

Ernst Mach: Mechanika ve svém vývoji, líčeno historicko kriticky, (5. Kritika Principu akce a reakce a pojem hmoty, 6. Newtonovo pojetí času, prostoru a pohybu, 7. Přehledná kritika Newtonových výroků)

Pracovní překlad třech kapitol ze slavné knihy E. Macha do češtiny.

Překlad je pořízen z

E. Mach: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Historisch-kritisch dargestellt*, Akademie-Verlag Berlin, (1988), (Siebente verbesserte und vermehrte Auflage, Leipzig F.A. Brockhaus (1912))

s použitím

I. Newton: *Principia*, Motte's Translation, Revised by Cajori, Univ. of California Press, (1962)

V případě citátů z Newtonových Principií předpokládám, že se jedná o vlastní Machův překlad z latiny. Na místech, kde se to jevílo jako vhodné, jsem se více držel Cajoriho anglického překladu, který byl pořízen patrně více nezávisle, na rozdíl od Machova překladu, který je uveden samozřejmě účelově. Také se lze domnívat, že překlad latinského originálu prostřednictvím angličtiny se vzdálí méně původnímu významu než prostřednictvím němčiny (jen z toho důvodu, že Newton byl Angličan). Latinský originál, jistě nenahraditelný, je dnešnímu čtenáři ale méně přístupný také z toho důvodu, že by se myšlenkově musel více přenést do 17. století, což s sebou přináší omezení ale i zároveň novou inspiraci a jistě stojí za námahu tomu, kdo to dokáže. V češtině existuje více útržkovitých překladů Principií (namátkou Vopěnka, Nový-Smolka, Horák/Koyré), které jsem záměrně nepoužil, protože evidentně zdůrazňují kontext vlastních textů, v nichž jsou citovány. Citáty uvedené zde by tedy měly sloužit toku Machovy argumentace.

(Poznamenávám jen, že je to opravdu "pracovní" verze, kterou jsem si kdysi pro sebe pořídil. Je samozřejmé, že Machova Mechanika si zaslouhuje, aby byla přeložena do češtiny celá, někým, kdo je germanista, filozof a fyzik zároveň. Přesto myslím, že někomu může být tento text užitečný a dávám ho k dispozici na

www.themis.cz/mach/mach567.pdf

Některé pasáže z překladu jsem použil v mém vlastním autorizovaném přehledovém článku "Mach versus Machův princip", (www.themis.cz/mach). Všechny případné nedostatky textu padají na mou hlavu a budu rád, když na ně někdo upozorní nebo o nich bude chtít diskutovat.)

(jan.kadrnoska@themis.cz)

5. Kritika Principu akce a reakce a pojem hmoty.

1. V předchozí diskusi jsme se důvěrně seznámili s Newtonovými idejemi a jsme dostatečně připraveni podrobit je kritickému posouzení. Zpočátku se omezíme na úvahy o pojmu hmoty a principu akce a reakce. V následujícím posuzování nemůžeme tuto dvojici oddělit. V nich je obsaženo jádro Newtonova úspěchu.

2. Na prvním místě, nemůžeme prohlásit pojem "množství materie" za dostatečný k vysvětlení pojmu hmoty, protože sám výraz neobsahuje dostatečnou srozumitelnost. Mnozí autoři se obvykle spokojují s vysvětlením pojmu hmoty jako prostým vyčíslením množství hypotetických atomů. Tím ale jen přidáváme další pojmy, které samy potřebují vysvětlení. Při spojení několika naprosto stejných, chemicky homogenních těles můžeme s "množstvím materie" samozřejmě spojit ještě jasnou představu a třeba také zjistit, že odpor ke zrychlení s touto veličinou vzrůstá. Nechme ale chemickou homogenitu stranou a máme co dělat s hypotézou, že *různá* tělesa v sobě obsahují cosi měřitelného, co můžeme nazvat množstvím materie. Hypotéza, která sice může být z hlediska mechanické zkušenosti oprávněná, se musí ale teprve zdůvodnit. Když proto společně s Newtonem přijmeme předpoklad, že tlak je projevem váhy, že $p = mg, p' = m'g$ a v souladu s tím položíme $p/p' = m/m'$, dostaneme vzorec, na němž lze demonstrovat *domněnku*, a ta musí být ještě odůvodněna, že poměřovat různá tělesa je možné jedním, *stejným*, standardem.

Můžeme přijmout *zcela nezávislý* předpoklad, že $m/m' = p/p'$; to znamená že poměr hmotností může být definován jako poměr tlaků vyvolaných váhou při konstantním g . Ale potom bychom měli *opodstatnit* užití postupu, který vyplynul z pouhého matematického zápisu principu akce a reakce a ještě dalších vztahů.

3. Pokud dvě tělesa, přesně stejná ve všech ohledech, jsou umístěna proti sobě, potom z hlediska symetrie očekáváme, že se budou pohybovat na své spojnici se stejným, vzájemně opačným zrychlením. Pokud ale tato tělesa vykazují sebemenší odlišnost ve tvaru, chemickém složení atd., pak nás princip symetrie zradí, *ledaže předpokládáme nebo dopředu víme*, že na stejnosti tvaru, chemického složení nebo čehokoliv, jiného, nezáleží. Jestli ale nějaký mechanický experiment jasně a nepochybně ukazuje na existenci nějaké vlastnosti, která předurčuje jeho zrychlení, pak nic nestojí v cestě k vyslovení následující definice:

Tělesa stejné hmotnosti nazveme taková tělesa, která při vzájemném působení vykazují stejná a navzájem opačná zrychlení.

Takto můžeme jednoduše označit *nebo pojmenovat* skutečné souvislosti mezi tělesy. V obecném případě postupujeme podobně. Tělesa A a B získají, jako výsledek vzájemného působení, zrychlení ϕ a $-\phi'$, kde směr zrychlení je určen znaménkem. Potom řekneme, že B má ϕ/ϕ' krát větší hmotnost než A . *Jestliže položíme A jako jednotku, přidělíme tomuto tělesu hmotnost m , která udělí A m -krát větší zrychlení, než jaké mu A udělí jako reakci.* Poměr hmotností je v opačném poměru vzájemného zrychlení. Tato zrychlení mají vždy opačné znaménko a proto dostáváme pouze kladné hodnoty hmotností, jak požaduje naše definice a jak nám potvrzuje i experiment. V našem pojetí hmotnosti není zaveden žádný teoretický předpoklad; "množství materie" je zcela nadbytečné; vše, co definice obsahuje, jsou přesné pojmy, stanovená a pojmenovaná fakta.

Námítka H. Streintze (*Die physikalischen Grundlagen der Mechanik*, Leipzig, 1883, str. 117), že porovnání hmotností odpovídající mé definici může být realizováno jen astronomickými prostředky, nemohu přijmout. Závěry uvedené na této straně a v předchozím textu na str. 248 bohatě tyto námítky vyvrací. Tělesa si navzájem udělují zrychlení při nárazu stejně jako působením elektrických nebo magnetických sil nebo spojené vlákem v Atwoodově padostroji. V mých *Leitfaden der Physik* (druhé německé vydání 1891, str. 27) jsem velmi jednoduchým a populárním způsobem ukázal, jak experimentálně určit poměr hmotností pomocí odstředivky. Zmíněná kritika může být proto považována za vyvrácenou.

Má definice je výsledkem snahy o zavedení definice *závislé na realitě* ve snaze vyhnout se všem metafyzickým nejasnostem, aniž bych tím dosáhl méně než dosáhly nějaké jiné definice.

Uplatnil jsem přesně stejný postup ohledně problému "velikost elektrického náboje", (*Über die Grundbegriffe der Elektrostatik*, Přednáška při příležitosti mezinárodní elektrické výstavy, Vídeň 4. září 1883), "teploty," "množství tepla" (*Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht*, Berlin, 1888, Heft 1), atd. Z hlediska takto zavedeného pojmu hmotnosti ale vyvstávají také potíže. Musíme být opatrní, pokud chceme tímto způsobem rigorózně analyzovat jiné fyzikální koncepce, například pojem tepla. Maxwell se o tomto problému zmiňuje ve svých výzkumech o teplotě, ve stejné době, když jsem pracoval na otázkách spojených s pojmem tepla. K těmto otázkám odkazují na diskusi vedenou v mých *Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch entwickelt* (německé vydání, Leipzig, 1896), zejména na str. 41 a 190.

