsou přetištěny na obr. 28.

Nemáme tu prostor podrobněji rozebírat obsah těchto příspěvků, takže jen velmi krátce:

**4. 11.** Einstein navrhuje rovnice gravitačního pole, které v dnešním zápise mají tvar  $R_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$ , kde  $R_{\mu\nu}$  je *Ricciho tenzor* křivosti prostoročasu a  $T_{\mu\nu}$  je *tenzor energie-hybnosti* popisující přítomnou hmotu. Nejsou ještě zcela v pořádku, ale v *nepřítomnosti hmoty v daném místě* již mají správnou podobu  $R_{\mu\nu} = 0$ .

**11. 11.** Prezentuje doplněk. Během týdne si uvědomí, že jeho rovnice pole s hmotou platí jen pro speciální třídu souřadnicových transformací, kdy je determinant matice metriky jednotkový,  $|\det g_{\mu\nu}| = 1$ . Tuto omezující podmínku pak musí opustit.

**18. 11.** Soustředí se na *hledání trajektorií planet* ve sféricky symetrickém gravitačním poli kolem Slunce. Zcela správně vyřeší své polní rovnice  $R_{\mu\nu} = 0$  a pak pohybové rovnice geodetik do *druhého řádu* perturbací. Vyjde mu, že planety *neobíhají po keplerovských elipsách, ale po neuzavřených trajektoriích*, jejichž přísluní se po každém oběhu mírně posouvá. *Anomální stáčení perihelia Merkura přitom trápilo astronomy více než padesát let* (dokonce kvůli tomu vymysleli neexistující planetu Vulkán). Einstein svou novou gravitační teorii toto stáčení teď elegantně a přirozeně vysvětlil zakřivením prostoročasu v okolí Slunce. Dokonce *spočítal přesnou hodnotu*, která činí 43 úhlových sekund za století. Přičemž *tehdejší hodnota změřená astronomy byla mnohem nepřesnější*, konkrétně  $45 \pm 5$  úhlových sekund za století.

V následujících dnech je Einstein radostí bez sebe, nemůže spát, prožívá extatické stavy! V dopise příteli Ehrenfestovi 17. ledna 1916 píše doslova: „*Představ si mou radost, když jsem si uvědomil, že rovnice jsou obecně kovariantní a předpovídají správný posuv perihelia Merkura. Po celé dny jsem byl štěstím bez sebe*

*a v euforii.*“ Přesto se dokáže soustředit, aby svou teorii úplně dokončil. Kompletní relativistickou teorii gravitace s *obecnými rovnicemi pole* najde během jediného týdne.

**25. 11.** Na čtyřech stranách textu prezentuje správné rovnice gravitačního pole, které platí za všech okolností v přítomnosti libovolné hmoty. V dnešním zápise mají tvar  $R_{\mu\nu} = 8\pi(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T)$ . Oproti verzi ze 4. 11. je na pravé straně jeden dodatečný člen obsahující součin metriky  $g_{\mu\nu}$  a *skaláru*  $T$ , což je stopa (zúžení) tenzoru energie-hybnosti,  $T = T_{\mu}^{\mu} \equiv T_{\mu\nu}g^{\mu\nu}$ . Toť vše. *Obecná teorie relativity je nyní kompletní!*

### Vznik obecné relativity v seriálu *Génius* (JP)

Nesporně jde o výjimečný okamžik v dějinách vědy. Einsteinův listopad 1915 je fascinující příběh zrodu jedné z největších a nejkrásnějších fyzikálních teorií. Perfektně demonstruje Einsteinovu vědeckou genialitu i jeho obrovskou vytrvalost a osobní nasazení.

Jak je tento klíčový příběh zachycen v seriálu *Génius*? Dostalo zde rozsáhlé životopisné dílo svěmu předsevzetí? Musím, bohužel, s lítostí konstatovat, že nedokonale. Vše je sice vizualizováno pěkně a impesivně, ale z historického hlediska *ne zcela* adekvátně. Na vině je scénář, který nebyl správně sestaven a napsán. Přitom by stačilo toto období Einsteinova vědeckého života více konzultovat s historiky. V napsaném scénáři již nebylo možné pod velkým časovým tlakem nic zásadnějšího změnit. Naštěstí leccos pak ještě zachránili filmaři, režisér a vynikající herci.

Jako odborný poradce zodpovědný za věrné a detailní návrhy všech souvisejících tabulí jsem měl problém organicky propojit skutečnou historii Einsteinova listopadu 1915 (stručně popsanou v předchozí části) s již napsanými scénami a replikami. Dovolte mi situaci podrobněji popsat.

