

Mach a Einstein

Jiří Langer

Matematicko-fyzikální fakulta UK

Albert Einstein mnohokrát vyjádřil svůj vděk Ernstu Machovi za to, že jeho myšlenky ho vedly při vytváření teorie relativity. Nejrozsáhleji se v tomto smyslu vyjádřil ve svém nekrologu na Ernsta Macha [1] z roku 1916 a v autobiografických poznámkách z roku 1949 v [2]. Co se týče obecné teorie relativity byl Machův vliv vcelku přímočarý – Einstein uvádí, jak byl inspirován myšlenkovým schématem, které sám nazval Machovým principem, založeným na Machově kritice pojmu absolutního prostoru [3]. O obsahu Machova principu se bude hovořit podrobněji v jiných přednáškách na této konferenci; my se zde soustředíme spíše na to, jak Einsteina ovlivnila Machova epistemologie v jiných oblastech, především už při vytváření speciální relativity. Tuto otázku zkoumala řada autorů, citujme zde podrobnou analýzu Johna D. Nortona [4], kde je k ní uvedena rozsáhlá literatura. Naším hlavním cílem je však ukázat, že linie „positivistického“ uvažování, odvíjející se od Macha přes vídeňský kroužek a operacionalistickou školu, může být užitečná při chápání obsahu fyziky i dnes.

1. Einstein a filosofie

Je dobře známo, že Einstein měl k filosofii vřelý vztah. Citujme například ze zmíněného nekrologu na Macha [1]:

Proč by se měl nadaný přírodovědec zabývat epistemologií? Nenajde se cennější práce v jeho specializaci? To slyším od mnoha kolegů a u ještě většího počtu z nich cítím, že tak smýšlejí. Tento pocit však nemohu sdílet. Když si vzpomenu na své nejschopnější studenty ... mohu potvrdit, že měli o epistemologii hluboký zájem.

V řadě esejí [5], [6], se odvolává na Humea, Berkleyho, Kanta, Russela, Schlicka ... i Macha, vždy pochvalně a konkrétně, uvádí, co si z jejich učení vzal. V tom je ovšem drobný háček. Řada filosofů by ho možná trochu pohrdlivě označila za eklektika a snad by i plně nesouhlasila s Einsteinovou interpretací myšlenek filosofických velikanů. Eklekticismus odsuzuje Shakespearův Antonio v *Kupci benátském*: „I ďábel cituje bibli, když se mu to hodí“. Jenže o čertovi říká Goethe: „jenž dráždě k činnosti, jsa ďáblem, musí tvořit“ – a pro Einsteina nebyla epistemologie cílem, nýbrž prostředkem k tvůrčí činnosti ve vědě. Když si vybíral – a třeba i mírně reinterpretoval – některé myšlenky, přinášelo-li mu to plodnou inspiraci pro fyziku, proč ne?

Einsteinovi se dostalo čelného místa v Schilppově Library of Living Philosophers [2], nelze jej však zařadit do žádného filosofického směru. Filosofové komentátoři v něm nalézají rysy realismu, idealismu, platonismu, pozitivismu ... – je to prostě Einstein. A z tohoto hlediska musíme přistupovat i k pátrání po vlivu, jenž na něho měla Machova filosofie. (Antoniův výrok můžeme ovšem uplatnit i obráceně. Einstein byl příliš lákavým maskotem, než aby se o něj neucházely různé filosofické školy. Zmiňme článek Philippa Franka, Einsteinova nástupce na německé univerzitě v Praze, v [2], kde poukazuje na spřízněnost Einsteina s logickými empiristy, i za cenu určitých Frankových ústupků od novopositivistických kritérií. Einsteinovi byl tento směr, hlásící se k Machovi jako svému předchůdci, jistě blízký, měl však k němu i výhrady. Koneckonců, i teoretici superstrun často poukazují na to, že jsou to právě oni, kdo naplňují Einsteinův odkaz, i když pomíjejí možná to nejhlavnější – že obecná relativita nepracuje s předem daným pozadím. To, že geometrie je určena rozložením hmoty a pohyb hmoty geometrií je určitě „machovský“ rys obecné relativity, jenž není naplněn v teorii superstrun, viz např. [7])

2. Machova epistemologie

Mach sám sebe neprohlašoval za filosofa („není žádná Machova filosofe, nanejvýše snad metodologie ...“, napsal), nicméně jeho vliv byl značný. Svá epistemologická hlediska vyložil v *Mechanice* [3], především pak v *Analýze počítků* z roku 1886 [8]. Uvedme – mírně zkráceně – několik citátů z tohoto díla.