4. Nyní bych se věnoval těmto obtížím, protože jejich odstranění je absolutně nezbytné k vybudování průzračně čistého pojmu hmotnosti. Uvažujme několik těles A, B, C, D, \dots , a položme hmotnost A jako jednotkovou. $A = 1, B = m, C = m', D = m''$ atd. Vyvstává nyní otázka: jestliže zvolíme za jednotku B , dostaneme příslušné hodnoty hmotnosti m'/m pro C a m''/m pro D , atd. nebo nějaké úplně jiné hodnoty? Nebo položme otázku jednodušeji takto: Jestliže z interakce AB vyplývá, že mají stejnou hmotnost a z interakce CA totéž, plyne z toho také, že interakce BC prokáže stejnou hmotnost B a C ? Absolutně neexistuje žádná *logická* nezbytnost, aby dvě tělesa, která jsou shodná s třetím, musela být ještě shodná mezi sebou. Zde se ovšem nejedná o matematickou, ale fyzikální otázku. Problém můžeme vystihnout docela jasně s pomocí analogie. Položme vedle sebe tři tělesa A, B, C s poměrnými hmotnostmi a, b, c . Tato tělesa vstoupí do chemické reakce, při které vznikne AC a BC . Neexistuje vůbec žádný *logický* důvod abychom si mysleli, že ty samé poměry hmotností b, c těles B, C vstoupí také do chemické sloučeniny BC . Zkušenost ale ukazuje, že tomu tak je. Položíme-li vedle sebe nějaký soubor těles s poměrem hmotností, v jakém se slučují s A , sama mezi sebou se slučují ve *stejném poměru*. Ale nikdo se to nemůže dozvědět jinak než experimentem. A to je přesně ten problém s hmotností těles.

Kdybychom měli předpokládat, že pořadí těles, z kterého je jejich hmotnost určena, má na hodnotu hmotnosti nějaký vliv, důsledky takového předpokladu, jak bychom zjistili, by vedly k rozporu s experimentem. Uvažujme například tři pružná tělesa pohybující se bez tření po nepružném kruhu. Dopředu víme, že vzájemným porovnáním A a B mají stejnou hmotnost a právě tak B a C . Cítíme také, pokud se nechceme dostat do konfliktu s experimentem, že A a C se při vzájemném porovnání musí chovat rovněž jako stejně hmotné. Pokud uvedeme A do pohybu, A předá nárazem svou rychlost B a následně B na C . Ale když C , které má řekněme větší hmotnost, opět narazí na A , potom by A získalo větší rychlost než mělo na počátku, zatímco C si ještě uchová zbytek své původní rychlosti. S každou další obrátkou by tak narůstala celková kinetická energie systému. Když by C mělo menší hmotnost než A , obráceným pohybem dosáhneme stejný výsledek. Konstantní nárůst kinetické energie je samozřejmě v rozporu s naší zkušeností.

5. Takto pojatá koncepce hmotnosti skýtá nezbytně určitou speciální formulaci principu akce a reakce. V koncepci, jak je vyložena v předchozím textu, je ten *samý* fakt použit *dvakrát*; to je nadbytečné. Když dvě tělesa 1 a 2 na sebe vzájemně působí, plyne už z naší původní Definice, že si udělí navzájem opačná zrychlení, a to v poměru 2 : 1

6. *Měřitelnost* hmotnosti prostřednictvím *váhy* (při stálém tíhovém zrychlení), může být rovněž vyvozena z naší definice hmotnosti. My sami pociťujeme okamžitě zvýšení nebo snížení tlaku, ale naše smysly nám poskytují jen velmi nepřesné a nejisté měření jeho velikosti. Přesné praktické měření tlaku pochází z poznatku, že tlak každého tělesa je nahraditelný tlakem několika podobných, vahou souměřitelných těles. Každý tlak může být vyvážen stejně velkou vahou. Necht' dvě tělesa m a m' se pohybují navzájem opačným zrychlením ϕ a ϕ' , způsobeným nějakými vnějšími okolnostmi. Spojme nyní tato tělesa strunou. Pokud má vzniknout rovnováha, vyrovnání m a m' nastane *interakcí*. V tomto případě tedy $m\phi = m'\phi'$. Proto když $\phi = \phi'$ jako v případě, kdy tělesa nejsou zrychlována gravitačně, máme v rovnovážném případě také $m = m'$. Je zřejmě nepodstatné, zda necháme tělesa na sebe působit prostřednictvím přímé struny nebo struny natažené přes kladku nebo položením na misky vah. Měřitelnost hmotnosti jako váhy je evidentní z naší definice, pojem "množství materie" k tomu vůbec nepotřebujeme.

7. Jakmile jsme se, na základě zkušenosti, *rozhodli* přisoudit tělesům speciální *vlastnosti ovlivňující zrychlení*, je náš úkol hotov, když uznáme tuto *skutečnost* jako takovou a jednoznačně ji pojmenujeme. Dál za tento cíl nepůjdeme, každá další spekulace by přinášela jen nejasnosti. Každá pochybnost zmizí, jakmile si vyjasníme, že v pojmu hmotnosti není obsažena

žádná teorie čehokoliv; je založen jen na naší zkušenosti. Pojem sám se až dosud osvědčil. Je velmi nepravděpodobné, ale ne nemožné, že bude otřesen v budoucnu, právě jako představa konstantního množství tepla, která se také opírala o experiment a byla modifikována novými poznatky. Tento text byl publikován už v prvním vydání 1883, dlouho před tím, než začala diskuse týkající se elektromagnetické hmotnosti.

8. Rád bych zde poukázal na článek A. Lampa: *"Eine Ableitung des Massenbegriffs"* v periodice *Lotos*, (Praha), 1911, str. 303, zvláště na znamenité vysvětlení universální metody zpracování těchto otázek na str. 306 a dále.

6. Newtonovo pojetí času, prostoru a pohybu.

1. V poznámce připojené bezprostředně k svým definicím Newton rozvádí svůj pohled na čas a prostor, který musíme rozebrat podrobněji. Budeme doslova citovat pouze pasáže absolutně nezbytné pro vystižení Newtonových argumentací.

"Až dosud jsem uváděl definice obsahující méně známé pojmy a vysvětlil jejich smysl, jaký bych jim chtěl dát v následujících úvahách. Nezavádím čas, prostor, místo a pohyb jako pojmy běžně známé. Poznamenávám jen, že obvykle se těmito slovy představují pojmy vztahované k věcem, které můžeme smyslově vnímat. Abychom se vyhnuli určitým předsudkům, bude příhodné rozlišovat je na absolutní a relativní, skutečné a zdánlivé, matematické a všeobecné.

"1. Absolutní, pravý, matematicky přesný čas, sám ze své podstaty plyne rovnoměrně, bez vztahu k čemukoliv vnějšmu. Jinak ho můžeme nazvat *trváním*.

"Relativní, zdánlivý, obecný čas, je jakákoliv vnější, pocitově vnímaná míra trvání; chápaný prostřednictvím pohybu (jakkoliv nepravidelného), používaný ve smyslu běžného času jako hodina, den, měsíc, rok.

(Poznámka překladu z němčiny: slovo "trvání" obdařil kurzívou E. Mach, v originále se nezdůrazňuje.)

"Přirozené dny, které jsou pro účely měření času považovány za stejné, jsou ve skutečnosti nestejně dlouhé. Astronomové mohou zpřesnit délku dne korekcí podle jiného času, odvozeného z pohybu hvězd. Možná ale, že neexistuje rovnoměrný pohyb, podle kterého bychom mohli měřit přesný čas. Každý pohyb může být zrychlován nebo zpomalován. Ale tok *absolutního* času nepodléhá změně. Trvání nebo trvajících existence věcí plyne stále stejně, ať je pohyb rychlý, pomalý nebo žádný."

2. Zdá se, že ačkoliv je Newtonův výklad v právě uvedených poznámkách ještě pod vlivem středověké filosofie, je jí ve svém úmyslu zkoumat je to, co je *skutečné*, málo věrný. Když řekneme, že se nějaká věc A mění v čase, jednoduše tím myslíme, že okolnosti té věci A závisí na okolnostech jiné věci B. Kývání kyvadla probíhá *v čase*, jehož hodnota je *odvozena* z polohy Země. Jelikož ale při pozorování pohybu kyvadla nemusíme nutně brát v úvahu jeho závislost na poloze Země, srovnáváme změnu výchylky s jinými jevy (jejichž stavy ale zase na poloze Země závisí), a snadno vzniká iluzorní představa, že všechny tyto vztahy jsou jako celek nepodstatné. Nuže, když se soustředíme jen na pohyb kyvadla, můžeme zanedbat úplně všechny vnější jevy a zjistíme, že v každé poloze jsou naše měření a vjemy různé. Čas se tím pádem zdá být zvláštností, na jejímž plynutí závisí výchylka kyvadla, zatímco věci, které si vybereme pro srovnání náhodně, hrají nějakou podřadnou roli. Nesmíme ale zapomínat, že všechny věci na světě jsou propojeny a navzájem se ovlivňují a že my sami, i naše myšlenky, jsou součástí tohoto světa. Je naprosto nad naše schopnosti *měřit* změny věcí pomocí *času*. Čas je naopak jenom abstrakce, k níž dojdeme pozorováním změn věcí; jelikož nejsme odkázáni na žádné *určité* měřítko, je prostě všechno navzájem propojené. Pohyb může být nazýván stejnomořným, pokud stejné přírůstky uběhnuté v prostoru korespondují se stejnými přírůstky uběhnutými stejným pohybem, který bereme jako srovnávací, např. rotace Země. Pohyb může být stejnomořný, ve srovnání s jiným pohybem,. Ale otázka, zda pohyb je stejnomořný *sám o sobě*, je nesmyslná. Právě tak málo můžeme mluvit o "absolutním času" - *času nezávislém* na změnách. Takový čas nemůže být měřen v porovnání s žádným pohybem; nemá ani praktický ani teoretický význam; a nikdo není oprávněn tvrdit, že o něm cokoliv ví. Je to planý metafyzický pojem.