Když mi 2. prosince 2016 z Barrandova e-mailem poslali čerstvý scénář 7. epizody, byl jsem zklamán. Na některých místech dokonce zděšen. To když jsem se dočetl, jak si tvůrce obecné relativity v klíčových scénách mumlá zcela nesmyslná hesla (překládám je zde do češtiny):

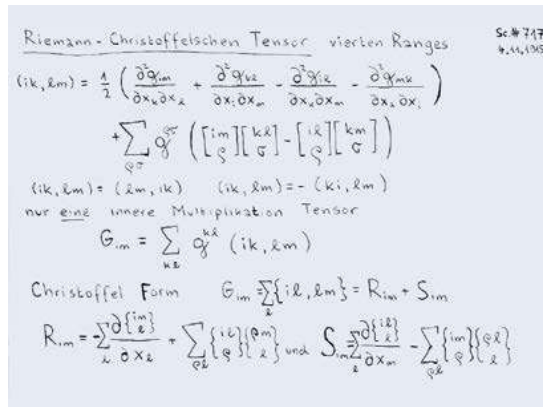
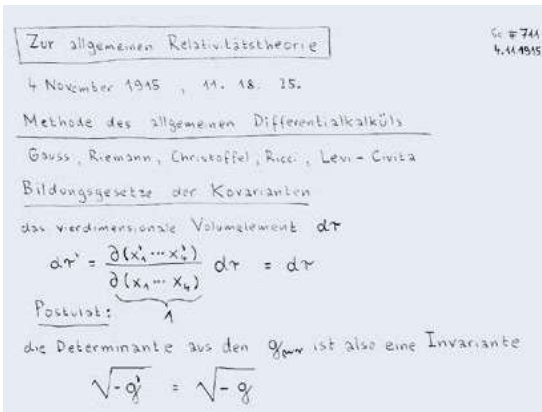
„Když je zátěž Ricciho tenzoru transmutována...“

„Polynomiální drift lze kodifikovat...“

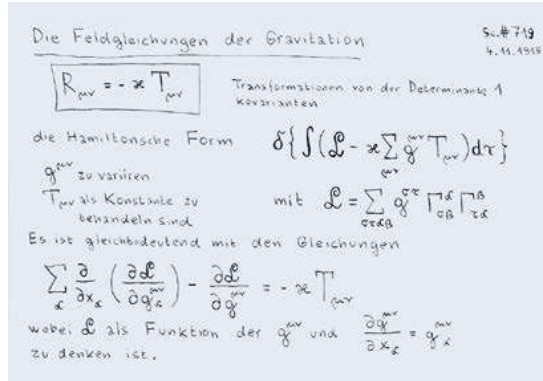
„To by vyžadovalo přerovnění Hennegerovy funkce...“

„Zneguj Bernaldův derivát...“

Vždyť jsou to absolutní bláboly, takové pojmy se v matematice a fyzice nikde nevyskytují! Ani koncepte a obsah scén nejsou adekvátní: namísto přednášek před kolegy z akademie věd, ve kterých každý čtvrtěk stručně shrnuje své nové výsledky, k nimž během uplynulého týdne dospěl, má Einstein dle scénáře konat teatrální veřejná představení před stále větším počtem studentů a veřejností. Na samém začátku 4. 11. 1915 před ně předstoupí a prohlásí: „*Chystám se pustit do obrovské pošestlosti. Tohle bude první ze čtyř přednášek. Určitě mě budete mít za šílence. Ale na poslední přednášce tuhle bestii buď zkrátím, ... nebo jí budu ušlapán.*“ Nové hluboké teorie vznikají v klidu pracoven, usilovným přemýšlením a počítáním, privátní dedukcí, nikoli během veřejných „cirkusových“ představení. Einstein na začátku listopadu 1915 nemohl tušit, že tak složitou věc, se kterou neúspěšně zápolil mnoho let, *celou vyřeší během pouhých tří týdnů*. A jistě by svou úchvatnou teorii obecné relati-



**Obr. 29** Předloha tří tabulí pro scény ze 4. 11. 1915. Nahoře je začátek Einsteinovy přednášky (scéna 711), vpravo nahoře matematický formalismus – konkrétně definice Riemannova a Ricciho tenzoru (scéna 717), vpravo dole pak Einsteinovy předběžné rovnice gravitačního pole a jejich odvození z variačního principu (scéna 719). Zdroj: osobní archiv J. Podolského



vity nenazval „bestii“, ani by neoznačil své úsilí jako „pošetilé“.

