

## Hledá se 'Machův' Machův princip

*Jan Kadrnoška*

Themis, 28. října 563, 511 01 Turnov  
© [www.themis.cz/mach/machbdd.pdf](http://www.themis.cz/mach/machbdd.pdf)

13. dubna 2008

**Abstrakt:** Machův princip byl nesporně vysloven jako jeden ze základních pilířů OTR. V jeho bezmála už stoletém účinkování ve fyzice se jako červená nit vine vleklý spor o to, zda přisouzení klíčové role nebylo nadbytečné, zda by se OTR nedala vybudovat bez něj nebo jakou roli vlastně tento výrok ve fyzice hraje. Jedním z důvodů proč kolem něj panuje citelná nejistota je pravděpodobně i fakt, že Machův princip nevyslovil Ernst Mach, ale jeho slavný obdivovatel Albert Einstein jako shrnutí Machových požadavků na formulaci elementárních axiomů. A to až v roce 1918, tedy dva roky po Machově smrti. Mach byl ovšem ve vztahu k teorii relativity spíše jejím kritikem než obhájcem a tak si Machovi stoupenci mohli již od počátku vybrat, zda budou pěstovat Machův odkaz v rámci OTR nebo zda se vydají cestou "ryzího" Macha. Pokusíme se zde připomenout snahy těch druhých.

Klíčová slova: Machův princip, nebeská mechanika

1. "Už ve svých mladých letech, díky vlastní neustálé sebeanalýze a kritice, jsem byl relativistického smýšlení, jak se to dnes nazývá, a mohl jsem snad tyto věci dál sledovat, ale jen málo přicházelo z mých vlastních myšlenek, zajímal mne prozatím výhled, vykročení z osidel minulosti, ze sféry vlivu, který s sebou nesli velcí myslitelé, ..."

Tuto větu vzpomíná syn Ernsta Macha Ludwig v 9. vydání (1933) slavné otcovy Mechaniky jako citát z pozůstalosti, pravděpodobně později zničené (Mach 1988, p. 650). Není ovšem sebe-menší důvod pochybovat o její autentičnosti; otevře-li Machovu Mechaniku, relativitou se to v ní jen hemží. Z dnešního pohledu je ale důležité zmínit, že se nejedná o úplně stejnou relativitu, jak ji fyzikálně vykládá Teorie relativity. Možná speciálně zde by bylo dovoleno přiléhavěji vyložit "relativistisch eingestellt" jako "relativizujícího smýšlení".

Mach nebyl nikdy nadšený absolutními pojmy a výroky a jako oddaný přívrženec Kanta pohlížel na svět a jeho fyziku "epistemologicky", tedy preferoval zkušenost jako prvotní před následnou dedukcí. Všechny myšlenkové konstrukce by podle něj měly být založeny na pozorování nebo experimentu a touto primární okolností jsou podmíněny, vztahují se k ní, bez ní nemohou žít a jsou tak k ní relativní. Mach neprosul ve fyzice jako objevitel dilematu *a priori* vs. *a posteriori*, ten existoval od nepaměti; získal si ale přívržence tím, že metodu relativizace vyhodnocování a interpretace fyzikálního experimentu používal **důsledně**. Otázky, které visely ve vzduchu v druhé polovině 19. století, mu poskytovaly živnou půdu k uplatnění "relativistických" postojů. Dobová diskuse se stáčela především k pochybnostem, zda zákonu setrvačnosti náleží přední místo mezi fyzikálními axiomy, když jev, zvaný "rovnoměrný přímočarý pohyb", je pro nezaujatého pozorovatele snadno zpochybnitelný podle toho, jaké měřicí nástroje se použijí. V této době se hledala a nakonec byla ustavena inerciální soustava, nicméně její autoři (L. Lange, C. Neumann a do jisté míry i sám Mach) dobře tušili, že ani ona nedodává pro mechaniku, resp. celou fyziku uspokojivý rámec. Do debaty jak nebo zda vůbec nahradit absolutní prostor, vstoupil objev konečné rychlosti světla a Speciální teorie relativity. K ní se Mach - prominentní autorita - vyjadřoval přinejmenším opatrně: podle doložených výroků přirozeně uznával, že Teorie relativity je vybudována v duchu relativizace fyzikálních veličin, na druhé straně zřejmě nebyl spokojen s novým absolutním prvkem v teorii - "nezměnitelnou" rychlostí světla, který v ní hraje klíčovou roli.

