

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Filozofická fakulta

Katedra filozofie



**Epistemologie a metodologie Isaaca Newtona
a Davida Huma na pozadí vědecké revoluce**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce:

Mgr. Filip Tvrdý, Ph.D.

Rok odevzdání: 2016

Vypracoval:

Bc. Roman Zavadil

FI – SO, 2. ročník

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci *Epistemologie a metodologie Isaaca Newtona a Davida Huma na pozadí vědecké revoluce* vypracoval samostatně, pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce a všechny použité prameny řádně uvedl.

V Grygově dne 4. 5. 2016

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Mgr. Filipu Tvrděmu, Ph.D. za podnětné rady a trpělivost, s níž vedl mou diplomovou práci, Mgr. Lukáši Zámečnickovi, Ph.D. za pomoc při precizaci teoretické stránky, Lence Rýparové za korekturu a především svým rodičům, bez jejichž podpory by tato práce nikdy nemohla vzniknout.

BIBLOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

Autor:	Bc. Roman Zavadil
Název práce:	Epistemologie a metodologie Isaaca Newtona a Davida Huma na pozadí vědecké revoluce
Typ práce:	Diplomová práce
Pracoviště:	Katedra filozofie
Vedoucí práce:	Mgr. Filip Tvrdý, Ph.D.
Rok obhajoby:	2016
Abstrakt:	<p>Cílem této práce je analýza metodologických a epistemologických východisek Isaaca Newtona a Davida Huma a jejich vzájemného vztahu. Práce představuje jednotlivá stanoviska v kontextu vědecké revoluce. Důraz je kladen především na kritickou percepci návaznosti Humovy vědy o člověku na Newtonovu metodu induktivní inference, která stojí v opozici vůči obecně neproblematické perspektivě jejich vztahu. Primárními zdroji jejich metodologie a epistemologie jsou Newtonova díla <i>Mathematical Principles of Natural Philosophy a Opticks</i> a Humova díla <i>A Treatise of Human Nature a An Enquiry concerning Human Understanding</i>.</p>
Klíčová slova:	vědecká revoluce, Newton, Hume, mechanika, gravitace, kauzalita, indukce, hypoteticko-deduktivní model, metodologie
Počet stran:	80
Počet příloh:	0
Jazyk:	český

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Author:	Bc. Roman Zavadil
Title:	Epistemology and methodology of Isaac Newton and David Hume in context of scientific revolution
Type of thesis:	Master's thesis
Department:	Department of Philosophy
Supervisor:	Mgr. Filip Tvrđý, Ph.D.
The year of presentation:	2016
Abstract:	The main aim of this master's thesis is to depict methodology and epistemology of Isaac Newton and David Hume. Thesis addresses individual attitudes in context of scientific revolution. The emphasis is placed on critical perception of relationship between Hume's Science of Man and Newton's method of inductive inference as opposed to generally unproblematic view of their relationship. The analysis of both approaches is based on Newton's <i>Mathematical Principles of Natural Philosophy</i> and <i>Opticks</i> and Hume's <i>A Treatise of Human Nature</i> and <i>An Enquiry concerning Human Understanding</i> .
Key words:	scientific revolution, Newton, Hume, mechanics, gravity, causality, induction, hypothetico-deductive model, methodology
Number of pages:	80
Number of appendices:	0
Language:	Czech

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
ÚVOD	8
1. OD SPEKULATIVNÍ K EXPERIMENTÁLNÍ FILOSOFII.....	11
1.1 Aristotelsko-ptolemaiovský systém	12
1.2 Vzestup heliocentrismu	16
1.3 Mechanický materialismus a karteziánský dualismus	23
2. PŘÍRODNÍ FILOSOFIE ISAACA NEWTONA	27
2.1 Newtonova teorie světla	29
2.2 Koncepce síly a Pohybové zákony	33
2.3 Struktura <i>Principií</i>	38
2.4 Matematizace přírodní filosofie	40
2.5 Metoda induktivní inference	44
2.6 Indukce v praxi: Zákon gravitace	49
3. EXPERIMENTÁLNÍ METODOLOGIE VE VĚDĚ O ČLOVĚKU	54
3.1 Humova epistemologie.....	56
3.2 Ambivalentnost vztahu Huma a Newtona.....	61
3.3 Experimentální metodologie	64
3.4 Kauzalita a pravidla rozvažování	67
ZÁVĚR.....	75
LITERATURA	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Geocentrický systém	13
Obrázek 2 - Retrográdní pohyb planety	14
Obrázek 3 - Tychonovský systém	17
Obrázek 4 - První Keplerův zákon	19
Obrázek 5 - Druhý Keplerův zákon	19
Obrázek 6 - Grafické zobrazení Zákona převrácených čtverců	29
Obrázek 7 - Lom světla	31
Obrázek 8 - Působení dostředivé síly a tendence tělesa setrvávat v pohybu	37
Obrázek 9 - Apsidální precese.....	43
Obrázek 10 - Grafické zobrazení Harmonického pravidla.....	49

ÚVOD

Podíváme-li se zblízka na vývoj filosofického myšlení v 16., 17. a 18. století a především na nejvýznačnější osobnosti, které se nesmazatelně zapsaly do historie událostí právě tohoto revolučního období, můžeme vcelku bez obtíží každou tvář spojit s nějakou teorií či oblastí, jíž daný filosof zasvětil svůj život nebo v ní alespoň dosáhl nesmrtelnosti svého jména. Proto, mluvíme-li o René Descartesovi, vyvstane nám ihned na mysli karteziánský dualismus nebo metodologický skepticismus. Technokratická utopie a induktivní metodologie pak tvoří hlavní část corpusu Francise Bacona, s Gottfriedem Leibnizem je spojován monismus a teodicea a Davida Huma zná většina z nás buď jako skeptika, nebo historika. Nicméně pokud se snažíme aplikovat obdobnou kategorizaci na Isaaca Newtona, narazíme na značné obtíže. V případě doposud jmenovaných myslitelů se mohly odpovědi na otázku o hledání jejich *magnum opus* mírně odlišovat, mluvíme-li ale o Newtonovi, pak snad každý z nás nutně shledá jako jeho největší počín slavná *Principia*¹. Avšak tato odpověď nám, na první pohled, příliš nepomůže, pokud chceme na Newtona nahlížet jako na filosofa.

Někteří by mohli namítnout, že Newton přece nebyl filosof ale vědec². Největší váha Newtonových zásluh samozřejmě leží na poli fyziky a matematiky, nicméně v této práci budeme obhajovat oprávněnost pohledu na něj v souvislosti s tehdejší a také současnou filosofií. Přestože Newton nikdy nenapsal žádný vysloveně filosofický spis, ovlivnila jeho práce generace filosofů od 17. století až po současnost a význam jeho objevů a myšlenek si nijak nezavdá s významem jeho současníků, jako byl Descartes nebo Leibniz. Ním zavedené zákony mechaniky a gravitace, byly platné až do 20. století a zcela proměnily náš pohled na svět a na naše místo v něm.

Jelikož nám chybí systematická kodifikace Newtonových filosofických názorů, jsme nuceni sledovat jeho filosofický vývoj na pozadí jeho práce o mechanice, gravitaci a matematickém kalkulu a důsledcích, jež měla zejména pro tehdejší epistemologii, metodologii a ontologii. Protože ale velké množství Newtonových myšlenek vycházelo

¹ Celý název knihy je *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) tedy *Matematické principy přírodní filosofie*.

² Uvedená kategorizace je samozřejmě značně anachronická, protože, jak napovídá název jeho *Principií*, Newton byl přírodním filosofem. Původně toto označení pro filosofy, kteří se zabývali pohybem těles, nebo obecně řečeno změnou, vychází z aristotelské tradice a patřili mezi ně např. fyzikové či astronomové. Dnes bychom ho samozřejmě mohli bez obtíží označit za vědce, nicméně tento termín byl poprvé použit až v roce 1833 Williamem Whewellem.

z negativního vymezení se vůči jeho předchůdcům, nemůžeme se, pokud chceme plně pochopit jejich význam a motivy, zcela oprostít od tradice, která sahala několik století zpět. Newton sám si byl vědom role svých předchůdců, když v dopise Robertu Hookovi v roce 1676 napsal: „Pokud jsem viděl dále než ostatní, bylo to proto, že jsem stál na ramenou obrů.“³

Newtonovo filosofické myšlení v této práci nicméně představuje pouze část z toho, co nás čeká. Newton v letech následujících po vydání *Principií* inspiroval a ovlivnil širokou škálu myslitelů s ještě obširnějším tematickým záběrem. Nás bude zajímat, do jaké míry ovlivnil myšlení jednoho z největších filosofů Davida Huma, považovaného za Newtona vědy o člověku, s těžištěm zájmu ležícím v epistemologii a metodologii. Hume přihlížel obrovskému rozmachu přírodních věd a především jejich úspěchu v explanaci a predikci přírodních jevů a rozhodl se vystavět vědu o člověku a lidské přirozenosti na zcela nových základech po vzoru fyziky nebo matematiky.

V úvodní kapitole začneme s vykreslením již zmiňované tradice, která sehrála významnou roli v Newtonově myšlení. Není samozřejmě v našich silách a ani cílem práce vytvořit detailní popis všech aspektů a aktérů vědecké revoluce 15., 16. a 17. století, proto se zde omezíme pouze na výčet toho, co je pro nás nejdůležitější ve vztahu k Newtonovi a částečně i Humovi. První kapitola pojedná o vědecké revoluci ve třech hlavních úsecích. Za prvé, o aristotelsko-ptolemaiovská tradici, která dominovala scholastické přírodní filosofii a vysvětlovala přírodní jevy výhradně za pomoci Aristotelovy fyziky a Ptolemaiovy astronomie. Za druhé, o postupném procesu nahrazování starého a pro popis přírodních již nedostačujícího systému novým heliocentrickým programem. Za třetí, o mechanickém materialismu, jako vůdčí program v rámci přírodní filosofie pro popis a vysvětlení pohybu, jehož nadvláda trvala až do publikace *Principií*.

Druhá kapitola nám již představí myšlení Isaaca Newtona, jako fyzika, matematika a filosofa, a roli, kterou sehrál v završení vědecké revoluce. Důraz bude kladen především na jeho spisy *Principia* a *Optika*. Jeho metodologie a epistemologie bude vykreslena na pozadí aplikace Pohybových zákonů a Gravitačního zákona. Důležitý pro nás bude také jeho kritické vymezení vůči hypoteticko-deduktivnímu modelu užívaného mechanickými materialisty, proti němuž postavil metodu induktivní inference.

³ *If I have seen further it is by standing on ye sholders of Giants.* - TURNBULL, H. W. (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*, Vol 1, 1661 - 1675, Cambridge: Cambridge University Press, 1959, ISBN 0-521-05815-5, str. 416.

Třetí kapitola pojedná o vlivu Isaaca Newtona na Davida Huma. Tento vztah je povětšinou interpretován ve smyslu pozitivní aplikace Newtonovy induktivní metody na vědu o člověku. Náš přístup bude ovšem mnohem kritičtější. Pokud věnujeme větší pozornost širšímu historickému kontextu a limitám Humova matematického vzdělání, pak se nám vztah Huma a Newtona vyjeví v mnohem problematičtějším světle. Ambivalentnost jejich vzájemného vztahu bude ilustrována především na jejich přístupu k induktivní metodě, epistemologickému statutu přírodních zákonů, kauzalitě a pravidlům rozvažování.

1. OD SPEKULATIVNÍ K EXPERIMENTÁLNÍ FILOSOFII

Transformace, kterou prodělala epistemologie a metodologie v 16., a pak především v 17. a 18. století, znamenala přechod od převážně metafyzické scholastické tradice k otázkám po povaze reality, v níž lidé žili⁴. Zvyšování důrazu na korespondenci empirie a teorie tak umožnilo nástup experimentálních vědeckých postupů stále častěji zahrnovaných do tehdejšího *modu operandi* přírodní filosofie. V této krátké úvodní části tak nastíním odklon od spekulativní filosofie a sebevědomý nástup filosofie experimentální.

Při čtení následujících řádků musíme mít na paměti, že žádná přílišná generalizace či kategorizace ideových tendencí v tomto období nemusí přesně korespondovat s realitou. Jak tomu bývá u zrodu nových myšlenek, je na počátku tak trochu chaos. Nemůžeme zde tedy s odkazem na nějakou učebnici předložit detailní seznam spekulativní a experimentálních filosofů a filosofických myšlenek. Ukážeme si ale rozdíl mezi jednotlivými stanovisky podle toho, jakým způsobem přistupují ke vztahu hypotézy⁵, empirické reality a epistemologické justifikace.

Spekulativní filosofie vychází z aristotelského pojetí hypotézy⁶, za kterou jsou považovány takové výroky, u nichž můžeme přijmout za pravdivý jak souhlasný, tak kontradiktorický rezultat.⁷ Hlavní slovo zde mají především rozumové funkce, které rozhodují o pravdivostní hodnotě na základě logické konzistence výroku a hypotézymající často formu sylogismu. Formální metodologická a epistemologická vázanost na empirii zde tedy není nebo přinejmenším není nutná a empirie byla spíše „upravovaná“ *ex hypothesi*.

Zatímco experimentální metodologie je povětšinou spojována s přírodní filosofií, nemusí to být vždy pravidlem. Přírodní filosofie může být praktikována metodologicky také spekulativně, jako tomu bylo například u Koperníka, jenž, jak se za chvíli detailněji dozvíme, vypracoval svoji kosmologickou teorii čistě na geometrických základech. Přírodní filosof,

⁴ Takové otázky samozřejmě nejsou ničím novým, nicméně ve středověku měla monopol na takovéto odpovědi církevní *dikce*, která vysvětlovala přírodní jevy především prismalem křesťanství. Na mysl vyvstávala snaha hledat odpovědi na tyto fundamentální otázky jinde.

⁵ Hypotéza na počátku moderní přírodní filosofie se dala chápat jako kauzální vysvětlení, metafyzický princip nebo maxima, to co bychom dnes nazvali induktivní zobecnění nebo dokonce vědecká teorie, např. korpuskulární nebo kopernikánská hypotéza. - ANSTEY, Peter R., „Experimental versus Speculative Natural Philosophy“ in *The Science of Nature in the Seventeenth Century*, P. R Ansey et J. A Schuster (eds.), Dordrecht: Springer, 2005, ISBN 978-1-4020-3703-0, str. 223 – 224.

⁶ Přestože rámcově vycházel pojem hypotézy z aristotelismu, bylo běžné, že práce s tímto pojmem se mezi jednotlivými autory více či méně lišila.

⁷ ARISTOTELES, *Druhé analytiky*, Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1962, str. 30.

praktikující experimentální metodologii, se ke vztahu hypotézy a empirie chová odlišně. Hypotéza pro něj již není abstraktním modelem, ale snahou o co nejhodnověrnější vystižení povahy reality ve smyslu praktické aplikovatelnosti své hypotézy a jejího následného testování pomocí experimentu. Garantem epistemologické justifikace už není rozum a logika, ale experimentální potvrzení. Nicméně k dosažení dnešní metodologické úrovně bylo nutné ujit ještě velký kus cesty, a proto se u mnoha autorů můžeme setkat s odlišnými sadami nástrojů pro vytváření a testování hypotéz. Anstey říká:

U mnoha autorů můžeme vidět sklon k uvažování o metodologii přírodní filosofie tohoto období, jakoby obsahovala nějakou konzistentní formu probabilismu nebo empiricismu a jakoby její zástupci při svém výzkumu cíleně aplikovali hypoteticko-deduktivní metodologii. Nicméně [...] je pravděpodobnější, že filosofická metodologie tohoto období by se dala lépe popsat jako nerozvinutá, provizorní a často i vnitřně nekonzistentní.⁸

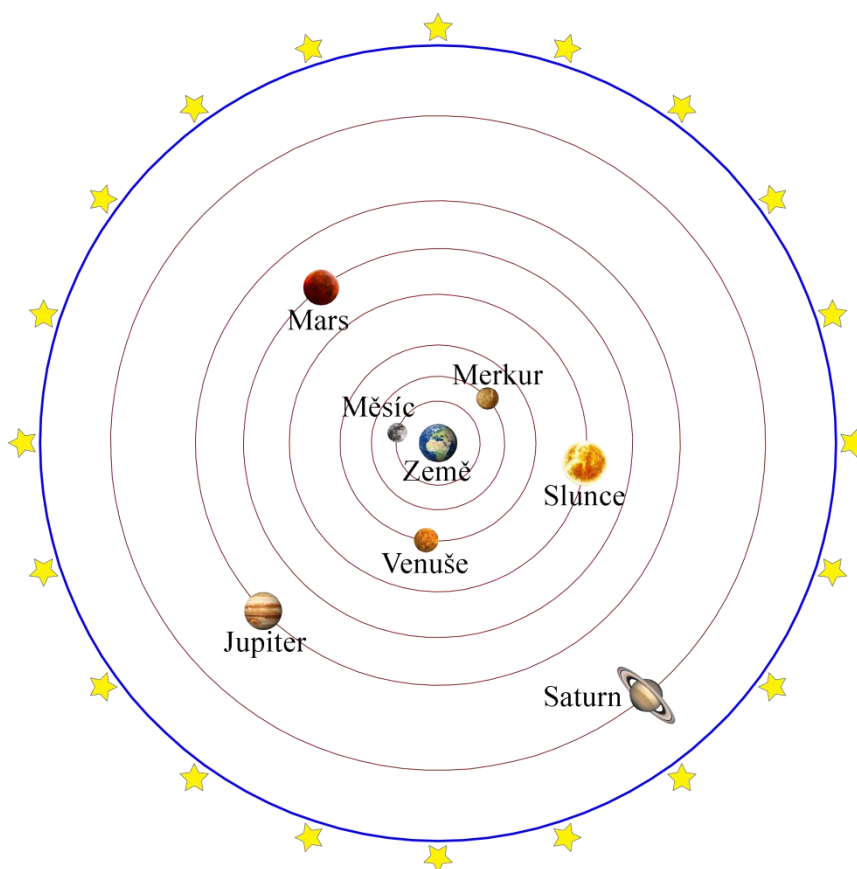
Nicméně žádný z těchto nedostatků bychom neměli brát příliš negativně a pochybovat snad o míře inovativnosti zrozené v tomto období. Jak nyní uvidíme, bylo třeba velké dávky nápaditosti, důvtipu a geniality, aby mohly být položeny základní kameny, na kterých mohla vzniknout moderní věda.

1.1 Aristotelsko-ptolemaiovský systém

Aristotelská přírodní filosofie rozdělila svět na tři části, sublunární, superlunární a sféru stálic, a každé z nich přiřadila specifické složení a vlastnosti. V sublunární se nacházela stacionární Země, do superlunární patřil Měsíc, Slunce a všechny tehdy známé planety a sféra stálic obsahovala hvězdy a komety. Zatímco sublunární sféra se skládala ze čtyř elementů (země, voda, vzduch, oheň) a docházelo zde ke změně, superlunární sféra se skládala jen z jediného prvku, etheru, a byla neměnná. Podle Aristotela změna resp. vznik (*genesis*) a zánik (*ftora*) je jedním ze způsobů pohybu. Nicméně by nebylo přesné říci, že v sublunární sféře existuje pohyb a v superlunární sféře naopak pohyb není žádný. Pohyb ve vlastním slova smyslu (*kinesis*) je dalším typem, který platí v obou sférách, byť se projevuje v každé z nich jiným

⁸ ANSTEY, Peter R., „Experimental versus Speculative Natural Philosophy“ in *The Science of Nature in the Seventeenth Century*, P. R Ansey et J. A Schuster (eds.), Dordrecht: Springer, 2005, ISBN 978-1-4020-3703-0, str. 21.

způsobem. Elementární konstituce objektů byla pro Aristotela (384 – 322 př. n. l.) důležitou, protože určovala pohyb jednotlivých těles na základě jejich složení a předpokladu přirozeného místa⁹. Přirozený pohyb může být lineární jako v případě čtyř základních sublunárních prvků, kdy země a voda mají své přirozené místo ve středu země, a proto tíhnou směrem dolů, a oheň a vzduch mají přirozený pohyb naopak směrem vzhůru. Přirozený pohyb etheru byl cirkulární, čímž Aristoteles vysvětlil, proč planety v superlunární sféře obíhají kolem Země. Třetí částí aristotelského kosmu byla sféra stálic, která byla oddělena neproniknutelnou krystalickou sférou¹⁰ a skládala se, stejně jako planety a slunce, z etheru a pohybovala se taktéž v kruhu.



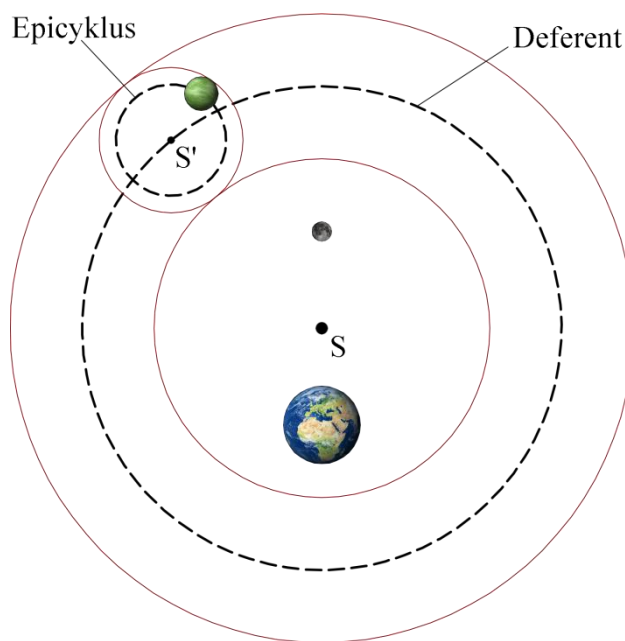
Obrázek 1 - Geocentrický systém

Přestože aristotelská fyzika vysvětlovala pohyb, nebyla schopna říci, kde se planety v daném čase nacházejí ani vysvětlit retrográdní dráhu nebeských těles. Aby byli tehdejší astronomové schopni tyto problémy vyřešit, obrátili se na ptolemaiovský *Almagest*. Aby Ptolemaios (85–165 n. l.) v této knize vysvětlil retrográdní pohyb těles okolo Země, zavedl

⁹ Teorie přirozeného místa nebo přirozeného pohybu říká, že každý konstitutivní prvek má své přirozené místo a jeho esenciální vlastností je k němu směřovat.

