

# PROSTOR JAKO INTERPRETACE

Jan Janský\*

## 1. ÚVOD

V období na přelomu sedmnáctého a osmnáctého století se, po mnoha pokusech o modelování reálného světa ve světě geometrickém (Descartes) či o hledání geometrie ve světě reálném (Galilei, Newton), rozhořel spor mezi zastánci v zásadě dvou možných přístupů k chápání podstaty prostoru. Po vydání *Principií* se proti Newtonem zavedené koncepci absolutního prostoru a času stavěli především dva myslitelé – G. Berkeley a G. W. Leibniz. Díky důmyslnému myšlenkovému *experimentu s vědrem*, na kterém kritici nedokázali přesvědčivě vysvětlit *dynamické* účinky pohybujících se těles, vyplynul tento spor výrazně ve prospěch Newtonovy interpretace – dění reálného světa bylo vloženo do světa geometrického a podřízeno vlastnostem Eukleidovského prostoru.

Ve fyzice tak převážila jedna představa prostoru, ke které byly později pevně připojeny koncepte další. Dvě nejvýraznější z nich jsou:

- *éter* – všeprostupující substance, spjatá s prostorem, zprostředkovatel elektromagnetické interakce,
- *polní popis* – náhrada představy *působení na dálku* lokálními působeními skrze tzv. *pole*, které prostupuje prostorem, v každém místě má konkrétní měřitelné vlastnosti, které ovlivňují chování v prostoru umístěných těles.

Problém pro koncepci éteru však představoval Michelsonův (1881) a posléze Michelsonův–Morleyův experiment (1887). Lorentz, jakožto silný zastánce teorie éteru, se pokusil výsledek experimentu s teorií éteru usmířit tím, že zavedl délkové kontrakce (dnes známé jako *Lorentzovy transformace*), které měnily tvar elektromagnetických entit (částic, polí). Speciální a později obecná teorie relativity v pak podstatě definitivně ukončily představu, že svět kolem nás by mohl být „ponořen“ do Eukleidovského prostoru.<sup>1</sup> Byl to opět dynamický experiment, který rozhodl o změně stávající teorie.

Původní Berkeleyho a Leibnizovy námitky proti Newtonově koncepci byly v roce 1868, ještě před Michelsonovým experimentem, doplněny Ernstem Machem jednak o pokus reformulace základních principů mechaniky,<sup>2</sup> především však o zpochybnění základního pilíře úspěchu Newtonovy mechaniky – experimentu s vědrem. Nepodařilo se mu však sestavit model, který by experiment s vědrem vysvětlil čistě na základě relačních veličin.<sup>3</sup>

V tomto stavu nechává diskusi ohledně přístupu k prostoru většina kurzů současné fyziky. Relativistické paradigma ve dvacátém století zcela převládlo i přes to, že v jeho rámci není možné důsledně vyřešit otázky, které již před staletími kladli Berkeley, Leibniz a později Mach. Od sedmdesátých let dvacátého století se

\*Katedra filozofie, Fakulta filozofická ZČU v Plzni.

<sup>1</sup>Ve speciální teorii relativity jsou již Lorentzovy kontrakce vztaheny nikoli jen k elektromagnetickým polím a nabitým částicím, ale přímo k prostoru samotnému.

<sup>2</sup>[As4, str. 114].

<sup>3</sup>K tomu by Mach potřeboval najít zákon, obdobný *Newtonovu gravitačnímu zákonu*, který by však závisel i na vzájemných rychlostech působících těles. Srv. například [Ka].

však postupně objevují přístupy, které se znovu pokoušejí vybudovat mechaniku bez nutnosti hledání opory v představách absolutního prostoru (a času). Nejzajímavější z těchto přístupů je pravděpodobně koncepce *relační mechaniky* André K. T. Assise. Nejen, že poměrně přesvědčivě buduje dynamiku na čistě relačních veličinách bez odkazu k neměřitelným jevům, jakým absolutní prostor z epistemologického hlediska bezpochyby je, ale navrhuje i způsob, jak jinou než „Einsteinovskou“ interpretací vyřešit problém, který pro fyziku „éteru“ představoval Michelsonův experiment. Na základě použití odlišných vztahů pro silové působení (elektromagnetické a gravitační) tento přístup dosahuje obdobných (pro některé esenciální případy i analyticky identických) předpovědí jako obecná teorie relativity a dokonce se tak děje v klasickém Eukleidovském prostoru.

Při podrobnějším prozkoumání je možné nalézt ve vývoji fyzikální teorie posledních staletí okamžiky, kdy jedna *interpretace* zvítězila nad jinou, načež se pozapomnělo, že se jednalo pouze o interpretaci a tudíž, že k řešení daného problému mohlo vést více cest. Současné fyzikální pojetí prostoru je jednou z takovýchto „interpretacních větví“, jak se pokusí ukázat následující rozbor.

## 2. KLASICKÁ MECHANIKA

Newtonův odkaz je možné považovat za završení procesu, při kterém ve fyzice docházelo k postupnému ztotožnění prostoru geometrického s „prostorem“ reálného světa.<sup>4</sup> Tím se rozumí předpoklad, že existuje *prostor o sobě*, zcela nezávisle na existenci těles, která jsou až ex-post do něj vložena. Tento prostor je, co se týká vlastností, *identický* s geometrickým Eukleidovským prostorem a je tím, co Newton označuje jako *sensorium Dei*. Newtonovy tři pohybové zákony<sup>5</sup> se všechny vztahují k takto definovanému prostoru.<sup>6</sup>

Kritika chápání prostoru tímto způsobem byla založena na nesouhlasu s procesem, který, jak uvidíme dále, je ve fyzice zcela běžný. Tím procesem je *volba* vztahových či referenčních entit, kvalit či „etalonů“, které dále slouží jako výchozí a referenční rámec pro další úvahy.

Níže shrnuté argumenty uváděné ve spojitosti s kritikou Newtonova pojetí prostoru vycházejí většinou (v *kinematických* případech) z rozdílu dvou interpretací, které, ač vnitřně zcela v pořádku, nedovolují vzájemné srovnání:

1. Pojetí prostoru jakožto *entity, která má vlastnosti* – ke vztahům mezi tělesy je přístupováno skrze vlastnosti prostoru. Tento přístup označíme pracovníě „*geometrickou interpretací*“.
2. Pojetí prostoru jakožto *vlastnosti vyplývající z „rozprostraněnosti“ těles samých* – až vztahy mezi tělesy definují prostor jako takový. Tento přístup označíme pracovníě „*relační interpretací*“.

### Princip nerozlišitelnosti

Jedním ze základních principů, který Leibniz uvádí ve své korespondenci se Samuelem Clarkem je *Princip identity nerozlišitelných věcí*.<sup>7</sup> Tento princip v kombinaci

<sup>4</sup> *Reálným světem* se míní „vědou předpokládané rozšíření *přirozeného reálného světa*“, který reprezentuje „prostředí, jehož jevy nazýváme“. Pro podrobnější rozbor viz [Vo1, str. 16], [Vo3, str. 1], ke ztotožnění světa geometrického a reálného pak [Vo2, str. 640–689].

<sup>5</sup> 1. zákon setrvačnosti, 2. zákon síly, 3. zákon akce a reakce.

<sup>6</sup> Respektive k prostoru „relativnímu“, jak jej Newton označuje, který se vůči němu pohybuje rovnoměrně přímočaře a nelze jej od „skutečného“ *sensoria Dei* nijak experimentálně odlišit. Srv. [As1, str. 17–18].

<sup>7</sup> Dva objekty, které nelze navzájem nijak rozlišit jsou identické (ve smyslu, že jsou tímtež objektem).

s *principem dostatečného důvodu*<sup>8</sup> použije k tomu, aby ukázal, že prostor není substance, ale pouze uspořádání. Jeho argument je následující:<sup>9</sup>

- (1) Prostor je zcela uniformní; jeden bod se od jiného neliší žádným způsobem.
- (2) Prostor je entita o sobě, jiná, než vzájemné uspořádání těles; tedy, prostor je absolutně reálný.