„Užitečný zvyk označovat relativně stálé komplexy jménem a pojímat je jednou myšlenkou vede ke zvláštnímu konfliktu, když se snažíme analyzovat jejich části a izolovat je. Vágní obraz, který se pozorovatelně nezmění, když něco odebereme, vede k představě, že to musí být něco, co existuje samo o sobě ... že můžeme odebrat všechny části a pořád něco zůstane. To dává vzniknout filosofické představě, která je z počátku působivá, pak se však začne jevit jako monstrózní, „věci o sobě“, lišící se od to, jak se „jeví“ a je nepoznatelná.“

2. 1. Mach, Kant a prostoročas

Mach se zde vymezuje především proti Kantovi. Jinde to vyjadřuje explicitněji: „*Vždy jsem cítil jako šťastnou okolnost, když jsem v patnácti letech narazil v knihovně mého otce na Kantovy Prolegomena ke každé příští metafyzice. Kniha na mne tehdy silně a nesmazatelně zapůsobila, tak, jak pak už žádná jiná filosofická četba. O dva tři roky později jsem si najednou uvědomil nadbytečnost ‚věci o sobě‘. ... S hodnotnou částí fyzikálních teorií nutně vsřebáváme i pořádnou dávku falešné metafyziky, kterou je těžké odfiltrovat od toho, co si zaslouží být zachováno, zejména když jsme si na tyto teorie zvykli.*“

Vybral jsem citáty, které snad dobře ukazují to, co mohl Einstein pokládat za tak podnětné, když se vyjadřoval, že při objevu speciální teorie relativity mu velmi pomohla četba Humea a Macha. Hume i Mach zastávali názor, že pojmy se musí opírat o zkušenost. V okamžiku, kdy se Einstein chystal zbořit klasický pojmový aparát týkající prostoru a času, mohla být pro něj pobídkou jiná Machova myšlenka: „*Koncepty, které jsou užitečné pro uspořádávání věcí mohou získat takovou autoritu, že zapomeneme na jejich pozemský původ a bereme je jako nezměnitelné. Dostanou razítko „myšlenkové nezbytnosti“, „danosti a priori“ atd. Takové omyly mohou zablokovat vědecký pokrok na dlouhou dobu.*“ Či jiné Machova formulace [3]: „*Především shledáváme, že prostoru a času přikládáme v naší zkušenosti větší důvěru; shledáváme je reálnějšími než zkušenost barvy, zvuku, teploty atd. Zkoumáme-li ale věc důkladněji, musíme uznat, že naše vjemy času a prostoru jsou obdobnými vjemy jako naše vjemy barvy, zvuku či zápachu, jen naše povědomí prvního je jistější a jasnější než těch druhých. Prostor a čas jsou dobře uspořádané množiny počítků.*“

Většina čtenářů mého textu má vlastní zkušenost s tím, když se sami teorii relativity učili a mnozí i s tím, když ji vykládali jiným. Asi mi dají za pravdu, že tím nejtěžším krokem k jejímu pochopení je zbavit se „apriorních“ představ, týkajících se pojmu prostoru a času, ve skutečnosti však představ, které máme vypěstovány zkušeností se světem malých rychlostí. Dnes samozřejmě každý student ví, že teorie relativity je dobře a se svými problémy s ní se tedy musí nějak vyrovnat. Na začátku 20. století však nebylo zdaleka jednoduché se zažitých „apriorních“ představ o prostoru a čase vzdát. Ukazuje to příklad dvou velikánů, Henriho Poincarého a Hendrika A. Lorentze. Oba dva objevili matematickou strukturu speciální teorie relativity, Einsteinův princip relativity však v plném rozsahu nepřijali. Zdá se, že „maličkost“, jež tomu bránila, bylo uznat, že to co se *jeví* jako čas, skutečně *je* čas.