¹⁰ Systém krystalických sfér se nacházel v celé sféře superlunární i stálic a bylo jich několik desítek, protože každá planeta jich využívala ke svému pohybu hned několik.

geometrický model, který v sobě zahrnoval systém dvou sfér, epicyklus a deferent¹¹. Tento způsob měl za cíl mimo jiné objasnit, proč jsou planety, které mají kruhovou oběžnou dráhu, někdy blíže a někdy dále Zemi a popsat tak to, co bylo později označeno jako eliptická oběžná dráha¹². Retrográdní pohyb popisuje pohyb planet, jež se pohybují relativně k fixním hvězdám. Zatímco většinu času se, na rozdíl od Slunce a Měsíce, pohybují ze západu na východ, mění periodicky kvůli svému orbitálnímu pohybu a orbitálnímu pohybu Země směr z východu na Západ¹³. Na obrázku č. 1 můžeme vidět schéma retrográdního pohybu planet podle Ptolemaia, přičemž deferent označuje kruhovou dráhu se středem S , tzv. ekvant, opisaný tělesem při přirozeném pohybu. Jelikož je v tomto systému statická Země, tak ekvant opisuje taktéž kruhovou dráhu okolo ní. Epicyklus je druhým cyklickým pohybem tělesa opisujícího kruhovou dráhu se středem S' .



Obrázek 2 - Retrográdní pohyb planety

Podle Henryho sehrály hlavní roli ve vědecké revoluci, jež měla za následek zboření aristotelsko-ptolemaiovské tradice, dva konstitutivní prvky vědecké metodologie. Prvním z nich je užití matematiky a měření, které nám mohou poskytnout přesný popis toho, jak svět

¹¹ LERNER. K. Lee, LERNER, Brenda Wilmoth, *Scientific Thought: In Context*, Gale: Cengage Learning, 2009, ISBN-13: 978-1-4144-0298-7, str. 36.

¹² Dalším důvodem byl nepoměr v ročních obdobích, kdy podzim byl o týden kratší než ostatní roční období.

¹³ LERNER. K. Lee, LERNER, Brenda Wilmoth, *Scientific Thought: In Context*, Gale: Cengage Learning, 2009, ISBN-13: 978-1-4144-0298-7, str. 33.

funguje, a druhým je aplikace pozorování a experimentu za účelem pochopení přírody.¹⁴ Do 15. století neměla tradiční geocentrická kosmologie žádného protivníka. To se ale mělo změnit ve chvíli, kdy světlo světa spatřilo dílo *De revolutionibus orbium coelestium* (1543)¹⁵ polského matematika a astronoma Mikuláše Koperníka (1473–1549). Koperník v něm navrhl heliocentrický systém¹⁶, jenž odstranil Zemi ze středu univerza a matematicky popsal vztah mezi vzdálenostmi různých planet od Slunce a jejich oběžnými drahami. Využil tak slabých míst geocentrické kosmologie¹⁷ (viz problém retrográdního pohybu). Jeho teorie je založena na sedmi předpokladech, které nám zde vhodně shrnou její rozsah.

1. „Není žádný střed nebeských kruhů či sfér.
2. Střed Země není středem univerza, ale pouze gravitace¹⁸ a lunární sféry.
3. Všechny sféry se otáčejí okolo Slunce jako svého středobodu, a proto je Slunce středem kosmu.
4. Poměr vzdálenosti Země od Slunce a od výšin nebeské klenby¹⁹ je o tolik menší, než poměr poloměru Země a její vzdálenosti od Slunce, že vzdálenost Země od Slunce je zanedbatelná v porovnání s tou k nebesům.²⁰
5. Jakýkoli pohyb pozorovatelný na nebesích není způsoben pohybem nebes, ale pohybem Země. Země společně s prvky, které jsou její součástí, se s každodenní pravidelností otáčí kolem své vlastní osy soustředěné na jejich pólech, zatímco obloha a nebesa zůstávají nehybná.

¹⁴ HENRY, John, *The Scientific Revolution and the Origin of Modern Science*, Basingstoke: Palgrave, 2002, ISBN 0–333–96090–4, str. 14.

¹⁵ Koperník některé své myšlenky o heliocentrickém systému předložil již dříve ve svých *Commentariolus* (1514).

¹⁶ Koperník ovšem nebyl první, kdo s pojetím planet obíhajících kolem Slunce přišel, ale určitou variaci navrhl ve 4. století př. n. l. řecký astronom Heraclides Ponticus (387–310 př. n. l.). Heraclides tvrdil, že se obloha neotáčí kolem Země, nýbrž její pohyb je způsoben rotací Země kolem své vlastní osy. Na základě změny jasu Merkuru a Venuše a jejich vzdálenosti od Země došel k závěru, že neobíhají kolem Země, ale kolem Slunce, kterému ovšem přiřadil oběžnou dráhu kolem Země. Posléze Aristarchos ze Samu (310–230 př. n. l.) na základě retrográdního pohybu planet odvodil centrální pozici Slunce, kolem něhož obíhaly všechny planety včetně Země. Aristarchos byl tak prvním, kdo vyslovil myšlenku heliocentrického charakteru kosmu, která musela čekat na své znovuzrození až do 16. století. K těmto informacím se dostal Koperník díky mnoha objeveným textům antické tradice, zejména pak spisům Pythagorejců.

¹⁷ DEL SOLDATO, Eva, „Natural Philosophy in the Renaissance“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Fall 2015 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2015 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/entries/natphil-ren/>>, str. 17.

¹⁸ Nejedná se zde samozřejmě o gravitaci v newtonovském smyslu. Koperník byl stále do značné míry ukotven v aristotelské tradici a gravitaci uvažoval ve smyslu tendence konstitutivních prvků směřovat ke svému přirozenému místu.

¹⁹ Myslí se zde aristotelská sféra stálic.

²⁰ Tedy paralaxa hvězd je ze Země nepozorovatelná. Tento předpoklad je důležitý především pro zachování stálosti a nehybnosti hvězd.

6. Co se nám zdá jako pohyb Slunce, není způsobeno jeho pohybem, ale pohybem Země a naší sféry, společně s kterou obíhá, stejně jako jakákoli jiná planeta, kolem Slunce. Země se tedy pohybuje více než jedním způsobem.
7. Zdánlivý retrográdní a přímočarý pohyb planet nemá příčinu v jejich vlastním pohybu, ale v pohybu Země. Popis pohybu Země tak postačuje k tomu, aby bylo vysvětleno toliko zdánlivých nesrovnalostí na nebesích.“²¹

Přestože heliocentrická teorie otřásla zavedenými pořádky, ani zdaleka se jí je nepodařilo zbořit, protože se jí zpočátku nedostávalo velkého zastání. O tom svědčí také fakt, že od vydání knihy, jež byla pochopitelně v rozporu s katolickou dikcí, uběhlo 73 let, než byla oficiálně odsouzena církví. Nicméně tou dobou již byla její popularita na zcela jiné úrovni.

1.2 Vzestup heliocentrismu

Od doby, kdy byla heliocentrická hypotéza koncipována, zaznamenal aristotelisko-ptolemaiovský model několik těžkých ran, které postupně snižovaly jeho monopolní statut. V roce 1588 dánský astronom Tycho Brahe (1546 – 1601) publikoval dílo²², v němž dokázal, že se kometa z roku 1577 pohybovala za hranicemi lunární sféry a ne uvnitř²³ ní, jak se domníval Aristotelés.²⁴ Heliocentrická teorie již nemohla být jednoduše smetena ze stolu

²¹ 1. *There is no one center of all the celestial circles or spheres.*

2. *The center of the earth is not the center of the universe, but only of gravity and of the lunar sphere.*

3. *All the spheres revolve about the sun as their midpoint, and therefore the sun is the center of the universe.*

4. *The ratio of the earth's distance from the sun to the height of the firmament (outermost celestial sphere containing the stars) is so much smaller than the ratio of the earth's radius to its distance from the sun that the distance from the earth to the sun is imperceptible in comparison with the height of the firmament.*

5. *Whatever motion appears in the firmament arises not from any motion of the firmament, but from the earth's motion. The earth together with its circumjacent elements performs a complete rotation on its fixed poles in a daily motion, while the firmament and highest heaven abide unchanged.*

6. *What appear to us as motions of the sun arise not from its motion but from the motion of the earth and our sphere, with which we revolve about the sun like any other planet. The earth has, then, more than one motion.*

7. *The apparent retrograde and direct motion of the planets arises not from their motion but from the earth's. The motion of the earth alone, therefore, suffices to explain so many apparent inequalities in the heavens.*

COPERNICUS, Nicolaus "Commentariolus" in *Three Copernican Treatises*, ROSEN, Edward (trans. et ed.) New York: Octagon Books, 1971, ISBN 978-0486436050, str. 58 – 59.

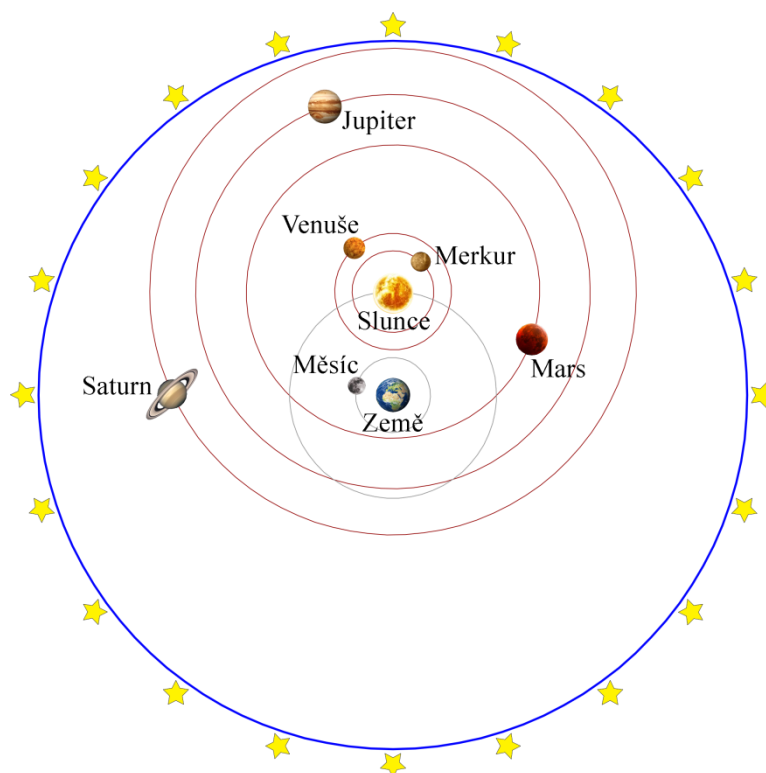
²² *Astronomiae Instauratae Progymnasmata* (Úvod do nové astronomie).

²³ Podle Aristotela byly komety atmosférickým jevem.

²⁴ GRANT, Edward, *A History of Natural Philosophy*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007, ISBN 978-0-511-29450-1, str. 281. Problém tkvěl především v tom, že podle tradiční kosmologie se ve vesmíru nacházely neproniknutelné krystalické sféry, a přesto dráha komety procházela právě skrze tyto sféry, což implikovalo, že ve hře je jiná příčina pohybu, nežli sférické disky. Odpovědět na tuto otázku se pokoušelo v průběhu dalšího sta let hned několik myslitelů, jako William Gilbert, Galileo Galilei, René Descartes nebo

s odkazem na autority, jako byl Aristotelés nebo Ptolemaios, a bylo nutno se s ní nějak vyrovnat. Na jedné straně byla zpočátku minoritní skupina astronomů a kosmologů volajících po nahrazení staré tradice novou teorií. Proti nim stála masa myslitelů vycházejících především ze scholastické tradice trvající na zachování starých pořádků. Byli ale i tací, kteří se pokusili smířit kopernikánskou a ptolemaiovskou teorii a tím nejvýznamnějším z nich byl Tycho Brahe.

Tychonův systém spočíval na částečné akceptaci heliocentrické premisy o orbitálních drahách kolem Slunce, nicméně Zemi zachoval statut nehybného středobodu univerza a Slunce spolu s Měsícem umístil na oběžnou dráhu kolem Země. Potřeba alespoň nějaké úpravy stávajícího systému byla čím dál více nutnější, protože projevovala stále větší a větší inkonsistenci s pozorováním řady astronomů. Další takové pozorování měl na svědomí opět Tycho Brahe, když v roce 1573 pozoroval vznik nové hvězdy²⁵. To bylo samozřejmě neslučitelné s aristotelským pojetím kosmu, především s ohledem na charakter sféry stálic, která byla neměnná ve smyslu, že zde nic nevzniká ani nezaniká.



Obrázek 3 - Tychonovský systém

Christiaan Huygens, nicméně konečné slovo, jak uvidíme v dalších kapitolách, měl až v roce 1687 Isaac Newton.

²⁵ Posléze se zjistilo, že se jednalo o supernovu SN 1572 pojmenovanou ne jeho počest Tychova supernova.

Geoheliocentrický systém byl velice vlivným především v 16. a 17. století, a byl akceptován jako platná alternativa ptolemaiovské tradice. Další takovou revizi ve prospěch kopernikánské teorie má na svědomí německý matematik, astronom a astrolog Johannes Kepler (1571–1630). Ten přišel, mimo jiné, s názorem, že orbity planet kolem Slunce nejsou kruhové, jak se ještě domníval Koperník, ale eliptické. Své výsledky shrnul v dílech *Astronomia Nova* (1609) a *Harmonices Mundi* (1619) formulací tří zákonů²⁶ o pohybu planet, známých také jako Keplerovy zákony.

1. Orbity planet jsou eliptické se Sluncem v jednom z ohnisek elipsy.
2. Obsahy ploch opsaných polohovým vektorem²⁷ ve stejném čase jsou stejné.
3. Poměr druhých mocnin oběžných period planet je stejný jako poměr třetích mocnin jejich hlavních poloos.

Jak bylo naznačeno výše, hlavním přínosem Keplerových zákonů jsou jejich kosmologické implikace. První zákon odmítá axiom kruhové orbity planet platný v ptolemaiovské, kopernikánské, tychoovské i galileovské kosmologii a astronomii. Druhý zákon popírá druhý axiom uniformity rychlosti pohybu planet. V ptolemaiovské tradici se tyto problémy vyřešily přidáním ekvantu (viz začátek podkapitoly), který simuloval „zdánlivé“ kolísání v rychlosti pohybu planet a změnu jejich relativního pohybu. Kepler oproti tomu přijal předpoklad změny v rychlosti planet, matematicky jej popsal a vyvrátil tak premisu kruhových orbit. Třetí zákon publikoval Kepler až s desetiletým zpožděním oproti prvním dvěma a popisuje v něm vztah mezi časem a vzdáleností, přičemž planety nejsou vzájemně nezávislými tělesy, nýbrž jsou integrovány do harmonického systému. Důsledkem pak je, že čas potřebný k oběhu planety okolo Slunce se zvyšuje spolu se vzdáleností od něj. Například siderická perioda²⁸ Saturnu je 30 let, zatímco Merkur ji má dlouhou méně než 88 dní. Je důležité poznamenat, že třetí zákon dovršuje Keplerovu snahu o nalezení systematické reprezentace a obhajoby kopernikánského systému, v němž planety nejsou nezávislé a samostatné jednotky, nýbrž jsou začleněny do harmonického světového řádu.²⁹

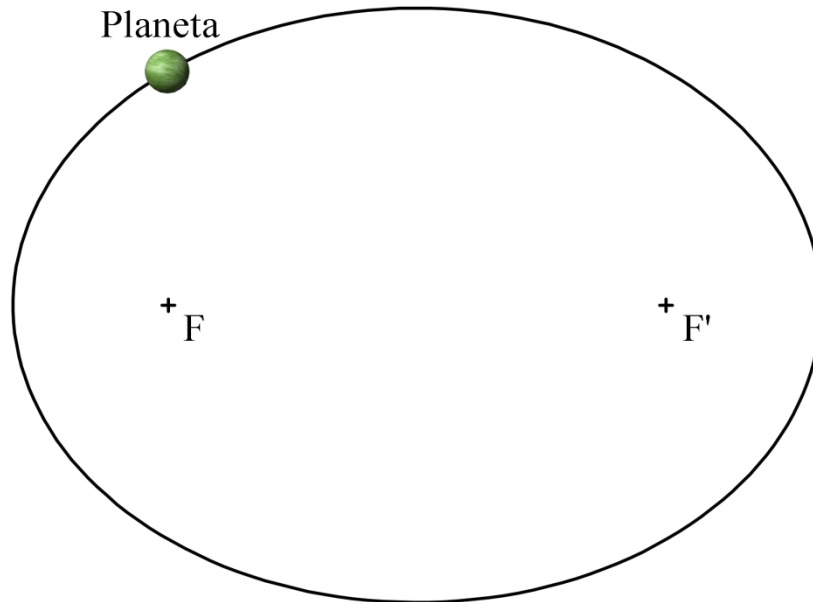
²⁶ První dva zákony jsou popsány v *Astronomia Nova* (Nová astronomie) a třetí zákon v *Harmonices Mundi* (Harmonie světa).

²⁷ Spojnice počátku soustavy souřadnic (Slunce) a hmotného bodu (planeta) s orientací k hmotnému bodu, též průvodič.

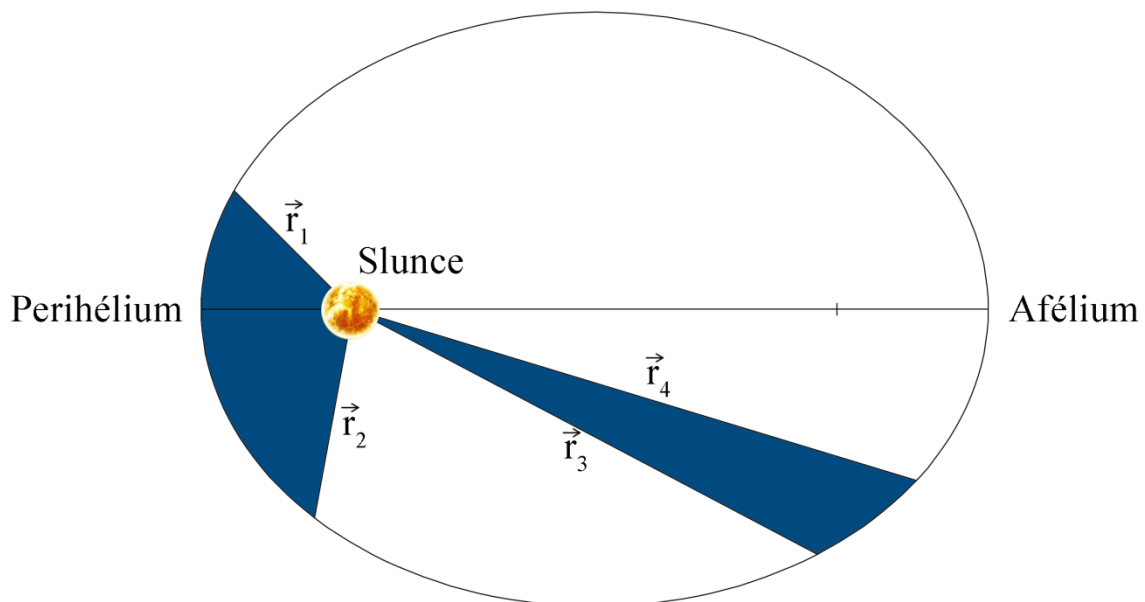
²⁸ Doba, za kterou planeta udělá jeden celý oběh kolem Slunce.

²⁹ DI LISCIA, Daniel A., „Johannes Kepler“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Summer 2015 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2015 [cit. 7. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/kepler/>>, str. 23 – 25.

Na obrázku 4 můžeme vidět grafické znázornění oběžné dráhy tvaru elipsy s ohnisky F a F' . Obrázek 5 vykresluje aplikaci druhého Keplerova zákona na příkladu pohybu planety s polohovým vektorem r , přičemž obsah ploch opsaných polohovým vektorem \vec{r} v čase t , je stejný. Tedy čas t , za který přejde průvodič z \vec{r}_1 do \vec{r}_2 a z \vec{r}_3 do \vec{r}_4 , je stejný.



Obrázek 4 - První Keplerův zákon



Obrázek 5 - Druhý Keplerův zákon³⁰

³⁰ Hodnoty $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \vec{r}_4$ jsou hodnotami změny směru a velikosti pohybového vektoru $\vec{r} + \Delta\vec{r}_i$ v čase $t + \Delta t_i$; $i = 1, 2, 3, 4$.

V úvodu jsme si řekli, že do jisté míry lze sledovat metodologickou a epistemologickou proměnu na rozmachu experimentální a naopak ústupu spekulativní filosofie. Henry nám ukazuje, že můžeme na trendy ve změně metodologické základny přírodní filosofie pohlížet také prizmatem ontologického statutu matematických teorií.