Z (1) a (2) plyne:

- (3) Bůh nemohl mít žádný důvod pro umístění hmotného světa do prostoru *tímto* konkrétním způsobem a ne jiným, ve kterém by zůstaly zachovány vzájemné prostorové relace mezi tělesy – například jeho rotací o 180 stupňů, nebo záměny západu za východ. To je ale v rozporu s principem dostatečného důvodu a proto tato varianta nemůže nastat.

Pokud ale pozměníme druhý výrok tak, že

- (2) Prostor není nic jiného než souhrn vzájemných relací mezi tělesy, tak aby v jejich nepřítomnosti nebyl ničím jiným než pouhou potenciální možností jejich umístění, nelze dospět k závěru (3), protože předpokládané *dva* stavy – vesmír, jak je, a vesmír otočený o 180 stupňů – nejsou dvěma stavy, ale jedním, stejnou entitou.

Podle Leibnize je tedy prostor pouze důsledek konkrétního *uspořádání koexistujících věcí* (a je tedy *vlastností tohoto uspořádání*), koncepce absolutního prostoru není podle něj ničím jiným, než matematickou abstrakcí.

O (ne)rozlišitelnost opírá svoji kritiku absolutního prostoru a času i Berkeley. Neakceptuje jiný, než relativní pohyb – k jehož měření je vždy zapotřebí „čidel“ (*sensible things*). Vzhledem k tomu, že absolutní prostor není možné smysly nijak detekovat, je pro poměrování pohybu zcela k ničemu. Navíc je u pohybu nutné znát jeho směr a k jeho určení je opět potřeba referenčních těles. Z toho důvodu je nemožné podle Berkeleyho absolutní pohyb jakkoli popsat a proto navrhuje nahradit absolutní prostor prostorem stálíc.<sup>10</sup>

#### Uniformita versus rozmanitost

Jak upozorňuje Barbour,<sup>11</sup> „epistemologická kritika Newtonovy dynamiky... se zaměřuje především na rozpor mezi teorií, ve které je změna rozložení vztahována k uniformnímu standardu, a skutečnou praxí, kdy je vztahována k *jinému rozložení*.“ Důsledkem toho je, že pro praktické účely je jakýkoli skutečně uniformní standard nepoužitelný, jelikož k veškerému měření je nutné použít nástrojů, na nichž budeme schopni *rozlišit*<sup>12</sup> kvantitu, kterou měříme. Idea uniformity (a tedy prostoru o sobě jako takovém) je pak tedy pouze určitou formou abstrakce – není ničím konkrétním. Pro měření na základě uniformního standardu to pak znamená „snažit se porovnávat něco s ničím.“<sup>13</sup>

#### Redukcionismus versus holismus

Dvojice interpretací (relační a geometrická) odráží svou povahu i v zaměření vnitřního pohledu, kterým svět okolo sebe nazíráme. V případě geometrické interpretace náš pohled směřuje *dovnitř*, k detailu – podobně jako Boží oko shlížíme na souřadný

<sup>8</sup>Důvod pro konkrétní stav existence věcí (je jedno o jakou konkrétní situaci či modalitu bytí se jedná) je možné nalézt pouze *vně* těchto věcí (ve věcech samých jej nalézt nikdy nelze), je dán externě. Důvodem existence světa tak může být jen něco, co jej přesahuje – což je v Leibnizově výkladu pochopitelně pouze Bůh. Srv. [Le1].

<sup>9</sup>[Le2, str. 9], překlad a kurzíva moje.

<sup>10</sup>[As1, str. 101–106].

<sup>11</sup>[Ba, str. 253].

<sup>12</sup>V originálním textu je použito slovo *variety* – rozmanitost, změna. Rozmanitost a jednota (uniformita) jsou protiklady. Pro praktické účely je proto ke každému měření nutná míra „rozlišitelné rozmanitosti“. Na uniformitě jako takové nelze nic rozlišit, nejednalo by se pak o uniformitu. Uniformní standard tak nemá žádné rozlišitelné atributy, na základě kterých by jim mohlo být něco poměřováno.

<sup>13</sup>Tamtéž.

systém, který je proložen světem a jehož prostřednictvím identifikujeme jednotlivé body.<sup>14</sup> Newtonova koncepce dovoluje při konstrukci představy fyzikálního prostoru eliminovat okolní tělesa,<sup>15</sup> oporu pro popis fyzikálních jevů je totiž možné nalézt v jakékoli mikroskopické části prostoru.

Naproti tomu relační interpretace nabízí představu prostoru jakožto „rozprostraněnost“ uvnitř světa, ke které se dobereme pohledem *vně*, k okolním objektům. Dobře je tento holistický přístup vidět v následujícím Machově textu z roku 1872:<sup>16</sup>

V obyčejných pozemských případech pro naše potřeby dobře postačí určovat směr a rychlost s ohledem k vrcholku věže nebo rohu místnosti; pro běžné astronomické případy postačí jedna nebo dvě hvězdy. Ale protože můžeme stejně tak vybrat jiné rohy místnosti, jiné vrcholky nebo jiné hvězdy, může snadno vyvstat představa, že není potřeba žádný takový bod, ze kterého je potřeba vycházet. To je však omyl; souřadný systém má význam pouze je-li určený prostřednictvím těles. . . Ve skutečnosti bude kterýkoli z uvedených počátků souřadného systému plnit svůj účel tak dlouho, dokud bude dostatečné množství těles vůči sobě navzájem zachovávat svoji polohu. Pokud však budeme chtít použít zákon setrvačnosti během zemětřesení, nechají nás pozemské vztažné soustavy na holičkách, a přesvědčení o jejich použitelnosti, sáhne po těch nebeských. Avšak i s nimi se stane totéž, jakmile se jejich pohyb stane příliš zřetelným. Až již nebude možno ignorovat vzájemný pohyb hvězd, vymezení souřadného systému dosáhne konce. Nebude již nepodstatné, zda zvolíme tu či onu hvězdu za vztažný bod; a stejně tak již nemůžeme tyto systémy na sebe vzájemně převádět. Poprvé se ptáme, kterou hvězdu si máme zvolit, a v tomto případě je jasné, že hvězdy nemůžeme považovat za rovnocenné, avšak protože nemůžeme dát přednost žádné z nich, musíme vzít v potaz vliv všech najednou.

### Newtonův experiment s vědrem

Dosud uvedené námítky proti Newtonově koncepci absolutního prostoru byly pouze fenomenologického a kinematického charakteru. Rozhodujícím faktorem ve sporu s Berkeleym a Leibnizem (prostřednictvím Samuela Clarka) však bylo především to, že Newton dokázal postulovaný absolutní prostor, či vůči němu se rovnoměrně přímočaře pohybující prostor relativní, *experimentálně nalézt*. Posloužil mu k tomu slavný experiment s vědrem:

Vědro plné vody je zavěšeno na zakrouceném provaze. Jakmile je uvolněno, provaz se začne rozmotávat a vědro roztáčet. Rotující vědro přenesse rotaci i na vodu, jejíž hladina díky společnému působení gravitace a dostředivé síly nabude parabolického tvaru.

Při rozboru problému se k vysvětlení jevu z Newtonova pohledu nabízejí čtyři možnosti:<sup>17</sup>

- **Vzájemné rotaci vědra a vody** – tato interpretace se ihned jeví jako zcela mylná, neboť před uvolněním i při ustálení rychlostí vědra i vody je jejich vzájemná rotace nulová, avšak v jednom případě zůstává hladina zcela rovná a ve druhém nikoli.