Uprostřed těchto ideových bojů o významu vztažných soustav (a také doslova uprostřed skutečných bojů 1. světové války) Mach zemřel a obě soupeřící strany - příznivci a odpůrci Teorie relativity - si na svá konta ex post připisovaly Machovu přízeň.

Přibližně o dva roky později vyslovil Einstein trojici základních principů k obhajobě Obecné teorie relativity a třetí z nich nazval 'Machův princip': "*G*-pole je *úplně* určeno hmotnostmi těles. Takže, protože hmotnost a energie jsou podle výsledků speciální teorie relativity rovnocenné, energie bude vyjádřena také symetrickým tenzorem  $T_{\mu\nu}$ , a můžeme říct, že *G*-pole je podmíněno a určeno tenzorem energie a hybnosti." - To je výrok vyslovený už slovníkem Teorie relativity a Einstein proto dodává, že: "... Pojmenování 'Machův princip' jsem zvolil proto, poněvadž tento princip představuje zevšeobecnění Machova požadavku, že setrvačnost musí být odvozena ze vzájemného působení těles." (Einstein 1918)

2. Čtenáři, který se chce dozvědět více o původu Machova principu, nezbyvá tedy než hledat v Machových knihách ony **požadavky**. V této souvislosti se nejčastěji poukazuje na Machovu interpretaci slavného pokusu s vědrem, který představil Newton v Principiích jako argument ve prospěch absolutního prostoru. Ve své Mechanice Mach (1988, pp. 250-256) nejprve cituje Newtonův výklad a pak k němu připojuje vlastní komentář:

(Citát z Principií:) "Vezměme vědro zavěšené na dlouhém provazu; tak dlouho s ním otáčíme, až je provaz úplně zkroucený, potom ho naplníme vodou a necháme ji ustálit. Když vědro pustíme, začne se vlivem jiné síly otáčet opačným směrem až se provaz zase narovná a potom vědro ještě chvíli pokračuje v pohybu; hladina vody je zpočátku rovná tak jako před začátkem otáčení; ale postupně, jak vědro přenáší svůj pohyb na vodu, začne se i ta znatelně otáčet a vzdaluje se postupně od středu,

vystupuje po stěnách vědra a hladina zaujme prohnutý tvar. (Sám jsem si to vyzkoušel.) ...

... Na začátku, když *relativní* pohyb vody ve vědru byl *největší*, neměla voda žádnou snahu vzdalovat se od osy. Voda neměla žádnou tendenci pohybovat se k okraji ani stoupat podél stěn, ale zůstávala v rovině, a proto její skutečný otáčivý pohyb dosud nezačal. Ale potom, když se relativní pohyb vody vzhledem k vědru začal zmenšovat, stěny vědra pocítí snahu vody vzdalovat se od osy; a tato snaha prozrazuje skutečný pohyb vody, postupně vzrůstající až dosáhne maxima, kdy je voda v *relativním* klidu vzhledem k vědru. ....

... Je ovšem opravdu velmi obtížné zjistit a efektivně rozlišit *skutečné* pohyby jednotlivých těles od *zdánlivých*, protože ty části nehybného prostoru, v nichž se tyto pohyby odehrávají, nemůžeme svými smysly nijak pozorovat. Věc ale není tak zcela beznadějná. Existují určité znaky, které nám poukáží na rozdíl mezi skutečnými (=absolutními) pohyby; ...

Tímto způsobem můžeme zjistit jak velikost, tak směr otáčivého pohybu probíhajícího v nesmírném prázdném prostoru, kde není nic vnějšího nebo vnímatelného, s čím bychom mohli (tělesa) porovnávat."