2. 2. Mach a Berkeley

*There was a young man who said, »God
Must think it exceedingly odd
If he finds that this tree
Continues to be
When there's no-one about in the Quad.«
Dear Sir,
Your astonishment's odd;
I am always about in the quad.
And that's why this tree
Will continue to be,
Since observed by
Yours faithfully,
God.*

*Jest jistý mladík, který dí
Divím se, že se Bůh nediví,
Vidí-li, že stromy dva
jsou pořád stejné stromy dva,
I když se nikdo nedívá.*

*Vážený pane:
To nevím, nač ten vzruch:
Já jsem tu pořád v dohledu.
A proto ony stromy dva
Jsou tu, i když se nedíváš,
Neboť je vidí
Upřímně Tvůj
Bůh*

Ronald A. Knox (překlad Miroslav Holub)

Starší generace si pamatuje Macha jako hlavního zloducha Leninova *Materialismu a empiriokriticizmu*, jenž býval povinnou četbou ke zkoušce z marxistické filosofie. Kniha byla vlastně napsána proti ruským machistům v čele s Alexandrem Bogdanovem, se kterým Lenin soupeřil o moc v bolševické straně, to je však jiná historie. Lenin poukazuje na to, že Machovy myšlenky jsou velice blízké filosofii „subjektivního idealisty“ George Berkeleyho a to mu už bohatě stačilo k vehementnímu odsudku. Když si přečteme limerick v záhlaví tohoto odstavce, kterým nejznámější část Berkeleyho filosofie charakterizoval pater Knox (mimochodem autor desatera hříchů, kterých se nemá dopouštět autor detektivních románů), neudiví nás, že bojovného materialistu Lenina Berkeley dráždil. Jde ovšem o Berkeleyho závěr, se kterým by nesouhlasil ani antireligiozní Mach. Souznění Berkeleyho a Macha však podtrhuje i Karl Popper [9], jehož jistě nelze řadit k materialistům (i ten ovšem spolu k obdivem vyslovuje i své výhrady k oběma).

Mach by bezpochyby souhlasil s Berkeleyho výroky, které jsme vybrali z *Pojednání o základech lidského poznání* [10]:

Poněvadž se zjistilo, že se vyskytuje pohromadě nějaká barva, chuť, vůně, tvar a pevnost, považujeme to vše za jedinou určitou věc, označenou jménem jablko. Jiné skupiny idejí ustavují kámen, knihu ...

Každý uzná, že ani naše myšlenky, vášně ... neexistují mimo mysl

Kupodivu převládá názor, že domy, řeky ...mají existenci odlišnou od způsobu, jak je vnímá rozum. Tento princip v sobě obsahuje zřejmý rozpor

Berkeley začne s brilantní fyzikální analýzou toho, jak zprostředkovaně se k nám dostávají informace o věcech kolem nás. Světelné vlny procházejí složitým přístrojem, kterým je naše oko, aby skončily nakonec jako „vjem“ v mozku, zvukové vlny rozechvívají bubínek ... V prvním kroku je to vyvrácení „naivního realizmu“, tedy představy, že věci jsou takové, jak se nám jeví. S tím nešlo polemizovat ani v Berkeleyho době, tím méně dnes, když zprostředkovaně nahlížíme do mikrosvěta. Ani ten, kdo fyzice moc nefandí, nechce být zařazen do kategorie, jež má slovo „naivní“ ve svém názvu (i když všichni naivními realisty

v běžném životě jsme). Už problematičtější je další krok. Berkeleyho heslo bylo *Esse est percipi*, existovat znamená být vnímán. Protože ale vnímání se uskutečňuje až v mysli, věci získávají existenci tam. A konečně Berkeleyho „theologický“ závěr – jak si poradit s existencí věcí, jež nikdo zrovna v tu chvíli nepozoruje, či s otázkou, zda existovaly věci v prvních biblických dnech před stvořením člověka. Jeho odpovědí je, že je vždy vnímá Bůh (nemohl tedy plně odpočívat ani sedmého dne) a Bůh má navíc funkci jakéhosi koordinátora vjemů v naší mysli. Formuluje také dilema:

Zkrátka, i kdyby existovala vnější tělesa, nikdy bychom se to nemohli dovědět. A kdyby neexistovala, mohli bychom si myslet právě tak dobře jako teď, že existují.

Dinge an sich, nepoznatelné věci o sobě, jimž se ale připisuje existence, jsou Kantovým řešením tohoto dilematu. Machovou odpovědí je: „Proč se starat o něco, co nemůžeme poznat, když to naší orientaci ve světě nijak nepomůže?“ Popírá, že má smysl hovořit o nějakých charakteristikách věcí, které jsou nepoznatelné. O své teorii ovšem prohlašuje, že je monistická, nerozlišuje něco jako ducha a hmotu, i naše ego je souhrn počitků.