Zjednodušeně řečeno, vědecká revoluce se snažila nahradit převážně instrumentalistické přístupy k matematické analýze více realistickými. Instrumentalisté věřili, že matematicky odvozené teorie jsou předkládány jako hypotetický nástroj pro usnadnění matematických výpočtů a predikcí. Realisté naopak trvali na tom, že matematická analýza odhaluje, jak věci skutečně jsou, jinými slovy, pokud výpočty souhlasí, pak tomu tak musí být proto, že navrhovaná teorie je buďto pravdivá nebo blízko pravdě.³¹

Cílem astronomie bylo skloubení matematických reprezentací a požadavků aristotelské fyziky a kosmologie. Příkladem může být ptolemaiovský systém, který, přestože Ptolemaios byl ve svých úvahách realista, byl užíván pro řešení praktických problémů čistě instrumentálně, a za realistický popis obrazu světa je považována Aristotelova fyzika³².

Koperník přišel s realistickým přístupem, jenž na rozdíl od Ptolemaia dokázal vysvětlit nesrovnalosti, s nimiž si starší kosmologie nedokázala poradit. Přesný výpočet pozic planet a jejich vzdáleností od Slunce tak povzbuzoval Koperníka ve víře ve fyzikální přesnost a pravdivost jeho systému a jeho korespondenci s realitou. Revoluční tedy nebyla jen myšlenka na zcela odlišné uspořádání kosmu, ale také epistemologická justifikace, která byla v jeho podání čistě matematická. Tycho Brahe dokázal skvěle aplikovat svá pozorování pohybu komety a supernovy a zbořit tak mýtus o neměnitelnosti nebeských sfér. Kepler, jak jsme si řekli při popisu jeho tří zákonů, dokázal, že orbita planet není kruhová, ale eliptická, a jejich oběžná rychlost nepřímo úměrná vzdálenosti planety od Slunce, což podepřel detailními výpočty. Díky jeho realismu nabídl také fyzikální řešení planetárního pohybu.

Inspirován především prací Williama Gilberta o magnetismu a novoplatonickou tradicí, navrhl Kepler, že planety, včetně Země, mají něco srovnatelného s magnetickou osou, co je udržuje na určité dráze a může vytvářet různé stupně

³¹ HENRY, John, *The Scientific Revolution and the Origin of Modern Science*, Basingstoke: Palgrave, 2002, ISBN 0-333-96090-4, str. 15.

³² Aby mohla správně fungovat, postulovala Ptolemaiova teorie reálnou existenci abstraktních entit, což ovšem bylo z pohledu tradiční fyziky neakceptovatelné.

přitažlivosti nebo odporu vzhledem ke Slunci (představíme-li si Slunce, jako magnetický monopol).³³

Nejvýznamnější postavou počátků vědecké revoluce byl bezpochyby Ital Galileo Galilei (1546–1642), který notně přispěl tehdejší astronomii jak po praktické, tak i teoretické stránce. V rámci praktické astronomie je třeba zmínit zdokonalení teleskopického dalekohledu, díky němuž mohli astronomové *ad oculos* zkoumat detailně nebeská tělesa. Sám Galileo má na svědomí pozorování hor na Měsíci, čímž ukázal, že se nejedná o dokonalý sférický krystalický disk. Dále pozoroval tři Jupiterovy měsíce a sluneční skvrny, což taktéž odporovalo základním principům aristotelské kosmologie. Své poznatky prezentoval v několika dílech a vyústěním jeho snahy se stalo publikování spisů *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632)³⁴ a *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze* (1638)³⁵.

Galileiho objevy a spisy měly za následek první velký protiútok tradicionalistů proti novým kosmologickým doktrínám, které byly tou dobou na vzestupu. V kontextu s Galileim se kritika zakládala na třech hlavních bodech. Za prvé se mu namítalo, že jím prezentované objevy, jsou smyšlené a nepravdivé. To bylo zapříčiněno především tím, že bylo velice složité jeho pozorování kopírovat, protože nový teleskop byl dlouho přístupný pouze jemu a trvalo nějakou chvíli, než se o korektnosti jeho pozorování mohli přesvědčit i ostatní. Za druhé, jeho pozorování a jejich interpretace³⁶ byla zejména ze strany spekulativních filosofů odmítána s odvoláním se *ad verecundiam*. Za třetí, podle Galileiho kritiků, přestože mohla jeho pozorování odporovat aristotelsko-ptolemaiovské tradici, nijak přímo nepotvrzovala platnost kopernikánského systému³⁷. Galilei sám si byl v korektnosti svých závěrů ale natolik jistý, že v dopise pojednávajícím o slunečních skvrnách z roku 1612 svému patronovi Marcu Welsеровi napsal:

... i Aristoteles by souhlasil, kdyby měl takové znalosti z pozorování, jako máme dnes my, poněvadž on nejenže uznal smyslovou zkušenost jako jeden ze způsobů

³³ HENRY, John, *The Scientific Revolution and the Origin of Modern Science*, Basingstoke: Palgrave, 2002, ISBN 0-333-96090-4, str. 21.

³⁴ *Dialogy o dvou největších světových systémech*. Obsahovala srovnání Ptolemaiova a Koperníkova kosmologického systému.

³⁵ *Rozpravy a matematické důkazy vztahující se ke dvěma novým vědám*. Poslední Galileovo dílo, které obsahuje úplnou kodifikaci jeho názorového vývoje v otázkách astronomie, fyziky a filosofie.

³⁶ Hmotnost měsíce, pohyb slunečních skvrn, což dokazovalo rotační pohyb slunce, apod.

³⁷ Tento argument pramenil zejména z faktu, že Koperníkova argumentace byla založena matematicky, kdežto Galileiho rétorika byla filosofická. HALL, A. Rupert, *From Galileo to Newton 1630 – 1720*, New York: Harper & Row, Publishers, 1963, str. 21.

vyvozování závěrů o fyzikálních jevech, ale dokonce jí dal prvenství před všemi dalšími.³⁸

Třetí námitka a fakt, že Galileiho astronomické názory byly spíše filosofickou, nežli matematickou argumentací, měly pro celkový charakter jeho kosmologie značný význam. Přestože přijal a obhajoval kopernikánský systém, neztotožnil se Galilei s Keplerovou teorií o eliptické orbitální dráze planet³⁹, jež se ukázala jako rozhodující nástroj v pozdějších Newtonových snahách o potvrzení heliocentrického předpokladu. Výsledkem *Dialogů* tak byl heliocentrický systém bez planetárního systému, jenž byl značně zjednodušujícím zobrazením sluneční soustavy a který zcela ignoroval mnoho mechanických problémů vyřešených aplikací Keplerových zákonů planetárního pohybu⁴⁰.

Galilei je známý především pro svou obhajobu heliocentrického systému, což je spojeno se silnou popularizací jeho pronásledování církví, jež vyvrcholilo slavnou větou "A přece se točí". Ptolemaiovská astronomie ovšem nebyla hlavním cílem jeho kritiky. Galilei věděl, že ptolemaiovský systém je založen na předpokladech aristotelské fyziky, která tvoří ontologický rámec pro platnost tohoto systému vůbec a bude-li pokořen Aristotelés, padne i Ptolemaios. V rámci aristotelské fyziky se zaměřil především na jeho koncepci látky a pohybu. Jak jsme si již řekli, Aristoteles měl pět typů látky, země - voda - oheň - vzduch - ether, a každá z nich měla vlastní druh přirozeného pohybu. Země a voda se pohybovaly lineárně směrem dolů, oheň a vzduch lineárně směrem nahoru a ether měl pohyb kruhový. Snahou Galilea bylo prosazení uniformity látky v celém kosmu a jejich podřízenosti společným pohybovým zákonům.

Jinými slovy, ve chvíli, kdy se uzná, že teorie vysvětlující pohyb je společná nebi i Zemi, pak z toho plyne, že veškeré antiteze mezi nebeskými a zemskými tělesy, zavedené v přírodních vědách, jsou nepravdivé. Bude tedy existovat pouze jeden soubor znalostí aplikovatelný na celou říši přírody.⁴¹

Přestože Galileo svůj cíl plně neuskutečnil, podařilo se mu položit v jeho práci, a zároveň s pracemi jeho předchůdců, základy klasické mechaniky Isaaca Newtona.

³⁸ GALILEI, Galileo, *On Sunspots*, REEVES, Eileen, VAN HELDEN, Albert (trans., ed.), Chicago: The University of Chicago Press, 2010, ISBN 978-0-226-70715-0, str. 128.

³⁹ Galilei zastával názor, že planety se pohybují na kruhových oběžných drahách.

⁴⁰ HALL, A. Rupert, *From Galileo to Newton 1630–1720*, New York: Harper & Row, Publishers, 1963, ISBN 978-0486242279, str. 44.

⁴¹ HALL, A. Rupert, *From Galileo to Newton 1630–1720*, New York: Harper & Row, Publishers, 1963, ISBN 978-0486242279, str. 49.

1.3 Mechanický materialismus a karteziánský dualismus

Inspirace antickými autory nenapomohla výhradně vzniku heliocentrismu, ale také vytvořila základ fyzikální teorie, která byla v 17. století nejrozšířenějším přístupem k explanaci přírodních jevů. Touto teorií byl mechanický materialismus, jenž si udržel své dominantní postavení až do vzniku klasické newtonovské mechaniky. Mechanický materialismus oživil učení antických atomistů⁴², Lukrécia, Demokrita a především Epikura⁴³, a vycházel z předpokladu, že veškerá hmota se skládá z homogenních částic⁴⁴ řídicí se stejnými fyzikálními zákony a jsoucí v neustálém pohybu. Obdobnou snahu o výklad univerza skládajícím z jednoho druhu hmoty a bylo by podřízeno stejným pravidlům, jsme viděli už u Galilea.

Mechanický materialismus vysvětloval veškeré přírodní jevy na základě mechanických procesů analogických s procesy, ke nimž dochází uvnitř stroje. V 16. a 17. století došlo k velkému rozmachu výroby velice sofistikovaných mechanismů a strojů, jež ve své komplexnosti sváděly ke srovnání s běžnými fyzikálními procesy. Nejčastěji byly takové analogie vykreslovány za použití mechanismu v hodinkách. Zkoumání přírody pak probíhalo ve stejném duchu jako zkoumání daného přístroje. Za užití speciálních nástrojů se mechanismus rozebral na jednotlivé díly, u kterých se zjišťovaly jejich vlastnosti a vztah k ostatním komponentům, to vše v čistě materiální a mechanické terminologii.

Mechanicisté ovšem čelili nejednomu problému. Jedním z takových problémů bylo vysvětlení mechanické redukce, jenž spočívala na předpokladu možnosti vysvětlení komplexních vlastností našeho světa na základě vlastností korpuskulí. Byla tedy potřeba zjistit, jakým způsobem jsme z pohledu epistemologie schopni vyvodit nějaké závěry o vlastnostech neviditelných atomů na základě pozorování hmoty a dokázat tak, že vlastnosti

⁴² V drtivé většině aspektů můžeme položit rovnítko mezi teorií atomismu a mechanického materialismu, nicméně se obě stanoviska odlišovala v jednom důležitém aspektu. Atomisté aplikovali svoji teorii jak na materiální, tak i „nemateriální“ svět (duše, apod.), cílem mechanických materialistů byl naopak pouze materiální svět.

⁴³ Na rekonstrukci Epikurovy filosofie se zakládal například teoretický systém Pierra Gasendi (1592 – 1655).

⁴⁴ Přestože zde budeme povětšinou užívat termín atom, pro tehdejší myšlení byly běžnější termíny jako korpuskule, *prima naturalia* nebo *minima naturalia*, nicméně význam je stejný.

hmoty pozorované na úrovni naší běžné zkušenosti platí také pro atomy⁴⁵. Odpověď na tento problém se pokusil dát Rober Boyle (1627–1691) tak, že na základě katalogizace všech společných vlastností hmoty můžeme usuzovat, že takové vlastnosti mají také její korpuskulární struktury. Tato argumentace ovšem do značné míry odporovala samotné podstatě atomismu mechanického materialismu, protože by pak musely atomy být nutně také dělitelné. Problém mechanické redukce se mechanickým materialistů vyřešit nepodařilo.

Aplikace mechanického materialismu ovšem nutně nevyžaduje také přijetí atomistických premis. Nejvýznamnějším myslitelem této tradice a zároveň kritikem některých aspektů atomismu byl Francouz René Descartes⁴⁶ (1596–1650). Atomismus vadil Descartovi především z důvodu předpokladu prázdna umožňujícího pohyb. Pro něj totiž pohyb spočíval ve vzájemné záměně pozice jednotlivých částí hmoty. To mělo také za následek, že ve světě neexistuje žádné působení na dálku a veškerý pohyb lze vysvětlit zhora mechanicky. Magnetismus, světelné záření, pohyb kosmických i pozemských těles, můžeme vždy převést na pohyb hmoty a jednotlivých částic hmoty, v Descartově případě se jednalo o teorii víření. Toto pojetí pohybu si můžeme představit tak, že jak se těleso pohybuje kupředu, nahrazují částice hmoty jiné, které jsou před nimi. Těleso (částice hmoty) ovšem netlačí okolní hmotu před sebou, ta je ohýbána tak, aby na konci pohybu vždy zaujala prostor, jenž byl tělesem uvolněn. Výsledkem pohybu tělesa je tedy "zvíření" částic okolní hmoty.

Stejným způsobem Descartes popsal i rotační pohyb planet okolo Slunce. Představíme-li si obrovský vír částic hmoty, jejíž nejmenší částice se hromadí ve středu, protože mají nejmenší odstředivou sílu. Vzájemná interakce a shlukování částic mezi nimi vytváří tření, což způsobuje vyzařování tepla a světla u Slunce a ostatních hvězd. Větší částice se spojují a vytvářejí planety, které jsou unášeny vírem po fixních orbitách v závislosti na jejich hustotě. Pokud se planeta přiblíží ke středu, narazí na menší a rychleji se pohybující částice a ty předají část svého pohybu planetě, jenž získá vyšší odstředivou sílu a dostane se tak dále od středu. Ve větší vzdálenosti pak pochopitelně narazí na větší a pomaleji se pohybující částice, čímž dojde ke zpomalení jejího vlastního pohybu a opětovnému přiblížení se ke středu víru. Celý systém je samoregulační. Otázkou je, jak a proč se větší částice shlukují do planet.⁴⁷

⁴⁵ CHALMER, Alan, "Atomism from the 17th to the 20th Century", *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Winter 2014 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2014 [cit. 10. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/atomism-modern/>>, str. 8.

⁴⁶ Primárním zdrojem Descartovy fyziky je dílo *Principy filosofie* (1644).

⁴⁷ HENRY, John, *The Scientific Revolution and the Origin of Modern Science*, Basingstoke: Palgrave, 2002, ISBN 0-333-96090-4, str. 72.

Descartovo pojetí pohybu bylo v kontinentální kosmologii velice vlivným až do konce 18. století, nicméně ve více filosoficky orientovaných kruzích dominovala jeho myšlenka ontologického (substančního) dualismu⁴⁸. Základními ontologickými jednotkami je materiální hmota (*res extensa*) a myslící substance (*res cogitans*), jejichž existence je na sobě vzájemně nezávislá. *Res extensa* tvoří veškerý materiální fundament našeho světa a její vlastností je prostorová rozprostraněnost podléhající Descartovým pohybovým principům. Oproti tomu *res cogitans* je nemateriální, nesmrtelná, nepodléhá přírodním zákonům a tvoří lidskou duši, díky čemuž je člověk jediným živým a oduševněným tvorem⁴⁹. Substanční dualismus ovšem s sebou nese řadu obtíží, z nichž nejvýznamnější je zajisté problém výměny informací mezi fundamentálně naprosto odlišnými složkami jako byly *res extensa* a *res cogitans*⁵⁰. Ten se Descartes snažil vyřešit pomocí mechanismu v epifyze, která se měla stát „trůnem pro duši“, a zajišťovat tak komunikaci mezi materiální a imateriální složkou. Nicméně toto nelze považovat za konečný pokus o řešení a debata na toto téma vřela vně i uvnitř karteziánského dualismu mnoho dalších desetiletí po Descartově smrti⁵¹.

Nejefektivnější a nejznámější aplikaci Descartových mechanických principů má na svědomí nizozemský fyzik, astronom a horologista Christiaan Huygens (1629–1695), který byl vůdčí osobností fyziky v době krátce před Isaacem Newtonem. Huygens ve svém díle *Horologium Oscillatorium* (1673) matematizoval descartovskou teorii pohybu a jeho cílem bylo pomocí „matematické teorie vyvodit pozorovatelné důsledky z jejích axiomů, jež by je mohly podpořit jako hypotézy, nebo alespoň umožnit jejich praktickou aplikaci“⁵². Přestože Huygens působil v tradici mechanického materialismu, kritizoval mechanicistické vysvětlení přitažlivosti. Descartův systém planetárního pohybu měl totiž jeden poměrně absurdní důsledek. Podle tohoto systému všechny částice ve vířivém pohybu kolem planety⁵³ směrem od středu křivosti trajektorie obíhají nad rovníkem, z čehož plyne, že nad póly by pak žádná odstředivá síla nepůsobila. Huygensovo řešení spočívalo v tom, že částicím hmoty planety,

⁴⁸ *Vášeň duše* (1649).

⁴⁹ Zvířata byla pro Descarta totéž, co dobře fungující stroj bez jakýchkoli kognitivních funkcí a vlastností, což mělo velice zajímavé etické důsledky.

⁵⁰ Dá se říci, že zde končí každý pokus o seriózní udržení platnosti dualismu duše a těla. Dnes je proto substanční dualismus překonán.

⁵¹ Jedním z takových řešení byl okazionalismus, jehož hlavním představitelem byl Nicolas Malebranche. Ten tvrdil, že komunikace mezi tělem a duší je zajištěna Bohem, díky participaci kolektivu myslí na něm. To ovšem mělo, v určitém výkladu, negativní důsledky pro pojetí Boha, jako nekonečně svobodné bytosti, protože Bůh se stal "otrokem" lidské myslí.

⁵² SMITH, George E., „The Methodology of the Principia“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511–03287–0, str. 143.

⁵³ Samozřejmě platí i pro Slunce apod.

kteře se podle Descarta pohybovaly uniformním směrem rovnoměrně s rovníkem, dal pohyb po všech kruhových drahách představitelných na Zemi představit.

Huygensův význam je dán především tím, že se v mnoha směrech přiblížil závěrům prezentovaným o několik let později Newtonem ve svých *Principiích*, například jeho pojetí odstředivých sil (*centrifugal force*). Podle něj pohyb planet po zakřivené dráze, vyžadoval konstantní působení nějaké síly, na čemž Newton postavil svůj První pohybový zákon a zničil tak představu vycházející už z Galilea, že (planetární) kruhový pohyb může trvat *ad infinitum*. Taktéž Newtonův Druhý zákon byl v kvadratické podobě formulován už Huygensem a ve výpočtech planetárních orbit nahradil Keplerův třetí pohybový zákon. Přesto všechno je potřeba mít na mysli, že Huygens byl stále mechanickým myslitelem a jeho koncepce gravitace se zakládala na nutnosti mechanického kontaktu jednotlivých částic. Jeho teorie jako celek tedy stojí v opozici vůči Newtonovým závěrům.

2. PŘÍRODNÍ FILOSOFIE ISAACA NEWTONA

V druhé polovině 17. století byla již heliocentrická teorie kánonem tehdejší přírodní filosofie. Předpoklady popsané Koperníkem a dále rozpracované Keplerem těžily zejména z přesnosti, s níž byli tehdejší astronomové a fyzikové schopni vypočítat orbity planet, jejich polohu a rychlost. Keplerovy zákony ukazovaly, jakým způsobem planety obíhají kolem Slunce⁵⁴, jaká je jejich rychlost a harmonický vztah skrývající se v poměrech siderických period jednotlivých planet⁵⁵. Problém ovšem byl, že jakkoli přesné mohou výpočty být, nedozvíme se z nich, proč se planety chovají tak, jak se chovají. Obecněji můžeme říci, že se z Keplerových zákonů nedozvíme, co způsobuje eliptické zakřivení oběžných drah ani jak vysvětlit zrychlení planet přibližujících se k perihéliu a zpomalení při přechodu do afélie či jejich konstantní plošnou rychlost⁵⁶. Bylo tedy potřeba najít kauzální zákony, které by byly schopny kvantitativně vysvětlit vztahy mezi orbitálním pohybem planet a příčinou tohoto pohybu.

V tuto chvíli přichází na scénu člověk, jenž sehrál, podle tradovaného příběhu, klíčovou roli ve zrození moderní vědy. Edmund Halley (1656–1742), podle něhož je pojmenovaná Halleyova kometa⁵⁷, v srpnu roku 1684 navštívil Isaaca Newtona v jeho domě v Cambridge, kde žil v ústraní, aby s ním pohovořil o možnosti existence matematické zákona popisujícího charakter přitažlivé síly působící na planety. Podle našeho příběhu, položil Halley Newtonovi následující otázku:

Jaké zakřivení by měla oběžná dráha planety obíhající kolem Slunce, kdyby na ní působila přitažlivá síla, která by byla nepřímo úměrná druhé mocnině její vzdálenosti od Slunce? Newton okamžitě odpověděl, eliptické. Halley byl ohromen, že Newton

⁵⁴ 1. Keplerův zákon.

⁵⁵ 3. Keplerův zákon známý také jako Harmonické pravidlo.

⁵⁶ 2. Keplerův zákon. Plošná rychlost určuje velikost plochy opsané průvodičem v určitém čase, a jelikož je plošná rychlost konstantní, pak plocha opsaná průvodičem za stejný čas je stejná.