(*Machův komentář:*) "Ve hmotném prostorovém systému, kde jsou rozloženy hmoty s různými rychlostmi, které na sebe mohou vzájemně působit, projevují se tyto hmoty prostřednictvím sil. Velikost sil můžeme odvodit pouze tehdy, když známe rychlosti způsobené těmito hmotami. I hmota, která je *v klidu*, působí silou, když *všechny* ostatní hmoty v klidu nejsou. ... *Všechny* hmoty a *všechny* rychlosti a následně i *všechny* síly jsou relativní. Není ničeho, co by mohlo rozhodnout mezi absolutním a relativním, s čím bychom se mohli setkat, co bychom si mohli vynutit, z čeho bychom mohli něco intelektuálně vytěžit. I moderní autoři někdy bloudí v argumentech týkajících se rotujícího vědra, když se snaží rozlišit mezi absolutním a relativním pohybem a zapomínají, že vesmírný systém je nám *jednou* dán a že Ptolemaiov či Koperníkův popis je jen *naší* interpretací, která je ve skutečnosti tatáž. Zastavte Newtonovo vědro, roztočte nebe s hvězdami a dokažte, že neexistují odstředivé síly! ...

Vesmír pro nás neexistuje *dvakrát*, jeden s rotující Zemí a druhý se stojící, ale jen *jednou* se svými jedině měřitelnými relativními pohyby. Tedy nemůžeme nic říci o tom, jak by to vypadalo, kdyby se Země neotáčela. Můžeme jen různými způsoby interpretovat ten jediný případ, který je dán. Pokud budou důsledky v rozporu s experimentem, je interpretace jednoduše chybná. Principy mechaniky musí být formulovány tak, že i při relativním pohybu se odstředivé síly objeví. ..."

(*konec citátu z Macha*)

**3.** To je tedy jasně vyslovený požadavek. Mohla by to být parafráze představy, že: pokud zajistíme, že kromě vědra s vodou už nic jiného (hmotného) ve vesmíru neexistuje (tedy plné vědro je samo tím vesmírem), nedosáhneme žádným způsobem, aby hladina utvořila meniskus. Roztočit ho nelze (ve vesmíru už nikdo není, kdo by ho roztočil) a jestli se náhodou už odjakživa netočí stejně nemůžeme říci, protože není ničeho, vzhledem k čemu by se točilo.

Tuto představu může leckdo ještě bez odporu přijmout. Potíž by mohla ale vzniknout při námitce, co se stane, když kromě vědra bude ve vesmíru existovat ještě nějaké další těleso, řekněme pouhá třeshňová pecka, která se vznáší někde kousek od vědra. Pak už *má* smysl říkat, že vědro vzhledem k pecece rotuje, i když musíme dávat pozor na to, jestli náhodou pecka neobíhá kolem vědra, což samozřejmě nelze rozeznat v případě, že je vědro prázdné. Je-li plné vody a pozorujeme meniskus, můžeme říkat, že je to právě tím, že vědro rotuje. Protože je to však geometricky nerozeznatelné od případu, kdy pecka obíhá kolem vědra, měli bychom rovněž připustit, že meniskus je způsoben tímto obíháním. Problém je v tom, že je jedno, jestli pecka obíhá jeden metr od vědra anebo jeden kilometr a je rovněž jedno, jestli je to třeshňová pecka anebo třeba sama Velká mlhovina v Andromedě. Pokud bychom chtěli nějak kvantifikovat vliv obíhajícího tělesa pomocí hmotností, vzdáleností a rychlostí, narazíme na těžko překonatelné problémy.

Navíc je tu další problém, že s jistotou nikdy nevíme, co všechno ve vesmíru na rotující vědro působí, i když to nevidíme očima nebo nemůžeme detekovat nějakými vhodnými senzory. Nevidíme-

li nic kromě vědra s meniskem, můžeme se rovnou oddat hledání "skryté hmoty" (je to ale zřejmě jiná skrytá hmota, než ta, co snad formuje spirální strukturu galaxií nebo ovlivňuje rozpínání pozorovaného vesmíru), což také není právě perspektivní zaměstnání.