Nebylo by obtížné ukázat z pohledu psychologie, historie nebo filologie (z etymologie chronologického dělení), že dojdeme nějaké představy o čase jen skrze vzájemné závislosti věcí jedné k druhým. V takových představách tkví nehlubší a nejobecnější propojení mezi věcmi. Když se pohyb odehrává v čase, potom závisí na pohybu Země. To neodporuje faktu, že mechanický pohyb může probíhat i obráceně. Řada proměnných veličin může být tak provázána, že jedna část nemůže podléhat změně, aniž by tím nebyly ovlivněny ostatní části. Příroda se chová jako stroj. Jednotlivé věci zpětně ovlivňují věci jiné. Zatímco ale ve stroji poloha jedné součástky určuje polohu *všech* ostatních, v přírodě panují ještě složitější vztahy. Tyto vztahy mohou být prezentovány nejlépe na příkladu počtu n proměnných, které splňují menší, n' , počet rovnic. Pokud $n = n'$, příroda by byla nezměnitelná. Pokud $n' = n - 1$, potom jedinou veličinou je řízen celý zbytek. Kdyby v přírodě toto platilo, čas by mohl plynout pozpátku jakmile by se nějaký pohyb uskutečnil. Skutečný stav věcí je ale reprezentován jinými vztahy mezi n a n' . Veličiny jsou navzájem zčásti provázány, ponechávají si však větší dávku neurčitelnosti či svobody, než v posledně citovaném případě. My sami sebe pocítujeme jako takový element přírody, částečně určující, částečně neurčující. Pouze do té míry, do jaké jen část přírodních změn závisí na nás, a může být námi ovlivněna, do té míry se čas zdá být nevratný a čas který minul je nenávratně pryč.

Přicházíme tedy k pochopení času - řečeno stručně a populárně - jako spojení toho, co je obsaženo v zorném poli naší paměti a co je obsaženo v rámci našeho smyslového vnímání. Když říkáme, že čas plyne nějakým určitým směrem, myslíme tím, že fyzikální (a následně i psychologické) události probíhají v tom samém směru. Rozdíly teploty, elektrických veličin nebo stavových veličin vůbec, ponechány samy o sobě, se nezvětšují, nýbrž zmenšují. Pozorujeme-li dvě tělesa různé teploty, spojené a bez vnějšího vlivu, rozdíl teplot se může zvětšovat jen v naší mysli, ve skutečnosti se vždy zmenšuje, nikdy naopak. Všechny tyto jednoduché úvahy ukazují na příznačné a přitom hluboké vztahy mezi věcmi. Zde už ale žádáme úplné vysvětlení a podle principů spekulativní filozofie musíme též předvídat výsledky budoucích měření a objevů.

Tak jako při studiu termodynamických procesů se při měření teploty opíráme o *libovolně zvolený normál objemu*, který se prakticky nemění a nepodléhá změnám, které bychom nemohli kontrolovat našimi smysly, tak také při měření času si můžeme vybrat *libovolný pohyb* (poziční úhel Země nebo volně se pohybující těleso), který plyne téměř paralelně s naším vnímáním času. Pokud si jednou ujasníme, že to, co pozorujeme, pozorujeme pouze prostřednictvím vzájemně závislých veličin, jak jsem ukázal už v roce 1865 (*Über den Zeitsinn des Ohres, Sitzungsberichte der Wiener Akademie*) a 1866 (*Fichtův Zeitschrift für Philosophie*), všechny metafyzické nejasnosti zmizí. (Cf. Epstein, *Die logischen Prinzipien der Zeitmessung*, Berlin 1887.)

Jinde jsem se pokusil ukázat (*Prinzipien der Wärmelehre, str. 15*) na čem se zakládá přirozená náchylnost lidí k hypostasi pro ně důležitých pojmů, zvláště těch, které jsou přijímány instinktivně a bez znalosti jejich původu. Úvahy, které zde cituji v souvislosti s pojmem teploty, mohou být snadno aplikovány na pojem času a tlumočit tak srozumitelně původní Newtonův pojem "absolutního času". Další názor na souvislost mezi entropií a nevratností času je uveden zde (str. 338) a je ještě rozvinutý dál na entropii celého vesmíru, pokud je vůbec možné ji určit, která by vlastně mohla představovat jistý druh škály absolutního času. Nakonec ještě musím odkázat na výklad Petzoldův ("*Das Gesetz der Eindeutigkeit*", *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie, 1894 str. 146*) a na mé vlastní pojednání *Erkenntnis und Irrtum*, 2. vydání 1906, str. 434 - 448.

3. Podobné úvahy jako ty, které se týkají času, rozvíjel Newton i pro prostor a pohyb. Vybíráme některé charakteristické pasáže:

"II. Absolutní prostor, ve své vlastní podstatě a bez ohledu na cokoliv vnějšího, zůstává stále stejný a nehybný.

"Relativní prostor je nějaký pohyblivý rozměr nebo míra absolutního prostoru, kterou naše smysly určují podle polohy vzhledem k tělesům a který bývá obvykle považován za nehybný prostor...

"IV. Absolutní pohyb je přemísťování tělesa z jedné absolutní polohy do druhé; relativní pohyb je přemísťování tělesa z jedné relativní polohy do druhé ...

... "Takže v běžném životě namísto absolutní polohy a pohybu bez potíží používáme polohy a pohyb relativní; ale z filozofického hlediska bychom se měli vzdát svých pocitů. Může se totiž stát, že neexistuje žádné skutečně nepohyblivé těleso, vzhledem ke kterému bychom mohli měřit polohu nebo pohyb jiných těles. ...

"Skutečné příčiny, které dovolují rozeznat pohyb absolutní od relativního, jsou síly rotačního pohybu nutící k vzdalování od osy. Neexistují takové síly při rotačním pohybu, které by byly čistě relativní, ale při skutečném a absolutním rotačním pohybu existují a jsou větší nebo menší podle velikosti pohybu. Při rotačním pohybu, který je čistě relativní, odstředivé síly neexistují; při skutečném (absolutním) pohybu existují a jsou větší nebo menší podle velikosti pohybu.

"Vezměme vědro zavěšené na dlouhém provazu; tak dlouho s ním otáčíme až je provaz úplně skroucený, 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 zřetelně 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 poukážou na rozdíl mezi skutečnými pohyby; částečně odvozené ze zdánlivých pohybů, jež jsou rozdílem pohybů skutečných, částečně ze sil zodpovědných za projevy skutečných pohybů. Například vezměme dvě koule spojené provazem, které se otáčejí kolem společného těžiště a udržují od sebe stále stejnou vzdálenost. Podle napětí v provazu můžeme zjistit snahu koulí vzdalovat se od osy otáčení a z něj můžeme vypočítat velikost otáčivého pohybu. Když potom nějakou silou zapůsobíme na protilehlé strany koulí, abychom zvětšili nebo zmenšili jejich otáčivou rychlost, můžeme toto zvětšení či zmenšení odvodit ze zvětšení či zmenšení napětí v provaze. A odtud můžeme zjistit, na kterou stranu koulí bychom měli působit, aby se jejich pohyb maximálně zvětšil; to znamená, že můžeme zjistit, které polokoule se pohybují kupředu a které jsou vlečeny za nimi. Jakmile je známo, která polokoule jde dopředu a která jde za ní, je možné stejně tak rozhodnout o směru jejich pohybu. 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 koule porovnávat."

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. Uvažujme například Newtonovo rotující vědro, ve kterém voda dosud nerotuje. Jestli hmota m má rychlost v_1 a ta je vyvolaná sousední rychlostí v_2 , síla, která mezi nimi působí je $p = m(v_1 - v_2)/t$ nebo také práce, kterou si vymění je $ps = m(v_1^2 - v_2^2)$. *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!

4. Sotva je nutné podotýkat, že Newton v této části jde proti svému programu zkoumat *skutečná fakta*. Nikdo nemůže nic tvrdit o absolutním prostoru nebo o absolutním pohybu; jsou to ryzí myšlenkové záležitosti, které nemohou být vyvozeny ze zkušenosti. Všechny naše principy mechaniky jsou, jak jsme podrobně ukázali, experimentální vědomosti týkající se relativních poloh a relativních pohybů těles. I když v oblasti, v které jsou přijímány jako platné, nemohou být a nejsou uznány bez předchozího podrobení experimentálními testům. Nikdo není oprávněn rozšiřovat tyto principy za hranice experimentu. Skutečně, takové rozšíření nedává smysl, jelikož nikdo o něm nic potřebného neví.