Asi právem to můžeme chápat jako zúžení tradiční filosofické problematiky. Ale takové zúžení je typické i pro daleko propracovanější filosofické směry na Macha navazující, jež Bertrand Russell nazývá souborně „škola logické analýzy“. V poslední kapitole *Historie západní filosofie* [11] říká: „[Filosofové této školy] upřímně přiznávají, že lidský intelekt není schopen najít konečnou odpověď na řadu otázek, jež mají pro lidstvo hlubokou důležitost, odmítají však přijmout, že existuje nějaká ‚vyšší‘ cesta k poznání, jež může objevit pravdy skryté vědě a intelektu.“

Mach konstruuje svět z „počitků“ (Empfindungen), věci jsou (poměrně stabilní) „komplexy počitků“. Einsteinovi se to moc nelíbilo a tento slovník je nějak podezřelý asi i většině z nás. Už stravitelnější je, když řekneme, že k popisu světa chceme užívat jen pozorovatelných veličin – takový program hrál roli i v kvantové teorii. Je to však vlastně jen terminologická změna, nahrazení slova „počitek“ termínem „pozorovatelná veličina“ by Mach asi nebránil. I zde však narazíme na problém. Vezměme si, jak užitečný je pro popis elektromagnetického pole například čtyřpotenciál, který přímo pozorovatelnou veličinou není a pozorovatelnými veličinami není jednoznačně určen – kalibrační volnost je v současné fyzice elementárních částic dokonce klíčová. Z hlediska dnešní fyziky je důležité to, že užívaný pojmový aparát a teoretické konstrukce musí vést k *pozorovatelným závěrům v plném souladu se zkušeností*.

2. 3. Feynman a elektron

Použil jsem termín „teoretická konstrukce“. Úryvek z knihy Richarda Feynmana *To snad nemyslíte vážně* [12] snad osvětlí, co tím myslím. Feynman líčí, jak se jako student zúčastnil filosofického semináře a byl dotázán, zda elektron je „esenciální objekt“. Celkový kontext (zcela jistě Feynmanem trochu nadnesený) není důležitý, ale ocitujme Feynmanovu odpověď:

„Elektron je teoretická konstrukce, kterou používáme. Je tak důležitá při našem chápání přírody, že bychom téměř mohli říct, že elektron je reálný“. Chtěl jsem objasnit myšlenku teorie pomocí analogie. V případě cihly by moje druhá otázka zněla: „A co vnitřek cihly?“ – načež bych zdůraznil, že ještě nikdo neviděl vnitřek cihly. Pokaždé, když cihlu rozlomíte vidíte jenom povrch. Že má cihla vnitřek, je jednoduchá teorie, která nám pomáhá lépe věcem porozumět. S teorií elektronů je to podobné. (V překladu Jana Klímy).

Není mi úplně jasné, co měl Feynman na mysli tím „téměř“, co by muselo být ještě splněno, abychom mohli říct, že elektron je reálný. Asi chtěl naznačit, že se představa elektronu v podstatě neliší od představy předmětů kolem nás. Machovi by se možná nelíbil pojem *teoretická konstrukce*, ovšem pro něco, co má vztah k přímo pozorovaným veličinám tak složitý, jak je tomu u elementárních částic, je tento termín vhodnější, než komplex počítků. Domnívám se však, že v zásadě se Feynmanova myšlenka neliší od analýzy Macha a Berkeleyho, jak zprostředkovaně věci poznáváme; v tomto smyslu ovšem nejsou stoly a židle kolem nás o nic reálnější než elektrony – i ony jsou teoretickou konstrukcí, pomocí které se orientujeme ve světě.

Nechci se zde pouštět do složité diskuse pojmu existence. Chci jen zdůraznit, že pro fyziku je relevantní právě jen to, jak se elektron či jiný fyzikální objekt chová v té které situaci, jak ovlivňuje veličiny, které pak nakonec označujeme za „přímo pozorovatelné“. Pomohu si ještě citátem z Encyclopædia Britannica:

„Existují-li reálně elektrony a jádra je metafyzická otázka, na kterou nelze definitivně zodpovědět. Nemůže být ale pochybnosti, že postulát jejich existence je v současném stavu fyziky nevyhnutelnou nutností, má-li se vytvořit konzistentní teorie, popisující ekonomicky a přesně obrovské množství pozorování chování hmoty. Obvyklý jazyk částicových fyziků vyvolává a reflektuje přesvědčení fyziků, že i když částice unikají přímému pozorování, jsou stejně reálné jako předměty kolem nás.“