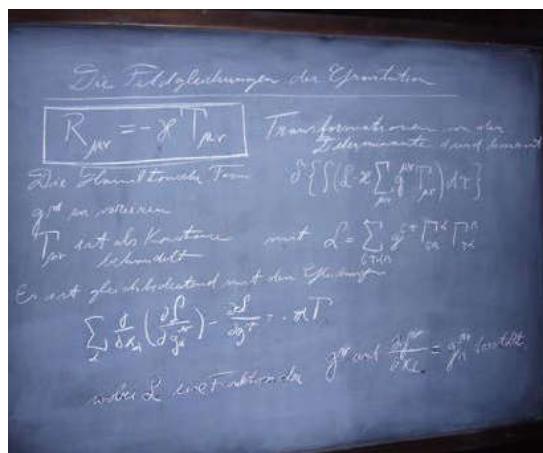
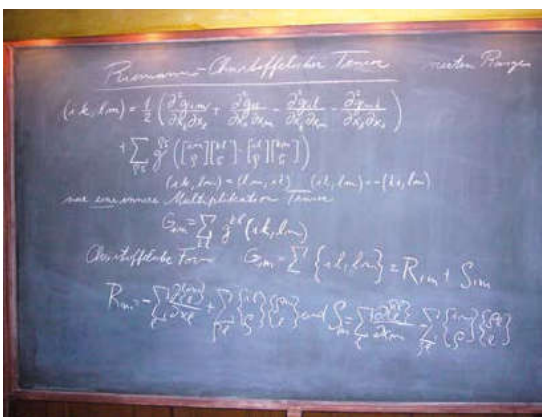
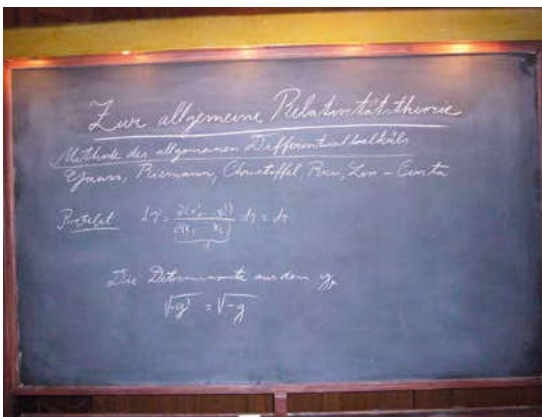
Po přečtení této prapodivné verze scénáře jsem okamžitě sedl k počítači a napsal producentům a tvůrcům seriálu dopis s názvem „Komentáře a navržené úpravy scén 7. epizody“. Označil jsem v něm popis Einsteinova „zázračného listopadu 1915“ za „vysoce nepřesný“ a popsal své konkrétní výhrady. Reakce byla pozitivní, ale současně i konzervativní: strukturu scénáře už nelze z časových důvodů změnit, ale mohl jsem navrhnout terminologické změny monologů tak, aby odpovídaly fyzikální a historické skutečnosti. A dostal jsem volnou ruku navrhnout tabule, aby v dané situaci co

nejlépe odpovídaly správné chronologii, obsahu i formalismu Einsteinových objevů. Byl jsem rovněž pozván, abych dohlédl na natáčení těchto scén 11. ledna 2017 na liberecké radnici.

Pustil jsem se tedy do práce, na všechno jsem měl jenom pár dní. Do týdne jsem navrhl celkem jedenáct tabulí pro příslušné scény (z nichž dvě nebyly nakonec použity). Konkrétně to dopadlo takto.

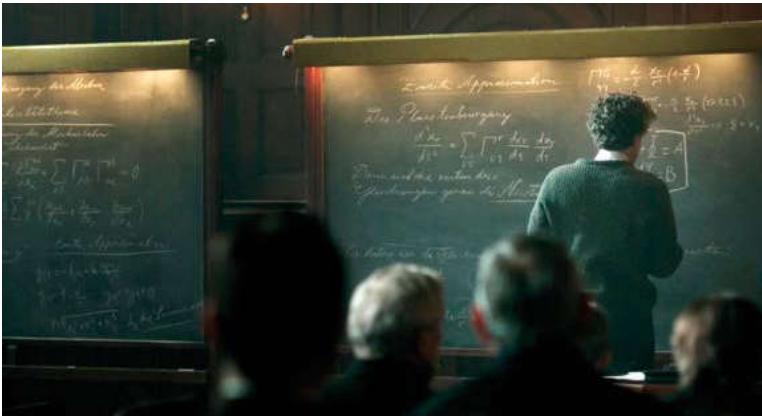
Einsteinova úvodní přednáška ze 4. 11. 1915 je zachycena ve třech scénách, a to 711, 717 a 719, které najdeme ve 13. a 14. minutě 7. epizody. Každou doprovází jedna tabule. Jejich návrhy jsou na obr. 29. Vzorce jsem převzal z Einsteinova příspěvku [28], konkrétně ze stran 779, 781–2 a 783–4.

Na obr. 30 je jejich skutečná podoba těsně před natáčením, když byly křídou přepsány na dobově vypadající tabule profesionálním kaligrafem Ladislavem Koubou. Konce druhé a třetí tabule jsou navíc předepsány tmavou fixou, kdyby se režisér rozhodl, že herec tyto vzorce bude sám psát.



**Obr. 30** Výsledná podoba tří tabulí pro scény ze 4. 11. 1915 vytvořená kaligrafem L. Koubou. Oproti mému původnímu návrhu byla první tabule zjednodušena. (Zdroj: osobní archiv J. Podolského)



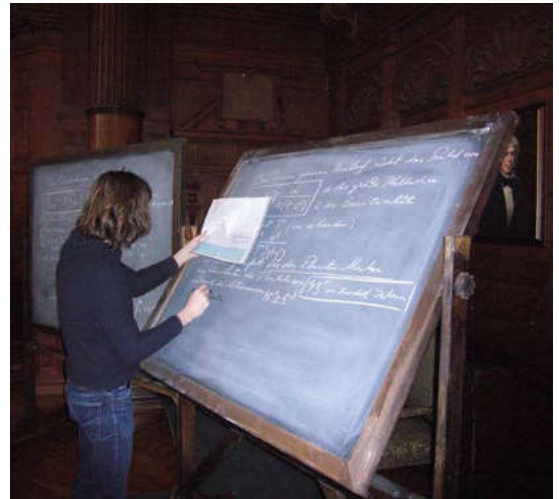


**Obr. 31** Záběr, kdy Einstein 18. 11. 1915 odvozuje pohyb planet kolem Slunce ve své nové teorii gravitace. Zdroj: National Geographic

V seriálu *Génius* není žádná scéna z 11. 11., což je v pořádku, protože mnohem důležitější je Einsteinova přednáška dne 18. 11. 1915. V souladu s historickou skutečností se v ní Einstein soustředí na *hledání drah planet kolem Slunce*. Zachycena je v záběru na obr. 31.