Musíme připustit, že změna pohledu, z kterého je svět nazírán tak, jak to zavedl Koperník, zanechala hlubokou stopu v myšlení Galilea i Newtona. Stojí za povšimnutí, že zatímco Galileo ve své teorii o přílivu prostě jednoduše zvolil sféru stálíc za základ nového systému souřadnic, Newton pochybuje, zda daná fixovaná hvězda je v klidu jen zdánlivém nebo skutečném. (Newton, *Principia*, 1687, str. 11). Zdálo se mu, že právě toto způsobí potíže v rozlišení mezi skutečným (absolutním) a zdánlivým (relativním) pohybem a to ho nakonec donutilo zavést představu absolutního prostoru. Podle pozdějšího zkoumání v tomto směru - diskuse o pokusu s rotujícími spojenými koulemi a o pokusu s vědrem (str. 9, 11) - věřil, že může dokázat absolutní rotaci, třebaže absolutní přímočarý pohyb dokázat nemůže. Absolutní rotací rozuměl rotaci vzhledem ke stálícím u nichž odstředivé síly může vždy naměřit. "Jak můžeme usuzovat na opravdovost pohybů z jejich příčin, účinků a zdánlivých rozdílů, a naopak, jak odvodit příčiny a účinky z rozdílů zdánlivých a skutečných pohybů, bude obšírně vysvětleno dále." Nepohyblivá sféra stálíc, zdá se, ovlivnila Newtona právě tak. Přirozený referenční systém je pro něj to, co se přímočaře pohybuje nebo přemísťuje bez rotace (vzhledem ke stálícím).

Citát (jen latinsky) z Principií pod čarou: Coroll. V. : Corporum dato spatio inclusorum iidem sunt motus inter se, sive spatium ille quiescat, sive moveatur, idem uniformiter in directum absque motu circulari. "Pohyby těles nacházejících se v daném prostoru jsou stejné vzájemně jeden k druhému, ať je prostor v klidu nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře, aniž by se otáčel."

Nevyvolávají citovaná Newtonova slova v uvozovkách dojem, že se Newton nechal unést pocitem, že se může vyhnout otázkám nyní méně ošidným a experimentem dokazatelným? Podívejme se na tuto pasáž podrobněji. Když říkáme, že těleso K mění svůj směr a velikost rychlosti pouze vlivem jediného tělesa K' , pak z toho pohledu prostě není možné, že existují další tělesa A, B, C, \dots , k nimž bychom mohli pohyb tělesa K vztahovat. Ve skutečnosti ale jsme znalí vztahů mezi K a A, B, C, \dots . Když ale náhle zanedbáme A, B, C, \dots , a pokusíme se mluvit o chování tělesa K v absolutním prostoru, dopouštíme se dvojí chyby.

Jednak nemůžeme vědět, jak by se K chovalo bez přítomnosti A, B, C, \dots , potom bychom ale také neměli žádný prostředek, jak posuzovat chování K a ověřit svoje závěry, které by potom neměly žádný přírodovědný smysl.

Dvě tělesa K a K' , která se vzájemně gravitačně přitahují, udělují si navzájem ve směru své spojnice zrychlení nepřímě úměrné svým hmotnostem m, m' . V této poučce je vyjádřen nejen vztah K a K' jeden k druhému, ale i vztah k jiným tělesům. Výrok praví nejenže si K a K' udělují navzájem zrychlení $\kappa(m + m')/r^2$, ale také že K pociťuje zrychlení $-\kappa m'/r^2$ a K' zrychlení $+\kappa m/r^2$ ve směru jejich spojnice; fakt, který je zjistitelný jen za přítomnosti dalších těles. Pohyb tělesa K může být posouzen jen ve vztahu k dalším tělesům A, B, C, \dots . I kdybychom měli k dispozici dostatečný počet těles, která jsou navzájem nehybná nebo alespoň svoji polohu mění velmi pomalu, nejsme s to uvést do souvislosti pohyb jednoho *určitého* tělesa jen s některými z nich a střídavě zanedbávat vliv toho či onoho okolního tělesa. Takovou úvahou bychom došli k závěru, že se tato tělesa navzájem vůbec neovlivňují.

Může se docela dobře stát, že izolovaná tělesa A, B, C, \dots hrají jen vedlejší roli při určení pohybu tělesa K a že tento pohyb je určen nějakým *mediem*, v kterém se K nachází. V tom případě bychom měli s tímto mediem ztotožnit Newtonův absolutní prostor. Tyto představy ale Newton samozřejmě nezastával. Kromě toho je snadno vidět, že například atmosféra není takovým pohybotvorným mediem. Muselo by se vymyslet nějaké jiné medium, snad vyplňující celý vesmír, o jehož charakteru a kinetických vztazích k tělesům, které se v něm nacházejí, zatím nemáme dostatečné znalosti. Takové poměry není nemožné si představit. Z nedávných hydrodynamických měření je například známo, že tuhé těleso pociťuje odpor v tekutině bez tření pouze v případě, že *mění* svou rychlost. Ačkoliv je tento výsledek teoreticky odvozen na základě představy setrvačnosti, může být naopak považován za základní fakt, z kterého se dá vyjít. I kdyby se tato představa pro začátek neukázala jako praktická, může to z tohoto pohledu být hodnotný přínos spíše než beznadějná idea absolutního prostoru. Když uvážíme, že nelze odhlédnout od izolovaných těles A, B, C, \dots , čili že nemůžeme rozhodnout experimentem, zda tato tělesa hrají podstatnou nebo jen vedlejší roli, doposud jsou jediným výhradním prostředkem ke zhodnocení pohybu a popisu mechanických faktů a zatím nezbyvá nic jiného, než chápat všechny pohyby jako odvozené od těchto těles.

5. Prozkoumejme nyní předpoklad, o který Newton, zjevně z rozumných důvodů, opíral své rozlišování absolutního a relativního pohybu. Pokud Země rotuje *absolutně* kolem své osy, vznikají odstředivé síly; to znamená zploštělý tvar, tíhové zrychlení na rovníku je menší, Foucaultovo kyvadlo se stáčí atd. Všechny tyto jevy zmizí, pokud je Země v klidu a ostatní nebeská tělesa vykonávají absolutní pohyb kolem ní, přičemž *relativní* pohyb je tentýž. To je ovšem totéž, jako když a priori vyjdeme z představy absolutního prostoru. Zůstaňme ale u podstaty věci, totiž jediné co můžeme znát, jsou *relativní* polohy a pohyby. Relativní, t.j. ale nikoliv vzhledem k neznámému a nezřetelnému mediu prostoru, jsou pohyby ve vesmíru bez ohledu na to, zda přijmeme Ptolemaiov nebo Koperníkův úhel pohledu. Oba pohledy jsou stejně *správné*, jen ten druhý

je jednodušší a *praktičtější*. Vesmír pro nás neexistuje *dvakrát*, jeden s rotující Zemí a druhý se stojící, ale jen *jednou* se svými jedine 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.

Newtonův pokus s vědrem nám jednoduše říká, že relativní otáčení vody vzhledem ke *stěnám vědra* nevzbuzuje žádné očividné odstředivé síly, ale že tyto síly vznikají relativním pohybem vzhledem k hmotě Země a ostatním nebeským tělesům. Nikdo nemůže říci, jak by experiment kvalitativně a kvantitativně probíhal, kdyby se tloušťka stěn a jejich hmotnost zvětšila, řekněme na mnoho mil. Před námi stojí jen právě tento pokus a ten musíme přivést do souvislosti s fakty nám známými a ne s nějakou naší imaginární představou.

6. Když Newton zkoumal Galileovy mechanické principy, jistě mu nemohla uniknout značná hodnota jednoduchých a přesných tvrzení o setrvačnosti; pro deduktivní závěry se těžko jejich pomoci mohl zříci. Ale zákon setrvačnosti, předložený tak naivním způsobem, že Země je pokládána za nehybnou, nemohl přijmout. Pro Newtona nebyla rotace Země předmětem diskuse, otáčela se mimo jakékoliv pochybnosti. Galileovy šťastné závěry mohly být platné přibližně jen pro krátké časy a vzdálenosti, na jejichž škále vůbec rotace nevstupovala do úvahy. Teprve Newtony úsudky o planetárním pohybu, vztaženého k fixovaným stálícím, odpovídaly zákonu setrvačnosti. Nyní, když potřeboval obecně platný vztažný systém, odvážil se Newton vyslovit svůj Corollary V *Principia*, p.19 *prvního vydání*. Položil okamžitý pozemský souřadný systém, v němž je zákon setrvačnosti platný, jako nehybný, bez otáčení Země vzhledem ke stálícím. Samozřejmě mohl opatřit tento systém nějakými počátečními podmínkami a nějakou uniformní transformací vzhledem k momentálnímu stavu pozemských souřadnic, aniž by narušil jeho použitelnost. Newtonův zákon o síle by tím nebyl nijak dotčen; jen počáteční polohy a počáteční rychlosti, jako integrační konstanty, by se mohly změnit. Touto formulací dal Newton přesně smysl svému hypotetickému zobecnění Galileova zákona setrvačnosti. Odtud je vidět, že omezení na absolutní prostor nebylo v žádném případě nezbytné, protože referenční systém je v tomto případě určen stejně relativně jako v jiných případech. Navzdory své metafyzické zálibě v absolutnu se nechal Newton správně vést *citem přírodovědce*, což bych chtěl zde *zvláště vyzdvihnout, neboť v dřívějších vydáních této knihy to nebylo dostatečně zdůrazněno*. Jak dalece a jak přesně se tato zpřesněná domněnka osvědčí také v budoucnu se zřejmě nedá rozhodnout.