Ještě poukáži na to, jak je užitečný při posuzování elektronu jako „teoretické konstrukce“ ve Feynmanově smyslu přístup, který nazvu – ať už právem či neprávem – „machovským“. Ve standardním modelu je elektron bodový. V jednom českém pedagogickém textu, zjevně ovlivněném marxistickým přístupem, jsem viděl tvrzení, že jde o idealizaci, protože „hmotný objekt musí mít prostorovou rozlehlost“. Víme ale, že teorii rozlehlého elektronu se nikdy nepodařilo zkonstruovat a nemáme žádný důvod tvrdit, že dnešní přístup je něco jako „přechodný stav“. (V teorii strun sice elektron není fundamentální objekt, nýbrž modus kmitů struny, struna je ale jednorozměrná, takže také nemá prostorovou rozlehlost, navíc žije v desíterozměrném prostoru – to je „filosoficky“ ještě divočejší, než bodový elektron.) Demonstruje to, proč by Mach, ale i K. Popper, označili marxistické pojetí hmoty za metafyzické. Není to jen užitečný souhrnný název, „hmotnost“ v sobě automaticky skrývá jakési apriorní vlastnosti. Přesvědčí nás o tom historie sovětské fyziky. Řada skvělých sovětských fyziků musela svádět boj s marxistickými filozofy, odmítajícími z „filosofických“ důvodů nejdříve speciální, pak obecnou relativitu či relativistickou kosmologii a kamuflovat fyzikální myšlenky marxistickým slovníkem (viz např. [13]). (Dialektický materialismus byl ovšem nevyvratitelný – jakmile byl tlak ze strany fyziky už neudržitelný, změnil se proskribovaný koncept v „další potvrzení dialektického materialismu“. Právě pro tuto jeho nevyvratitelnost, zajišťovanou žonglováním s pojmy, nešlo o vědeckou teorii v Popperově smyslu.)

Není teď důležité, jak se bude teorie částic dále vyvíjet. Nicméně „machovským přístupem“ zde nazývám to, že do fyzikálních konceptů nemáme vkládat žádné apriorní představy, odvozené z běžné zkušenosti s věcmi. *Důsledky* teorie však musí být v plném souladu se zkušeností. Podobně bych mohl argumentovat, že elektromagnetické pole si nemáme představovat jako jakousi „polévku“, substanci vyplňující prostor (i když občas si asi každý fyzik v určitém kontextu pole takto představuje, tak jako si představuje foton či elektron jako malou kuličku.)

2. 4. Relativita, atomy a Mach

A řekl jemu Hospodin: Tato jest země, kterouž s přísahou zaslíbil jsem Abrahamovi, Izákovi a Jákobovi, řka: Semeni tvému dám ji. Způsobil jsem to, abys ji viděl očima svýma, však do ní nevejdeš. 5. kniha Mojžíšova, 34. kapitola, kralický překlad.

Vylíčili jsme, jak Einstein vzdával dík Machovi za inspiraci k teorii relativity, tvrdili jsme, že machovský přístup je užitečný i pro kvantovou teorii. Čekali bychom tedy, že Mach nadšeně uvítal zrod moderní fyziky na začátku 20. století. Bohužel, není tomu tak. Filosof Mach sice deklaroval, že je třeba se zbavit apriorních předpokladů, fyzik Mach to ne vždy dodržoval. Tak jako Mojžíš nevstoupil do země zaslíbené, Mach nepřijal teorii relativity ani atomovou teorii. Dluží se však dodat: nepřijal je starý a dost těžce nemocný Mach – svých posledních téměř dvacet let prožil ochrnutý na polovinu těla a to se jistě podepsalo na jeho duševní čilosti i na schopnosti přijímat nové myšlenky, i když byl intelektuálně činný až do konce života.

Připravil však cestu, po které se kromě Einsteina vydala s bojovným nadšením trochu různorodá mladá parta, později označovaná jako neopositivisté, logičtí empiristé či operacionalisté: Philipp Frank, Moritz Schlick, Otto Neurath, Hans Reichenbach, Rudolf Carnap, Willard Quine, Percy W. Bridgman, Gerard Holton a další. (Řada z nich, na rozdíl od Macha, byla z rodu Jákobova, takže před druhou světovou válkou skončila mimo německou oblast.) Tito filosofové s výtečným matematickým a fyzikálním vzděláním (operacionalistovi Bridgmanovi byla udělena Nobelova cena za fyziku) vykonali velkou práci při vyjasnění pojmové a logické struktury teorie relativity i kvantové teorie. A proti jeho zábran, hlásili se k Machovi jako ke svému předchůdci.