Navrhl jsem čtyři související tabule, viz obr. 32, dvě pro každou scénu 722 a 725 (objeví se ve 14. a 15. minutě). Všechny vzorce v autentické notaci jsou samozřejmě převzaty z Einsteinova příspěvku [30], konkrétně ze stran 832–3, 835–7, 838 a 839.

Einstein tedy 18. 11. prezentuje odvození svého slavného vzorce  $\epsilon = (24\pi^3 a^2)/(T^2 c^2 (1 - e^2))$ , který dnes najdeme v učebnicích obecné relativity. Pomocí něj ihned spočítá přesnou hodnotu Leverrierova anomálního stáčení perihelia Merkura o 43 úhlových sekund za století. Je to první velký triumf jeho teorie gravitace: stáčení je elegantně vysvětleno zakřivením prostoročasu v okolí Slunce. Na obr. 33 je zachyceno, jak



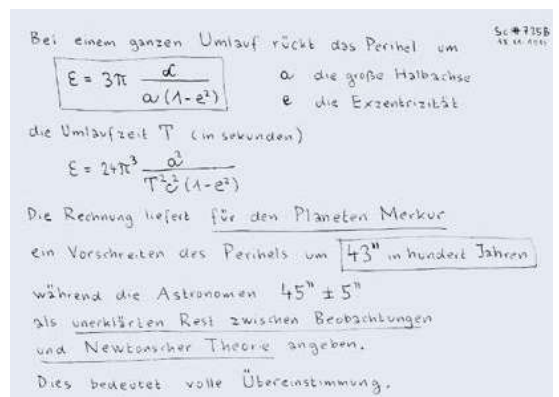
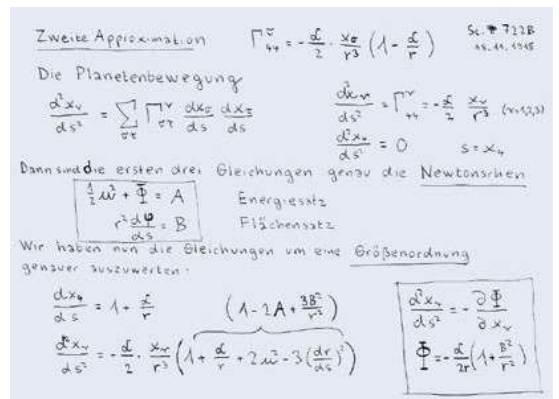
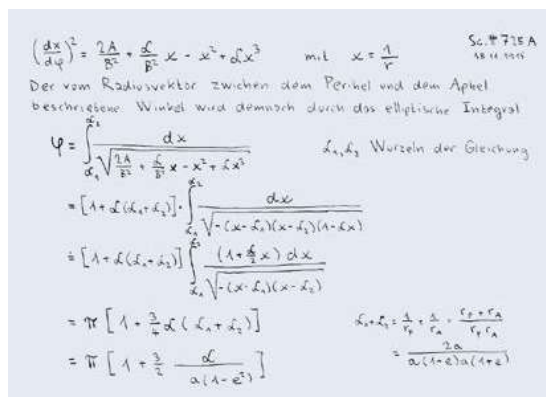
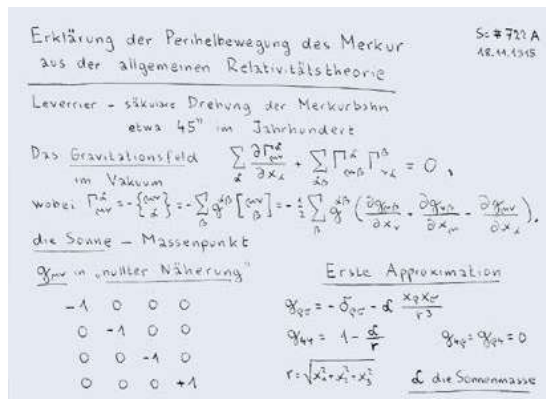
**Obr. 33** Kaligraf Ladislav Kouba při práci na jedné z tabulí pro 18. 11. 1915 krátce před natáčením 11. ledna 2017 na liberecké radnici. Zdroj: osobní archiv J. Podolského

tabuli se vzorcem i číselnými údaji vytváří krátce před natáčením kaligraf podle mé předlohy (té vpravo dole na obr. 32).