Uvedli jsme zde tyto absurdní úvahy proto, aby bylo zřejmé, že takto nelze Machovy výroky pojímat. Kromě uvedených námitek lze uvést další, například speciální relativisté mohou poukazovat na to, že hodně vzdálená tělesa by musela obíhat nadsvětelnými rychlostmi, aby relativizovala rotaci vědra. Dále se dá namítat, že dřevěné vědro není jen tak jednoduché hmotné těleso, je to soubor mnoha dřevěných molekul spojených mezimolekulárními silami, které musíme zahrnout do výpočtu, protože bez nich by se vědro nikdy nemohlo otáčet a rovnou by se rozpadlo, atd.

Mach nikde netvrdí, že by vzdálené či blízké galaxie nebo jiná tělesa měla způsobit meniskus vodní hladiny v Newtonově vědru. Nabádá nás spíše k tomu, abychom při konstrukci nějaké fyzikální teorie dbali na tento "relativizující" požadavek a zaváděli a používali pouze takové veličiny a vztahy mezi nimi, které nás k podobným absurditám nepřivedou.

Prohlédneme-li si v tomto zorném úhlu například i ty formálně nejprvotnější úlohy z Newtonovské fyziky, jako je řešení problému dvou a třech těles, dostaneme hned lekci z Machovy relativity. Každý ví, že řešením problému dvou těles je eliptický pohyb, který máme "plně" pod kontrolou, zatímco (obecné) řešení problému třech těles není navzdory nesmírnému úsilí známo (čtenář necht' se nenechá zmýlit: "řešení", která umožňují manévry kosmických sond v rámci 3 nebo  $n$  těles jsou jen numerické výpočty zatížené chybami a principiálními nejistotami. Neexistuje skutečné analytické řešení, které by předpovědělo chování třech těles například pro  $t \rightarrow \infty$ ). To vyvolává pochybnosti o tom, zda je vůbec problém dvou a třech těles v klasické mechanice správně formulován. Je zřejmé, že dráhy dvou těles závisí na hmotnostech pokud použijeme k jejich popisu inerciální soustavu. Jinak je to ale v případě, kdy použijeme k popisu soustavu zvanou *firmament*, t.j. (domněle nebo definatoricky) nehybné pozadí nebeských stálic. V ní nemůžeme měřit absolutní souřadnice, ale absolutní úhly a dále už jen lokálně relativní vzdálenosti. Libovolně hmotná tělesa se zde pohybují po topologicky zcela stejných drahách (samozřejmě při  $m_1 + m_2 = 1$ ). To znamená, že nejsme s to poměry hmotností v rámci problému dvou těles na pozadí firmamentu zjistit. Pro popis pohybu *třech* těles jsou ale hmotnosti nezbytné i ve firmamentu. Problém je v tom, že v nebeské mechanice běžně řešíme problém třech těles formulovaný ovšem podle výsledků řešení problému dvou těles - to je ale zřejmě nedostatečné a mělo by nám to podle Macha dělat vrásky na čele.

4. Někteří fyzikové vzali Machovu úvahu o vlivu rotujících těles zcela vážně a začali experimentálně hledat konkrétní mechanismus, jak by mohla nějaká vzdálená pohybující se hmotná tělesa ovlivňovat lokální setrvačnost, t.j. lokálně měřenou hmotnost testovacího tělesa nebo jeho setrvačné chování.

Německý vulkanolog Immanuel Friedlaender se pokusil 1894 o experiment ve válcovnách v dolnosaském Peine, kde rychle roztočil několikametrový setrvačnick a na torzních vahách se pokusil změřit nějakou "Machovskou" sílu, která by s nimi pohnula v závislosti na rychlosti otáčení. Experiment ale ztroskotal na technicky neodstranitelných vedlejších vlivech, jako tepelných výkyvech a hlavně víření vzduchu v továrně. Výsledkem celého projektu tak zůstal podrobný článek, *Absolute oder relative Bewegung?*, jehož spoluautorem je Immanuelův, někdy až přesmíru volnomyšlenkářský, bratr Benedict. Z něj se také někdy cituje promachovská věta: (Friedlaender, p. 14) "... dospěl jsem k přesvědčení, že vznik odstředivých sil lze vysvětlit pomocí čistě mechanických poznatků z relativního pohybu daného systému, bez nutnosti opírat se o absolutní pohyb."