3. Einstein a princip ekonomie myšlení

V citátu z *Encyclopaedie Britannicy* je otázka po reálné existenci elementárních částic označována za metafyzickou. To by stačilo samo o sobě k tomu, aby ji Mach z uvažování prostě vyloučil. Podobně neuvažuje o tom, zda přírodní zákony obrazy něco jako objektivní zákony „reality“. To, co nazýváme přírodními zákony, vytváří naše mysl k ekonomickému uspořádání počítků. Princip ekonomie myšlení (Denkökonomie) je podstatným prvkem epistemologie Machovy a pozitivistů vůbec.

Einsteinův vztah k metafyzice je mnohem vstřícnější. V eseji *Bertrand Russell a filosofické myšlení* v [5] říká v narážce na poslední kapitoly *Jazyk a metafyzika* v [14]: „Když jsem se tak díval na to velké úsilí, uspokojilo mě, že z poslední kapitoly přece jen nakonec vyplyne, že se bez „metafyziky“ neobejdeme. Zarazilo mě na tom všem jedině, totiž špatné svědomí intelektuálovo, které mezi řádky prosvítá.“ (Russell zde píše: Činím tedy závěr, třeba s váhání [to je to „špatné svědomí“], že existují obecniny, nikoli jen obecná slova... To co tím mohu minit lze vyjádřit výpovědí „Existují jevy, které vyžadují ke slovnímu popisu věty formy ‚A je podobné B‘. „Říkám-li ale ‚existuje podobnost‘, míním to jako fakt o světě, nikoli jen jako fakt o jazyce.)

Je ovšem třeba brát opatrně, co Einstein metafyzikou rozumí. Předně, když hovoří o postulátech, na kterých je založena fyzikální teorie, nazývá je „volnými výtvoři lidského ducha.“ Tím nechce popírat jejich objektivnost. Rozumí tím, že od empirických dat nevede jednoznačná cesta k teorii. Teorie musí být samozřejmě v souladu se zkušeností, na téže empirické bázi lze však vybudovat více teorií, které daným empirickým datům vyhovují – dokládá to například obecnou teorii relativity, která vznikla na v podstatě stejném empirickém základě, jako gravitační teorie Newtonova. Co nám tedy zaručuje, že jdeme po správné cestě? Daří se budovat teorie, které jsou v jádru matematicky jednoduché. To podle Einsteina jde za

princip ekonomie myšlení, to něco vypovídá o reálném světě kolem nás. Jednou věcí je, že se teorie *snažíme* budovat jako co nejjednodušší. Jinou věcí je, že je to *možné*. O svém pevném přesvědčení, že svět lze popsat jednoduchým jednotným způsobem, přiznává, že je metafyzické, činí tak ale bez „špatného svědomí intelektuála“. I když Einstein velice oceňoval

pojmovou analýza Macha i jeho následovníků – logických empiriků a operacionalistů – v tomto se od nich podstatně lišil.

Literatura:

- [1] Einstein, A. *Physikalische Zeitschrift*, **17**, (1916) 101-104
- [2] *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. P.A. Shilpp, Evaston, Library of Living Philosophers, Open Court Publishing Company, Chicago 2000
- [3] E. Mach, *Science of Mechanics*. Open Court Publishing Company Chicago 2006
- [4] Norton J. D., *How Hume and Mach Helped Einstein Find Special Relativity*, <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002149/>
- [5] Einstein, A., *Jak vidím svět*, Nakladatelství Lidové noviny, Praha 1993
- [6] Einstein, A., *Z mých pozdějších let*, Nakladatelství Lidové noviny, Praha 1995
- [7] Smolin, L., *The Trouble with Physics*, Houghton Mifflin Company, Boston 2006
- [8] Mach, E., *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältniss des Physischen*, Fischer Verlag, Jena 1900
- [9] Popper, K. R., *A Note on Berkeley as Precursor of Mach*, *British Journal for Philosophy of Science*, **4** (1953), 26-30
- [10] Berkeley, G., *Pojednání o základech lidského poznání*, OIKOYMENH, Praha 2004
- [11] Russell, B., *History of Western Philosophy*, George Allen & Unwin LTD, London 1946
- [12] Feynman, R., *To snad nemyslíte vážně*, Mladá fronta, Praha 1989
- [13] Gamow, G., *Moje světočára*, Mladá fronta, Praha 2000
- [14] Russell, B., *Inquiry into Meaning and Truth*, George Allen & Unwin LTD, London 1950