⁵⁷ Častým omylem se Edmundu Halleyi připisuje objevení komety, která nese jeho jméno. Halley ovšem tuto kometu neobjevil. Nicméně zjistil, že kometa, jejíž pozorování byla v historii již několikrát popisována, je stále tatáž. Důležité je, že Halley jako jeden z prvních aplikoval Newtonovy matematické principy gravitace, o kterých budeme mluvit za chvíli, a na základě analýz předchozích pozorování a výpočtu trajektorie komety nejenže zjistil, že komety také obíhají kolem Slunce, ale také predikoval návrat komety v roce 1758.

měl tak pohotovou odpověď, nicméně Newton nemohl najít výpočty, které měl připravené a tak Halley odešel s prázdnýma rukama.⁵⁸

O několik měsíců později se k Edmundu Halleyovi dostal do rukou kratičký spis *De motu corporum in gyrum*⁵⁹, ve kterém Newton popsal důsledky Keplerových zákonů pro eliptický pohyb planet, založeném na předpokladu nepřímé úměry druhých mocnin vzdálenosti planet od Slunce a tvaru jejich orbit. Halley byl výpočty tak ohromen, že spěchal za Newtonem do Cambridge, aby jej přesvědčil o nutnosti jejich rozpracování a ten souhlasil.

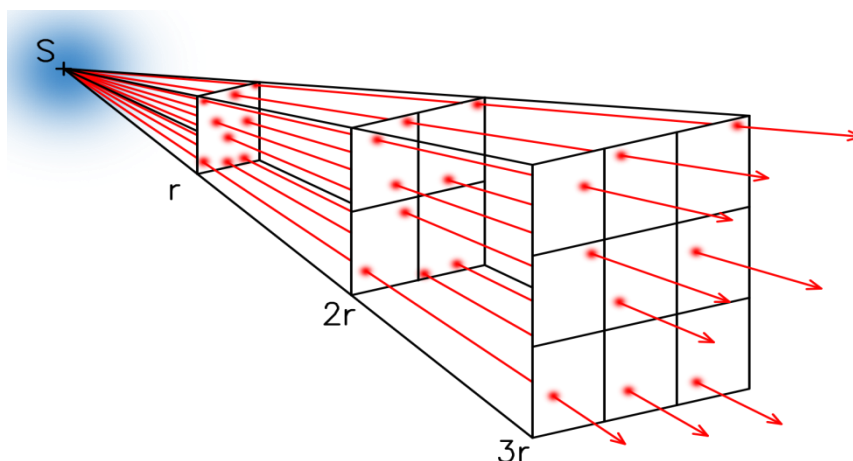
Takové tedy byly, alespoň podle tradice, počátky přátelství, které změnilo náš pohled na svět a umožnilo zcela novou úroveň jeho zkoumání. O několik let později, v roce 1687, se pár stránek z *De motu* změnilo v monumentální *magnum opus* Isaaca Newtona, testament vědecké revoluce, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. *Principia* se stala ihned po vydání značně diskutovanou knihou a zejména za přispění mechanických filosofů, jako byl Huygens nebo Leibniz, se setkala s ostrou kritikou. Jedinou překážkou však nebyla jen akademická kritika Newtonových myšlenek, ale také nešťastný spor s Robertem Hookem (1635–1703), který nařkl Newtona z plagiátorství. Hooke tvrdil, že od něj Newton opsal Zákon převrácených čtverců (*Inverse-square law*)⁶⁰ a jeho vztah k eliptickým orbitám planet a přitažlivé síle, jež na ně působí. Hooke opravdu tvrdil, že existuje vztah mezi intenzitou gravitačního pole a vzdáleností planet od slunce, nicméně nikdy se mu nepodařilo aplikovat na tento vztah Zákon převrácených čtverců. Newton nakonec vyslovil uznání Hookovi, Halleymu a Wrenovi⁶¹ ve vydání *Principií*, nicméně jeho averze vůči Hookovi, za nepravdivé nařčení z plagiátorství, tím nezmizela.

⁵⁸ JANIÁK, Andrew, „Newton's Philosophy“ *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Summer 2014 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2014 [cit. 18. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-philosophy/>>, str. 21.

⁵⁹ O pohybu orbitálních těles.

⁶⁰ *Inverse-square law* je název zákona popisujícího vztah intenzity, např. gravitačního pole, a vzdálenosti od zdroje. Jak bylo již naznačeno o několik řádků výše, vztah je následující. Intenzita gravitačního pole (magnetického pole, světla, atd.) klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Matematický zápis je následující. $I \propto \frac{1}{r^2}$ nebo $\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$, viz Obrázek 6.

⁶¹ Christopher Wren (1632–1723)



Obrázek 6 - Grafické zobrazení Zákona převrácených čtverců

Spor s Hookem ovšem nebyl jedinou ranou pro Newtonovu důvěru v následování akademické dráhy. V roce 1672 byl v rámci kompendia britské Královské společnosti *Philosophical Transactions* vydán Newtonův dopis Henrymu Oldenburgovi známý pod názvem *The New Theory about Light and Colours*, jenž okamžitě vyvolal bouřlivou debatu, do které se zapojili osobnosti jako Huygens, Leibniz, Pardies⁶² či Hooke. Newton často vyčítal svým oponentům nepochopení a dezinterpretaci jeho myšlenek. Následkem toho se Newton pokoušel o precizaci a vysvětlení své metodologie, nicméně debata na téma světla se natolik vyostřila, že se nakonec, jak bylo zmíněno výše, stáhl do ústraní a zanevřel na akademickou činnost. Dříve, než se dostaneme k plné demonstraci síly experimentální metodologie soustředěné v *Principiích*, podíváme se, jaké byly počátky úvah o metodologii v Newtonově filosofickém myšlení.

2.1 Newtonova teorie světla

Debata o povaze světla, nastíněná v úvodní části této kapitoly, byla pro Newtona prvním velkým a také hořkým kontaktem na akademickém poli. V této části si detailněji uvedeme především dva aspekty jeho myšlení. Za prvé, počátky Newtonových úvah o korektní praxi experimentální metodologie a její percepce v rámci tehdejší debaty o povaze světla. Za druhé, konkrétní Newtonova stanoviska ohledně světla vycházející nejen z *The New theory of light*,

⁶² Ignace-Gaston Pardies (1636–1673).

ale také z *Optiky* publikované v roce 1704⁶³. Teorie světla popsaná v těchto dvou dílech je pro nás důležitá především proto, že obdobný dopad jako měla *Principia* na mechaniku, měla i tato teorie v oblasti optiky.

Celým názvem *Optika, neb pojednání o odrazu, lomu, sklonu a barvě světla*⁶⁴ je dílo, v němž Newton systematizuje a kodifikuje své názory na charakter a povahu světla, které bylo v přírodní filosofii jeho doby velice diskutovaným tématem. Na začátku Newton definuje základní vlastnosti světla, přičemž rozlišuje mezi homogenním typem světla, jehož paprsky mají totožný index lomu, a heterogenním typem, jehož paprsky mají odlišný index lomu, čímž si připravuje půdu pro následné vysvětlení charakteru barevného spektra (Definice VII.).

Začneme popisem experimentu, který je zaznamenán v obou spisech⁶⁵. Newton zastínil všechna okna místnosti tak, aby do ní světlo mohlo pronikat pouze úzkou štěrbinou a promítalo se na protější stěnu⁶⁶ (Obrázek 7). Poté přiložil optický hranol k místu vstupu světla tak, aby bylo došlo k lomu světla (*refraction*). Tento pokus sám o sobě nebyl ničím revolučním, protože optické hranoly se tehdy užívaly hojně a v podstatě k takové podívané optický hranol ani nepotřebujeme, stačí nám jen pozorovat obyčejnou duhu. Revoluční ovšem byly Newtonovy závěry. Tehdejší zákony lomu světla vysvětlovaly barevné spektrum, jako specifický typ smíšené světla, jež samotné bylo jednoduché, homogenní a „bezbarvé“. Newton ovšem na základě experimentu a matematické analýzy zjistil, že světlo, které vnímáme, se skládá z barevných paprsků, spektra, lámajícím se při průchodu optickým hranolem, přestože je na první pohled nevnímáme⁶⁷. Každý díl barevného spektra má odlišný index lomu⁶⁸ (*index*

⁶³ Na první pohled se může zdát, že uvádět jako „počátek“ metodologie *Principií* knihu, která vyšla téměř 20 let po jejich vydání, je zavádějící. *Optika* nicméně nebyla kniha, na které by Newton pracoval až po dokončení *Principií*. Většina teoretických a metodologických poznatků a experimentů vychází z děl publikovaných ještě před vydáním *Principií*, dokonce ještě před oním osudovým setkáním s Edmundem Halleyem. Pokud tedy budeme na *Optiku* nahlížet jako na finální verzi myšlenek publikovaných v 70. letech 16. století, pak můžeme jistý anachronismus v našich úvahách přehlédnout.

⁶⁴ *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*.

⁶⁵ NEWTON, Isaac, *A letter to the Royal Society presenting A new theory of light and Colours*, [online] BENNETT, Jonathan (ed.), 2010, [cit. 19. 4. 2016]. Dostupné z <<http://www.earlymoderntexts.com/assets/pdfs/newton1671.pdf>> str. 8.

NEWTON, Isaac, *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, London: Smith and Walford, 1704.

⁶⁶ Tento experiment začínal na stejném principu, jako fungovala *camera obscura*.

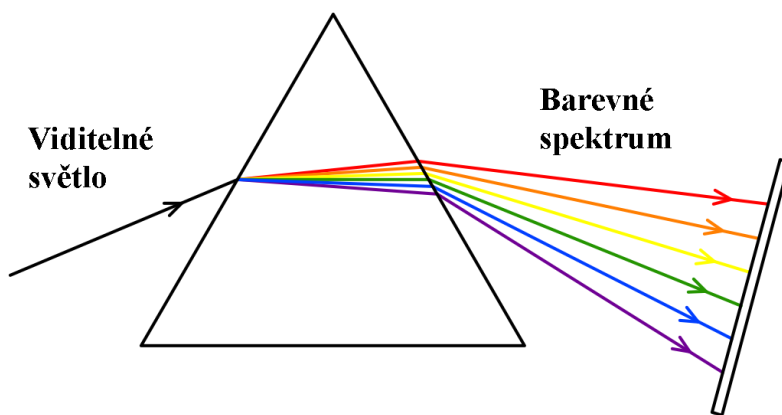
⁶⁷ NEWTON, Isaac, *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, London: Smith and Walford, 1704, Propozice 2, Experiment 3 - 8.

⁶⁸ Lom světla záleží samozřejmě také na indexu lomu prostředí, nicméně jelikož se v tomto případě jedná o homogenní prostředí, můžeme tuto proměnnou ignorovat.

of refraction), díky čemuž dochází k jejich lokálnímu posunu, přičemž nejnižší index má červené a nejvyšší fialové světlo⁶⁹. Newton argumentoval následujícím způsobem:

[J]elikož základní charakteristikou světelných paprsků je barva, měli bychom tyto barvy považovat za kvality nebo vlastnosti paprsků, bez ohledu na fakt, že je není možno pozorovat za normálních podmínek. Abychom toho dosáhli, musíme pokládat paprsky za nositele těchto kvalit, což znamená, pohlížet na ně jako na substanci. Pokud tedy považujeme paprsky světla za substanci, nemůžeme je zároveň považovat za kvality či vlastnosti něčeho jiného.⁷⁰

Hlavním důvodem, proč se Newton potřeboval vyrovnat s kvalitativním pojetím světla, bylo, že většina tehdejších myslitelů, předně již zmiňovaný Huygens, Hooke a Pardies, se domnívali, že světlo je vlnění. To v sobě samozřejmě neslo předpoklad charakteru vlnění paprsků světla jako vlastností světla. Nicméně Newton předpokládal, že vzhledem k substanciální povaze jednotlivých paprsků, nemůžou být považovány za vlnění, ale za proud částic, tzv. korpuskulí.⁷¹ Refrakce světla tedy neznamená jeho kvalitativní změnu, ale ukazuje, jak pomocí optického hranolu můžeme světlo rozložit na jeho jednotlivé konstitutivní prvky.



Obrázek 7 - Lom světla

⁶⁹ Newtonovo pozorování se omezovalo pouze na viditelné spektrum. K objevení částí neviditelného spektra došlo až v 19. století Williamem Herschelem, který identifikoval infra-červené světlo, a Johannem Ritterem, jehož zásluhou známe ultra-fialové světlo.

⁷⁰ *...since rays of light have colors as basic features, we should regard these colors as qualities or properties of the rays (despite the fact that these properties are imperceptible under any ordinary circumstance); but doing so requires us to think of the rays as bearers of qualities, which is to say, as substances in their own right. And if rays of light are substances, this means that we cannot also think of them as qualities or properties of anything else.* JANIÁK, Andrew, „Newton's Philosophy“ *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Summer 2014 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2014 [cit. 18. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-philosophy/>>, str. 11.

⁷¹ Toto téma je otevřené i dnes a většina ho jistě zná z interpretací kvantové mechaniky, které se snaží částicovou a vlnovou dualitu (wave-particle duality) vysvětlit.

Podívejme se nyní, v jakém směru nám může analýza Newtonových optických myšlenek pomoci při analýze jeho metodologie. Jak Newton píše na úvodní stránce první knihy *Optiky*, experiment hrál a vždy hrát bude v jeho myšlení hlavní roli.

Mým cílem v této knize není vysvětlit vlastnosti světla postulováním hypotéz, ale popsat je a pomocí rozumu a experimentu prokázat jejich platnost.⁷²

Newton nám zde ukazuje, že je důležité, abychom rozlišovali mezi argumenty vycházející z pouhé hypotézy založené na spekulativním uvažování a důkazy, jejichž pravdivost je podpořena experimentem nebo pozorováním. Toto rozlišení, jež se v Newtonově myšlení formulovalo již od počátků jeho práce na optických jevech, se stalo fundamentem jeho metodologie. Asi nejznámější formulace *hypotheses non fingo* (nepředkládám žádné hypotézy), po které je pojmenovaná i třetí podkapitola, pak vychází z Obecného scholia (*General Scholium*) na konci *Principií*, čemuž se ale budeme věnovat ještě o něco později.

Nicméně Optika i Nová teorie světla, nebo spíše celá jeho optická teorie, jsou v metodologickém ohledu trochu odlišné od *Principií*, protože ne všechny závěry jsou vyvozovány podle pravidla popsaného výše. Jedná se o částí textu, kde se věnuje principům zraku (*theory of vision*). Korpuskulární pojetí světla vedlo Newtona k přijetí Descartovy mechanické teze o vibračním modelu nervového transferu. Podle Descarta a později i Newtona se korpuskule šíří pomocí etheru, fungujícího jako transmitter, podle základních pravidel mechanického materialismu⁷³. Světlo se při dopadu láme a odráží a skrze ether dopadá na naši sítnici, která je dopadem jednotlivých korpuskulí rozvibrována. Vibrace pak pokračují po optickém nervu do našeho mozku, kde dochází k vizualizaci externích objektů. Tento přístup můžeme nazvat nepřímý realismus (*indirect realism*), což znamená, že vnímaný objekt není samotný externí objekt, ale spíše jeho fyzikální manifestace uvnitř našeho mozku.⁷⁴ Problém s tímto pojetím zraku spočívá ve značné hypotetičnosti celého vizuálního systému. Zatímco teorie lomu světla a barevného spektra je popisována přísně v mezích experimentu a pozorování a je vystavěna na čistě empirickém vyvozování, teorie zraku vychází z hypotetického postulování korpuskulárních částic světla, etheru a procesu jejich

⁷² *My Design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and prove them by Reason and Experiments.* NEWTON, Isaac, *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, London: Smith and Walford, 1704, str. 1.

⁷³ Viz podkapitola 1.3 Mechanický materialismus.

⁷⁴ HAMOU, Philippe, „Vision, Color, and Method in Newtons *Opticks*“ in *Newton and Empiricism*, BIENER, Zvi, SCHLISSER, Eric (ed.), Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-933709-5, str. 84 – 91.

vzájemné interakce, která vysvětluje percepci okolního světa. Tyto dvě složky Newtonova myšlení jsou zde tedy ve značném rozporu.

2.2 Koncepce síly a Pohybové zákony

Doposud jsme viděli několik přístupů k popisu a vysvětlení zákonitostí pohybu. Aristotelská tradice nám říkala, že pohyb je určen tendencí těles směřovat ke svému přirozenému místu v závislosti na jejich složení. Pokud byla převládajícím prvkem země nebo voda, pak se těleso přirozeně⁷⁵ pohybovalo lineárně směrem ke středu země a pokud bylo těleso složeno převážně ze vzduchu nebo ohně, pak lineárně směrem nahoru. Éterická tělesa pak měla od přirozenosti rotační kruhový pohyb. S příchodem mechanického materialismu byl pohyb vysvětlován v rámci vzájemné interakce jednotlivých těles, přičemž aby jedno těleso mohlo působit na druhé, muselo s ním být v přímém kontaktu, případně v kontaktu skrze nějaký mediační prvek.

Descartes pro vysvětlení mechanického pohybu těles vytvořil tři zákony, které publikoval v díle *Principy filosofie*, jež byly syntézou jeho myšlenek publikovaných v *Meditacích o první filosofii a Rozpravě o metodě*:

1. Každé těleso zůstává, je-li to možné, ve stejném stavu, a tedy, je-li těleso uvedeno do pohybu, pak v tomto pohybu setrvává.
2. Každé těleso samo o sobě tíhne k pohybu po přímce, a tedy všechna tělesa v kruhovém pohybu mají tendenci se pohybovat ve směru od středu kružnice, kterou opisují.
3. V případě, že se těleso dostane do kontaktu s tělesem silnějším, neztrácí žádný pohyb. Pokud ale těleso přijde do kontaktu s tělesem slabším, ztrácí silnější těleso tolik pohybu, kolik předá slabšímu tělesu.⁷⁶

⁷⁵ Ve smyslu absence jakékoli vnější příčiny.

⁷⁶ *The first law of nature: that each thing, as far as IS In its power, always remains in the same state; and that consequently, when it is once moved, it always continues to move.*

The second law of nature: that all movement is, of itself, along straight lines; and consequently, bodies which are moving in a circle always tend to move away from the centre of the circle which they are describing.

The third law: that a body, upon coming in contact with a stronger one, loses none of its motion; but that, upon coming in contact with a weaker one, it loses as much as it transfers to that weaker body. DESCARTES, René, *Principles of Philosophy*, MILLER, Valentine Rodger, MILLER, Reese P. (trans. et ed.), Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1982, ISBN 978-90-277-1754-2, str. 59 – 61.

Primární příčinou veškerého pohybu v kosmu je Bůh jakožto prvotní hybatel a každá další příčina pohybu již konkrétního tělesa je sekundárním typem. Bůh je také garantem platnosti pohybových zákonů, přičemž Descartes se v tomto směru dá interpretovat dvěma způsoby. Za prvé, může být Bůh garantem pohybových zákonů v každé jednotlivé instanci. Za druhé, Bůh vložil při stvoření do přírody pohybové zákony platné natrvalo. Descartes tedy nahradil vícero pohybových principů aristotelské a scholastické tradice jedním jediným, Bohem, jakožto garantem pohybových zákonů.

Na rozdíl od všech svých předchůdců, kde hrála hlavní roli v přírodních jevech pouze mechanická interakce, přichází Newton s koncepcí mechaniky, která je založená na principu sil (*forces*). Úvodní pasáž *Principiū*⁷⁷ je věnována, mimo jiné, právě definici různých typů sil tvořící jádro kauzální explanace pohybu. Ústřední silou je v tomto ohledu pro Newtona „působící síla“ (*vis impressa*) představující sílu, jež je na těleso vyvíjena, za účelem změny jeho klidového stavu nebo pohybu rovnoměrně přímočarého (Definice 4). Trvání *vis impressa* je pouze po dobu, kdy je na těleso vyvíjena síla za účelem změny jeho stavu⁷⁸. Ve chvíli, kdy přestane *vis impressa* působit na těleso, zachovává si toto těleso sílu ve formě setrvačnosti (*vis insita/vis inertiae/inertia*). „Setrvačná síla“ je přirozená tendence hmoty setrvávat v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém a je úměrná hmotnosti (*mass*) tělesa (Definice 3). Přestože se pojem setrvačnosti vyskytoval i dříve⁷⁹, Newton jej užíval odlišně od tradice. Pokud podle aristotelské fyziky přestala na těleso působit síla, pokračovalo pak těleso ve svém přirozeném pohybu. O zásadní revizi tohoto pojmu se zasloužil až Kepler, jenž tvrdil, že pokud na těleso přestane působit síla, přestane se pohybovat. Newton nicméně šel ještě dál a setrvačné síle přiřadil tendenci setrvávat v momentálním pohybu.

Nebyl to ovšem pouze soubor sil, který byl pro Newtonovu mechaniku klíčový. Definice 1 nám popisuje hmotnost (*quantity of matter/mass*) tělesa vycházejícího z hustoty (*density*) a objemu (*bulk conjunctly/volume jointly*). Koncepce hmotnosti zde nahrazuje

⁷⁷ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, United States: Snowball Publishing, 2010, ISBN 978-1607962403, str. 9 – 18.

⁷⁸ Síla působící na těleso může být trojího typu, respektive může vycházet ze tří zdrojů: náraz (*percussion*), tlak (*pressure*) a dostředivá síla (*centripetal force*).

⁷⁹ Newton nebyl originálním autorem tohoto termínu. Podle *Lexicon Philosophicum* (1613) Rudolfa Goclenia, se *vis insita*, objevuje jako přirozená vlastnost tělesa, v protikladu k *vis violenta*. V aristotelské fyzice tento termín označuje přirozený pohyb. *Vis insita* se také objevuje v díle *Physiologiae Peripateticae Libri Sex* (1642) Johanna Magiruse, se kterou se Newton sám setkal při svém pregraduálním studiu v Cambridge. - COHEN, I. Bernard, „Newton's Concepts of Force and Mass, with Notes on the Laws of Motion“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0-511-03287-0, str. 60.

zastaralé pojmy váhy (*weight*) či rozprostraněnosti⁸⁰ (*extension*) jako nejvhodnější způsob deskripce hmoty. Podle Newtona je možné váhu tělesa vždy zjistit z jeho hmotnosti, což dokazuje v experimentech s kyvadlem v Propozici 6, 3. knihy. Newton nahradil váhu hmotností, protože podle pokusů Richera a Halleye se váha tělesa měnila v závislosti na její poloze na zemi, k čemuž v případě hmotnosti nedocházelo^{81 82}.