O dosud nerozpoznané působení těžkých rotujících těles se zajímal August Föppl 1904, když v Machových intencích uvažoval o rozdílu mezi inerciálním systémem v blízkém okolí Země a inerciálním systémem asociovaným s firmamentem. Rozdíl by měla způsobit rotace Země jakožto velmi hmotného tělesa. V experimentu Föppl použil dva 30kg setrvačnický na hřídeli, roztočené na několik desítek Hz. Vlivem zemské rotace se osa hřídele stočila během půlhodinového experimentu o úhel, který je na její rychlosti závislý. Z odchylky hřídele tedy Föppl vypočítal tuto rychlost a pak ji porovnával s obvyklým astronomickým měřením vůči stálicím. Přesnost měření, zejména toho gy-

roskopického, byla však tak hrubá, že Föppl nemohl konstatovat žádný rozdíl. Dnes se tyto pokusy mohou opakovat s mnohem větší přesností. Jejich realizace je však v režii OTR (Lageos, Gravity Probe B), která poskytuje odhady, jak by tato odchylka měla být velká. A. Föppl v roce 1904 žádný odhad neměl, ale i to, co si snad mohl představovat, bylo řádově mnohem více, než co dnes mohou očekávat relativisté ze "svého" efektu strhávání časoprostoru v okolí rotujících těles.

**5.** Ač byl sám Mach profesorem experimentální fyziky, adresoval své vlastní kritické relativistické požadavky spíše fyzice teoretické a jejímu filozofickému establishmentu. V tomto oboru našel mnoho následovníků.

Z Machova pohledu se vyskytuje především jeden základní problém a to je přítomnost absolutních veličin v základních pojmech a vztazích. Machovým důrazným požadavkem je jejich úplné odstranění ze všech úvah. Například kinetická energie, která vystupuje ve většině mechanických úloh, se počítá jako čtverec rychlosti - v klasickém pojetí ovšem jako rychlosti vůči inerciálnímu systému. Podle Macha by měla být zaměněna za nějakou jinou "kinetickou energii" nebo prostě funkci odvozenou jen z relativních rychlostí popřípadě vzdáleností jednotlivých složek uvažovaného dynamického systému nebo těles vůči sobě navzájem.

Erwin Schrödinger napsal na toto téma v roce 1925 velmi působivý článek *Splnitelnost relativistických požadavků v klasické mechanice*. Slovo relativita v názvu se nevztahuje v tomto případě k Teorii relativity, ale k relativnosti v Machově obecnějším pojetí, přestože je psán v době prudce stoupající popularity OTR a Schrödinger patřil k nejužšímu okruhu jejích architektů. Upozorňuje na to, jak nedůsledně zacházíme v klasické mechanice s hamiltoniánem a jako příklad uvádí problém dvou těles. Zatímco potenciál splňuje Machovy požadavky, protože závisí jen na relativní vzdálenosti obou těles, kinetická energie se váže k inerciálnímu systému a ve srovnání s potenciálem je vlastně absolutní veličinou. I když přehlédneme tento rozpor, řešením pohybových rovnic jsou elipsy, což je do jisté míry uspokojivé. OTR poskytuje "s udivující přesností" (E.S.) lepší výsledek v případě stáčení perihelu Merkura a možná je to tím, že ve svém jádru žádný hamiltonián nepoužívá. Přesto neodpovídá na otázku, "vůči čemu" se perihel stáčí. Vůči stálým firmamentu? Schrödinger namítá, že do výpočtu nebyly zahrnuty! Zajímá ho zejména, jak modifikovat kinetickou energii tak, aby byla machovská a zároveň aby tato oprava dokázala alespoň to, co OTR, t.j. aby z ní vyplynulo stáčení perihelu. Namísto klasického součtu kinetických energií obou těles heuristicky navrhuje  $K = \gamma m_1 m_2 r^2 / r$  a zkouší určit  $\gamma$  tak, aby pro precesi vyšel stejný výsledek jako v OTR. To se skutečně podaří pro  $\gamma = 3/c^2$ .