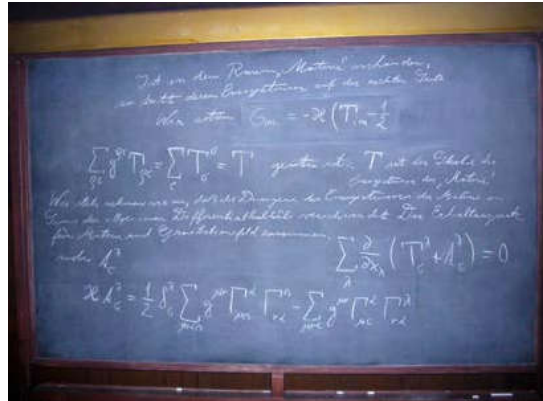
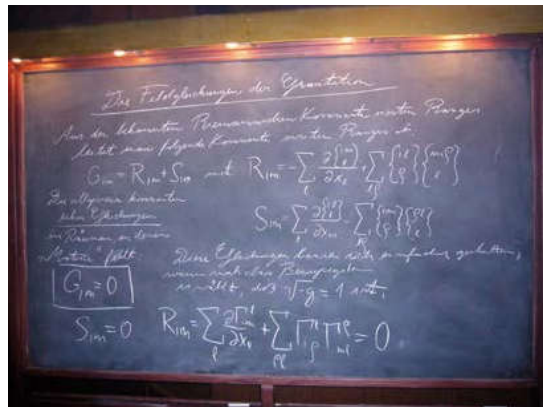
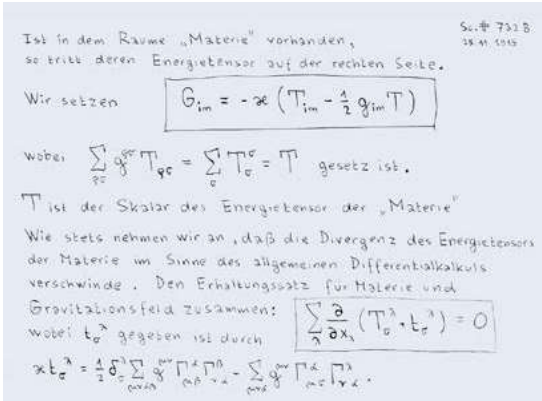
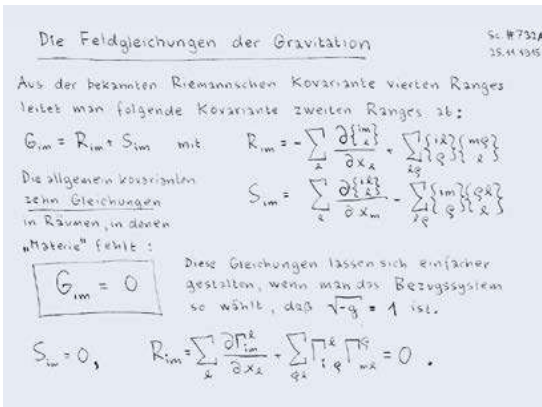
Kompletní dokončení obecné teorie relativity 25. 11. 1915 je zachyceno ve scéně 732 odehrávající se ve 24. minutě. Přesně podle Einsteinova příspěvku [31] jsem připravil dvě tabule, viz obr. 34.

Na obr. 35 je jejich skutečná podoba těsně před natáčením. Všimněte si, že hlavní Einsteinovu rovnici v horní části druhé tabule kaligraf záměrně nedokončil. Právě tuto část dopsal herec Johnny Flynn během natáčení, viz obr. 36.

Nemohu si odpuštít, abych na závěr této části textu nezmínil ještě pár osobních pocitů a vzpomínek



**Obr. 32** Předloha čtyř tabulí pro scény z 18. 11. 1915. Rozvojem do druhého řádu Einstein nejprve vyřeší polní i pohybové rovnice (nahore), pak dopočítá složitý eliptický integrál, čímž dostane správný výsledný vzorec (dole). Zdroj: osobní archiv J. Podolského



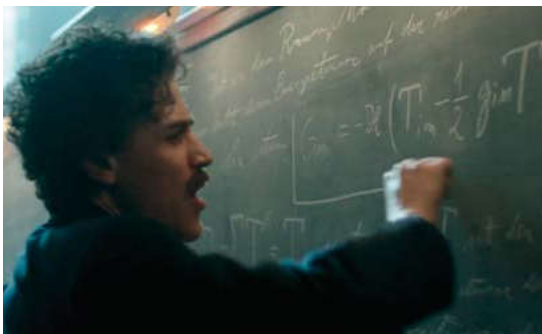
**Obr. 34** Předloha dvou tabulí pro klíčovou scénu 25. 11. 1915, kdy Albert Einstein správnou formulací rovnic gravitačního pole zcela dokončuje obecnou teorii relativity. V jeho tehdejší notaci je Ricciho tenzor označen symbolem  $G_{im}$ . Zdroj: osobní archiv J. Podolského

**Obr. 35** Výsledná podoba obou tabulí pro scénu 25. 11. 1915. Zdroj: osobní archiv J. Podolského

na vlastní natáčení zmíněných scén. Filmovalo se celou středou 11. ledna 2017 na liberecké radnici. Řidič poslaný z Barrandova mne před domem ve Vršovicích vyzvedl v sedm ráno. Po Praze jsme přibrali pár dalších lidí a před devátou jsme už byli v Liberci mezi mnoha filmaři, kteří doslova oblehli a obsadili tamní nádhernou radnici, viz obr. 37.