Závěrečné Definice 5 – 8 popisují vlastnosti a charakter dostředivé síly (*centripetal force*), která bude klíčovou pro Newtonovo pojetí gravitace. Dostředivá síla, jako jedna z forem *vis impressa*, je síla, skrze niž jsou tělesa přitahována nebo jakkoli jinak nucena k pohybu ve směru okolo středového bodu. Newton rozlišuje tři typy dostředivé síly: gravitační síla Země zapřičiňující pohyb těles směrem k jejímu středu, magnetické pole a nejdůležitějším typem je síla, která působí na planety a zapřičiňuje zakřivení jejich drah, jež by za běžných okolností⁸³ byly přímočaré⁸⁴. Newton používá dostředivou sílu v opozici k Huygensovi, jenž při svých výpočtech pracoval s konceptem odstředivých sil (viz Huygens, podkapitola 1.3). Zajisté jste si všimli, že Newton věnuje pozornost, resp. detailněji zkoumá pouze dostředivou sílu, která je jen jeden z druhů *vis impressa*, protože jak v případě nárazu či tlaku, jsme schopni tyto síly identifikovat na základě běžné zkušenosti nebo experimentu, např. při pohledu na náraz dvou koulí. Nicméně dostředivá síla je v tomto ohledu velice odlišná, protože na její existenci můžeme usuzovat jen z jejích projevů, jako je způsobení zakřivení dráhy těles popsané výše. Newton ještě rozlišuje tři rozměry (*measures*) dostředivých sil. Absolutní množství (*absolute quantity*) je míra dostředivé síly tělesa úměrná účinnosti, se kterou se síla šíří v prostoru. Míra akcelerace (*accelerative quantity*) určuje velikost dostředivého zrychlení, které je úměrné vektorové rychlosti v čase t , (*motive quantity*) nám říká, jaká je hybnost v čase.

Manifestací Newtonova kreativního přístupu k pohybu je formulace tří Pohybových zákonů⁸⁵. Jejich významný posun epistemologické a ontologické roviny zkoumání přírody

⁸⁰ Viz Descartův substanční dualismus.

⁸¹ Z pneumatických pokusů Roberta Boyla vyplývalo, že hustota vzduchu se mohla zvětšovat a zmenšovat. Přestože se tedy hustota a objem tělesa mění, hmotnost zůstává stejná, protože je definována závislostí na poměru obou těchto veličin.

⁸² COHEN, I. Bernar, „Newton’s Concepts of Force and Mass, with Notes on the Laws of Motion“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0, str. 59

⁸³ Tzn. bez působení jakékoli síly, viz *vis impressa*.

⁸⁴ Newton zde tuto sílu zatím nepojmenovává, nicméně se jedná o gravitační sílu Slunce.

⁸⁵ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, United States: Snowball Publishing, 2010, ISBN 978–1607962403, str. 19.

můžeme nejlépe vidět, uvážíme-li jejich kontrast s Descartovými mechanickými Přírodními zákony.

1. Pohybový zákon (Zákon setrvačnosti⁸⁶)

Každé těleso setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, dokud není nuceno svůj stav změnit vlivem působící síly^{87 88}.

Pro ilustraci uvádí Newton tři příklady. Za prvé, projektily setrvávají v pohybu, dokud nejsou zastaveny odporem vzduchu anebo přitaženy gravitačním polem Země. Za druhé, jednotlivé části přadláku jsou díky skupinové kohezi nuceny k rotačnímu pohybu, který trvá, dokud se těleso vlivem odporu vzduchu nezastaví. Za třetí, větší tělesa, jako jsou planety nebo komety, si zachovávají progresivní a kruhovou hybnost po delší dobu. První pohybový zákon nám vytváří referenční rámec, v němž jsme schopni aplikovat další zákony. V rámci newtonovské mechaniky se jedná o inerciální vztažnou soustavu vzhledem k níž se částice, na kterou nepůsobí žádné síly, pohybuje ve směru rovnoměrně přímočarém konstantní rychlostí. Získáváme zde kvalitativní popis síly, tedy síly jako něčeho, co způsobuje změnu klidového stavu nebo rovnoměrně přímočarého pohybu tělesa⁸⁹. V porovnání s Descartovým Prvním přírodním zákonem jsme se tedy posunuli od pouhé deskripce ke kauzální explanaci.

2. Pohybový zákon (Zákon síly)

Změna pohybu tělesa je vždy úměrná vtištěné hybné síle a působí ve směru rovnoměrném přímočarém, ve směru působení síly.⁹⁰

Obecná matematická formulace tohoto zákona je všem velice dobře známé $\vec{F} = m\vec{a}$ ⁹¹, přičemž \vec{F} je vektor síly, m je hmotnost tělesa, \vec{a} je vektor zrychlení, pro který platí $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ ⁹². Podle Druhého zákona dochází ke změně hybnosti vždy ve směru působící síly. V případě, že

⁸⁶ Název „Zákon setrvačnosti, síly, akce a reakce“ nejsou původní Newtonovy názvy, ale moderní označení.

⁸⁷ Viz náraz, tlak a dostředivá síla.

⁸⁸ Jedná se o moderní formulaci zákona. Původní znění je následující: „*Every body preserves in its state of rest, or of uniform motion in a right line, unless it is compelled to change that state by forces impressed thereon.*“

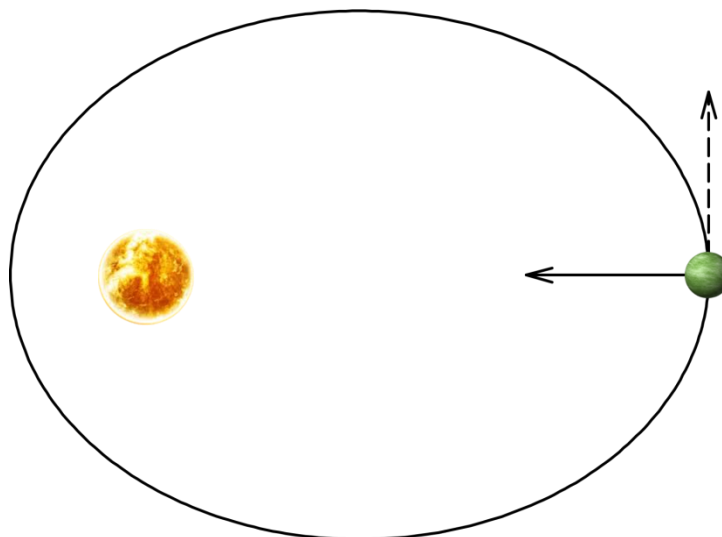
⁸⁹ Určit referenční rámec není nic obtížného, stačí, když se otočíte na židli, na které sedíte, a inerciální soustavou vašeho pohybu mohou být např. stěny místnosti.

⁹⁰ *The alteration of motion is ever proportional to the motive force impressed; and is made in the direction of the right line in which that force is impressed.*

⁹¹ Jiná formulace tohoto vztahu je $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, kdy síla je rovna první derivaci hybnosti \vec{p} podle času t .

⁹² Přičemž $d\vec{v}$ je změna rychlosti v čase dt . Zrychlení \vec{a} je rovno první derivaci vektoru rychlosti \vec{v} podle času t nebo druhé derivaci polohového vektoru \vec{p} podle času t .

na těleso působí více sil, pak každá působí ve směru rovnoměrně přímočarém a těleso se pohne ve směru výslednice sil. Zde se ještě setkáváme s formulací popisující impulsivní působení sil, tedy sil působících okamžitě nebo v nekonečně krátkém čase. Newton samozřejmě věděl o platnosti tohoto zákona i na trvalé působení síly⁹³, nicméně z důvodu větší obecnosti a představitelnosti se zde uchýlil k této formulaci.



Obrázek 8 - Působení dostředivé síly a tendence tělesa setrvávat v pohybu

3. Pohybový zákon (Zákon akce a reakce)

Každá akce vyvolává opačnou reakci; vzájemné působení dvou těles je vždy stejné a směřuje na opačné strany.⁹⁴

Vždy když mezi prsty vyvineme tlak na kámen, je tlak působící na kámen stejný, jako tlak působící na prsty. Táhne-li kůň za sebou na provaze balvan, pak síla táhnoucí balvan kupředu je stejná, jako síla táhnoucí koně dozadu. To jsou jen některé z příkladů, které Newton uvádí. Zjednodušeně řečeno, pokud těleso A působí silou na těleso B, pak těleso B působí na těleso A stejně velkou opačně orientovanou silou. Matematicky můžeme zapsat zákon takto: $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$, přičemž \vec{F}_A je síla působená tělesem A na těleso B a \vec{F}_B je síla působící na těleso A tělesem B. Aby tento zákon platil, musí se jednat o uzavřenou soustavu, kde dochází pouze

⁹³ Jedná se zde především o působení dostředivé síly na planety. K rozšíření tohoto zákona došlo až v propozici 24 druhé knihy, kde Newton říká: „For the velocity which a given force can generate in a given matter in a given time is as the force or the time directly, and the matter inversely.“ - NEWTON, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, United States: Snowball Publishing, 2010, ISBN 978-1607962403, str. 239.

⁹⁴ *To every action there is always opposed an equal reaction: or the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.*

k působení homogenních sil \vec{F}_A a \vec{F}_B . Třetí zákon navíc platí pouze v případě, že jsou tělesa tlačena k sobě nebo od sebe a ne jinak. Příkladem je magnetismus, kdy dochází ke ztrátě hybnosti tělesa v elektromagnetickém poli, takže souhrnná hybnost tělesa a E-M pole je zachována. Třetí zákon také neplatí v neinerciálních soustavách.

Jak vidíme, Newton koncepčně do značné míry vycházel z Descarta a jeho Přírodních zákonů. Významnou inspirací při formulaci Pohybových zákonů mu byl také Christiaan Huygens, který v *Horologium Oscillatorium* axiomatizoval Galileiho pohybové zákony pro pohyb těles v gravitačním poli Země. Huygensův první zákon⁹⁵ říká, že pokud by nebyla žádná gravitace ani odpor vzduchu, každé těleso by setrvalo v pohybu rovnoměrném přímočarém. Oproti Huygensovi Newtonův První zákon pojednává o soustavě, ve které jedinými působícími silami jsou gravitace a odpor vzduchu. Druhý Huygensův zákon říká, že působí-li na těleso gravitační síla, pak těleso klesá směrem k Zemi dle zákona volného pádu. Přestože rozsah druhého Huygensova zákona není takový jako Newtonův, obecný model je *de facto* totožný.⁹⁶

Poté, co jsme si vytvořili teoretický rámec, přeneseme nyní těžiště našeho zkoumání na metodologické principy Newtonovy experimentální filosofie. Ukážeme si, jak se mu podařilo na základě zákonů mechaniky vytvořit dynamický systém popisující pohyb všech těles v kosmu.

2.3 Struktura *Principiů*

Principia byla poprvé vydána v roce 1687, druhá edice spatřila světlo světa v roce 1713 a třetí pak v roce 1726, přičemž všechna původní vydání byla psaná v latině pod názvem *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*. První anglická verze, která je jednou ze kterých v této práci vycházíme, byla přeložena a vydána v roce 1729 Andrew Mottem s názvem *Mathematical Principles of Natural Philosophy* a vychází z třetí latinské edice. Druhý,

⁹⁵ Huygens je nazývá hypotézami.

⁹⁶ COHEN, I. Bernard, „Newton’s Concepts of Force and Mass, with Notes on the Laws of Motion“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0, str. 69 -70.

moderní překlad, jenž je nám k dispozici, vznikl v roce 1999 v rukou I. Bernarda Cohena a Anne Whitman⁹⁷.

Jak bylo ukázáno, Newton v mnoha směrech vycházel více či méně kriticky z Descarta. V tomto ohledu si můžeme povšimnout také podobnosti v názvech hlavních děl obou velikanů. Descartovy *Principy filosofie* bylo dílo založené na mechanickém materialismu a vycházející především z deduktivního uvažování postulovaných hypotéz. Descartův popis světa v mechanickém smyslu popisující pohyb těles pomocí vírů korpuskulí, byl ve značném rozporu s Newtonovým programem v *Principiích*, protože jako celek odporoval Keplerovu druhému zákonu, který byl, jak za chvíli uvidíme, pro Newtona při popisuj dostředivých sil centrální. V podobném duchu můžeme nahlížet také na podobnost názvů jednotlivých děl. Newton chtěl překonat Descartův metodologický skepticismus a hypoteticko-deduktivní model uvažování zavedením nového přístupu k přírodní filosofii, jenž by více než na spekulativním rozvažování stavěl na experimentální metodě. Na symbolické rovině v názvu knihy zdůraznil tento aspekt metodologie vědeckého zkoumání slovy „matematické principy“ přístupu výhradně k „přírodní filosofii“.

Struktura *Principií* je založena na přístupu, který byl v Newtonově době charakteristický především pro díla z oblasti geometrie. Určitý vztah ke geometrii je patrný již z Předmluvy tvořící několik úvodních stran. Oproti mechanice má geometrie výhodu ve stupni exaktnosti a je opravdovou slávou geometrie, že dokáže jen z několika principů vyvodit obrovské množství závěrů⁹⁸. Nicméně je nutné, abychom se v mechanice pokusili alespoň přiblížit přesnosti geometrické metody⁹⁹ a naše bádání založili na zkoumání přírodních sil skrze pohyb těles, a pak z těchto sil popsali ostatní přírodní jevy^{100 101}. Na následujících stránkách Newton definuje hmotnost (*mass*), různé typy sil (*forces*) a Axiomů neboli Pohybových zákonů (*Laws of Motion*), které jsme si detailněji popsali v kapitole 2.2. Zbytek *Principií* je dělen na tři hlavní části, Kniha 1, Kniha 2 a Kniha 3. První kniha

⁹⁷ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0.

⁹⁸ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, United States: Snowball Publishing, 2010, ISBN 978-1607962403, str. 3.

⁹⁹ Newton již od dob prací na optice prosazoval široké užití geometrie v přírodní filosofii, protože právě geometrická metoda může filosofům pomoci v pochopení mnoha přírodních jevů. - JANIÁK, Andrew, „Newton's Philosophy“ *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Summer 2014 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2014 [cit. 18. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-philosophy/>>, str. 22.

¹⁰⁰ Ibid, str. 4.

¹⁰¹ ...from phenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena.

s názvem „Pohyb těles“ (*The Motion of Bodies*) teoreticky pojednává o volném pohybu¹⁰², založeném na koncepci síly z předchozích Definic a Axiomů. Druhá stejnojmenná kniha se věnuje již pohybu v prostoru s různou mírou tření v rámci množství experimentů a je to právě zde, kde Newton předkládá nejobšírnější kritiku karteziánského resp. mechanického pojetí pohybu¹⁰³. Poslední Kniha „Systém světa“¹⁰⁴ (*The System of the World*) je z metodologického hlediska bezpochyby nejbohatší. Obsahuje totiž pravidla uvažování (*Rules of Reasoning*), kterými bychom se měli řídit v každém bádání v přírodní filosofii, dále pak přírodní Fenomény/Jevy (*Phenomena*)¹⁰⁵, na nichž Newton staví a dokazuje celou svoji koncepci Systému světa. Následující stránky jsou již věnovány konkrétní praktické aplikaci matematických principů z Knihy 1 pro podporu Gravitačního zákona. V úplném závěru knihy stojí Obecné scholium (*General Scholium*) sumarizující závěry předešlých knih týkající se pohybu těles, kritiky descartovských vírů, planetárního pohybu a zákonů gravitace. Obsahuje také známou metodologickou poznámku *Hypotheses non fingo*, na kterou detailněji pohlédneme později.

2.4 Matematizace přírodní filosofie

Pro dnešního čtenáře, jenž prošel středoškolskou fyzikou, nebude jistě obtížné vcítit se do Newtonova stylu nahlížení na síly jako na fyzikální veličiny. Nicméně abychom plně pochopili inovativnost jeho přístupu, je potřeba mít neustále na paměti, že v 17. století byla tato koncepce něčím novým. Především vzpomeneme-li si, že převažujícím přístupem k deskripci přírodních jevů byla mechanická přírodní filosofie, pro niž byl pohyb tělesa kauzální relací spíše než vztahem daného tělesa k ostatním tělesům v prostoru proporcionálně

¹⁰² Pohyb v prostoru, kde není tření.

¹⁰³ V závěrečném Scholiu Druhé knihy Newton píše: „Je tedy dokázáno, že planety se nepohybují vlivem vírů korpuskulí (částic), ale v souladu s Kopernikánskou hypotézou obíhají planety po eliptických drahách se Sluncem v jejich společném středu, přičemž plochy opsané průvodičem jsou za stejný čas stejné.“ (*Hence it is manifest that the planets are not carried round in corporeal vortexes; for, according to the Copernican hypothesis, the planets going round the sun revolve in ellipses, having the sun in their common focus; and by radii drawn to the sun describe areas proportional to the times.*) - NEWTON, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, United States: Snowball Publishing, 2010, ISBN 978-1607962403, str. 314 - 315.

¹⁰⁴ Tento název odkazuje k hlavní myšlence celé knihy, která spočívá v odpovědi na otázku, který ze systémů světa, heliocentrický nebo geocentrický, je ten správný (*Two Chief Wrold Systems Problem*).

¹⁰⁵ Newton užívá pojem „phenomena“ oproti tradici rozdílným způsobem. Pro Newtona nejsou fenomény pouhými daty. Popisují totiž obecné zákonitosti pohybu, spíše než jen jednotlivé pozorování. Jsou to v určitém smyslu idealizované situace a ne pouhý záznam měření. Přestože jsou tedy platnost fenoménů podpořena na základě pozorování, není možné je pozorovat přímo. V tomto smyslu je potřeba chápat tento pojem, kdykoli jej v této práci budeme užívat.

daným silou, kterou na sebe vzájemně působila. Co by ovšem mohlo způsobovat určité obtíže je Newtonova matematizace přírodní filosofie, tedy matematický přístup ke vztahům mezi přírodními jevy a tělesy. Jak jsme si řekli, první kniha pojednává o pohybu z čistě teoretického, tedy matematického pohledu a cíl zde není praktická aplikace zákonů, ale vytvoření všech jeho matematických deskripcí a korelací. Až ve chvíli, kdy má Newton vytvořený matematický fundament, může přejít k experimentální části ve druhé knize, která už zase pohlíží na síly spíše fyzikálním způsobem.

Newton nebyl ani první a ani jediný, kdo přistoupil k problematice pohybu pomocí matematické analýzy. Dvěma nejvýznamnějšími autory jsou v tomto ohledu nám již dobře známí Galileo Galilei se svým pozdním spisem *Rozpravy o dvou nových vědách* a Christiaan Huygens a jeho dílo *Horologium Oscillatorium*. Podle Smithe lze ovšem najít mezi přístupem Galileiho, Huygense a Newtona dva zásadní rozdíly¹⁰⁶.

První rozdíl je v logické formě jednotlivých propozic. Newtonovy propozice v Knihách 1 a 2 mají logickou formu „jestliže – pak“ (*if – then*). Moderní zápis Propozice 1¹⁰⁷ známé jako „Pravidlo ploch“ (*Area Rule*) říká: „Jestliže na pohybující se těleso působí síla ve směru k danému bodu v prostoru, pak plocha opsaná polohovým vektorem za daný čas je vždy stejná.“¹⁰⁸. Co se týče striktních pravidel výrokové logiky můžeme totéž říci o Galileiho a Huygensově větě o isochronismu říkající: „Jestliže těleso padá po křivce, která je cykloidou, pak čas sestupu je stejný bez ohledu na to, v jakém bodě sestup započal.“¹⁰⁹ Podíváme-li se ale na obě věty z empirického pohledu, pak věta o isochronismu má spíše formu „když – pak“ (*when – then*), přičemž antecedent popisuje experimentální situaci a konsekvent predikci, nastane-li daná situace. Hlavním cílem Galileiho a Huygensovi matematické teorie je vyvození pozorovatelných důsledků z axiomů, jež mohou poskytnout důkazy podporující platnost axiomů (hypotéz). Všechny údaje v jejich matematických teoriích pohybu podléhajícího gravitaci byly totiž měřitelné, aniž bychom museli předpokládat jakoukoli

¹⁰⁶ SMITH, George E., „The Methodology of the Principia“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0, str. 142 - 152.

¹⁰⁷ Jedná se o formulaci druhého Keplerova zákona.

¹⁰⁸ *The areas which bodies made to move in orbits describe by radii drawn to an unmoving center of forces lie in unmoving planes and are proportional to the times.* NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 444.

¹⁰⁹ *If a body descends along a path described by a cycloid, then the time of descent is the same regardless of the point along the path from which its descent begins.* - SMITH, George E., „The Methodology of the Principia“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0, str. 142.

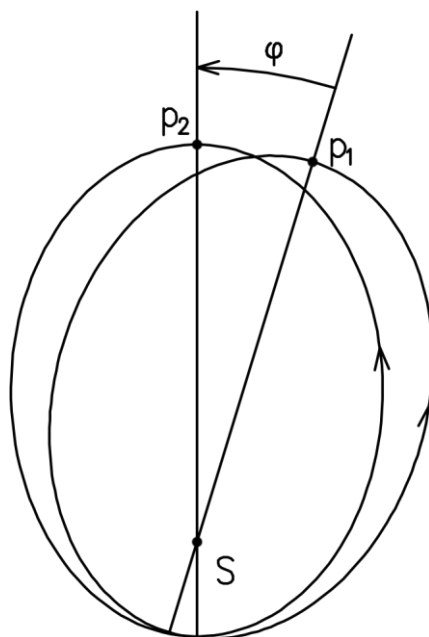
propozici o teoriích jako takových. Na rozdíl od Galileiho a Huygense vyplývá platnost Newtonových pohybových zákonů ze zásad z úvodu *Principií*. Cílem Newtonovy matematické teorie je tedy určit prostředky, pomocí kterých můžeme vyvozovat závěry o fyzikálních silách z fenoménů a následně objasnit další fenomény na základě těchto závěrů.