Myšlenku podobně zrelativizovat výraz pro kinetickou energii nacházíme u Wenzela Hofmanna nebo Hanse Reissnera z let 1904-1914, v nedávné době také u Assise (Assis 1999) nebo Lynden-Bella (Barbour-Pfister pp. 172-176), který tím směřuje k OTR. Mach sám byl podobným výpočtům blízko (samořejmě ještě bez znalosti povahy stáčení perihelu), a Schrödinger se domnívá, že (E.S., p. 326) "...Hlavní důvod, proč dosáhl tak malého uznání je pravděpodobně zejména v tom, že Mach myslel, že musí přijmout vzájemný setrvačný vliv *nezávislý na vzdálenosti*."

**6.** Machův program lze ale naplňovat i jinak, než nahrazováním absolutních pojmů relativními. V jeho *Mechanice* čteme (1988, p.263) : "... Ale, jestli těžko uchopitelné hypotézy o absolutním prostoru a absolutním čase nemohou být akceptovány, vzniká tu otázka : Jakým způsobem můžeme dát zákonu setrvačnosti nějaký srozumitelný smysl? ..."

Zákon setrvačnosti se Machovi podařilo natolik zpochybnit, že by bylo nejlepší ho ze základů fyziky odstranit a o inerciálních systémech raději přestat mluvit. Nedalo by se ve stejném duchu uvažovat o tom, zda by se nedal zrušit třeba samotný čas? Vždyť ten je také těžko uchopitelný!

Mach přece sám píše (1988, p. 247) : "Je naprosto nad naše schopnosti *měřit* změny věcí pomocí *času*. Čas je naopak jenom abstrakce, k níž dojdeme pozorováním změn věcí ..."

Julian Barbour, známý propagátor Machových myšlenek, vydal v roce 1999 knížku *The End of Time*. Slavila úspěch částečně z důvodu, že je napsána mírně populárně a *nematematicky*, více snad

ale proto, že Mach, představený v moderním světle, se stává pro mnoho lidí skutečně přitažlivý.

Podobně jako Schrödinger je Barbour nespokojen "přítomností" absolutních rychlostí v konfiguračním prostoru a buduje si jeho Machovskou modifikaci, kterou nazývá *Platonía* (Barbour 1999). Rozdíl mezi nimi vysvětluje na modelu třech těles: stav takového systému je popsán deseti čísly v inerciální soustavě (každé těleso 3 souřadnice + 1 čas), zatímco v Platonii, kde je dovoleno vnímat jen relativní veličiny, vystačíme pouze se čtyřmi (3 strany trojúhelníku + 1 čas), ale navíc je tu omezující podmínka trojúhelníkové nerovnosti, takže by to mělo být vlastně o něco méně než 4. Z toho důvodu neexistuje jednoznačná transformace mezi jedním a druhým popisem. Každý bod konfiguračního prostoru odpovídá jistému stavu systému, jeho skutečnou historii ale realizuje nějaký zákon, který vybírá jen možné stavy - například princip nejmenší akce. Totéž by mělo být splněno i v Platonii, ale lagrangian, který potřebujeme pro výpočet akce, nelze triviálně do Platonie transformovat a rovněž není úplně zřejmé, jak bychom v ní měli provádět variace. Jednotlivým bodům (stavům) v Platonii je přiřazena nějaká pravděpodobnost a Barbour věří, že ta může nahradit čas jako parametr vývoje systému, k němuž pak reálně (s určitou pravděpodobností) dojde. Tedy stojíme před úlohou najít nějaký zákon, který vybírá skutečnou historii tohoto Trojúhelníkového Vesmíru.