<sup>14</sup>Barbour toto ukazuje na příkladu Minkowského přednášky z roku 1908, na které Minkowski prostoročas v podstatě ztotožnil s všeprostopující *substancí* proložené souřadným systémem  $x, y, z, t$ . Srv. [Ba, str. 262].

<sup>15</sup>Newton tak činí především na základě výpočtu síly, kterou působí homogenní (v případě gravitace pak hmotná) slupka na částici uvnitř. Zjišťuje, že pro silové účinky klesající úměrně s druhou mocninou vzdálenosti je tato síla nulová. Vzhledem k tomu, že gravitační síla klesá z druhou mocninou vzdálenosti, může odtud Newton dovodit, že síla, kterou na těleso na Zemi působí celý vesmír je (za předpokladu jeho rozumné homogenity) rovněž nulová. Proto si může dovolit vliv okolní vesmírné hmoty ve svých úvahách zcela zanedbat. Srv. např. [As1, str. 19]

<sup>16</sup>[Ba, str. 263], překlad můj. Srv. s původním textem v [Ma1].

<sup>17</sup>Pro detailní rozbor problému srv. [As1, str. 51-58]. Assis se snaží ukázat, že Newton ve své koncepci neměl jinou možnost, než dojít k závěru správnosti posledního bodu – vlivu vzájemné rotace vody a absolutního prostoru.

- **Vzájemné rotaci vody a Země** – tuto variantu sám Newton vylučuje, protože jediná síla, kterou je schopen v tomto kontextu identifikovat, je gravitační síla Země, a ta na vědro působí pouze směrem dolů (v ose rotace).<sup>18</sup>
- **Vzájemné rotaci vody a vzdálených hvězd** – vzdálené objekty však mohou působit pouze prostřednictvím gravitace, jejich symetrické rozložení má za důsledek vzájemné vyrušení těchto sil.<sup>19</sup>
- **Vzájemné rotaci vody a absolutního prostoru** – jakožto jediná alternativa, která zbývá.

Závěrem experimentu tedy je, že parabola se ve vědru objeví i v případě, kdy kolem něj nebudou *vůbec žádné* okolní objekty, proto jediné, vůči čemu může vědro rotovat (a vyvolat tím setrvačné síly) je prostor.

Výsledek Newtonova experimentu s vědrem je důležitý ze dvou hledisek – jednak definitivně potvrdil úspěch a explanační sílu Newtonovy mechaniky,<sup>20</sup> ale především se jeho prostřednictvím prvně objevuje představa, že *prostor může vyvolávat dynamické účinky*, která svého skutečného významu nabude až o téměř dvě století později.

### 3. NÁMITKY K DYNAMICE NEWTONOVY KONCEPCE

Námitky směřující k dynamické stránce Newtonovy mechaniky položili až teprve v 19. století Ludwig Lange<sup>21</sup> a později Ernst Mach, který jako první nabídl *dynamicky odlišnou* interpretaci experimentu s rotujícím vědrem<sup>22</sup> – namísto toho, aby se pokoušel zpochybnit vysvětlení předložené Newtonem, předkládá interpretaci jinou a žádá její zpochybnění:<sup>23</sup>

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

<sup>18</sup>Vyplývá z formulace experimentu ve Scholiu v první knize *Principiů* [Ne, str. 10-11], kde Newton tento vliv okolních těles sám vylučuje, a z jeho rozboru působení sférické slupky na těleso vně – první kniha, sekce 12, teorém 31 [Ne, str. 193-195].

<sup>19</sup>Vyplývá z rozboru působení sférické slupky na těleso uvnitř – první kniha, sekce 12, teorém 30 [Ne, str. 193], explicitně je skutečnost vzájemného vyrušení sil vzdálených hvězd uvedena jako důsledek teorému 14 knihy třetí [Ne, str. 422].

<sup>20</sup>A tím i zrcadlení reálného světa s Eukleidovským geometrickým světem.

<sup>21</sup>Hledal vztažnou soustavu, ve které bude platit zákon setrvačnosti – zrodil se tak pojem *inerciální soustavy*. Za zmínku opět stojí, že i zde je patrný trend vykládat jevy reálného světa z jednoho konkrétního (absolutního, nadřazeného) pohledu, z jedné konkrétní soustavy, vztažené k *prostoru*, na jehož existenci je závislá dynamická platnost teorie – hledá se vhodný prostor (a tudíž se předpokládá, že apriori existuje). Srv. [La], [Ka] či [Vo2, str. 709-710].

<sup>22</sup>Jak však Assis v knize *Relational Mechanics* [As1] poukazuje, pravděpodobně prvním, kdo si uvědomil dopady vztahování prostoru ke vzdáleným hmotným objektům byl Samuel Clarke, který v korespondenční disputaci s Leibnizem uvedl:

Jak Leibniz tvrdí, pohyb v sobě nutně zahrnuje relativní změnu polohy jednoho tělesa vůči tělesům okolním: a přesto není naznačen způsob, jakým se vyhnout absurdnímu důsledku, že pohyblivost tělesa závisí na existenci těles ostatních; a že těleso existující samo o sobě bude neschopno pohybu; či to, že části rotujícího tělesa (předpokládejme Slunce), by pozbyly své odstředivou sílu [*vis centrifuga*] vyvstávající z jejich kruhového pohybu, pokud by byla odstraněna všechna okolní hmota.

Citováno v [As1, str. 99-100], překlad můj.

<sup>23</sup>Opět je zde patrné, že ve skutečnosti zde proti sobě stojí dvě interpretace prostoru, které jsou navzájem z praktického hlediska identické – k tomu, aby mohl Mach předložit svůj pohled na experiment s vědrem, musí *předpokládat*, že prostor je *vlastností* relací mezi tělesy a nikoli entitou o sobě (substancí). Jeho požadavek důkazu, že vzdálená tělesa nemají na experiment vliv je činěn ve stejně metafyzické rovině, jako Newtonova postulace apriorního, všeprostupujícího (v případně nutnosti i prázdného) prostoru.

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 zapominají, 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!<sup>24</sup>

Jakkoli je z výše uvedené citace argument zřejmý, zůstává pouze kvalitativní námitkou. Mach totiž nenavrhuje mechanismus, jakým by mezi sebou měly vzdálená hmota a rotující vědro interagovat.

Mach si rovněž povšiml, že definice hmotnosti je v *Principiích* kruhová – hmotnost je totiž definována na základě *hustoty* (a objemu), která však sama definici hmoty předpokládá, pokud by nebyl uveden způsob, jak hustotu určit bez nutnosti odkázat se ke hmotnosti jako takové. Přichází proto s tzv. *operační definicí hmotnosti*, která zní:<sup>25</sup>

Stejně hmotná jsou všechna ta tělesa, která v sobě při vzájemném působení vyvolají stejně velká a navzájem opačná zrychlení.

Tato alternativní definice hmotnosti (která navíc činí z hmotnosti relativní veličinu) je však závislá na volbě vztažné soustavy a znovu tedy vyžaduje nalezení „té správné“ soustavy, pro kterou bude platit. Pravděpodobně nechtěně se tak tato „alternativní“ definice hmotnosti opírá o koncept inerciální soustavy, pouze s tím rozdílem,<sup>26</sup> že je vztažena ke vzdáleným hvězdám a nikoli k absolutnímu prostoru.<sup>27</sup> Představy nutnosti popisovat fyzikální jevy s odkazem k nějaké *privilegované soustavě* se tak ani Mach nedokázal definitivně zbavit.