Chování pozemských těles vzhledem k Zemi lze zredukovat na chování Země vůči vzdáleným nebeským tělesům. Pokud bychom chtěli tvrdit, že o pohybech těles toho víme víc než co bychom mohli naměřit ve vztahu k nebeským tělesům, dopustili bychom se jistě *nepoctivosti*. Když tedy říkáme, že těleso si zachovává svůj směr a rychlost v *prostoru*, míníme tím zkrátka, že v celém vesmíru. Objevitel principu si takový zkrácený výrok může dovolit, protože dobře ví, že jeho vyslovení tímto způsobem nepřináší žádné potíže. Nemůže ale nijak pomoci, když takové potíže skutečně přijdou, například když nezbytně nutná, vztažná, pevně fixovaná tělesa zmizí.

7. Namísto pohybu tělesa vzhledem k prostoru (jeho souřadnému systému), měli bychom vztahovat pohyb vzhledem ke všem okolním tělesům ve vesmíru, která sama určují onen souřadnicový systém. Tělesa, která jsou vzájemně velmi vzdálená se pohybují navzájem konstantní rychlostí ve stejném směru, mění své polohy přímo úměrně času. Může se také říci, že všechna velmi vzdálená tělesa, oproštěná od vzájemných nebo jiných sil, mění své vzdálenosti navzájem proporcionálně. Dvě tělesa umístěná blízko sebe, která se pohybují vzhledem ke vzdáleným tělesům konstantními rychlostmi, podléhají komplikovanějším vztahům. Když připustíme, že obě tělesa jsou na sobě závislá, r je jejich vzdálenost, t je čas a a konstanta závislá na směrech a rychlostech, můžeme předložit vzorec: $d^2r/dt^2 = (1/r)[a^2 - (dr/dt)^2]$. Je zjevně *jednodušší a přehlednější* považovat dvě tělesa za nezávislá jedno na druhém a vzít do úvahy neměnnost jejich směrů a rychlostí vůči ostatním tělesům.

Místo abychom řekli, že směr a rychlost tělesa hmotnosti μ zůstává v prostoru konstantní, můžeme použít vyjádření, že střední zrychlení μ vzhledem k hmotám m, m', m'', \dots , ve vzdálenostech r, r', r'', \dots , je rovné 0, anebo $d^2(\Sigma mr/\Sigma m)/dt^2 = 0$. Druhý výraz je ekvivalentní prvnímu jakmile vezmeme v úvahu jen dostatečný počet dostatečně vzdálených a dostatečně velkých hmot. Vzájemné ovlivňování bližších menších hmot, jež jedna druhou zdánlivě nepociťuje, se navzájem vyruší. Neměnnost směru a rychlosti je dána uvedenou podmínkou, hned zřetelnou, když sestrojíme z μ kužel, odřízneme vnější část prostoru a sestavíme podmínky jen vzhledem ke hmotám ve vnitřní části. Můžeme položit, samozřejmě, pro *úplné* okolí μ , $d^2(\Sigma mr/\Sigma m)/dt^2 = 0$. Ale tato rovnice nám v tom případě neřekne nic o pohybu μ , protože platí dobře pro všechny případy pohybu μ rovnoměrně obklopeného nekonečným počtem hmot. Pokud na sebe působí dvě hmoty μ_1, μ_2 , síla závislá na jejich vzdálenosti r je $d^2r/dt^2 = (\mu_1 + \mu_2)f(r)$. Současně ale zrychlení jejich těžiště nebo obecně střední zrychlení hmotného systému vzhledem ke hmotě vesmíru (podle principu akce a reakce) zůstává $= 0$; tedy

$$\frac{d^2}{dt^2} \left[\mu_1 \frac{\Sigma mr_1}{\Sigma m} + \mu_2 \frac{\Sigma mr_2}{\Sigma m} \right] = 0.$$

Když si uvědomíme, že časový faktor, který vstupuje do zrychlení, není nic jiného než veličina závislá na vzdálenosti (nebo úhel v případě rotace) těles tvořících vesmír, shledáme už v tomto jednoduchém případě *dvou* těles, že odhlédnutí od ostatních těles ve vesmíru je *nemožné*. Příroda prostě není založena na základech, na nichž bychom byli my nuceni ji stavět. Pro nás je zajisté štěstí, že můžeme vůbec někdy odvrátit pohled od dominujícího celku a zaměřit ho na jednotlivosti. Neměli bychom si nechat ujít příležitost vždy doplnit a přehodnotit svoje úvahy když se objeví něco, co dříve bylo nepozorovatelné.

8. Poslední úvahy naznačují, že není nezbytné spojovat zákon setrvačnosti s nějakým zvláštním absolutním prostorem.

Naopak musíme uznat, že jak hmoty, které obvykle působí vtištěnou silou na jiné hmoty, tak i ty, které působí jinak, vyvolají nakonec zcela rovnocenné zrychlení a tedy musíme *všechny* hmoty považovat za společně vzájemně působící. Toto *zrychlení* hraje prominentní roli ve vztazích mezi hmotami, musíme ho přijímat jako fakt pocházející z experimentu. To nevyklučuje pokusit se tento fakt *vyjasnit* pomocí jiných skutečností, dosud neobjevených nevyjímaje. Ve všech přírodních procesech, *rozdíly* jistých veličin *u* hrají určující roli. Rozdíly teploty, potenciálu, etc. vedou k přirozenému procesu tyto rozdíly vyrovnat. Obvyčné výrazy $\frac{d^2u}{dx^2}$, $\frac{d^2u}{dy^2}$, $\frac{d^2u}{dz^2}$ které jsou charakteristické pro rovnice relaxací, mohou být považovány za hodnoty odchylek rovnováhy, ke které má systém tendenci dospět. Zrychlení hmot si můžeme představovat analogicky. Ohromné vzdálenosti mezi hmotami, které na sebe navzájem nepůsobí nějakými zvlášť intenzivními silami, se mění *proporcionálně jedna k druhé*. Když přiřadíme jednu jistou vzdálenost ρ jako abscisu a nějakou jinou vzdálenost r jako ordinátu, dostaneme přímku (obr. 143). Směrnice přímky odpovídá jisté střední hodnotě nějaké dvojici vzdáleností. Jestliže připustíme nějaký silový vztah mezi tělesy, jsou tím dány výrazy d^2r/dt^2 a mohou být s odvoláním na předchozí předpoklady zaměněny za $d^2r/d\rho^2$. Prostřednictvím silového vztahu se tedy objeví jistá *odchylka* r od *střední hodnoty* směrnice a tato odchylka by bez silového působení neexistovala. (Pozn. překladu: Na obr. 143 je 1) *přímka v kartézských souřadnicích* (ρ, r) a 2) *tatáž přímka prochu prohnutá*. Poslední tři věty jsou přeloženy velmi volně ve snaze přiblížit se jádru sdělení. *Mach zde termín směrnice nepoužívá.*) Uvedená poznámka je zde zatím postačující.

9. V předchozím výkladu jsme se pokusili vyjádřit zákon setrvačnosti jinak, než se to obvykle dělá. Toto vyjádření je platné stejně jako to obvyklé, dokud existuje dostatek těles fixovaných v prostoru. Je stejně snadno upotřebitelný a vede ke stejným těžkostem. V prvním případě nejsme schopni si poradit s absolutním prostorem, v druhém zas naše znalosti závisí na omezeném počtu nějakých hmotných těles a naznačené sjednocení také nevede k žádnému konci. Není možné říci, zda nové vyjádření stále reprezentuje skutečný stav věcí když se hvězdy začnou vzhledem k sobě pohybovat rychle. Z tohoto *speciálního* případu nemůžeme odvodit žádné *obecné* zkušenosti. My musíme spíše na takové zkušenosti *počkat*. Snad teprve až se rozšíří naše fyzikálně-astronomické znalosti pozorováním nějaké části vesmíru, kde se nabídnou intenzivnější a složitější pohyby, než je tomu v našem těsném okolí. Nejdůležitější závěr z těchto úvah je, že *přímo ty zdánlivě nejjednodušší principy mechaniky mají v sobě velmi komplikovanou podstatu, že tyto principy jsou založeny na neúplných zkušenostech, totiž zkušenostech, které ani nikdy nemohou být úplné, ač dostatečně podložené z pohledu přijatelné stability našeho okolí slouží jako základ matematické dedukci, které ale v žádném případě nemohou být považovány za matematicky dokázané pravdy, nýbrž jen za principy, které nejen přijímají experimentální zkušenost, ale ve skutečnosti ji požadují*.