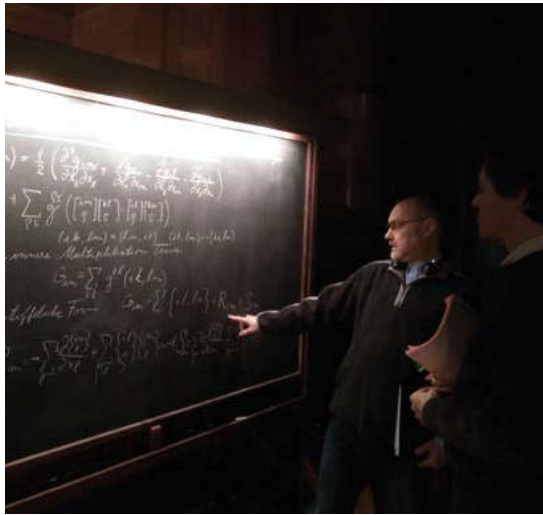
*nádherné!* Mohl jsem se osobně zúčastnit unikátní rekonstrukce jedné z nejpozoruhodnějších událostí v dějinách vědy, s vynikajícími herci a se špičkovými filmaři. V autentických kulisách, v dobové výpravě. Ten den jsem si připadal jak ve snu. Einsteinovou gravitační teorii se zabývám celý svůj profesionální život, fascinuje mne i její historie. Dodnes nemohu uvěřit, že zrovna já jsem mohl radit „Albertu Einsteinovi“, jak má svoji obecnou teorii relativity vytvořit! Ale vážně to tak je, což dokazuje obr. 38.

S kaligrafem Láďou Koubou jsme se rychle pustili do práce a připravili všechny tabule na natáčení. Scén se filmovalo opravdu hodně, každá se mnohokrát opakovala. Tabule se musely stále znova obnovovat. Někdy se podle přání režiséra Jamese Hawese dokonce ještě měnil jejich obsah a uspořádání do konečné podoby. Doslova na poslední chvíli, před celým štábem, nalíčenými herci a velkým komparesem. Bylo to hektické, náročné psychicky a pak i fyzicky. A současně absolutně



**Obr. 36** Johnny Flynn alias Albert Einstein dopisuje správný finální tvar rovnic gravitačního pole. Obecná teorie relativity je teď kompletní! Zdroj: National Geographic

**Obr. 37** Liberecká radnice 11. 1. 2017, kde se natáčely všechny scény Einsteinova zázračného listopadu roku 1915 na Pruské akademii věd. Sál ve druhém patře je zvenčí nasvícen silnými reflektory. Zdroj: osobní archiv J. Podolského



**Obr. 38** Johnnymu Flynnovi alias Albertu Einsteinovi ukazují, co je Ricciov tenzor a jak má napsat své rovnice gravitačního pole obecné relativity. Zdroj: osobní archiv J. Podolského

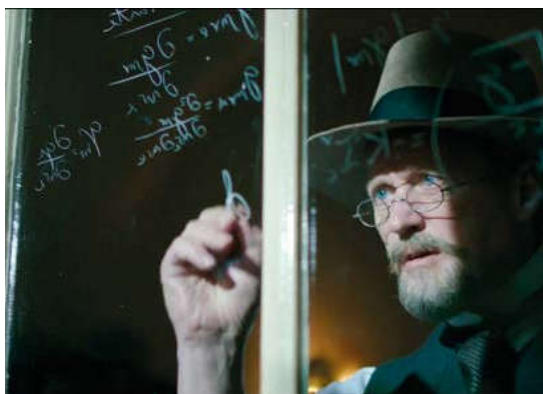
Pozdě v noci na samém konci dlouhého natáčení začalo venku hustě sněžit. Během pár desítek minut napadlo hodně přes 10 centimetrů nového sněhu. Když nás barrandovský řidič vezl z Liberce zpátky do Prahy, byla dálnice úplně zapadaná – Čechy se tu noc proměnily ve sněhové království. V pravém slova smyslu to bylo pohádkové. Neobyčejný závěr neobyčejného dne.

**Hilbert versus Einstein 1915: akce (JP)**

Historie vědy je obvykle složitější, než se na první pohled zdá. Doprovází ji řada překvapivých událostí a souvislostí. Platí to i pro finální formulaci obecné teorie relativity. V tomto případě totiž na scéně stojí vedle sebe hned dva titáni: nejen geniální fyzik Albert Einstein, ale i geniální matematik David Hilbert – viz obr. 39.

Jak k tomu došlo? Docela přirozeně. V létě 1915 Einstein navštívil Hilberta v Göttingenu, kde podrobně referoval o svém mnohaletém úsilí vybudovat obecnou relativitu. Přednášel o tom, že gravitace musí být zakřivení čtyřrozměrného prostoročasu. A že stále ještě hledá správné rovnice gravitačního pole pro metriku  $g_{\mu\nu}$ .