Druhý rozdíl spočívá v celkovém teoretickém rámci jednotlivých myslitelů. Zatímco Galilei nabízel pouze matematickou teorii rovnoměrně zrychleného pohybu (*uniformly accelerated motion*), Huygens jeho teorii rozšířil také na křivočarý pohyb (*curvilinear motion*). Na rozdíl od nich Newton v Knize 1 nabízí spíše obecnou teorii dostředivých sil (*centripetal forces*) a pohybu těles a v Knize 2 se pak snaží nabídnout obecnou teorii odporových sil (*resistance forces*) založenou na rychlosti tělesa pohybujícího se v kapalném prostředí. Newtonovy teorie musí být co nejobecnější, aby mohl představit závěry o fyzikálních silách vycházejících z pohybu těles, které by byly dostatečně pevné na to, aby odolaly konkurenčním teoriím.

Dříve než se dostaneme k jádru Newtonovy metodologie, řekneme si něco o dvou hlavních druzích propozic, které užívá. Prvním typem jsou propozice spojující parametry charakterizující síly s parametry pohybu. Tyto propozice nám umožňují provádět měření zakotvené v teorii (*theory-mediated measurements*) a převádět tak parametry získané z měření sil na parametry charakterizující pohyb. Příkladem může být Newtonova tzv. „věta o precesi“¹¹⁰ (Obrázek 8). Apsidální precese¹¹¹ je rotace orbity tělesa, přesněji řečeno rotace úsečky spojující perihélium a afélium. Newton v ní spojuje parametry popisujícími dostředivou sílu s parametry popisujícími pohyb, v tomto případě měření precese planetárních orbit. Reliabilita měření spočívala především ve stálosti hodnot při opakovaném měření.

¹¹⁰ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 539.

¹¹¹ Apsidální precese, respektive poziční posun perihélia Merkuru byl plně vysvětlen až v rámci Einsteinovy teorie Obecné relativity.



Obrázek 9 - Apsidální precese¹¹²

Druhým typem propozic byly takové, které určovaly rozdíl mezi různými okolnostmi síly (*conditions of force*) v kontextu rozdílných okolností pohybu (*conditions of motion*). Příkladem může být rozdíl mezi jednoduchou formulací Keplerova třetího zákona a složitější vyžadující dodatečnou úpravu pro každé oběžné těleso. Zatímco první formulace platí v případě, kdy orbitální těleso nepůsobí na centrální těleso žádnou silou, druhý způsob je platný pouze tehdy, když orbitální těleso a centrální těleso spolu interagují v souladu s Třetím pohybovým zákonem. První případ pojednává o jednosměrném působení dostředivé síly na obíhající těleso, ze kterého jsme schopni odvodit jeho dráhu, případně vektorovou rychlost. V druhém případě už musí dojít k úpravě, protože tělesa na sebe působí silou zakládající se na jejich hmotnosti a vzájemné vzdálenosti. Kombinací těchto propozic mohl Newton specifikovat podmínky pro provádění klíčových experimentů (*experimenta crucis*), aby byl schopen na základě pohybu těles vybrat, za jakých okolností platí daná deskripce působící síly. Pokud nebyl schopen najít přísnou korelaci mezi pohybem těles a působící silou v určitých podmínkách, snažil se najít takové vysvětlení, které by platilo alespoň *quam proxime*.

¹¹² Na obrázku vidíme orbitální precеси planety z p_1 do p_2 , znázorněnou úhlem φ

2.5 Metoda induktivní inference

V závěrečném Obecném scholiu shrnuje Newton, mimo jiné, základní principy, na kterých je postavena jeho metodologie. Jak jsme si řekli, jeho snahou bylo nahradit tehdy hojně vyžívaný mechanicistický hypoteticko-deduktivní model založený na předpokladu, že všechny principy (hypotézy) jsou testovatelné na základě inferencí z nich vyvoditelných. Platnost takového modelu je *quam proxime* v případě, že inference z hypotéz jsou v souladu s následným pozorováním.¹¹³ Jinými slovy, platnost hypotézy je potvrzena její predikativní schopností. Newton tedy staví do protikladu k hypoteticko-deduktivnímu modelu svou metodu induktivní inference. Jako výchozí definice nám poslouží následující část z Obecného scholia:

... [N]epředkládám žádnou hypotézu¹¹⁴, protože cokoliv není odvozeno z fenoménů [*phenomena*] musí být nazváno hypotézou a hypotézy, ať jsou metafyzické nebo fyzikální, ať jsou založeny na okultních kvalitách nebo mechanických principech, nemají v experimentální filosofii co pohledávat. V této experimentální filosofii jsou propozice [*propositions*] odvozeny [*deduced*] z přírodních jevů a následně pomocí indukce zobecněny.¹¹⁵

Úlohou posledních podkapitol věnovaných Newtonovi je nejprve objasnit jednotlivé postupy inference za pomoci teoretického rámce, který byl obsahem kapitol předešlých. Následně si ukážeme konkrétní aplikaci experimentální metodologie a roli, jež sehrála ve formulaci Gravitačního zákona. Hlavní textovou oporou nám v našem bádání budou Kniha 3 a Obecné scholium.

¹¹³ HUYGENS, Christiaan, *Treatise on Light*, [online] Leyden, 1690, [cit. 22. 4. 2016]. Dostupné z <https://www.stmarys-ca.edu/sites/default/files/attachments/files/Treatise_on_Light.pdf>, str. 4.

¹¹⁴ Newtonovo slavné *hypotheses non fingo*.

¹¹⁵ ... *I do not feign hypotheses. For whatever is not deduced from the phenomena must be called a hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, or based on occult qualities, or mechanical, have no place in experimental philosophy. In this experimental philosophy, propositions are deduced from the phenomena and are made general by induction.* NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 943.

Začátek Systému světa je věnován formulaci čtyř Pravidel rozvažování (*Rules of Reasoning*), která nám mají za úkol předložit základní pravidla pro deskripci a explanaci přírodních jevů.¹¹⁶

Pravidlo 1: Nemělo by být postulováno více příčin, než je nezbytně nutné pro dostatečné vysvětlení přírodních jevů.¹¹⁷

První pravidlo je formulací Ockhamovy břitvy, podle něhož bychom se měli v našem vysvětlení omezit pouze na entity nezbytně nutné¹¹⁸. Russellova modernější verze říká: Kdykoli je to možné, nahradte konstrukce z neznámých entit inferencemi na známé entity.

Pravidlo 2: Z toho plyne, že příčiny přiřazené přírodním jevům určitého typu, musí být vždy stejné.¹¹⁹

Toto pravidlo rozšiřuje praktickou aplikabilitu prvního pravidla a *de facto* říká, že pokud máme podobný jevy, například dýchání u člověka a u zvířete, pak kauzální vysvětlení obou jevů budou stejného charakteru. Existuje-li již pro jeden případ empirické vysvětlení, pak není třeba vytvářet pro jiné podobné jevy nový soubor vysvětlení.

Pravidlo 3: Vlastnosti těles, které nemohou být kvalitativně změněny, tedy takové, jejichž hodnota ani nenarůstá ani neklesá, společných všem tělesům, které mohou být předmětem experimentu, by se měly považovat za vlastnosti společné všem tělesům.¹²⁰

Jednotlivé vlastnosti těles, které se ukázaly jako konstantní v rámci experimentů, by měly být považovány za obecně platné pro všechna tělesa.

Pravidlo 4: V experimentální filosofii by měly být propozice získané z přírodních jevů pomocí indukce považovány za zcela nebo alespoň přibližně pravdivé.

¹¹⁶ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 794 - 796.

¹¹⁷ *No more causes of natural thing should be admitted than are both true and sufficient to explain their phenomena.*

¹¹⁸ Entity se nemají zmnožovat, není-li to nezbytně nutné. (*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem.*)

¹¹⁹ *Therefore, the causes assigned to natural effects of the same kind must be, so far as possible, the same.*

¹²⁰ *Those qualities of bodies that cannot be intended and remitted [i.e., qualities that cannot be increased and diminished] and that belong to all bodies on which experiments can be made should be taken as qualities of all bodies universally.*

Pravdivostní hodnota propozic není nijak snížena na základě hypotézy, není-li pravdivost hypotézy experimentálně prokázána.¹²¹

Toto pravidlo nám určuje epistemologický statut induktivních inferencí, jež Newton potřebuje zabezpečit proti argumentům založených čistě hypoteticky, tedy především proti argumentům mechanického materialismu. Rozlišení mezi daty získanými induktivně a propozicemi deduktivně odvozenými z hypotéz je logickým vyústěním Newtonovy snahy o vytvoření obecné teorie pohybu těles a působících sil zakládající se na experimentální metodě. Položil tak základ moderní vědecké metodologie, kdy jsou vědecké teorie považovány za pravdivé, dokud nejsou falsifikovány.

Aby mohl Newton vytvářet jednotlivé propozice, musí disponovat určitým souborem dat založených na přírodních jevech. Přírodní fenomény¹²² (*phenomena*) uváděné Newtonem ovšem nejsou pouhá data, jsou to obecné vzorce (*patterns*) objevující se v obširném množství dat vycházejících z přírody. Fenomény objevující se ve třetí Knize, se vztahují k relativnímu pohybu oběžných těles s ohledem na středový bod jejich orbit.¹²³ Fenomény za pomoci části propozic z první knihy jsou základem pro formulaci Gravitačního zákona, k němuž se dostaneme posléze.

Fenomén 1: Velikost plochy opsané polohových vektorem¹²⁴ spojujícím střed Jupiteru a těleso [*circumjovial planets*] obíhající kolem něj je přímo úměrná času¹²⁵. Siderické periody obíhajících planet se rovnají vzdálenosti od středu Jupitera umocněné na $3/2$ ¹²⁶, přičemž fixní hvězdy jsou v klidu¹²⁷.¹²⁸

¹²¹ *In experimental philosophy, propositions gathered from phenomena by induction should be considered either exactly or very nearly true notwithstanding any contrary hypotheses, until yet other phenomena make such propositions either more exact or liable to exceptions.*

¹²² NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 797 - 801.

¹²³ HARPER, William L., *Isaac Newton's Scientific Method: Turning Data into Evidence about Gravity and Cosmology*, Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-870942-8, str. 50.

¹²⁴ Polohový vektor má střed soustavy souřadnic v Jupiteru (v případě dalších Fenoménů to je Saturn, Slunce či Země) a směřuje k hmotnému bodu, tedy planetě.

¹²⁵ Tuto část známe jako Keplerův druhý zákon, taktéž Pravidlo ploch (*Area Rule*).

¹²⁶ Toto vychází z Keplerova třetího zákona, taktéž Harmonické pravidlo (*Harmonic Rule*).

¹²⁷ Newtonova věta „přičemž fixní hvězdy jsou v klidu“ nám říká, že oběžné periody jsou vypočítány s ohledem na fixní polohu hvězd. Takto upravuje referenční rámec, který tvoří střed Jupiteru s ohledem na nepohyblivé hvězdy. - HARPER, William L., “Newton's Argument for Universal Gravitation” in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0-511-03287-0, str. 195.

¹²⁸ *The circumjovial planets [or satellites of Jupiter], by radii drawn to the center of Jupiter, describe areas proportional to the times, and their periodic times—the fixed stars being at rest—are as the 3/2 powers of their distances from that center.*

Tento fenomén vychází z propojení pozorování Jupiterových satelitů a Propozic 1, 2 a 4 z Knihy 1, přičemž Propozice 1 popisuje Pravidlo ploch, Propozice 2 rozšiřuje toto pravidlo na dostředivé síly a Propozice 4 (zejména Důsledek „*Corrolary*“ 6) určuje poměr oběžných period planet a jejich vzdálenosti od ohniska. Newton popisuje korektnost Harmonického pravidla na základě vzdáleností planet od středu soustavy vypočítaných z jejich siderických period. Na Obrázku 9 vidíme grafické znázornění Harmonického pravidla nanesením dat oběžných period a vzdáleností od Slunce dle Keplerova pozorování se Zemí ve středu souřadnic.

Fenomén 2: Velikost plochy opsané polohových vektorem spojujícím střed Saturnu a těleso [*circumsaturnian planets*] obíhající kolem něj je přímo úměrná času. Siderické periody obíhajících planet se rovnají vzdálenosti od středu Saturnu umocněnou na $3/2$, přičemž fixní hvězdy jsou v klidu.

Pro Fenomén 2 platí totéž co pro Fenomén 1. Newton nenabízí žádné zvláštní charakteristiky nebo odlišnosti pohybu planet okolo Saturnu.

Fenomén 3: Orbity pěti primárních planet – Merkuru, Venuše, Marsu, Jupiteru a Saturnu – mají střed ve Slunci.¹²⁹

Zde je zajímavé si povšimnout, že Newton nezahrnul mezi planety obíhající kolem Slunce Zemi, což má za následek, že dle Fenoménu 3 můžeme mezi platné alternativy zahrnout jak geoheliocentrický tychonův systém, tak koperníkův heliocentrický model¹³⁰.

Fenomén 4: Siderická perioda pěti primárních planet, přičemž se jedná buď o periodu orbity Země kolem Slunce, nebo Slunce kolem Země se rovnají vzdálenosti od středu Slunce umocněné na $3/2$, přičemž fixní hvězdy jsou v klidu.¹³¹

Stejně jako Newton aplikoval Keplerovo Harmonické pravidlo na orbitální dráhy Jupiterových a Saturnových satelitů, můžeme totéž provést u poměru siderické periody a vzdálenosti od Slunce v případě planet Sluneční soustavy.

¹²⁹ *The orbits of the five primary planets—Mercury, Venus, Mars, Jupiter, and Saturn—encircle the sun.*

¹³⁰ HARPER, William L., *Isaac Newton's Scientific Method: Turning Data into Evidence about Gravity and Cosmology*, Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-870942-8, str. 59 - 60.

¹³¹ *The periodic times of the five primary planets and of either the sun about the earth or the earth about the sun—the fixed stars being at rest—are as the $3/2$ powers of their mean distances from the sun.*

Fenomén 5: Velikost plochy opsané polohovým vektorem spojujícím střed Země a planetu není přímo úměrná času. Nicméně velikost plochy opsané polohovým vektorem spojujícím střed Slunce a planetu je přímo úměrná času.¹³²

Vzhledem ke Slunci je úhlová rychlost planet téměř konstantní, pouze v perihéliu je o trochu vyšší a v aféliu o trochu nižší. Zatímco Newton nezahrnul mezi výchozí fenomény eliptický tvar oběžných drah primárních planet, zahrnul mezi ně Pravidlo ploch, které z premisy eliptických oběžných drah vycházelo, což je poměrně netradiční, protože mezi astronomy byly spíše přijímány eliptické oběžné dráhy, než toto Pravidlo ploch¹³³.

Fenomén 6: Velikost plochy opsané polohovým vektorem spojující střed Země a Měsíc je přímo úměrná času.

Orbita Měsíce je ovšem narušena působením sil Slunce, a proto je u Newtona pro korektní kalkulaci lunární orbity potřeba korekce Pravidla ploch.

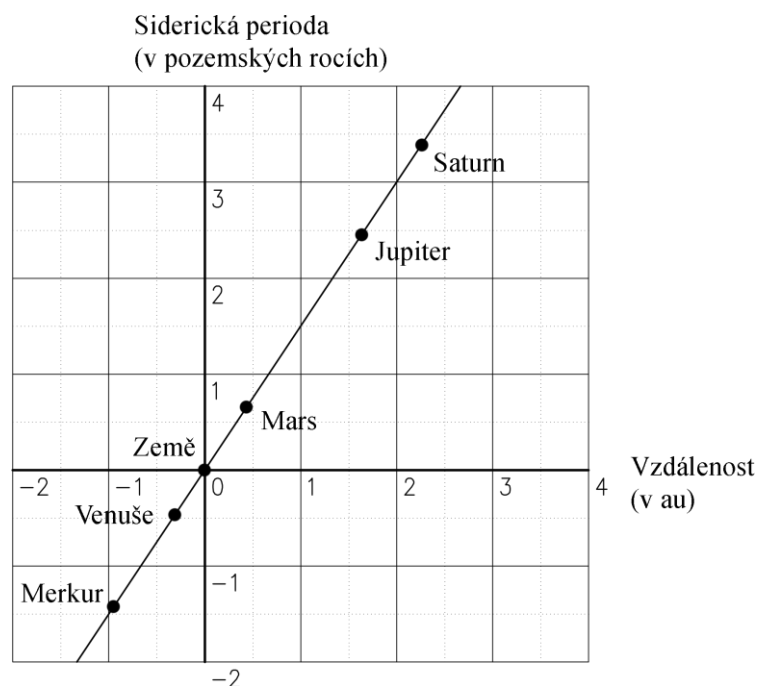
Doposud jsme si úspěšně vymezili jak obecná pravidla, která nám tvoří metodický rámec, tak i soubor dat. Nyní přijde na řadu již praktická ukázka aplikace pravidel rozvažování v duchu naší obecné definice a budeme vyvozovat propozice z již popsáných fenoménu, jež následně induktivně zobecníme.

Siderická perioda planet a jejich vzdálenost od Slunce podle Keplerova měření.

	Saturn	Jupiter	Mars	Země	Venuše	Merkur
Perioda	10759,275	4333,514	686,9785	365,2665	224,6176	87,9692
Vzdálenost	951000	519650	152350	100000	72400	38806

¹³² *The primary planets, by radii drawn to the earth, describe areas in no way proportional to the times but, by radii drawn to the sun, traverse areas proportional to the times.*

¹³³ HARPER, William L., *Isaac Newton's Scientific Method: Turning Data into Evidence about Gravity and Cosmology*, Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-870942-8, str. 62.



Obrázek 10 - Grafické zobrazení Harmonického pravidla

2.6 Indukce v praxi: Zákon gravitace

Vedle Pohybových zákonů můžeme uvažovat snad jen jeden významnější aspekt Newtonových *Principií*, a tím je vyvození Zákona gravitace z fenoménů orbitálního pohybu planet. Klíčové v tomto ohledu pro nás budou především Propozice 5, 6, a 7¹³⁴.

Propozice 5: Tělesa obíhající Jupiter, Saturn a Slunce tíhnou [*gravitate toward*] směrem k jejich středu a vlivem gravitace jsou stahována z pohybu rovnoměrného přímočarého a udržována na zakřivených orbitách.¹³⁵

Propozice 5 spojuje téměř všechny předchozí Fenomény a přidává navíc i aplikaci Prvního a Druhého pohybového zákona. Pravidlo 2 zase umožnilo Newtonovi definovat gravitační sílu jako homogenní, jinými slovy ve všech případech planetárního pohybu na satelity Jupiteru, Saturnu i Slunce působí stejný typ síly. V následujících Důsledcích Newton říká, že gravitační

¹³⁴ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 805 - 815.

¹³⁵ *The circumjovial planets [or satellites of Jupiter] gravitate toward Jupiter, the circumsaturnian planets [or satellites of Saturn] gravitate toward Saturn, and the circumsolar [or primary] planets gravitate toward the sun, and by the force of their gravity they are always drawn back from rectilinear motions and kept in curvilinear orbits.*

síla působí směrem ke všem planetám je nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti od středu gravitačního pole. Tento vztah byl již výše popsán jako Zákon převrácených čtverců (*Inverse-square law*). V závěrečném Scholiu k Propozici 5 píše:

Doposud jsme nazývali sílu, díky které jsou nebeská tělesa udržována na svých oběžných drahách, „dostředivou“. Nyní je ustanoveno, že touto silou je gravitace a gravitací ji také budeme nadále nazývat. Na základě Pravidel 1, 2 a 4 by mělo být pojetí dostředivé síly, která udržuje Měsíc na své oběžné dráze, rozšířeno také na všechny ostatní planety.¹³⁶

Tyto případy Newton považuje za propozice odvozené z přírodních fenoménů pomocí induktivní metody podpořené souhlasným měřením stejného parametru (gravitace) v různých jevech (satelity Jupiteru, Saturnu a Slunce), čímž získávají přinejmenším *quam proxime* pravdivost (via Pravidlo 4).

Propozice 6 dokládá platnost Newtonova argumentu přiřazujícího gravitaci charakter pole dostředivého zrychlení nepřímo úměrného vzdálenosti odvoláním se na různé případy poskytující souhlasné měření pro tělesa se stejným zrychlením a se stejnou vzdáleností od planety.¹³⁷

Propozice 6: Všechna tělesa tíhnou směrem ke každé z planet a v jakékoli dané vzdálenosti od středu planety je tíha (*weight*) tělesa směrem k této planetě úměrná hmotnosti (*mass*) tělesa.¹³⁸

Dostředivá síla zde tedy byla určena jako pole vytvářející zrychlení, přičemž poměr tíhy a hmotnosti je pro všechny tělesa stejný. V závěru Propozice Newton rozšiřuje poměrný vztah mezi tíhou a hmotností jednotlivých planet na individuální části planety a jako důkaz dává tentokrát myšlenkový experiment, ve kterém si máme představit, jak nepravděpodobné by bylo, kdyby se poměr tíhy a hmotnosti mezi jednotlivými částmi planety lišil a přitom byl konstantní v případě celých planet. Gravitační zrychlení tělesa pak můžeme zapsat jako:

¹³⁶ *Hitherto we have called "centripetal" that force by which celestial bodies are kept in their orbits. It is now established that this force is gravity, and therefore we shall call it gravity from now on. For the cause of the centripetal force by which the moon is kept in its orbit ought to be extended to all the planets, by rules 1, 2, and 4.* NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 806.

¹³⁷ HARPER, William L., *Isaac Newton's Scientific Method: Turning Data into Evidence about Gravity and Cosmology*, Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-870942-8, str. 265.