Nevěřím, že by příspěvky obhájců absolutního prostoru z posledního desetiletí mohly tvrdit něco jiného, než co zde bylo zdůrazněno kurzívou už od první německé edice 1883 (str. 221, 222). Protože napomáhá vědeckému pokroku, je to užitečný názor.

10. Pojem setrvačnosti byl často vykládán už od starověku až po dnešní časy a téměř vždy to byl principiálně pochybný a prázdný pojem absolutního prostoru, který vedl nakonec do slepé uličky. V následujícím textu se omezíme jen na některé modernější práce.

Na prvním místě musíme zmínit práce C. Neumanna : "Über die Prinzipien der Galilei-Newtonschen Theorie" (1870), "Über der Körper Alpha" (Ber. der königl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., 1910, III). Autor vyvozuje na základě svého dřívějšího pojednání na straně 22 vztah tělesa Alpha k plochému nerotujícímu kartézskému systému a dochází ke shodě s dříve už zmíněným Newtonovým pátým Corollal. I tak ovšem nevěřím, že by konstrukce fiktivního tělesa Alpha a zachování rozdílů mezi absolutním a relativním pohybem, a paradoxy (str. 27, 28) spojené s tímto rozdílem, nějak zvlášť k problému přispívaly. V publikaci z roku 1910 (str. 70, poznámka 1) označuje svoje závěry za čistě hypotetické, v čemž spočívá skutečný pokrok v pochopení Newtonova pátého Corollary. Ve stejné publikaci je vyloženo Langeho stanovisko, které je v podstatě shodné.

H. Streintz (*Die physikalischen Grundlagen der Mechanik, 1883*) akceptuje Newtonovy rozdíly mezi absolutním a relativním pohybem, ale také dochází k pojetí vyjádřeném v Newtonově pátém Corollary. Co jsem vyslovil proti Streintzově kritice ze svého pohledu, je obsaženo v dřívějším vydání této knihy a nemusí se zde opakovat.

Dále se zaměříme na článek L. Lange: "Über die wissenschaftliche Fassung der Galilei'schen Beharrungsgesetzes", *Wundtovy Philos. Studien*, II, 1885, str. 266-297, 539-545; Ber. d. königl. sächs. Ges. der Wiss., math.-physik. Klasse, 1885, str. 333-351; *Die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffs*, Leipzig, 1886; *Das Inertialsystem vor dem Forum der Naturforschung*, Leipzig, 1902.

Lange vychází z předpokladu, že obecně Newtonův zákon setrvačnosti *existuje* a hledá takový souřadný systém, v kterém platí (1885). K jakémukoliv bodu P_1 , který se obecně pohybuje po křivce, můžeme zavést takové souřadnice, ve kterých se bod P_1 pohybuje po přímce G_1 . Když budeme v tomto systému sledovat druhý bod P_2 , bude se pohybovat po přímce G_2 , obecně mimoběžné s G_1 , jestliže nejkratší vzdálenost mezi G_1 G_2 není větší než vzdálenost P_1 P_2 . Pokud dále vezmeme v úvahu třetí bod P_3 , ještě stále můžeme nový systém zvolit tak, aby se i tento třetí bod pohyboval po nějaké přímce G_3 . (Pozn. překladu: *Poslední věta, která je v originále poněkud komplikovaná, je zcela přeformulovaná, aby odpovídala českému matematickému vyjadřování.*) I tak se ještě systém může otáčet kolem P_1 P_2 . Z toho plyne, že pouhou *konvencí* lze zavést souřadný systém, v kterém se nejvýše tři tělesa pohybují po přímkách. Lange právě v tom vidí podstatný obsah *zákona setrvačnosti*, že pomocí tří volných hmotných bodů může být nalezen souřadný systém, ve kterém se potom čtyři nebo libovolně mnoho volných hmotných bodů pohybuje přímočaře a popis jejich drah je navzájem proporcionální. Pohyby v přírodě by tak byly zjednodušením a omezením kinematicky přípustných možností.

Tyto nadějně myšlenky a jejich důsledky našly široké uznání u matematiků, fyziků a astronomů. (Cf. H. Seeligerovo mínění o Langeho pracích v "Vierteljahrsschrift der astronom. Ges.", XXII, str. 252; H. Seeliger, "Über sogenannte absolute Bewegung", Sitzungsber. d. Münchener Akad. d. W., 1906, str. 85). Nyní Petzoldt (*Die Gebiete der absoluten und relativen Bewegung* v Ostwaldových *Annalen der Naturphilosophie*, VII, 1908, str. 29 - 62.) našel určité obtíže v Langeho postupu a ty pak souvisí s dalšími těžkostmi, jež patrně nelze snadno odstranit. Proto prozatím přerušíme poznámky o Langeho souřadných a inerciálních systémech, abychom je spíše nezamtlili. Seeliger se pokusil nalézt praktický vztah mezi inerciálním systémem a empirickým astronomickým systémem souřadnic a věří, že může říci, že empirický systém nemůže rotovat vůči inerciální soustavě rychleji než několik obloukových vteřin za století. (Viz. také A. Anding, "Über Koordinaten und Zeit", v "Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften", VI, 2, 1.)

11. Názor, že "absolutní pohyb" je bezobsažný pojem nepoužitelný ve fyzice, a který vyvolával všeobecnou pozornost v posledních třiceti letech, zastává nyní mnoho známých vědců. Chtěl bych uvést některé "relativisty" : Stallo, J. Thompson, Ludwig Lange, Love, Kleinpeter, J. G. MacGregor, Mansion, Petzoldt, Pearson. Počet relativistů neobyčejně roste a uvedený seznam už zřejmě není úplný. Brzy pravděpodobně nebude nikoho, kdo by vážně podporoval opoziční názory. Ale, jestli těžko uchopitelné hypotézy o absolutním prostoru a absolutním čase nemohou být akceptovány, vzniká tu otázka : Jakým způsobem máme dát zákonu setrvačnosti nějaký srozumitelný smysl? MacGregor ve svém znamenitém článku (*Phil. Mag.*, XXXVI, 1893, str. 223), který je napsán velmi srozumitelně a s velkým porozuměním pro Langeho, ukazuje dvě cesty: (1) historicko-kritická cesta, která položí úplně nové základy, na kterých zákon setrvačnosti stojí, vymezí hranice jeho platnosti a konečně si vyžádá úplně novou formulaci; (2) přijmout předpoklad, že stará formulace zákonu setrvačnosti je pro popis pohybů dostatečná a správný souřadný systém odvozovat *teprve* z těchto pohybů.

Pro první metodu, zdá se mi, Newton sám dává první příklad svým vztahným systémem, načrtnutým v Corollary V., jak již bylo několikrát zmíněno dříve. Je zřejmé, že bychom museli vzít v úvahu modifikace ve vlastním vyslovení, vyžádané rozšiřováním našich poznatků. Druhá cesta je velmi těsně *psychologicky* spojena s ohromnou důvěrou, které se mechanika, jako nejexaktnější věda, těší. Skutečně je tato cesta sledována, s větším či menším úspěchem. W. Thomson a P.G. Tait (*Treatise on Natural Philosophy*, I, part 1, 1879, §249 (a rovněž 267, 245 - jen angl. překlad)) poznamenávají, že dva hmotné, na sobě nezávislé body, současně vystřelené ze stejného místa, se pohybují tak, že jejich spojnice zůstávají rovnoběžné. Tedy pokud stejným způsobem vystřelíme čtyři body O, P, Q a R, přímkou OP, OQ a OR zachovávají svůj směr. J. Thomson se pokouší ve svých dvou člancích (*Proc. Roy. Soc. Edinb.*, 1884, str. 568, 730) sestavit vztahný systém související se zákonem setrvačnosti a dovozuje, že předpoklady o rovnoměrnosti a přímočarosti jsou *částečně konvenční*. Tait (a.a.O str. 743) povzbuzený J. Thomsonem hledal řešení stejného problému pomocí quaterionů. Stejnou cestou se ubíral i MacGregor ("The Fundamental Hypotheses of Abstract Dynamics," *Trans. Toy. Soc. of Canada*, X, 1892, §III, zvláště str. 5 a 6).

Stejná psychologická motivace je zřetelně patrná u Ludwiga Langeho, který měl šťastnější ruku ve své snaze správně interpretovat Newtonův zákon setrvačnosti a sice už 1885 ve Wundtových Cf. oba články ve Wundtových *Philos. Studien*, 1885.

Úplně nedávno (Wundtovy *Philos. Studien*, XX, 1902) Lange publikoval kritickou stať, ve které odvozuje metodu, jak podle svých principů získat *nový* souřadný systém, pokud by obvyklý hrubý systém stálic přestal být dostačující v důsledku přesnějších astronomických měření. Zde nejsou, podle mého mínění, žádné rozdíly mezi Ludwigem Lange a mnou, co se týče *teoretické* a formální stránky Langeho formulace, faktu, že systém stálic je v současnosti jediný prakticky použitelný referenční systém a také metody, jak hledat nový referenční systém pozvolným korigováním. Rozdíl ale, který přetrvává a patrně tu vždy zůstane, spočívá v tom, že Lange k problému přistupuje jako *matematik*, kdežto já spíš vidím *fyzikální* stránku věci.