Důvody „přízračnosti“ hledání nutné opory v inerciální soustavě se pokouší osvětlit brazilský fyzik André Assis ve své relativně nové knize *Relational mechanics*. Jedná se v zásadě o dva faktory:

- *Kinematická ekvivalence soustavy vzdálených hvězd a absolutního prostoru*, respektive inerciální soustavy – bez nalezení konkrétní formy dynamické interakce nebude důvod, proč je vztažná soustava spojená se systémem vzdálených hvězd<sup>28</sup> tak dobrou (ideální) aproximací inerciální soustavy, nikterak objasněn a tato identita zůstane pouhou koincidencí. K vysvětlení je tedy nutné identifikovat a popsat *interakci*, spojující lokální soustavy se vzdálenými vesmírnými objekty, hledá se *dynamický zákon*.
- *Identita setrvačné a gravitační hmotnosti* – Newton našel úměru mezi setrvačnou a gravitační hmotností experimentováním s kyvadly. Einstein při formulaci základů obecné teorie relativity tuto identitu (resp. úměru) povýšil dokonce na výchozí postulát. Jestliže Newton k této rovnosti došel experimentem, který probíhal v inerciální soustavě, Einstein z této identity, která však z „machovského“ hlediska platí pouze v inerciálních soustavách, při formulaci

<sup>24</sup>Přeložil [Ka]. Zde  $m$  představuje hmotnost tělesa,  $v_1$  a  $v_2$  dva stavy rychlosti, mezi kterými těleso přejde za čas  $t$ . Dráha, kterou během této doby urazí, je  $s$  a síla, která je za změnu odpovědná, je označena jako  $p$ . Srv. s původním textem v [Ma2, str. 222].

<sup>25</sup>[As1, str. 111], překlad můj, srv. s původním textem v [Ma2, str. 211-212]

<sup>26</sup>Ač to Mach zřejmě nikde explicitně neuvádí. [As1, str. 112-113].

<sup>27</sup>Což pochopitelně nutně vyplývá z argumentu samého.

<sup>28</sup>Vzdálených galaxií či vesmírného pozadí.

obecné teorie relativity vychází<sup>29</sup> – jak je uvedeno u Machovy operační definice hmotnosti, v případě použití neinerciální referenční soustavy přestane být takto pojatá hmota použitelná v Newtonových pohybových zákonech.<sup>30</sup>

Krystalicky čistě vyvstane tento problém při pokusu o popis pohybu těles v neinerciální vztahné soustavě. Představme si pro jednoduchost soustavu dvou vesmírných těles (například Země – Slunce), které kolem sebe navzájem obíhají. Z inerciální soustavy, vůči které tato soustava rotuje, je popis založen na rovnosti dostředivého zrychlení (výsledek působení gravitační síly) a setrvačného zrychlení (výsledek vychylování tělesa z jeho rovnoměrného přímočarého pohybu).

V soustavě neinerciální – pro jednoduchost zvolme jako jednu z os spojnicí obou těles – však vzniká problém. Tělesa jsou vůči sobě v této soustavě v klidu a jediná síla, kterou jsme schopni bezprostředně identifikovat je síla gravitační. Jak Assis poukazuje, do pohybových rovnic v této vztahné soustavě bude nutné zavést další člen, který označuje jako *fiktivní sílu*.<sup>31</sup> Touto fiktivní silou je v našem případě síla odstředivá.<sup>32</sup>

V tuto chvíli přichází okamžik, kdy se k vysvětlení původu těchto sil v neinerciálních soustavách nabízí více, navzájem disjunktčních, interpretací (uvedeme dvě):

1. Nepředpokládáme-li vliv vzdálených objektů,<sup>33</sup> nabízí se *postulovat* existenci nějaké absolutní *entity* (která pochopitelně nemá žádnou spojitost s okolními objekty, která *vyvolává* odstředivou sílu a tak udržuje systém v rovnováze. Touto postulací v podstatě zároveň dáváme i návod jak takovou entitu nalézt – a vzhledem ke kruhovosti takovéto definice ji nelze nikterak napadnout. Zavádíme tak absolutní prostor.
2. Jsme schopni identifikovat rotaci okolních objektů vůči naší soustavě. Vzhledem k tomu, že máme zkušenost s tím, že pokud jsou objekty vůči naší soustavě klidu (a tudíž v pohybové rovnici se žádné fiktivní síly neobjevují), udržují rotující tělesa vůči sobě neměnnou vzdálenost (rovnovážný stav), nabízí se myšlenka, že v „neinerciálním případě“ musí být gravitační síla *vyrovnávána* silou, kterou *působí* na systém *vzdálené objekty*. Aby se tato interpretace vyrovnala svou výpovědní hodnotou interpretaci Newtonově, je nezbytně nutné specifikovat charakter a tvar interakce mezi vzdálenými a lokálními tělesy. Postulujeme existenci interakce vzdálených a lokálních těles – a hledáme tedy dynamický zákon.

Interpretace 1. a 2. obsahují dvě esenciální myšlenky. První z nich je opět několikerý poukaz na koncepci prostoru jakožto entity (substance) versus vlastnosti rozložení (topologie, konfigurace). Druhá z nich pak sehrála ve fyzikální teorii dvacátého století zásadní úlohu – nutným důsledkem první z interpretací je totiž představa, že na tělesa může *silově působit sám prostor*, či jinak, že *silové (dynamické) účinky jsou vlastností prostoru*.

## 4. RELATIVISTICKÁ MECHANIKA

<sup>29</sup>Hezký komentář je možné nalézt například v [Ho, str. 451–452].

<sup>30</sup>A bylo by nutno modifikovat buď koncepci hmotnosti, anebo Newtonovy pohybové zákony, gravitační zákon by však mohl zůstat v nezměněné podobě.

<sup>31</sup>Fiktivní proto, že její původ v Newtonově mechanice není možné nalézt v žádném *existujícím* tělese.

<sup>32</sup>Jiným příkladem může být Coriolisova síla, která se objevuje při pohybu po rotujícím tělese v radiálním směru – při vzdalování od osy rotace.

<sup>33</sup>Například z podobného důvodu, jaký měl Newton – tj. vypočítal, že gravitační působení, jež podle něj jediné připadalo v úvahu, okolních vzdálených těles ve tvaru, v kterém mu bylo známo, nebude mít na rotující tělesa vliv.

Michelsonův experiment<sup>34</sup> byl jedním z těch, které měly pro následný vývoj fyziky zásadní dopady. Jeho původním účelem mělo být experimentální potvrzení éteru, jakožto všeprostopující substance, umožňující šíření světla a zprostředkování elektromagnetické interakce.<sup>35</sup> Výsledek experimentu však ukázal něco zcela jiného – světlo se mělo dle tehdejších představ šířit konstantní rychlostí vůči éteru a tudíž měla být jeho rychlost pro na sebe vzájemně kolmá ramena Michelsonovy experimentální aparatury (pohybující se dle předpokladu éterem ve spojení se Zemí) různá. Experiment však tuto predikci nepotvrdil, ukázalo se, že obě rychlosti jsou stejné. Světlo se šířilo konstantní rychlostí všemi směry nezávisle na rychlosti jeho zdroje vůči „éteru“.<sup>36</sup>

Způsobů, jakými se mohla tehdejší fyzika s problémem vypořádat existuje opět několik. Jednou možností bylo plné zavržení teorie éteru a přehodnocení teorie elektromagnetického pole a tedy modifikace Maxwellovy elektromagnetické teorie či Lorentzovy síly – změna dynamických zákonů. K jiné možnosti se přiklonil Hendrik A. Lorentz, velký proponent a zastánce teorie éteru. Aby usmířil výsledek Michelsonova experimentu s Maxwellovými rovnicemi popisujícími vlastnosti elektromagnetického pole v prostoru, odvodil transformace<sup>37</sup> pro éterem se vzájemně pohybující (inerciální) vztažné soustavy, které po substituci do Maxwellových rovnic dávaly predikce korespondující se závěry Michelsonova experimentu.<sup>38</sup> Výsledkem však byla *modifikace prostoru* – nově získaný prostor již nebyl identický pro všechny vztažné soustavy – jeho geometrie se měnila v závislosti na rychlosti pohybu.<sup>39</sup>

Albert Einstein roku 1905 ve své studii *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*<sup>40</sup> k problému přistoupil ještě odlišným způsobem. Koncepce éteru se „zbavil“ tím, že referenční soustavu, ke které je vztažena rychlost světla, spojil s novou, ve fyzice do té doby neexistující, entitou – pozorovatelem. V Michelsonově experimentu byl pozorovatel ztotožněn s měřicí aparaturou a nepohyboval se tedy ani vůči zdroji, ani vůči detektoru. Prismatickým tohoto experimentu je tedy speciální teorie relativity empiricky *nerozlišitelná* od Lorentzovy korekce<sup>41</sup> – tedy usmířením výsledků Michelsonova experimentu s koncepcí éteru.<sup>42</sup>

<sup>34</sup>Michelsonův v roce 1881 a Michelsonův–Morleyův v roce 1887.