Autor "Konce času" je ale založením přece jen relativista (ve smyslu OTR) a svou Platonii buduje s cílem posílit OTR patrnějším machiánským základem, než jak jí ho matně dodává Machův princip 1918. Kdybychom měli vypracovanou Machovu mechaniku na výlučně relativních veličinách, mohlo by nás pak zajímat, zda by bylo možné v ní revidovat koncept definice současnosti událostí podle vzoru STR. A to navzdory tomu, že snaha o definici současnosti v *bezčasové* Platonii je poněkud mystická záležitost.

S plánem zrušit čas ale nemusíme myslet hned na OTR nebo kosmologii; ptát se na důsledky můžeme například v nebeské mechanice. Je možné studovat třeba keplerovský problém dvou těles bez použití času? Zajisté ano! Představme si, že pozorujeme planetu vznášející se v okolí Slunce a jsme vybaveni schopností změřit vzdálenost obou těles. Zjistit si ji můžeme kdykoliv nás napadne a pokaždé její hodnotu zapíšeme do tabulky, nemůžeme ovšem k ní připsat, kdy se to stalo. Ale pokud takových záznamů pořídíme hodně, není v principu problém sestavit graf (*poloha x její pravděpodobnost*). Tento graf může být závislý na nějakých počátečních podmínkách (s ohledem na to, že když neexistuje čas, neexistuje v původním smyslu ani rychlost) a tudíž se s ním může technicky nakládat stejně, jako Newton nakládá s grafem (*poloha x čas*). Takto "bezčasově" určitě můžeme pozorovat i pohyb třech nebo více těles. Naše machovská úloha potom zní velmi přirozeně: jak odvodit pravděpodobnost určitého stavu tří těles ze zákonitostí zjištěných při studiu pravděpodobnosti stavu dvou těles? Jinými slovy to znamená hledat nějakou analogii Newtonovy věty o silovém paralelogramu, která je vlastně jádrem nebeské mechaniky.

Klasická formulace této základní úlohy je známa, je dobře platná v extrémních podmínkách malých hmot a na krátkých časových škálách, ale, jak již bylo zmíněno, její obecné řešení stejně neznáme. Není tedy bez zajímavosti pokoušet se o podobné konkurenční formulace a v tomto směru se jeví dílo Ernsta Macha jako ideální východisko.

Závěrem můžeme konstatovat, že 'Machův' Machův princip jsme v tomto skromném přehledu samozřejmě nenašli. Není to nic překvapivého, Mach žádný princip nevyslovil a pokud bychom přece jen nějaký vypátrali, byli bychom na krátkou chvíli jen poslední ve velmi dlouhé řadě těch před námi - chyběla by nám ovšem, tak jako každému, Machova originální autorizace. Přitažlivost Machových myšlenek dnes není snad ani tak v tom, že by obsahovaly nějaké hotové výsledky, ale v inspiraci, kterou přinese každému, kdo o ni stojí. Jejím nejúspěšnějším dítětem je zřejmě OTR, ale není dítětem jediným. Zde jsme jen chtěli synopticky zmínit některé její sourozence hlásící se o život.

- Assis A.K.T.: *Relational Mechanics*, Apeiron, Montreal, (1999)
- Barbour J., Pfister H.: *Mach's Principle, From Newton's Bucket to Quantum Gravity*, Birkhäuser, Boston, (1995)
- Barbour J.: *The End of Time*, Phoenix, London, (1999)
- Einstein A.: *Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie*, Annalen der Physik **55**, Vierte Folge (1918) 241-244
- Friedlaender B., Friedlaender I.: *Absolute oder relative Bewegung?*, Simon, Berlin, (1896)
- Mach E.: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Historisch-kritisch dargestellt*, Akademie-Verlag, Berlin, (1988)
- Schrödinger E.: *Die Erfüllbarkeit der Relativitätsforderung in der klassischen Mechanik*, Annalen der Physik, **77**, (1925) 325-336

..... \* \* \* .....