¹³⁸ *All bodies gravitate toward each of the planets, and at any given distance from the center of any one planet the weight of any body whatever toward that planet is proportional to the quantity of matter which the body contains.*

$a_g = \frac{\vec{F}_g}{m}$, přičemž \vec{F}_g je gravitační síla působící v daném místě na těleso (Newtonova tíha) a m je poměrná hmotnost tělesa.

Nyní přejdeme k finálním argumentům v Propozici 7, koncepčnímu posunu od gravitace jako dostředivé přitažlivé síly planet k pojetí gravitace jako univerzální síly párových interakcí mezi tělesy.¹³⁹

Propozice 7: Gravitační síla existuje univerzálně ve všech tělesech a je úměrná jejich hmotnosti.¹⁴⁰

Jak jsme si již ukázali, všechny planety tíhnout jedna ke druhé a gravitační síla planety je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti od jejího středu. Newton ještě dodává s odvoláním na Propozici 69 Knihy 1, že gravitační síla je úměrná jejich hmotnosti. Jelikož jsou všechny části planety A působením gravitační síly přitahovány k planetě B a poměr velikosti přitažlivé síly a hmotnosti je jak v případě částí tělesa, tak i tělesa jako celku stejný a uvážíme-li dle Třetího pohybového zákona, že pro každou reakci existuje stejná opačná reakce, pak planeta B bude působit gravitační silou na všechny části planety A, přičemž poměr přitažlivé síly a hmotnosti bude stejný jak v případě částí, tak i celého tělesa. Z Propozice 6 plyne následující vztah mezi gravitační silou planet a jejich částí: $\frac{\vec{F}_B(a)}{\vec{F}_B(A)} = \frac{Hmotnost(a)}{Hmotnost(A)}$, přičemž $\vec{F}_B(a)$ a $\vec{F}_B(A)$ jsou velikosti gravitační síly působící na a , což je část planety, a na planetu A planetou B. $Hmotnost(a)$ a $Hmotnost(A)$ jsou pak jejich příslušné hmotnosti. V Propozici 7 je oproti předešlé rozdílný v matematickém zápisu, který je způsoben aplikací Třetího pohybového zákona: $\frac{\vec{F}_a(B)}{\vec{F}_A(B)} = \frac{\vec{F}_B(a)}{\vec{F}_B(A)}$, přičemž $\vec{F}_a(B)$ a $\vec{F}_B(a)$ jsou stejné a protichůdné gravitační síly planety B k částem a a části a k planetě B, zatímco $\vec{F}_B(A)$ a $\vec{F}_A(B)$ jsou stejné a protichůdné gravitační síly mezi Planetami A a B. Z kombinace Propozic 6 a 7 plyne závěr: $\frac{\vec{F}_a(B)}{\vec{F}_A(B)} = \frac{Hmotnost(a)}{Hmotnost(A)}$.

Nyní si shrneme celkový průběh argumentu pro obecnou gravitaci s ohledem na naši výchozí definici z kapitoly 2.4. Newton si nejdříve stanovil soubor Fenoménů sloužících jako výchozí soubor dat popisující orbitální pohyb planet na základě dostředivé síly působící směrem ke středu jednotlivých planet. Z Fenoménů v kombinaci s jeho Definicemi hmotnosti a síly, Pohybovými zákony a Pravidly rozvažování odvodil vlastnosti gravitace, kterou

¹³⁹ HARPER, William L., *Isaac Newton's Scientific Method: Turning Data into Evidence about Gravity and Cosmology*, Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-870942-8, str. 290.

¹⁴⁰ *Gravity exists in all bodies universally and is proportional to the quantity of matter in each.*

induktivně zdůvodnil jako univerzální sílu, jíž na sebe vzájemně všechna tělesa působí, přičemž gravitační síla je přímo úměrná hmotnosti těles a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti. Dokázal tedy spojit jednotlivá dostředivá pole působící zrychlení těles relativně k jejich středu do jednotného univerzálního systému, jenž popisuje pohyb a vzájemné působení všech těles na základě jediného zákona $\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, přičemž G je gravitační konstanta¹⁴¹.

Galilei ve svých *Dialogích* shrnul otázku, jejíž rozhodnutí určovalo směr myšlení po čas celé vědecké revoluce, otázku o povaze našeho kosmu, v jehož středu mohla být buď Země, nebo Slunce. Doposud jsme si ukázali charakter různých přístupů. Tychonův geoheliocentrický systém přiřadil planetám orbitální pohyb kolem Slunce, nicméně Zemi zachoval statut nehybného středu, kolem něhož obíhá Slunce. Koperník a Kepler naopak do středu kosmu usadili Slunce a planetám určili pohyb okolo něj. Mechanický materialismus nám ukázal, jak vysvětlit veškerý pohyb v kosmu pomocí analogie se strojním mechanismem. Byl to ale Newton, jenž na dlouhou dobu určil, jakou povahu má svět kolem nás a jakými zákony se řídí.

Newton považoval¹⁴² střed světového systému¹⁴³ (*system of the world*), stejně jako společný střed gravitačního pole Země, Slunce a všech planet¹⁴⁴, za nehybný. Nicméně překvapivě neztotožnil střed gravitačního pole ani se Sluncem ani se Zemí.

Propozice 11, Teorém 11: Střed Slunce je v pohybu rovnoměrně přímočarém, ale nikdy se příliš nevzdaluje od společného středu gravitačního pole všech planet.¹⁴⁵

Podle Newtona nemůže být považováno za střed gravitace ani Slunce, ani Země a jak kopernikánský, tak i tychonovský systém je chybný, nicméně dodává, že heliocentrický systém je přeci jen blíže skutečnému charakteru kosmu, než geoheliocentrický, potažmo aristotelsko-ptolemaiovský. Ani Slunce, ani Země nemohou být považovány za fixní střed, vzhledem k němuž jsme schopni vypočítat jejich pohyb, ten je možno odvodit z jejich hmotnosti a orbitálního pohybu. Střed soustavy¹⁴⁶ tedy leží v těžišti, jako středové polohy její

¹⁴¹ $G = 6.674 \times 10^{-11}$

¹⁴² NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 816 - 817.

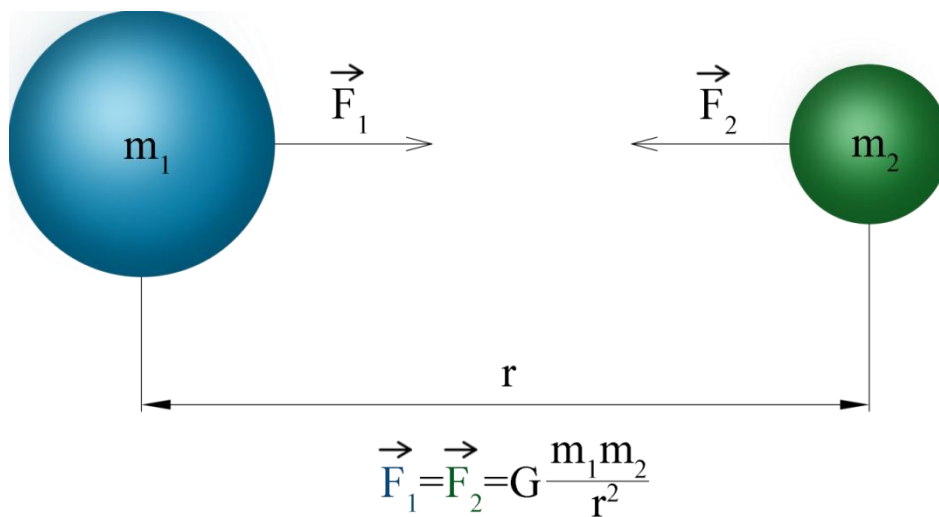
¹⁴³ Hypotéza 1 – The center of the system of the world is at rest.

¹⁴⁴ The common center of gravity of the earth, the sun, and all the planets is at rest.

¹⁴⁵ Propozice 12, Teorém 12 – The sun is engaged in continual motion but never recedes far from the common center of gravity of all the planets.

¹⁴⁶ V tomto ohledu je Sluneční soustava inerciální vztahnou soustavou.

hmoty, přičemž tělesa se pohybují vzhledem ke středu soustavy i k sobě navzájem vlivem působení gravitační síly, která je rovna hmotnosti těles dělené čtvercem vzdálenosti.



3. EXPERIMENTÁLNÍ METODOLOGIE VE VĚDĚ O ČLOVĚKU

Prozatím jsme se v našem zkoumání zabývali, s ohledem na Newtonovo myšlení, především s odkazem vědecké revoluce a úlohy, kterou v jejím završení sehrál. Nyní obrátíme naši pozornost směrem kupředu a ukážeme si, jaký dopad měla jeho filosofie na následující generace a především na skepticismus Davida Huma. Hume se narodil v roce 1711 a vyrůstal v době, kdy Newtonova mechanika měla již sice vysoký statut, nicméně stále ještě plně nenahradila Descartův mechanický materialismus. Jak se ukáže později, tento fakt může být klíčový v identifikaci Humových metodologických a epistemologických východisek.

Humův význam pro novověkou a současnou filosofii můžeme jen těžko zpochybnit. Přestože v době jeho života bylo jeho dílo ve značné míře kritizováno a nejednou byl nařčen z agnosticismu či ateismu, což mělo v 18. století značně pejorativní konotace¹⁴⁷, sehrálo v tvorbě filosofů, jako byli Immanuel Kant, Jeremy Bentham či John Stuart Mill, důležitou roli. Dopad Humova myšlení vhodně charakterizují Kantova slova, podle nichž jej jeho filosofie „vyrušila z dogmatického spánku a dala [jeho] zkoumání na poli spekulativní filosofie zcela jiný směr“¹⁴⁸. Humův vliv se ovšem neomezoval jen na filosofii. V oblasti biologie ovlivnil otce evoluční teorie Charlese Darwina a dalších úspěchů se dočkaly také jeho politické a morální eseje v praxi amerických otců zakladatelů nebo ekonomická pojednání. V soudobé filosofii je jeho význam dán především jeho nadčasovým vhledem v teoriích aplikované etiky a kognitivních věd, pro které byl častým inspirativním zdrojem.

Ať je Humův vliv na filosofii v následujících staletích jakkoli významný, nás v této práci bude zajímat především druhá strana mince, a to jeho východiska s ohledem na Newtona. Obecně se dá říci, že tento vztah je v literatuře prezentován poměrně neproblematicky a často zjednodušujícím způsobem na úkor skutečnosti¹⁴⁹. Obecný úzus popisuje Humovu morální filosofii¹⁵⁰ jako snahu o založení vědy o člověku a jeho

¹⁴⁷ V náboženstvím nasyceném veřejném životě tehdejší doby to často znamenalo konec nebo přinejmenším značné znesnadnění kariéry.

¹⁴⁸ KANT, Immanuel, *Prolegomena ke každé příští metafyzice, jež se bude moci stát vědou*, Praha: Svoboda, 1992, ISBN 80-205-0310-2, str. 27.

¹⁴⁹ Alespoň před rokem 2000 tomu tak bylo téměř ve všech případech. Určitý posun v tomto směru má na svědomí především zvyšující se zájem o studium Newtona obecně a charakter jeho vztahu s Humem je pak logický konsekvant.

¹⁵⁰ Morální filosofie na tomto místě a v Humově filosofii vůbec není chápána jako v dnešním slova smyslu. Toto vymezení v sobě zahrnovalo především vědu o člověku a lidské přirozenosti obecně. Termíny morální filosofie

přirozenosti ve stejném rázu, jako vystavěl Newton svou přírodní filosofii. Jinými slovy, Hume chtěl využít metodologie a epistemologie přírodní vědy k vybudování vědy o člověku. Tento názor samozřejmě není zcela chybný, je však přinejmenším zavádějící. Zatímco bychom mohli souhlasit s tím, že si Hume vypůjčil některé metodologické prvky z newtonovské, ale například také z mechanické filosofie neznamenalo to zcela nekritické a neproblematické převzetí a aplikaci metodologického rámce zkoumání přírody na zkoumání člověka. Pro Huma byl principiálně odlišný epistemologický a ontologický statut přírodní a morální filosofie i informací z nich získaných. Humě byl totiž především praktik. Tento fakt nemusí být na první pohled zcela očividný při čtení *Enquiry* či *Treatise*, nicméně v jeho esejistické tvorbě pojednávající o politické filosofii a ekonomii¹⁵¹ je na praktičnost a úspornost kladen značný důraz. Tato praktičnost měla za následek dvě skutečnosti: 1) praktický záměr vedl Huma k vytváření takové filosofie, jež by byla co nejbližší lidem a pro lidi, tedy zaobírala se především faktickými okolnostmi (*matters of fact*) a vztahy mezi idejemi (*relations of ideas*), 2) aby byla filosofie praktická, nesmí se zabývat metafyzickými naracemi, které pro život člověka nemají praktického významu. Velice poeticky to shrnuje poslední věta *Enquiry*:

Když vezmeme do ruky kterýkoli svazek, například z bohosloví nebo školské metafyziky, položme si otázku: *Obsahuje abstraktní úvahy o kvantitě nebo čísle?* Ne. *Obsahuje zkušenostní úvahy o faktických okolnostech a jsoucím?* Ne. Budiž tedy předána plameni, neboť nemůže obsahovat nic než sofistiku a klam.¹⁵²

Jak uvidíme detailněji v podkapitole 3.2, je tento důraz na filosofii blízkou člověku a jeho životu jedním z klíčových prvků pro pochopení ambivalentnosti vztahu mezi Humem a Newtonem.

Hlavním zdrojem informací nám při zkoumání budou Humovy dva nejvýznamnější spisy *A Treatise of Human Nature* (1739) a *An Enquiry concerning Human Understanding* (1748), nicméně pojednáme i o několika zmínkách odkazujících k Newtonovi v *History of England* (1754–1762), *Dialogues Concerning Natural Religion* (1779) a různých drobnějších politických a ekonomických esejích. Ve studiích zabývajících se Davidem Humem je stále velice aktuální debata o tom, do jaké míry bychom měli klást důraz na myšlenkový kontrast

a přírodní filosofie by dnes odpovídaly nejlépe rozlišení mezi humanitními a přírodními vědami. V případě, že v textu budeme pojednávat o morální filosofii ve smyslu etickém, bude tento fakt zdůrazněn.

¹⁵¹ HUME, David, *Selected Essays*, COPLEY, Stephen, EDGAR, Andrew (ed.), Oxford: Oxford University Press, 1996, ISBN 0–19–283621–8.

¹⁵² HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80–205–0521–0, str. 224.

Treatise a *Enquiry*. Tento „nepořádek“ má na svědomí především sám Hume, který se při vydání *Enquiry* poměrně důrazně distancoval o *Treatise*, jenž označil za dílo vycházející z mladické nerozvážnosti (*the juvenile work*) a zrozeno mrtvé již od tisku (*fell deadborn from the press*). V návaznosti na to označil právě *Enquiry* za manifestaci jeho názorového spektra. Otázkou ovšem je, zdali toto Humovo prohlášení opravdu odpovídá odlišnostem v teoretickém obsahu obou pojednání nebo spíše neodráží Humovo povzdechnutí nad určitým neúspěchem či nenaplněním očekávání, *Treatise*. Debata na toto téma je vskutku rozsáhlá a jsem přesvědčen, že by zdatně zaplnila stejný počet stran, jako bylo věnováno celé této práci, nicméně její rozhodnutí není naším cílem. Ve skutečnosti jsou argumenty pro i proti prioritnímu interpretačnímu statutu *Treatise* či *Enquiry* natolik silné a mající takovou textovou oporu, až se domnívám, že odpověď na ni je spíše otázkou subjektivního vkusu či přesvědčení.

Obsah následujících podkapitol tedy budeme směřovat na podstatu a charakter vztahu mezi Hudem a Newtonem, a to v několika hlavních oddílech. Za prvé si shrneme, v čem spočívá ambivalentnost jejich vztahu s ohledem na Humovo přesvědčení o správnosti filosofie jako praktické disciplíny. Za druhé se podíváme blíže na jednotlivé aspekty jejich filosofie a na základě přístupu k experimentální metodě, kauzalitě a pravidlům rozvažování. Dříve než se pustíme do podrobnější komparace jednotlivých koncepcí, bude třeba alespoň v krátkosti popsat hlavní maximy Humovy filosofie.

3.1 Humova epistemologie

Humově epistemologie s důrazem na jeho pojetí kauzality jsem věnoval značnou pozornost ve své bakalářské práci¹⁵³ a z toho důvodu ji zde pouze shrneme. Fundamentálním teoretickým konceptem je pro Huma teorie idejí. Percepce (*perceptions*), jenž tvoří veškerý obsah naší mysli, mohou být dvojího typu, ideje (*ideas*) a imprese (*impressions*). Hlavní rozdíl mezi idejemi a impresemi spočívá v míře jejich živosti (*liveliness/vivacity*) a síly (*force*), se níž jsou uchovány v naší mysli. Nejvyšší živostí oplývají imprese, které vycházejí přímo z našich vjemů, ale také z vášní a emocí. Zvláštním druhem jsou imprese z reflexe (*impressions of reflexion*), které pocházejí z idejí asociovaných s nějakou impresí a tuto impresi v nás

¹⁵³ Pro obšírnější vymezení Humovy epistemologie viz ZAVADIL, Roman, *Pojetí kauzality ve filosofii Davida Huma a Immanuela Kanta*, bakalářská práce, Olomouc: Universita Palackého, Filosofická fakulta, 2014.

vyvolávají. Jednoduchý příkladem může být vzpomínka na návštěvu zubaře, která v nás vyvolává nepříjemný pocit (impresi) a úzkost spojenou s tímto traumatickým zážitkem. Percepce s nižší silou jsou ideje, jež jsou konstrukcemi druhého stupně na základě impresí.¹⁵⁴ Principálně tato konstrukce spočívá v tom, že veškeré obsahy naší mysli řazené pod ideje buď přímo korespondují s nějakou danou impresí, nebo jsou složeninou více původních impresí. Jednoduché ideje jsou neproblematické, jsou to např. vzpomínky (*ideas of memory*) na včerejší oběd nebo přečtenou knihu. Složené ideje již do určité míry nemusí korespondovat s přímou smyslovou evidencí. Jen málokdo by asi tvrdil, že viděl jednorožce nebo zlatou horu. Hlavní roli zde hraje zejména představivost (*ideas of imagination*), která nám dovoluje skládat jednoduché ideje do složitějších a např. spojením koně a rohu umožňuje vznik představy o jednorožci. Ideje se mohou v naší mysli sdružovat podle tří pravidel. Za prvé je to podobnost, kdy myšlenka na jednu ideu okamžitě vyvolává ideu druhou, např. při vzpomínce na zimu nám v mysli vyvstává i vzpomínka na dovolenou na horách nebo stavění sněhuláka. Za druhé dle sousednosti či souslednosti v místě a čase, kdy si pomyšlením na náš pracovní stůl vybavíme také obsah jeho šuplíků. Třetím typem sdružování je kauzalita, pod kterou spadá většina asociačních procesů a jíž se jako nejdůležitější budeme věnovat detailně později. Závěrem je důležité poznamenat, že skládání idejí je omezeno vybavou jednoduchých idejí založených na impresích. Jinými slovy, každá idea, ať složená nebo jednoduchá, má svůj základ v jedné či více impresích.

Tato ústřední Humova maxima se nazývá *The Copy Principle* a v *Treatise* jej zachycuje takto:

Všechny jednoduché ideje, ve chvíli, kdy se poprvé projeví v naší mysli, jsou odvozené z jednoduchých impresí a tvoří jejich naprosto přesně korespondující reprezentace.¹⁵⁵

Záměrem pro jeho vytvoření nebyla výhradně snaha o deskripci kognitivních kvalit lidské mysli, hlavní roli pro Huma hrály i metodologické implikace principu. Terčem jeho kritiky byla především metafyzická a spekulativní filosofie, jež se vyznačovala podstatnou „temností a nejasností“ pojmového aparátu. *The Copy Principle* umožňoval analýzu pojmů, pomocí které bylo možné určit jejich extenzi a intenzi, Humovými slovy najít takovou impresi, z níž

¹⁵⁴ HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 49.

¹⁵⁵ *That all our simple ideas in their first appearance are deriv'd from simple impressions, which are correspondent to them, and which they exactly represent.* - HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 52

by idea určitého pojmu vycházela. V *Enquiry* pak rozšiřuje aplikaci na filosofii, nebo spíše na jazyk obecně.

Když tedy máme pocit, že filosofický výraz je užíván beze smyslu či ideje (jak je tomu až příliš často), není třeba nic než prozkoumat, *z jaké imprese je ta domnělá idea odvozena?* A když by bylo nemožné nějakou najít, poslouží to k potvrzení našeho podezření.¹⁵⁶

Díky *Copy* principu jsme tedy měli v rukou návod a prostředky pro nalezení a eliminaci prázdných pojmů, nebo alespoň pro redefinici a korektní vymezení chybně užívaných pojmů. Imprese a ideje jsou ve stálém spojení (*constant conjunction*), přičemž ideje jsou reprezentací korespondující imprese, která jí předchází. Další důležitou praxí *Copy* principu je vypořádání s v té době velice vlivným pojetím karteziánských vrozených idejí, jež Hume jednoduše odmítl, protože nevycházejí ze zkušenosti a tedy nemohou mít odpovídající impresi, jež by zaručovala jejich obsah a rozsah.

Konkrétní aplikací *The Copy Principle* je Humův útok na metafyzické pojmy jako „účinnost, příčinnost, moc, síla, energie, nutnost, spojení a tvořivost“¹⁵⁷. Hume jim vytýkal nejen již zmíněnou prázdnotu, ale také synonymitu, aniž by si toho při jejich užívání byli metafyzikové vědomi. Nejdetailnější a také nejznámější námitku v tomto ohledu vznesl Hume na účet nutného spojení příčiny a účinku (*the necessary connection of cause and effect*) v rámci své kritiky tehdejšího epistemologického statutu kauzální inference.