<sup>35</sup>Maxwellovy rovnice elektromagnetického pole totiž nejsou invariantní vůči Galileově transformaci. Následkem toho nejsou pro popis elektromagnetických jevů původní Newtonovy relativní prostory (vzájemně přímočaře se pohybující) dále nerozlišitelné – pro takové soustavy mění Maxwellovy rovnice svůj tvar. Koncepce éteru v podstatě poskytovala fundamentální bázi pro platnost Maxwellových rovnic, podobně jako tomu je v případě inerciální soustavy a platnosti Newtonova prvního a druhého pohybového zákona. Stejně jako je možné pomocí soustavy, ve které platí první a druhý pohybový zákon „nalézt“ absolutní prostor, mělo by být, alespoň podle tehdejších představ, možné na základě nalezení soustavy ve které by platily Maxwellovy rovnice ve své nezměněné formě „potvrdit“ smysluplnost koncepce éteru. Srv. například [Fe, kap. 15].

<sup>36</sup>Připomeňme jen tolik, že jak emitör, tak detektor byly vůči sobě v klidu, pouze se (jak se předpokládalo) společně pohybovaly éterem. Jinými slovy, naměřená rychlost na aparatuře byla zjištěna jako *nezávislá na pohybu vůči jejímu okolí*.

<sup>37</sup>Dnes známé jako *Lorentzovy transformace*, které jsou nedílnou součástí všech kurzů (speciální) teorie relativity.

<sup>38</sup>Maxwellovy rovnice samy jsou vůči těmto transformacím invariantní. Díky této vlastnosti si rovnice zachovávají pro všechny vzájemně (rovnoměrně a přímočaře) se pohybující vztažné soustavy tentýž tvar. Svým způsobem se tak v elektromagnetické teorii navrácí Newtonova představa relativních prostorů nerozlišitelných od „prostoru absolutního“ představovaného éterem.

<sup>39</sup>Je dobré zde opět upozornit na to, že tímto způsobem nedošlo k přehodnocení způsobu šíření světla, pouze se změnila představa *prostoru* jakožto všeprostopující entity – pozměnily se vlastnosti *sensoria Dei*, na kterém se promítá světové dění.

<sup>40</sup>[Ei].

<sup>41</sup>Důsledky konstantí rychlosti světla vůči pozorovateli zpracované v Einsteinově teorii však koncepci Lorentzových korekcí dalece přesahovaly. Uvedme například dynamické efekty (nárůst hmotnosti s rychlostí) či na soustavě závislé současnosti událostí (relativita současnosti), která dramaticky změnila fyzikální pohled na prostor a čas – obě entity, dříve vystupující odděleně, jsou nově provázané v jedné čtyřrozměrné entitě, *prostoročase*.

<sup>42</sup>Díky tomu je též pochopitelné, že Lorentzovy transformace hrají ve speciální teorii relativity klíčovou roli. Tento fakt („Einsteinovský“ výklad výsledků Michelsonova experimentu) Assis po-



Obecná teorie relativity, jejímž hlavním cílem bylo zobecnit speciální teorii relativity pro aplikovatelnost v neinerciálních soustavách, přidala další postulát – identitu gravitační a setrvačné hmotnosti. Nutným výsledkem je teorie, která mění představu fyzikálního prostoru, který již není dále Eukleidovským.

V této souvislosti vyvstává zajímavá, avšak kontroverzní otázka, totiž zda-li (a případně nakolik) se speciální a především pak obecná teorie relativity stále opírá o koncepci absolutního prostoru, nebo „preferované“ vztažné soustavy. Podle Assise tomu tak skutečně je – snaží se ukázat, že dynamické předpovědi obou teorií jsou závislé na volbě vztažné soustavy (a může docházet k asymetrii mezi predikcemi v odlišně zvolených vztažných soustavách).<sup>43</sup>

Jak bylo naznačeno, pokusy o začlenění důsledků Michelsonova experimentu do fyziky nakonec vyústily v modifikaci vlastností fyzikálního prostoru (a času). Odlišný přístup, který zde dále nastíníme, je zajímavý především v tom, že se snaží vycházet z čistě relačních veličin. Než se mu budeme blíže věnovat, je třeba vrátit se zpět do přibližně poloviny devatenáctého století, kdy se formovala Maxwellova elektromagnetická teorie.

V té době byla v Německu rozšířena *Weberova elektrodynamická teorie*.<sup>44</sup> Vznikala ve stejné době kdy Maxwell pracoval na rovnicích elektromagnetického pole.<sup>45</sup> Zajímavé na ní jsou především tři aspekty

1. síla mezi dvěma náboji je závislá nejen na jejich velikosti, ale též na jejich *vzájemných* rychlostech a zrychleních;<sup>46</sup>
2. Weberova elektrodynamika je „kompatibilní“ s Maxwellovými rovnicemi elektromagnetického pole (jsou z ní odvoditelné);
3. silová interakce mezi nabitými částicemi u nich vyvolává setrvačné účinky.<sup>47</sup>

Důvodů, proč tato teorie, Maxwellem samotným tak vyzdvihovaná, upadla do zapomnění, bylo pravděpodobně více. Jedna z možných spekulativních příčin, co se vnitřní historie vědy jako takové týká, mohla spočívat i v dominanci geometrické interpretace prostoru. Koncepce *éteru* a *polí* konstituujících prostor jistě nebyla snadno slučitelná s představou blíže nevysvětleného silového působení nábojů v podstatě *na dálku*, bez mediátora.<sup>48</sup> Dalším rozhodujícím faktorem v neprospěch teorie však pravděpodobně byla Helmholtzova námitka, podle níž byla Weberova teorie v rozporu se zákonem zachování energie. Přesto, že se později ukázalo, že Helmholtzovy závěry nebyly správné,<sup>49</sup> úspěch Maxwellovy elektromagnetické teorie byl pro postupné vytlačení Weberovy elektrodynamiky rozhodující.

važuje za argument pro tvrzení, že (speciální) teorie relativity nejen i nadále na původní koncepci éteru v podstatě staví ale zavádí do fyziky novou entitu – pozorovatele – a navíc ještě další *absolutní* veličinu v podobě neměnné rychlosti světla vůči pozorovateli. Argumentuje dále tím, že k ověření předpokladu konstantního šíření světla vůči pozorovateli by bylo třeba provést experiment, ve kterém by se zdroj a detektor navzájem pohybovaly. Délkové a časové kontrakce, a tedy deformace prostoru, byly zavedeny jako ad-hoc korekce pro záchranu koncepce éteru, neměly by se tedy, jak tvrdí Assis, objevovat v teorii, která se o koncepci éteru neopírá. Srv. například [As1, str. 133–140, 144–146].

<sup>43</sup>U speciální teorie relativity argumentuje především závislostí velikosti síly při aplikaci Lorentzovy síly (působící na náboj v magnetickém poli) na volbě inerciální vztažné soustavy. V případě obecné teorie relativity pak poukazuje na komplikace při výpočtu setrvačných sil (odstředivé a Coriolisovy síly) při volbě neinerciálních vztažných soustav. Pro detailní rozbor a reference viz [As1, str. 140–159].