Lange svědomitě předpokládá, že *jeho* vyjádření zůstane platné pro nebeské pohyby i na velké škále. Nemohu sdílet toto přesvědčení. Mě připadá, že okolí, ve kterém žijeme, se svými téměř neměnnými úhly směrem k stálicím, je velmi výjimečný stav a neodvažoval bych se dovozovat z něj silné důsledky. Třebaže i já očekávám, že další astronomická měření nás přinutí provést některá, byť jen nenápadná, zpřesnění, považují přece jen za možné, že zákon setrvačnosti ve své jednoduché Newtonově formulaci má pro nás, pro lidi, jen časově a místně omezený význam. Dovolme si ještě udělat jednu volnější poznámku. My měříme svůj čas jako úhel natočení Země a můžeme ho měřit právě tak dobře jako polohový úhel jakékoliv planety. Ale určitě si nemůžeme myslet, že *dočasný* průběh všech fyzikálních jevů by se musel náhle změnit, kdyby Země nebo vzdálená referenční planeta zažila náhlou změnu ve svém otáčivém pohybu. Vytváříme si tuto závislost jako *nikoliv bezprostřední*, jinak řečeno, chápeme časovou orientaci jakožto něco *vnějšího*. Nikdo nemůže věřit tomu, že v případě narušení pohybu - řekněme v důsledku impaktu - jednoho tělesa v systému nezávislých, na sebe nepůsobících, přímočaře se pohybujících těles, kde všechna tato tělesa tvoří souřadný systém souřadnic, se následně okamžitě naruší pohyb všech ostatních. Zde je orientace také vnější. Ačkoliv i za takovou musíme být velmi vděční, zejména když je očištěna od všelijakých iluzí - to musí pociťovat každý přírodovědec jako potřebné pro další pochopení *bezprostředních* souvislostí, řekněme hmoty celého vesmíru. Jako ideál ho v myslí musí vést nějaký principiální postoj, z něhož pak *stejným* způsobem vyplynou zrychlené i setrvačné pohyby. Pokrok od Keplerových objevů k Newtonovu gravitačnímu zákonu a následná snaha o fyzikální pochopení elektrického působení na dálku může posloužit jako vzor. Musíme dát prostor dokonce takovým názorům, že hmota, kterou pozorujeme a podle které se náhodou řídíme, není možná právě to, co je skutečně rozhodující. V této souvislosti se nesmí podcenit některé experimentální ideje pánů Friedländerů a Föppla, i když zatím nedávají bezprostřední výsledky. (B. und I. Friedländer: *Absolute und relative Bewegung*, Berlin 1899; A. Föppl: *Über einen Kreiserversuch zur Messung der Um-*

drehungsgeschwindigkeit der Erde (Ke gyroskopickému měření rychlosti zemské rotace), Sitzungsber.d.Münchener Akad, 1904, str.5.-, *Über absolute und relative Bewegung*, tamtéž 1904, str. 383) Ačkoliv různí autoři občas dosáhnou šťastných výsledků, které se možná i nabízejí, neškodil by jim hlubší pohled do neprobádaných oblastí.

12. Kratší elementární článek J. R. Schütze ("Prinzip der absoluten Erhaltung der Energie," *Göttinger Nachrichten, math.-physik., Klasse, 1897*) ukazuje na jednoduchých příkladech, že Newtonovy zákony mohou být odvozeny ze zde už vysloveného principu. Termínem "absolutní" se zde pouze míní, že princip by měl být oproštěn od neurčitelnosti a libovolnosti. Pokud si představíme tento princip aplikovaný na srážku pružných koulí o hmotnostech m_1, m_2 s počátečními rychlostmi u_1, u_2 a s konečnými rychlostmi v_1, v_2 , dostaneme

$$m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2.$$

Rychlosti v_1, v_2 můžeme vypočítat, jestliže předpokládáme, že zákon zachování energie platí pro libovolnou rychlost c ve stejném smyslu jako pro u a v . Potom můžeme psát

$$m_1(u_1 + c)^2 + m_2(u_2 + c)^2 = m_1(v_1 + c)^2 + m_2(v_2 + c)^2.$$

Vyloučíme-li první rovnici z druhé, dostaneme rovnici principu akce a reakce:

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2,$$

v které se c už nevyskytuje. Z první a třetí rovnice se potom snadno vypočítá v_1, v_2 . Analogickým uplatněním "absolutního" principu zachování energie dostaneme Newtonovu rovnici síly pro hmotný bod a nakonec zákon akce a reakce jako důsledek zákona zachování hybnosti a nehybnosti těžiště. Prostudování tohoto článku velmi doporučuji, protože je tu odvozen pojem hmotnosti ze zákona zachování energie. (Viz. též kapitola VIII, *Vývoj Dynamiky v retrospektivě*.)

7. Přehledná kritika Newtonových výroků.

1. Nyní, když jsme probrali všechny detaily dostatečně podrobně, můžeme znovu přehlédnout formu a povahu Newtonových výroků. Newton nejprve předloží několik definic, za nimiž následují pohybové zákony. Vezměme nejprve tu první.

"*Definice I.* Množství hmoty je její míra, společně daná její hustotou a objemem ...

(*Pozn. překladu: "množství hmoty" bychom dnes česky měli překládat jako "hmotnost", ale v tomto kontextu to zřejmě není vhodné.*)

Touto veličinou rozumím v následujícím výkladu všechno, co se nazývá *hmota* nebo *těleso*. A to samé je známo jako váha tělesa. Že je úměrná váze, jsem zjistil z pokusů s kyvadlem, velmi přesně provedených, jak bude ukázáno dále.

"*Definice II.* Velikost hybnosti je její míra, společně daná její hmotností a rychlostí.

"*Definice III.* Vrozená síla (*vis insita*) hmoty je schopnost odporu, kterou si každé těleso samo o sobě uchovává svůj stav, ať už stav klidu nebo rovnoměrného přímočarého pohybu.

(*Pozn. překladu: objektem definice je tedy "materiae vis insita" = setrvačnost*)

"*Definice IV.* Vtištěná síla (*vis impressa*) je akce, která těleso nutí změnit stav klidu nebo rovnoměrného přímočarého pohybu.

"*Definice V.* Dostředivá síla je síla, kterou je těleso taženo nebo nuceno pohybovat se směrem ke středu nebo nějakým způsobem středu dosáhnout.

"*Definice VI.* Absolutní velikost dostředivé síly je míra většího či menšího účinku její příčiny, která se od středu šíří do jeho okolí.

"*Definice VII.* Zrychlující velikost dostředivé síly je úměrná rychlosti dosažené v daném čase.

"*Definice VIII.* Pohybová velikost dostředivé síly je úměrná pohybu dosaženého v daném čase.

Tyto velikosti sil můžeme pro stručnost nazývat absolutní, zrychlující a pohybovou; kvůli rozlišení o nich budeme mluvit s ohledem na tělesa, která se pohybují směrem ke středu, k poloze těchto těles a ke středu síly, ke kterému směřují. Jinými slovy: vztahují pohybovou sílu k tělesu, které tíhne jako celek směrem ke středu, ke snaze, vycházející ze společné náchylnosti jednotlivých částí; zrychlující sílu vztahují do toho místa tělesa, v kterém působí jistá moc, šířící se ze středu do okolí, a která nutí okolní tělesa k pohybu; a absolutní sílu vztahují ke středu, který je obdařen jistou schopností, bez níž se nemohou pohybové síly šířit do okolí. Zda je toho příčinou centrální těleso (podobně jako magnet ve středu magnetické síly nebo Země ve středu gravitační síly) nebo něco jiného, není v této chvíli vidět. Potud matematický popis těchto sil; příčiny a podstatu těchto sil ponechávám stranou.

"Tedy zrychlující síla je ve stejném vztahu k pohybové, jako rychlost k pohybu. Hybnost je tedy rychlost násobená hmotností a pohybová síla je součin zrychlující síly a té samé hmotnosti. Součet zrychlujících sil působících na jednotlivé části tělesa je potom pohybová síla tělesa jako celku. Z toho důvodu v blízkosti povrchu Země, kde urychlující gravitace resp. síla produkující gravitaci je pro všechna tělesa stejná, je pohybová gravitace resp. váha totéž co hmota tělesa. Když ale postoupíme do větších výšek nad Zemí, kde urychlující síla tíže je menší, váha tělesa se úměrně také zmenší a úměrně menší bude také součin urychlující síly a hmoty tělesa. Ve výškách, kde se zmenší urychlující síla tíže na polovinu a hmotnost tělesa se zmenší dvakrát resp. třikrát, zmenší se váha čtyřikrát resp. šestkrát.