Hilbert, inspirovaný Einsteinovým úsilím i jeho formalismem, k úkolu přistoupil jako matematik. Položil si obecnou otázku: Jakým způsobem by se daly rovnice gravitačního pole elegantně odvodit? Z klasické mechaniky i z teorie elektromagnetického pole věděl, že evoluční rovnice (Newtonovy i Maxwellovy) lze odvodit z Hamiltonova variačního principu nejmenší akce  $\delta S = 0$ .

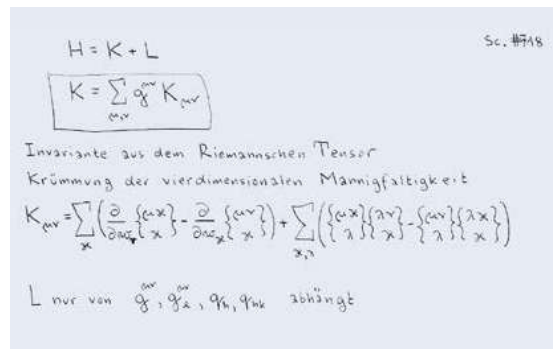
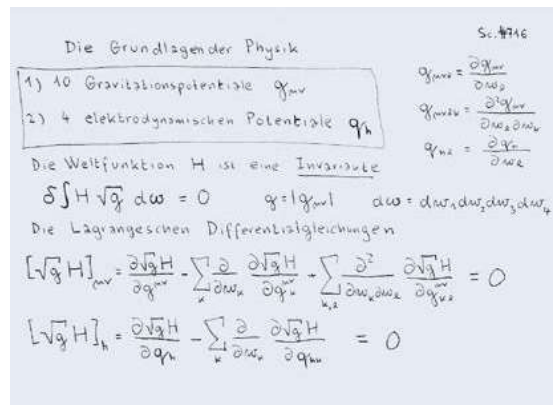


**Obr. 39** V seriálu hraje důležitou roli i slavný matematik David Hilbert. Zdroj: National Geographic

Aparát variačního počtu je sice pokročilý, ale pomocí matematických triků lze příslušné evoluční rovnice opravdu dopočítat.

Stačí jenom znát správnou akci  $S$  pro gravitační pole v obecné teorii relativity. A právě tuto akci Hilbert našel! A stalo se tak koncem listopadu 1915! Dnes ji nazýváme Einsteinova–Hilbertova akce a vypadá opravdu jednoduše:  $S = \int R \, d\Omega$ . Klíčová je funkce  $R$  zvaná Ricciov skalár křivosti (získá se zúžením Ricciovho tenzoru  $R_{\mu\nu}$ ). Symbol  $d\Omega$  značí invariantní element čtyřrozměrného objemu a integrace se provádí přes zvolenou čtyřrozměrnou oblast. Aplikujeme-li obecnou rovnici  $\delta S = 0$  na akci  $S = \int R \, d\Omega$ , opravdu dostaneme přesně Einsteinovy rovnice gravitačního pole. Vypadá to jako zázrak!

Jak David Hilbert na správnou akci obecné relativity přišel? Einstein mu napověděl, že gravitační pole se musí popisovat metrikou  $g_{\mu\nu}$  a že klíčová je křivost prostoročasu popsána Riemannovým tenzorem křivosti  $R_{\alpha\mu\beta\nu}$ . Hilbert zvolil nejjednodušší skalár, který se z Riemannova tenzoru dá získat. Zúžením v inde-



**Obr. 40** Předloha tabulí pro scény, kdy David Hilbert v listopadu 1915 formuluje akci, jejíž variaci lze odvodit Einsteinovy rovnice gravitačního pole. Zdroj: osobní archiv J. Podolského

xech  $\alpha$  a  $\beta$  získáme Ricciov tenzor  $R_{\mu\nu}$  a dalším zúžením ve zbylých dvou indexech  $\mu$  a  $\nu$  získáme Ricciov skalár  $R$ , který už žádné indexy nemá. Což je přesně veličina vystupující v integrálu Einsteinovy–Hilbertovy akce  $S$ . Jak prostě...

Je opravdu neuvěřitelnou shodou okolností, že Hilbert správnou akci obecné teorie relativity objevil a předal k prezentaci [32] v Göttingenu dne 20. listopadu 1915. Tedy o pět dní dříve než Einstein našel a prezentoval své kompletní rovnice gravitačního pole 25. listopadu v Berlíně. V seriálu *Génius* je to vyliceno jako přímý souboj Hilberta s Einsteinem. V rychlém sledu se dramaticky střídají scény s oběma protagonisty.

Pro scény 716 a 718 s Davidem Hilbertem (jsou ve 14. minutě) jsem navrhl dvě tabule, viz obr. 40.

Vzorce jsou autentické, převzaté z článku [32], který Hilbert nazval *Základy fyziky*. Formalismem variačního počtu se mu v této práci podařilo zastřešit jak relativistickou teorii gravitace, tak teorii elektromagnetismu. Uvažoval totiž *součet akce pro Einsteinovu gravitaci a akce pro Maxwellovu elektrodynamiku*. V Hilbertově notaci jde o objemový integrál ze součtu funkcí  $K + L$ , přičemž  $K$  je jeho označení pro Ricciho skalár  $R$ , zatímco funkce  $L$  přísluší elektromagnetismu. V detailu je to vidět na obr. 41.