<sup>44</sup>Název podle Wilhelma Webera (1804–1891).

<sup>45</sup>[As4, str. 393].

<sup>46</sup>Síla neodkazuje k prostoru.

<sup>47</sup>[As4, str. 402].

<sup>48</sup>Přitom představa *působení na dálku* není o nic více metafyzickým předpokladem, než jakým jsou koncepce *prostoru o sobě*, či existence nějakého prostorem prostupujícího *pole*. Metafyzický element se pouze přesouvá od interakce samé do jejího zprostředkovatele (prostoru, pole). Explanační sílu a další filosofické argumenty ve prospěch působení na dálku viz [As2].

<sup>49</sup>[As4, str. 396–397].

Dnes je Weberova teorie vyložena okrajovou záležitostí. Díky čistě relační povaze a zajímavým predikcím (převážně co se týká setrvačných sil) se k ní však obrací některé pokusy o implementaci Machovských myšlenek. Pro koncepci relační mechaniky, kterou představíme níže, tato teorie představuje jeden ze základních stavebních kamenů.

## 5. POKUSY O IMPLEMENTACI MACHOVA PRINCIPU

Přesto, že formulací „Machova principu“ je mnoho, základní myšlenka se dá shrnout do tvrzení, že *setrvačnost má původ v silové interakci mezi tělesy*. Teorie implementující Machovy myšlenky (Machův princip) má mít podle Einsteina čtyři hlavní důsledky,<sup>50</sup> které lze shrnout takto:

1. Nárůst setrvačnosti tělesa při nárůstu množství hmoty v okolí.
2. Na těleso začne působit zrychlující síla, je-li urychlena okolní hmota.
3. Rotující duté těleso musí uvnitř generovat tzv. *Coriolisovo pole*.
4. Těleso v prázdném prostoru nemá žádnou setrvačnost.

Koncepce snažící se formulovat Machův princip kvantitativně lze rozlišit na dva hlavní typy. V prvním případě jde o reformulaci kinematických a dynamických zákonů mechaniky tak, aby při urychlení tělesa vůči okolní hmotě na něj začaly působit zrychlující (setrvačné) síly. Tento přístup většinou postuluje ekvivalenci gravitační a setrvačné hmotnosti.<sup>51</sup> Variačními metodami se pak hledá ze všech možných vztažných soustav ta, ve které dochází při přechodu systému mezi dvěma stavy k *minimální akci*.<sup>52</sup> Tím je možné nalézt a kvantifikovat *změnu* „nikoli prostřednictvím uniformního a neviditelného prostoru, ale prostřednictvím změn samých.“<sup>53</sup> V podstatě se tak hledá konkrétní inerciální soustava, bez nutnosti opírat se o nedetekovatelné entity (absolutní prostor).

Druhý z přístupů snažících se o kvantitativní implementaci Machova principu pak staví na modifikaci právě gravitačního působení mezi tělesy, a to tak, aby velikost síly byla závislá na vzájemném pohybu těles.<sup>54</sup> V tomto případě není nutné identitu setrvačné a gravitační hmotnosti postulovat, je možno ji z (na rychlosti závislejších) vztahů pro silové působení *odvodit*.

Společné mají oba přístupy většinou to, že se opírají o představu okamžitého silového působení *na dálku* – ať je to v prvním případě dosud neznámá „setrvačná interakce“ a ve druhém okamžitá propagace gravitační interakce napříč prostorem.<sup>55</sup>

<sup>50</sup>Einstein byl Machem silně ovlivněn a „Machův princip“, jak je většinou zmiňován, je možné považovat za jeden z prvotních cílů obecné teorie relativity. Podle Assise obecná teorie relativity nenaplnuje ani jeden z těchto důsledků. Poukazuje na to, že první důsledek byl z obecné teorie relativity vyvozen díky špatné interpretaci početní chyby. Druhý z teorie sice vyplývá, jeho interpretace však není jedinečná. Třetí důsledek, tzv. *Thirringova síla*, přináší správné předpovědi pro odstředivou sílu, avšak síla Coriolisova vychází 5× větší. Ani čtvrtý důsledek obecná teorie relativity nesplňuje – setrvačnost tělesa zůstává jeho inherentní vlastností i ve zcela prázdném prostoru. Pro podrobnější rozbor a reference viz [As1, str. 148–152].

<sup>51</sup>Nehledá však příčinný vztah mezi nimi.

<sup>52</sup>„Akce“ představuje určitou veličinu (například kinetickou energii, hybnost, moment hybnosti). Vzhledem k různým vztažným soustavám, při předpokladu platnosti Newtonova prvního a druhého pohybového zákona má pak pro celý vesmír tato veličina pokaždé jinou hodnotu. Např. [Ba, str. 270–271].

<sup>53</sup>Tamtéž.

<sup>54</sup>Na první a především druhé derivaci vzájemné vzdálenosti podle času, které pak dovolují odvození druhého Newtonova zákona – zákona síly – na základě silové interakce mezi tělesy.

<sup>55</sup>Velmi zajímavé jsou v kontextu komparace lokálního a nelokálního působení, včetně shrnutí kosmologických důsledků, články od André Assise a Petera Graneaua – [As2, As3].

## 6. RELAČNÍ MECHANIKA ANDRÉ K. T. ASSISE

Cílem Assisovy *relační mechaniky*<sup>56</sup> je implementace Machova principu a zároveň formulace „nové“ mechaniky opírající se pouze o bázi relačních veličin, bez použití absolutních konceptů jakými jsou *absolutní prostor* či *absolutní čas*. Neobsahuje též veličiny závislé na pozorovateli. Teorii zde ve stručnosti představíme protože je výborným příkladem životaschopnosti koncepcí které zakládají svou strukturu na odlišných *interpretacích* experimentálních faktů. Fundamentem teorie je pět primitivních konceptů a tři postuláty.<sup>57</sup>

Primitivními koncepty teorie jsou:

1. *gravitační hmota*,
2. *elektrický náboj*,
3. *vzdálenost mezi tělesy*,
4. *čas mezi fyzikálními událostmi*,
5. *síla či interakce mezi hmotnými tělesy*.

Postuláty jsou následující:

1. Síla je vektorová veličina popisující interakci mezi hmotnými tělesy.
2. Síla, kterou bodová částice  $A$  působí na bodovou částici  $B$  je stejně veliká a opačně orientovaná než síla, kterou působí  $B$  na  $A$ , a působí podél přímé spojnice mezi  $A$  a  $B$ .
3. Součet všech sil jakékoli povahy (gravitační, elektrické magnetické, elastické, jaderné, atd.) působící na libovolné těleso je vždy nulový ve všech vzájemných soustavách.

Třetí z postulátů představuje hlavní odklon od Newtonovy mechaniky. Reprezentuje tzv. *princip dynamické rovnováhy*, jak jej Assis nazývá, který umožňuje eliminovat apriorní formulaci konceptů setrvačnosti, absolutního prostoru a setrvačné hmotnosti. V Newtonově mechanice je zavedení těchto pojmů esenciální pro formulaci prvního a druhého pohybového zákona, jehož jsou nedílnou součástí. Princip dynamické rovnováhy nevyžaduje zavádění koncepce (výše zmíněných) fiktivních sil, platí ve všech soustavách a je zachován i v případě, že budou všechny síly vynásobeny konstantou – nezáleží tak na absolutní velikosti sil, ale jen na jejich vzájemném poměru (relativita).

Interakce mezi tělesy je formulována prostřednictvím Weberova elektrodynamického zákona, analogicky upraveného pro gravitační interakci.