(Pozn. překladu: Mach poslední větu silně zkrátil a je zřejmé, že její reprodukce do moderního pojmosloví je prakticky nemožná. Tento odstavec je charakteristickou ukázkou, kam se rigorózní definice od dob Newtona posunuly, k čemuž Mach také přispěl. Definice VII. a VIII. jsou z hlediska dnešní fyziky považovány za obsoletní a tudíž elementárně obeznámený čtenář četbou těchto pasáží Principií nemůže být zmaten.)

”Podobně používám termíny přitažlivost a impuls v stejném smyslu jako urychlující a pohybový. Pojmenování přitažlivost, impuls nebo tendence směřovat ke středu používám víceméně náhodně, bez přesného rozlišení, ve smyslu ne fyzikálním, ale matematickém.”

2. Definice I je, jak už bylo zevrubně ukázáno, pseudodefinice. Pojem hmotnosti se nestane jasnějším, když se vyloží jako součin hustoty a objemu, protože hustota je prostě jen hmotnost jednotky objemu. Skutečná definice hmotnosti může být vyvozena jen z dynamických vztahů mezi tělesy.

K Definici II, která toliko ukazuje vzorec pro výpočet, není námitek. Definice III (*setrvačnost*) se stává přebytečnou po vyslovení Definic IV - VIII, ze kterých setrvačnost vyplývá z urychlující podstaty síly.

Definice IV definuje sílu jako příčinu zrychlení nebo snahu o zrychlení tělesa. Snaha o zrychlení je odůvodnitelná také v těch případech, kdy se těleso nepohybuje zrychleně, ale vyskytují se určité proměny jako natahování a stlačování. Příčina zrychlení směrem k danému středu je vyložena jako dostředivá síla v Definici V a v Definicích VI - VII rozlišena na absolutní, urychlující a pohybovou. Je to, řekli bychom, věcí vkusu a formy, jestli vysvětlit myšlenku jedinou definicí nebo jich užít více. Z principiálního pohledu nemůže být proti Newtonovým definicím žádných námitek.

3. Potom následují Axiomy nebo Zákony pohybu, které Newton vyslovuje tři:

”*Zákon I.* Každé těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není přinuceno tento stav změnit působením síly.

”*Zákon II.* Změna pohybu je úměrná pohybové síle a nastane ve směru přímky, podél níž síla působí.

”*Zákon III.* Každá akce je v protikladu ke stejně velké reakci: anebo, vzájemná působení dvou těles jsou si vždy rovna a směřují opačným směrem.

Tyto tři zákony doplňuje Newton řadou Corollary (důsledků). První a druhý se týká principu silového paralelogramu; třetí hybnosti těles při vzájemném působení; čtvrtý skutečnosti, že pohyb těžiště se při gravitačním působení nemění; pátý a šestý relativního pohybu.

4. Snadno si můžeme povšimnout, že zákony I a II jsou obsaženy v předcházející definici síly. Podle ní bez síly není zrychlení a tedy nastane jen stav klidu nebo rovnoměrný přímočarý pohyb. Kromě toho je úplně zbytečnou tautologií říkat znovu, že změna pohybu je úměrná síle, když zrychlení bylo definováno jako měřítko síly. Stačilo by bývalo říci, že předdeslané definice nejsou svévolné matematické výroky, ale odpovídají experimentálně zjištěným vlastnostem těles.

Mělo by být dostatečně jasně řečeno, že stanovené definice nejsou svévolné matematické výroky, ale korespondují s experimentálně zjištěnými vlastnostmi těles. Třetí zákon obsahuje zdánlivě něco nového. Ale už jsme viděli, že je nepochopitelný bez správné definice hmotnosti, která, sama jen z dynamické zkušenosti vyplývající, stává se pro tento zákon nepotřebnou.

To, co je v Newtonových výrociích nadbytečně nebo tautologicky řečeno, je ostatně psychologicky pochopitelné, jestliže si představíme badatele, který z všeobecných představ založených staticky, má vybudovat základní dynamické zákony. Někdy je síla uvažovaná ve smyslu tahu nebo tlaku, jindy jako příčina zrychlení. Když na jedné straně ihned vyvodí z představy tlaku, která je *společná všem silám*, že také *všechny síly jsou příčinou zrychlení*, vede ho to na druhé straně tím spíše k *roztržité*, méně ucelené představě o nových zákonech. Viz. *Erkenntnis und Irrtum* (Poznání a omyly), 2. vydání, str. 140, 315.

První Důsledek obsahuje skutečně něco nového. Ten ale pokládá zrychlení tělesa K vzhledem k jiným tělesům M, N, P jako *samozřejmě* navzájem nezávislé, ačkoliv právě to by mělo být uznáno výslovně až jako *experimentální fakt*.

Druhý Důsledek je jednoduché použití zákona vysloveného v Důsledku 1. Také zbývající Důsledky jsou jednoduché dedukce dříve uvedených zákonů.

5. I když zůstaneme zcela u Newtonova pohledu a pomíneme některé zmíněné komplikace a neurčitosti, které jsou zestručnělým výkladem pojmů ”čas” a ”prostor” spíš zamlženy než odstraněny, je možné Newtonovy formulace nahradit jednoduššími, metodicky lépe uspořádanými a lépe vyhovujícími výroky. Dle mého mínění mohou vypadat takto:

a. *Experimentální tvrzení.* Tělesa si za jistých, experimentálně stanovených okolností, vzájemně udělují opačná *zrychlení* a to ve směru jejich spojnice. (Princip setrvačnosti je zde už obsažen.)

b. *Definice.* Poměr hmotností dvou těles je opačný k poměru zrychlení, která si navzájem udělí.

c. *Experimentální tvrzení.* Poměry hmotností těles jsou nezávislé na povaze fyzikálního stavu těles (ať už magnetických, elektrických, atd.), které si udělují zrychlení a také zůstává stejný, ať už ke zrychlení dojde přímo nebo nepřímou.

d. *Experimentální tvrzení.* Zrychlení, která tělesa A, B, C, \dots tělesu K udělí, jsou navzájem nezávislá. (Věta o silovém paralelogramu odtud bezprostředně vyplývá.)

e. *Definice.* Pohybová síla je součin hmotnosti tělesa a zrychlení vyvolané v tomto tělese.

Věty a - e jsou uvedeny v mé poznámce *Über die Definition der Masse* v Carlově *Repertorium der Experimentalphysik*, IV, 1868, přetištěno v *Erhaltung der Arbeit*, 1872, 2. vyd. Leipzig, 1909. (Srovnej ještě Poincaré, *La Science et Hypothèse* Paris, str. 110 a dále.)

Nyní mohou následovat volné definice algebraických vztahů "hybnost", "živá síla", atd., které ale nejsou naprosto nepostradatelné. Vyslovené výroky splňují požadavky jednoduchosti a úspornosti, které na ně musíme z ekonomicko-vědeckých postojů klást. Jsou také zřejmé a jasné; není pochyb o tom, co znamenají, z kterého zdroje pocházejí, zda vypovídají o zkušenosti nebo jsou založeny na konvenci.

6. Celkově můžeme říci, že Newton obdivuhodným způsobem rozpoznal pojmy a principy, *dostatečně nesporné* a perspektivní pro další zacházení. Pravděpodobně musel svá hlediska prezentovat poněkud obsírněji, protože pro jeho vrstevníky byly snad příliš nové a obtížné, takže některé vlastnosti celé konstrukce se mohou zdát být vyloženy vícekrát. V jednotlivostech ale jeho formulace nejsou dostatečně průkazné co se týče jejich významu, zejména pak zdroje z kterých pocházejí, nejsou dokonale jasné. To jsou ale jen maličkosti, které nemohou vrhnout ani ten nejnepatrnější stín na intelektuální sílu Principií. Samozřejmě, přicházel se zcela průkopnickými postupy a nemohl vyslovit všechna stanoviska s takovou jistotou, s jakou je ostatní bez námahy přijímali. Udělal dost už jen tím, že našel taková fakta, na kterých bylo možno stavět dál. Svými důsledky tento základ okamžitě poskytuje nové představy, naděje, pochopení a možnosti. Stejně jako velitel armády, a tím méně i velký objevitel, nemůže u každé dobyté kóty provádět malicherný průzkum, který by potvrzoval právo na její obsazení. Závažnost zkoumaného úkolu mu na to neopouští dost času. Později je situace jiná. Od obou následujících století směl Newton očekávat, že základy, které položil, se budou rozšiřovat a upevňovat. Ve skutečnosti v časech relativního objevitelského klidu začaly vystupovat do popředí filosofické principy spíše, než všechno, co by na nich bylo možné vystavět. Objevovaly se otázky, o kterých bylo zde pojednáno a k jejichž zodpovězení jsme zde snad přidali i malý příspěvek. Připojujeme se proto jistě právem k velkému obdivu a úctě významného fyzika W. Thomsona (Lorda Kelvina), kterou k Newtonovi projevil. Ovšem názoru Sira W. Thompсона, že mezi tím, co kdy ve filosofii bylo vysloveno, jsou Newtonovy poučky ještě dnes tím nejlepším a nejhlubším, můžeme jen těžko porozumět.

——— Konec ———