V tomto případě se filmaři rozhodli, že Hilbert bude psát své vzorce na okenní tabulky zimní zahrady. To je opravdu zdařilý nápad. Rychlé střídání scén s Einsteinem u tabule v Berlíně a Hilbertem u skleněných oken v Göttingenu je působivé, dramaturguje jejich vzájemný intelektuální soubor.

Komu tedy náleží prvenství? Einsteinovi, nebo Hilbertovi? V oněch hektických dnech listopadu 1915 postupovali k témuž cíli paralelně nezávislými cestami. Hilbert sice předal svůj článek [32] k prezentaci 20. 11., ale vyšel až v roce 1916 a autor v něm mezitím provádl značné změny. Podle nedávných historických výzkumů Hilbert s největší pravděpodobností *doplnil explicitní tvar Einsteinových rovnic až v korekturách*, jež dělal v půlce prosince 1915, tedy až po Einsteinově finálním článku [31], který cituje.

S odstupem doby celou spletitou záležitost hezky zhodnotil Einsteinův životopisec Abraham Pais [27]: „*Einstein je jediný tvůrce fyzikální teorie obecné relativity, spolu s Hilbertem mají společnou zásluhu na objevu této fundamentální rovnice.*“ Míněno: na objevu unikátní Einsteinovy rovnice gravitačního pole.

*Pokračování v příštím čísle.*

## Odkazy a literatura

- [2] Snímky a dokumenty z výstavy *Einstein a Praha, gravitace a vesmír* v Křížové chodbě Karolina v roce 2012 jsou dostupné na stránce <http://ae100prg.mff.cuni.cz/vystava.php>.
- [4] Mnohosvazkové dílo *The Collected Papers of Albert Einstein* vydává od roku 1987 nakladatelství Princeton University Press ve spolupráci s odborníky z dalších institucí v rámci projektu *The Einstein Papers Project*. Postupně bude zpracováno a vydáno celé nesmírně rozsáhlé Einsteinovo psané dědictví čítající více než 30 000 unikátních dokumentů. Digitální verze dosud vydaných svazků je veřejně dostupná na adrese <https://einsteinpapers.press.princeton.edu/>.
- [14] James Clerk Maxwell: „On Physical Lines of Forces, Part II: The Theory of Molecular Vortices applied to Electric Currents“, *Philosophical Magazine* **21**, Series 4, 281–348, (1861).
- [15] Edmund Taylor Whittaker: *A History of the Theories of Aether and Electricity*. Dublin University Press Series, Hodges, Figgis, & Co., Dublin 1910.
- [16] Albert Einstein: „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“, *Annalen der Physik* **17**, 132–148 (1905).
- [17] Albert Einstein: „Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“, *Annalen der Physik* **17**, 549–560 (1905).
- [18] Albert Einstein: „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“, *Annalen der Physik* **17**, 891–921 (1905).
- [19] Albert Einstein: „Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung“, *Physikalische Zeitschrift* **10**, 817–825 (1909).



**Obr. 41** Hilbert píše součet funkcí pro akci teorií gravitace a elektromagnetismu. Symbolem  $K$  označuje Ricciho skalár. Zdroj: *National Geographic*

- [20] Philipp Frank: *Einstein, His Life and Times*. A. A. Knopf, New York 1947.
- [21] Jiří Bičák: *Einstein a Praha*. JČMF, Prometheus, Praha 1979.
- [22] Michael D. Gordin: *Einstein in Bohemia*. Princeton University Press, Princeton 2020.
- [23] Albert Einstein: „Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes“, *Annalen der Physik* **35**, 898–908 (1911).
- [24] Clifford M. Will: „The Confrontation between General Relativity and Experiment“, *Living Rev. Relativity* **17**, 4 (2014). Dostupné online na adrese <http://www.livingreviews.org/lrr-2014-4>.
- [25] Albert Einstein a Marcel Grossmann: *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1913.
- [26] Gregorio Ricci(-Curbastro) a Tullio Levi-Civita: „Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications“, *Mathematische Annalen* **54**, 125–201 (1901).
- [27] Abraham Pais: *Subtle is the Lord...* Oxford University Press, Oxford 1982.
- [28] Albert Einstein: „Zur allgemeinen Relativitätstheorie“, *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, *Sitzungsberichte*, část 2, 778–786 (1915).
- [29] Albert Einstein: „Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Nachtrag)“, *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, *Sitzungsberichte*, část 2, 799–801 (1915).
- [30] Albert Einstein: „Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie“, *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, *Sitzungsberichte*, část 2, 831–839 (1915).
- [31] Albert Einstein: „Die Feldgleichungen der Gravitation“, *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, *Sitzungsberichte*, část 2, 844–847 (1915).
- [32] David Hilbert: „Die Grundlagen der Physik. (Erste Mitteilung)“, *Nachrichten von der Königlich Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math.-phys. Klasse*, 395–407 (1916).