Implementace *Machova principu* je pak již relativně velmi přímočará. Po odvození silového působení na hmotnou částici uvnitř kulové slupky Assis odvozuje sílu kterou bude na hmotné těleso působit celý vesmír. Výsledkem je „zobecněná mechanika“, která se při volbě specifických podmínek<sup>58</sup> redukuje na „klasickou“ mechaniku Newtonovu. Assis shrnuje důsledky relační mechaniky takto:<sup>59</sup>

1. Odvození rovnic podobných Newtonovu prvnímu a druhému pohybovému zákonu.
2. Odvození úměry mezi gravitační a inerciální hmotností.
3. Odvození faktu, proč je nejlepší inerciální soustavou soustava vzdálených galaxií – vysvětlení kinematické a dynamické identity absolutního prostoru a soustavy vzdálených galaxií.

<sup>56</sup>[As1, str. 163–258].

<sup>57</sup>Primitivní koncepty a postuláty citovány z [As1, str. 163–164], překlad můj.

<sup>58</sup>Jedná se především volbu takových parametrů, které mají v Newtonově mechanice formu *koincidence* (především kinematická identita absolutního prostoru se systémem vzdálených hvězd).

<sup>59</sup>[As1, str. 188], volnější překlad a výběr můj.

4. Odvození gravitačního původu kinetické energie jakožto interakční energie mezi tělesem a vzdálenými galaxiemi.
5. Odvození skutečnosti, že fiktivní síly Newtonovy mechaniky jsou skutečné síly gravitačního původu mezi tělesem a vzdálenou hmotou.
6. Odvození stejné velikosti „setrvačných“ sil  $\vec{F}_{\text{Im}}$  pro všechny vztažné soustavy, přestože jejich tvar se může lišit.

V neinerciálních soustavách,<sup>60</sup> ve kterých musí Newtonova mechanika zavádět koncepci fiktivní síly (protože není možné pohyb vztáhnout k ničemu jinému, než absolutnímu prostoru) se v relační mechanice objevují síly skutečné, kterými působí vzdálená akcelerující hmota na těleso, které může být vůči zvolené vztažné soustavě zcela v klidu. Z pohledu tělesa tak skutečně akceleruje celý okolní vesmír a výsledkem je „skutečná“<sup>61</sup> působící síla.

Nutným důsledkem relační mechaniky je i relativita gravitační hmotnosti jako takové – fyzikální zákony a probíhající procesy<sup>62</sup> by zůstaly při zdvojnásobení (či libovolném  $k$ -násobku) velikosti veškerých hmotností identické.

Pro nás je však zajímavější jiný aspekt takto koncipované mechaniky. Tím je její způsobilost korektně popisovat a predikovat jevy, které byly fyzikou „vysvětleny“ až prostřednictvím *zakřiveného prostoru* obecnou teorií relativity. Nejen, že z relační mechaniky vyplývá analytický vztah pro stáčení perihelia planet zcela identický a v souladu s predikcemi obecné teorie relativity, ale dokonce není pro popis tohoto jevu nutné opouštět Eukleidovský prostor.<sup>63</sup> Výsledek, který z jedné teorie vyplyne vlivem zakřivení prostoru je ve druhé vlastností zákona odlišně popisujícího silové působení mezi tělesy. Druhou stranou mince takového přístupu je však *ztráta invariance* základních pohybových zákonů vzhledem k různým vztažným soustavám, konkrétně tedy požadavku, aby ve všech vztažných soustavách platily *formálně* stejné fyzikální zákony.<sup>64</sup>

Assis rovněž navrhuje několik možných experimentálních způsobů ověření platnosti relační mechaniky, které vesměs vycházejí z pravděpodobně jediné měřitelné odlišnosti oproti obecné teorii relativity – z predikce změny setrvačnosti gravitačním působením okolní hmoty.<sup>65</sup>

## 7. PROSTOR JAKO INTERPRETACE

Assis ve své knize *Relational Mechanics* uvádí v souvislosti s poukazem na vícero možných interpretací experimentálních faktů tento příklad:<sup>66</sup>

<sup>60</sup>Tj. v soustavách, které akcelerují vůči soustavě splňující výše zmíněný princip minimální akce.

<sup>61</sup>Tj. z teorie přímo vyplývající.

<sup>62</sup>V astronomickém a kosmologickém slova smyslu.

<sup>63</sup>[As3, str. 278–279], [As1, str. 231–232].

<sup>64</sup>Ty se stanou až důsledkem konkrétní konfigurace, Newtonův první a druhý pohybový zákon jsou pouze speciálním případem, kdy je naše vztažná soustava v rovnoměrném přímočarém pohybu vůči okolní vesmírné (gravitační) hmotě.

<sup>65</sup>Jednou možností je měřit nárůst setrvačnosti tělesa uvnitř hmotné kulové slupky. Problémem v tomto případě však je ve většině laboratorních uspořádání velmi malý nárůst v poměru setrvačných hmotností, který se pohybuje v řádech kolem  $10^{-25}$ . Slibnějšími se jeví experimenty založené na anizotropii setrvačnosti při anizotropním rozložení hmoty v okolí. Assis navrhuje měřit rozdíl v poměru setrvačnosti v radiálním a tangenciálním směru vůči středu naší Galaxie (poměrný rozdíl v řádech cca  $5 \times 10^{-6}$ ), ze Země vůči Slunci (cca  $2 \times 10^{-7}$ ), ze Země vůči Měsíci (cca  $8 \times 10^{-13}$ ) a nakonec ze Země vůči jejímu středu ( $5 \times 10^{-9}$ ). K těmto experimentům je možné využít například harmonický oscilátor na pružině a poměřovat rychlost kmitání v obou směrech. [As1, str. 236–242].

<sup>66</sup>[As1, str. 132–133], překlad a kurzíva moje. Assisem nastíněný příklad, kterým komentuje relativistický přístup a jeho interpretaci rozpadu mezonu, je jen jednoduchým poukazem výše zmíněnou nutnost poměřování *něčeho něčím* (jiným). Velmi jednoduchým způsobem ilustruje proces ověřování teoretických predikcí na základě jiných, již existujících teoretických poznatků. Je třeba upozornit, že zde uvedený příklad rozdílného chodu kyvadlových hodin nemá žádnou fyzikální souvislost s ilustrací rozdílného chodu hodin v textech věnovaných obecné teorii relativity (vlivu gravitačních polí na rychlost plynutí času jakožto důsledku obecné teorie relativity).

Mějme dvoje identické kyvadlové hodiny, v klidu na Zemi, které ukazují tentýž čas a na úrovni mořské hladiny běží ve stejném rytmu. Poté jednu z nich odneseme na vysokou horu, necháme je tam několik hodin a sneseme zpět na pozici druhých hodin. Porovnáním vypočítáme, že se hodiny vynesené na vrchol hory vůči těm, které zůstaly u mořské hladiny zpožďují. *To je pozorovaný fakt.* Může být interpretován tak, že čas ubíhal pro hodiny na hoře pomaleji. A nebo může být interpretován tím, že čas ubíhal pro oboje hodiny stejně rychle, avšak doba kmitu kyvadlových hodin závisela na gravitačním poli Země ( $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ ). Protože gravitační pole je na vrcholku hory slabší než u mořské hladiny, budou se hodiny, které byly na hoře, opožďovat za těmi, co byly u moře. Tato druhá interpretace se jeví jako přirozenější a jednodušší (a z toho důvodu ve větším souladu s běžnými fyzikálními postupy) než první, která v sobě zahrnuje zásadní změny v koncepci prostoru a času.

Pro vysvětlení jevu rozdílného chodu hodin v „reálném“ světě je možné pochopitelně použít interpretace obě. To, která z nich se ujme, bude ovlivněno stávajícím paradigmatem, konsensem, pragmatickostí a mnoha dalšími vlivy. První z citovaných interpretací bude mít zcela evidentně za následek nutnost zavádění podivných prostorových transformací, které budou (ostatní) pozorované jevy a jejich experimentální záznamy převádět na *neměnnou* dobu kyvu kyvadlových hodin. Druhá z interpretací naopak zavádí modifikaci dynamiky kyvu vzhledem ke gravitačnímu zrychlení (fixuje rychlost plynutí času a namísto toho implementuje vliv gravitačního zrychlení na dobu kyvu<sup>67</sup>). Volba interpretace je tak v podstatě ekvivalentní volbě *vztažného rámce* či (konkrétně) vztažné soustavy a měřitelných veličin, kterými budou poměřovány veličiny jiné. Analogická situace pak nastává i v případě Michelsonova experimentu či objasnění stáčení perihelia planet.<sup>68</sup>

Vyvstává pak otázka, čím se od sebe navzájem mohou *v principu* jednotlivé interpretace lišit za předpokladu, že mají stejnou prediktivní i explanační sílu (tj. jsou skutečně čistě jen odlišnými interpretacemi se všemi důsledky). U příkladu s kyvadlovými hodinami je evidentní, že ač jsou pro vysvětlení jednoho jevu obě interpretace stejně kompetentní, přístup založený na variabilním plynutí času bude mít problémy při snaze začlenit toto vysvětlení do širšího kontextu – při komparaci s pozorováním jiných jevů, k jejichž vysvětlení budeme rovněž potřebovat koncept času. Jiné experimenty, které nebudou používat k „měření“ času kyvadlové hodiny, ale například kmitání závaží na pružině nebo rotaci hvězdné sféry, budou totiž vyžadovat ke správnému popisu dodatečné korekce. Postupně se tak zformuje představa světa, ve kterém, vzhledem k času kyvadlových hodin, bude v horách den kratší, tuhost mechanických pružin znatelně vzroste, téměř veškerý pohyb<sup>69</sup> bude probíhat rychleji, průměrná doba života se zkrátí. Bizarní to svět, ve kterém téměř veškerá dynamika závisí na nadmořské výšce, s podivnými singulárními jevy v oblastech s nulovou gravitací, kde se v podstatě čas zcela zastaví.

O příklonu k druhé z interpretací tak rozhodne až obrácení našeho pohledu od zkoumaného jevu v jeho izolované experimentální podobě<sup>70</sup> *směrem ven*, k jevům ostatním, jejichž rozmanitost a interakce bude mít na přijaté vysvětlení rozhodující vliv – v podstatě tedy pragmatická aplikace *Occamovy břitvy* v procesu sjednocování výkladu jednoho jevu *v kontextu jevů ostatních*, ve kterém bude figurovat jedna z interpretací jako výrazně jednodušší.<sup>71</sup>

<sup>67</sup>Která bude opět vztažena k jiným, „nezávislým“ hodinám.

<sup>68</sup>Problematika interpretací ve fyzice se snad nejzřetelněji projevuje v kvantové mechanice, kde volbou experimentálního uspořádání dochází zároveň i k volbě interpretačního rámce (připomeňme například slavný EPR paradox a diskusi o úplnosti popisu kvantové mechaniky, konkrétně její kodaňské interpretace, mezi Albertem Einsteinem a Nielsem Bohrem).

<sup>69</sup>Pochopitelně s výjimkou kyvadlových hodin, které slouží jako etalon.

<sup>70</sup>Sestávající pouze z chodu kyvadlových hodin v závislosti na jejich poloze.

<sup>71</sup>Srv. rovněž Leibnizův *princip jednoty* a esencialita vztahování k rozmanitosti (kontextu) vnějšího světa oproti snaze poměřovat vše nějakým uniformním standardem, [Le1].

V tomto duchu „zvítězila“ Newtonova koncepce absolutního prostoru nad fenomenologickými argumenty jejích kritiků, stejně jako *polní popis* nad *interakcí na dálku* či zakřivený prostor nad prostorem Eukleidovským. Relační mechanika André K. T. Assise je ve fyzikálních kruzích téměř neznámou a okrajovou teorií. Přesto nám z odstupů při zasazení do širšího historicko-fyzikálního kontextu díky své odlišnosti v interpretaci základních fyzikálních koncepcí a s relativně slušnou nadějí na zachování explanačního potenciálu konkurenčních interpretací, umožňuje nahlédnout, že současný stav fyzikální představy světa je vlastně výsledkem poslušnosti výběrů konkrétních interpretací, ke kterým ovšem často existovaly, a nadále existují, životaschopné alternativy. Pokud se potvrdí některé experimenty poukazující na změny setrvačnosti nabitých částic obklopených velkým množstvím elektrického náboje,<sup>72</sup> je možné, že pro současné „interpretační paradigma“ vyvstane nutnost hledání podobných korekcí či transformací, jaké byly nutné ve výše zmíněném experimentu s kyvadlovými hodinami. Podobný výsledek by byl silným poukazem na pragmatickou životaschopnost relačního přístupu se vším co k němu náleží. Možná se tak do fyzikálního světa jevů velkých škál jednou opět navrátí i Eukleidovský prostor v podobě nejpragmatictější interpretace.

## LITERATURA

- [As1] Assis, A. K. T., *Relational Mechanics*, Apeiron, Montreal 1999. <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/wbooks.htm>
- [As2] Assis, A. K. T., Arguments in Favour of Action at a Distance, *Instantaneous Action at a Distance in Modern Physics – "Pro" and "Contra"*, A. E. Chubykalo, V. Pope, R. Smirnov-Rueda (ed.), Nova Science Publishers, Commack, New York 1999, 45–56. <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/wpapers.htm>
- [As3] Assis, A. K. T., Graneau, P., Nonlocal Forces of Inertia in Cosmology, *Foundation of Physics* **26**(2) (1996), 271–283. <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/wpapers.htm>
- [As4] Assis, A. K. T., Silva, T. H., Comparison between Weber's electrodynamics and classical electrodynamics. *Pramana – Journal of Physics* **55**(3) 2000, 393–404. <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/wpapers.htm>
- [Ba] Barbour, J. B., Relational Concepts of Space and Time, *British Journal for the Philosophy of Science* **33** (1982), 251–274.
- [Ei] Einstein, A., Zur der Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik* **17** (1905), 891–921. *Annalen der Physik*, 17, str. 891–921.
- [Fe] Feynman, R., *Feynmanovy přednášky z fyziky 1/3*, Fragment, Praha 2000.
- [Ho] Horák, Z., Krupka, F., *Fyzika*, SNTL, Praha 1976.
- [Ka] Kadrnoška, J., *Mach versus Machův princip*, 2007, nepublikováno. <http://www.themis.cz/mach>
- [Ma1] Mach, E., *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, Praha 1872.
- [Ma2] Mach, E., *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1991.
- [Ne] Newton, I., *Mathematical Principles of Natural Philosophy And His System of The World*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California 1974.
- [La] Lange, L., Nochmals über das Beharrungsgesetz, *Philosophische Studien* 2, str. 539–545, Engelmann, Leipzig 1885. <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/library/data/lit4139>
- [Le1] Leibniz, G. W., On the Ultimate Origination of Things, *Philosophical Writings*, J.M. Dent & Sons, London 1934, str. 32–41.

<sup>72</sup>Konkrétně změny v setrvačnosti elektronu v nabitě Faradayově kleci, [As4, str. 403].

- [Le2] Leibniz, G. W., Clarke, S., *The Leibniz-Clarke Papers*, J. Bennett (ed.), 2007, nepublikováno. [http://www.earlymoderntexts.com/f\\_leibniz.html](http://www.earlymoderntexts.com/f_leibniz.html)
- [Vo1] Vopěnka, P., *Meditace o základech vědy*, Práh, Praha 2001.
- [Vo2] Vopěnka, P., *Úhelny kámen evropské vzdělanosti a moci*, Práh, Praha 2003, 3. vydání.
- [Vo3] Vopěnka, P., *Dynamická teorie množství*, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2006, nepublikováno.