Hume rozděluje předměty lidského rozumu, tedy vše s čím operují naše kognitivní funkce, na vztahy idejí (*relations of ideas*) a faktické okolnosti (*matters of fact*). V rámci vztahů idejí pracujeme s idejemi na abstraktní rovině matematiky či geometrie. Věty vztahů idejí mají po epistemologické stránce demonstrativní¹⁵⁸ (*demonstrative*) charakter a z hlediska logiky jejich negací vzniká kontradikce. Například výrok „Čtverec má čtyři strany.“ je platný *a priori*¹⁵⁹ a jeho negací bychom dostali kontradiktorický výrok, který je logicky sporný.

¹⁵⁶ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 44.

¹⁵⁷ *Efficacy, agency, power, force, energy, necessity, connexion, and productive quality.* - HUME, David, "A Treatise of Human Nature", Penguin Classics, 1985, London, str. 206

¹⁵⁸ Pojem „*demonstrative argument*“ Hume užíval pouze v případě výroku z matematiky či geometrie. Je to ten nejvyšší možný stupeň pravdivosti. Zatímco v případě faktických okolností Hume užíval spíše pojmů „pravděpodobnost“ (*probability*) nebo „důkaz“ (*proof*), které ovšem nevyjadřovaly absolutní pravdivost.

¹⁵⁹ Hume samozřejmě vysloveně tohoto termínu nevyužíval a tento pohled je do značné míry ovlivněn Kantem. Nicméně se dá bez větších interpretačních obtíží vést rovnítko mezi Kantovými analytickými soudy *a priori* a syntetickými soudy *a posteriori* a Humovými vztahy idejí a faktickými okolnostmi, přičemž první odpovídají prvním a druhé druhým. Pokud bychom chtěli v této interpretaci jít ještě dále, pak bychom ji mohli rozšířit ve stejném duchu také na Leibnizovy pravdy *de dicto a de re*.

Soubor faktických okolností je již podstatně širší a obsahuje v sobě *de facto* uvažování v rámci našeho běžného života. Epistemologický i logický statut je v tomto případě velice odlišný. Vezměme si za příklad výrok „Zítra vyjde slunce.“. Ten již není platný *a priori*, tedy nutně, ale má probabilistický charakter *a posteriori*, protože jeho pravdivostní hodnota je založena na evidenci v empirii. Navíc pokud uděláme negaci výroku o faktických okolnostech, pak nám nikdy nemůže vzniknout kontradikce, protože výrok „Zítra nevyjde slunce.“ má taktéž probabilistický charakter.

Jak jsme si již řekli, Hume se snaží dělat takovou filosofii, která by lidem přinesla co největší užitek, a tak nás nepřekvapí, že ve středu jeho zájmu jsou právě *matters of fact*¹⁶⁰. Naše poznávání faktických okolností je založeno na kauzálních relacích¹⁶¹ a vždy, když zkoumáme svět, postupujeme mezi jednotlivými idejemi nebo impresemi od příčiny k účinku nebo od účinku k příčině¹⁶². Kauzální inference tedy vznikají na základě naší zkušenosti. Při pozorování nějakého jevu naše mysl rozlišuje mezi tím, co jev způsobilo a následně jevem samotným, jinými slovy odlišujeme příčinu od účinku. Navíc naše mysl induktivně usuzuje, že setkáme-li se s podobnými příčinami, pak ty budou vždy následovány podobnými účinky. Nicméně Hume se ptá, co naši mysl k takovému usuzování vede a dodává:

Naše dosavadní metoda uvažování nás jednoduše přesvědčí, že nemohou existovat žádné demonstrativní argumenty dokazující, že případy, se kterými nemáme žádnou zkušenost, se podobají těm, s nimiž zkušenost máme.¹⁶³

Tato část vyjadřuje to, co je v literatuře obecně známo jako „problém indukce“ nebo „Humův problém“. Humova argumentace proti induktivní metodě zásadně podkopává jeden ze základních epistemologických principů, a to predikci budoucích jevů na základě zkušenosti s podobnými jevy v minulosti. Pro jasnou ilustraci nabízí Hume známý příklad s biliardovými koulemi. Pozorujeme, jak se jedna koule po plátně blíží k druhé nehybné kouli. Dojde k nárazu a v případě přesného zásahu je doposud nehybná koule uvedena do pohybu ve směru, ve kterém do ní první, jenž se zastaví, narazila. V případě opakovaného pozorování nás naše mysl ve chvíli, kdy zpozoruje jednu kouli mířící ke druhé, vede k závěru, že

¹⁶⁰ Dá se říci, že kromě několika krátkých pasáží zmiňujících *relations of ideas*, je celý *Treatise i Enquiry* výhradně o *matters of facts*.

¹⁶¹ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 49.

¹⁶² HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 134.

¹⁶³ *Our foregoing method of reasoning will easily convince us, that there can be no demonstrative arguments to prove, that those instances, of which we had no experience, resemble those, of which we have had experience.* - Ibid, str. 137.

v okamžiku nárazu, se druhá koule opět rozpohybuje směrem kupředu a druhá se zastaví. Jak ale můžeme, na základě dvou singulárních a izolovaných jevů, tedy pohybu jedné koule a rozpohybování se druhé, tvrdit, že existuje nějaké nutné spojení (*necessary connection*) mezi stejnými příčinami a stejnými účinky. Podle Huma je mechanismem, který v nás vytváří impresi a potažmo ideu nutného spojení příčiny a účinku, zvyk (*habit*).

Ukazuje se tedy, že tato idea nutného spojení mezi událostmi povstává z množství podobných případů, v nichž se nachází stálý souběh mezi těmito událostmi; jediný z těchto případů by sám nemohl nikdy tuto ideu navodit, i kdyby byl zkoumán ze všech možných stran. Avšak v samotném množství není nic, co by nebylo v každém z jednotlivých případů, které pokládáme za naprosto podobné, s výjimkou toho, že po opakování podobných případů je mysl zvykem vedena k tomu, že po zpozorování jedné události očekává tu, jež ji obvykle doprovází, a věří, že nastane. Toto spojení, které *pocítujeme* v mysli, tento zvykový přechod od představy jednoho předmětu k jeho obvyklému průvodci, je tedy oním pocitem či impresí, na jejímž základě utváříme ideu síly či nutného spojení. Nic jiného v tom není.¹⁶⁴

Naše kauzální inference není založena na objevování reálných kauzálních zákonů, ale je spíše lidskou kognitivní konstrukcí, kterou aplikujeme na svět kolem nás. Kauzalitu tedy do světa vkládá člověk na základě zvyku vedoucího lidský rozum k vytváření kauzálních relací mezi dvěma zdánlivě propojenými, po sobě jdoucími jevy.

V souvislosti s Humovým pojetím kauzality je v dnešní literatuře nejaktuálnější debata ohledně jejího ontologického statutu známá jako *Old/New Hume Debate*. Podle „starohumovců“ Hume skepticky pojednává pouze o naší mentální kauzalitě, kterou do světa vkládáme na základě zvyku. Na druhé straně „novohumovci“ tvrdí, že existuje vedle mentální kauzality také kauzalita reálná obsažená v přírodě samotné, k níž ovšem naše kognice nemá přístup. Zatímco skeptická interpretace se textově opírá především o *Treatise*, skepticko-realistickejší vychází spíše z *Enquiry*.

¹⁶⁴ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 112

3.2 Ambivalentnost vztahu Huma a Newtona

Pověšinou se v literatuře dočteme, že Hume převzal základní metodologický rámec Newtonovy induktivní metody a na něm vybudoval novou vědu o člověku, jejíž měla za cíl zkoumat lidskou přirozenost. Přestože nechci zcela popírat tuto tezi, bude našim cílem zasadit vztah Huma a Newtona do širšího kontextu a tento poměrně omezující pohled zproblematizovat. Nejprve si ale předložíme hlavní body, ze nichž vychází tradiční pozitivní interpretace a ve kterých ohledech můžeme Huma považovat za newtonovce.

Hume se snaží ve světle úspěchů přírodní filosofie, k nimž vedlo vydání *Principií*, zdůraznit inspiraci Newtonovou experimentální metodologií. V první kapitole *Enquiry* je návaznost na Newtona zcela explicitní. Hume píše:

Nebylo by však možno doufat, že filosofie, bude-li pěstována pečlivě a povzbuzena zájmem veřejnosti, může ve svých výzkumech postoupit ještě dále a objevit alespoň do jisté míry skryté zdroje a principy, jež lidskou mysl v jejích výkonech uvádějí do pohybu? Astronomové se dlouho spokojovali s tím, že z fenoménů prokazovali skutečné pohyby, uspořádání a velikost nebeských těles, dokud nepovstal filosof [Isaac Newton], který, jak se zdá, nejšťastnější úvahou určil také zákony a síly, jimiž jsou oběhy planet řízeny a spravovány. ... A není žádný důvod nevěřit v možnost stejného úspěchu v našich zkoumáních mentálních schopností a ekonomie, budou-li prováděna se stejným nadáním a obezřetností.¹⁶⁵

Metodologickou a terminologickou podobnost s Newtonem nevykazuje jen Humova filosofie. Hlavní myšlenkou stojící za standardní interpretací je obecně přijímaný fakt, že všichni empiričtí filosofové 18. století o sobě prohlašovali, že byli newtonovci¹⁶⁶. Nesmíme zapomínat ani na převládající dělení tehdejší filosofie na racionalismus a empirismus, které je do značné míry ovlivněno Kantovým pohledem na historii.

Podle Schliessera existují tři hlavní obtíže spojené s pozitivním přístupem k charakteru vztahu mezi Humem a Newtonem. Za prvé je to značná ahistoričnost, s níž je v interpretacích

¹⁶⁵ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 34 – 35.

¹⁶⁶ SAPADIN, Eugene, „A Note on Newton, Boyle, and Hume’s Experimental Method“ [online], in *Hume Studies* Volume XXIII, 1997, [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <<http://www.humestudies.org/>>, str. 337.

většiny filosofů kladen důraz spíše na racionální rekonstrukci argumentů než na celkový historický kontext. Za druhé ani ti, kteří upřednostňují historický přístup k Humovi často neberou v potaz rozsah, v jakém bylo Newtonovo dílo Humovi vůbec přístupné¹⁶⁷. Za třetí se historici povětšinou nezabývají novými interpretacemi Newtonova myšlení a důsledky, jež pro jejich vztah mají.¹⁶⁸ Pokud bychom brali na vědomí všechny tyto aspekty, pak zjistíme, že Hume byl vůči Newtonovi mnohem více kritický, než se doposud předpokládalo. Samozřejmě že si Hume uvědomuje význam i genialitu Newtonova myšlení a v tomto směru mu projevuje značné uznání. V jednom ze svých esejů píše:

Té nejpřísnější kritiky se Newtonova teorie nedočkala ze strany svých spoluobčanů, ale ze zahraničí, nicméně pokud se jí podaří překonat překážky, se kterými se doposud setkala napříč Evropou, pak se jí dostane triumfálního vítězství a přežije po následující generaci.¹⁶⁹

Nicméně v jiné esaji, „*Of the Middle Station of Life*“, již o Newtonovi hovoří přeci jen konkrétněji a v méně lichotivém smyslu.

Kdybychom měli mezi lidmi rozlišovat na základě jejich geniality či odbornosti spíše než podle jejich ctnosti a užitečnosti pro lidstvo, pak by zajisté velcí filosofové zaujímali v první skupině přední příčky. Nicméně tak vzácný je onen charakter, že mě napadají pouze dva na celém světě, kteří by mohli vznést na takové postavení nárok. Zdá se mi, že jediní, kteří v tomto směru vynikají nad všechny ostatní, jsou *Galilei* a *Newton*.¹⁷⁰

¹⁶⁷ Ze strany Huma nemáme příliš textové evidence, abychom mohli s určitostí říci, s jakou částí z Newtonovy tvorby byl obeznámen. Zatímco se předpokládá, že byl poměrně dobře obeznámen s Newtonovou prací v *Optice*, tak v souvislosti s *Principiemi* to není tak jasné. Některé pasáže odkazují spíše na vliv Boyleovy experimentální metody, která byla v době Humových studií obšírně vyučována. Vzhledem k tomu, že z univerzity v Edinburghu odešel ještě před tím, než dosáhl věku, kdy bylo zvykem vyučovat Newtona, je poměrně nepravděpodobné, že by Hume ovládal techničtější pasáže *Principií*.

¹⁶⁸ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/>>, str. 3.

¹⁶⁹ *The severest scrutiny which NEWTON'S theory has undergone proceeded not from his own countrymen, but from foreigners; and if it can overcome the obstacles which it meets with at present in all parts of EUROPE, it will probably go down triumphant to the latest posterity.* - HUME, David, „Of the Rise and Progress of the Arts and Sciences“ in *Selected Essays*, COPLEY, Stephen, EDGAR, Andrew (ed.), Oxford: Oxford University Press, 1996, ISBN 0–19–283621–8, str. 65.

¹⁷⁰ *Were we to distinguish the ranks of men by their genius and capacity, more than by their virtue and usefulness to the public, great philosophers would certainly challenge the first rank, and must be placed at the top of human kind. So rare is this character that perhaps there has not as yet been above two in the world who can lay a just claim to it. At least, Galileo and Newton seem to me so far to excel all the rest, that I cannot admit any other into the same class with them.* - HUME, David, „Of the Middle Station of Life“, in *Selected Essays*,

Hume zde tedy opět uznává genialitu Newtonova myšlení, nicméně zpochybňuje hodnotu jeho díla po stránce ctnosti a prospěšnosti pro veřejné blaho. Newtonova teorie, ať byla jakkoli geniální, byla zcela odtržena od reality běžných lidí a neměla pro ně žádný praktický důsledek.

Jak jsme si již řekli v předešlé kapitole, jedním z Humových cílů bylo vyvrácení metafyzický a náboženských pověr jeho doby. V tomto ohledu můžeme najít další textovou oporu pro naši tezi o vztahu Huma a Newtona, tentokrát v *History of England*.

[Král Jakub I.] sepsal komentář ke Zjevení a prokázal, že papež je Antikrist. Mohli bychom ale obdobně přistupovat také ke známému autorovi Napierovi, ba dokonce k Newtonovi, v době, kdy vzdělávání bylo mnohem pokročilejší než za doby vlády Jakuba prvního? Z míry pověřivosti můžeme usuzovat pouze na nevzdělanost doby, avšak nikdy bychom z ní neměli usuzovat na pošetilost jednotlivců, která pocházela z náboženského přesvědčení.¹⁷¹

Hume tedy nejenže považuje Newtonovo myšlení za nepraktické, ale také mu vyčítá rozšiřování náboženských pověr. Má zde na mysli především Newtonův argument z inteligentního designu, který obsahuje Obecné scholium v *Principiích* a přesvědčení o možnosti zkoumání atributů Boha pomocí induktivní metody přírodní filosofie¹⁷².

Pro shrnutí si můžeme říci, že Hume kritizuje dva hlavní aspekty Newtonovy filosofie, nepraktičnost a pověřivost. Zde se nám objevuje již zmiňovaný prvek Humovy snahy o praktickou filosofii. Tato filosofie má za cíl nejen zkoumat lidskou přirozenost, ale vybudovat zcela novou vědu o člověku, jež by nebyla v platnosti o nic podřadnější než přírodní filosofie, nicméně mnohem užitečnější v praktických důsledcích než kterákoli jiná věda¹⁷³. Věda o člověku má ve vztahu k ostatním vědám výhradní postavení, protože z ní všechny více či méně vycházejí nebo jsou na ni jakkoli závislé. Humův ambivalentní postoj vůči Newtonově přírodní filosofii vychází už ze samotné podstaty programu, který si vytyčil, a přestože je Newtonova filosofie nesmírně originální a nápaditá, je mnohem méně cenná, nežli Humova věda o člověku.

COPLEY, Stephen, EDGAR, Andrew (ed.), Oxford: Oxford University Press, 1996, ISBN 0-19-283621-8, str. 9.

¹⁷¹ HUME, David, *History of England from the Invasion of Julius Caesar to the Revolution in 1688*, Indianapolis: Liberty Fund, 1983, str. 1422.

¹⁷² SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Attack on Newton’s Philosophy“ in *Enlightenment and Dissent 25*, SNOBELEN, S. (ed.), 2009, str. 175.

¹⁷³ HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 46.

Doposud jsme si uvedli spíše obecné charakteristiky Humovy ne zcela nekritické recepcce Newtonova myšlení. V závěrečných dvou podkapitolách se podíváme již na konkrétní pojetí experimentální metodologie, kauzality a pravidel rozvažování u obou myslitelů.

3.3 Experimentální metodologie

Bez ohledu na charakter jejich vzájemného vztahu sdílí Hume s Newtonem odpor vůči mechanicistické filosofii. U Huma spočívá tento negativní postoj především ve dvou ohledech: 1) existence vrozených idejí, 2) redukce vysvětlení kauzálních jevů výhradně v rámci nárazu dvou těles. Problém existence vrozených idejí vychází z *Copy* principu, podle něhož veškeré ideje nacházející se v naší mysli mají původ v impresích, které vycházejí ze smyslové zkušenosti. Descartovské vrozené ideje Hume považoval za prázdné pojmy, jimž ve skutečnosti nic neodpovídá. K mechanicistické redukci se ještě blíže dostaneme v následující podkapitole. Prozatím nám postačí si říci, že pro Huma byl tento redukcionistický model až příliš zjednodušující.

V jednom metodologickém ohledu Humova filosofie přeci jen z mechanicismu vychází. Jak jsme si řekli v úvodu třetí kapitoly, existuje určitý ideový posun, mezi *Treatise* a *Enquiry*. Zatímco v *Enquiry* je Newton zmiňován na několika místech a jeho vliv na Huma je znatelný jak po obsahové, tak i po terminologické stránce, v *Treatise* můžeme najít jediný přímý odkaz na Newtona v Apendixu, jenž byl ovšem připojen až po prvních dvou vydáních v roce 1740. Tento rétorický posun lze vysvětlit tak, že v době vydání *Treatise* nebyla Newtonova filosofie zcela etablovaným systémem a stále se ještě musela vypořádat s mnoha teoretickými problémy¹⁷⁴. Je tedy velice pravděpodobné, že podnázev *Treatise*, pokus o zavedení experimentální metody rozvažování do morální filosofie¹⁷⁵, vděčí za svůj experimentální ráz spíše Robertu Boylovy, jenž neméně než Newton zdůrazňoval význam experimentu. Tento předpoklad nám potvrzuje i rozsah Humova vzdělání v době práce na *Treatise*. Je totiž velice nepravděpodobné, že by Humě měl nějaké detailnější znalosti Newtonovy experimentální metodologie, jež se vyučovala až ve vyšších ročnících, které

¹⁷⁴ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Attack on Newton’s Philosophy“ in *Enlightenment and Dissent* 25, SNOBELEN, S. (ed.), 2009, str. 173

¹⁷⁵ *A Treatise of Human Nature: being an-attempt to introduce experimental method of reasoning into moral subject.*

ovšem Hume neabsolvoval. Oproti tomu bylo na univerzitě v Edinburghu velice rozšířené čtení Boylových spisů.

Vraťme se ale k charakteru vztahu mezi Humovou a Newtonovou metodologickou koncepcí. V této podkapitole o nich budeme pojednávat z hlediska tří zásadních aspektů, které můžeme považovat za hlavní kritéria ilustrující rozdíly mezi oběma přístupy: 1) povaha experimentů, 2) nástroje experimentální metody, 3) epistemologický statut zobecnění induktivních inferencí.

Obecně se dá říci, že Hume přijal Newtonovu tezi *hypotheses non fingo* zdůrazňující úlohu experimentů pro vytváření explanací, nicméně Hume nikde nezmiňuje zásadní úlohu matematiky v Newtonově přístupu. To může být opět dáno mírou Humova matematického vzdělání¹⁷⁶. Hume si přesto byl vědom určitého rozdílu mezi experimenty prováděnými v přírodní filosofii a v nově vznikající vědě o člověku. V *Treatise* píše:

Morální filosofie má vskutku nevýhodu, jakou bychom v přírodní filosofii nenašli, že nemůže vytvářet experimenty záměrně s předchozí přípravou a takovým způsobem, aby mohla uspokojivě odpovědět na všechny problémy, které mohou nastat.¹⁷⁷

Oproti Newtonovým experimentům mají Humovy poměrně jednoduchou strukturu a téměř nikdy nenabízí žádnou formu měření. Pro Huma je pojem „experiment“ téměř synonymní ke slovu „běžná zkušenost“ a podobá se spíše systematickému pozorování¹⁷⁸. Tento charakter opět vyplývá z jeho snahy o vytvoření praktické filosofie zkoumající běžný život lidí:

Krátce, tato zkušenostní vyvozování a zvažování [experimental inference and reasoning] jednání druhých jsou tak významnou součástí lidského života, že není nikdo, kdo by je v bdělém stavu neustále nevykonával.¹⁷⁹

Hlavní rozdíl v pojetí experimentu u Huma a Newtona spočívá tedy především ve struktuře, což vychází z odlišnosti zkoumaného předmětu. Další pak v nástrojích, které oba používají. Zatímco Newton v rámci experimentu využívá zejména pozorování a měření,

¹⁷⁶ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z < <http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/> >, str. 11.

¹⁷⁷ HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 45.

¹⁷⁸ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z < <http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/> >, str. 15.

¹⁷⁹ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 129.

Hume nám poskytuje jediný analytický nástroj, *The Copy Principle*. Nedostatek měření z dnešního pohledu nepůsobí příliš překvapivě. Kognitivní věda, o níž se Hume v omezené míře snaží, si na aplikaci experimentálního měření musela počkat až do přelomu 19. a 20. století. *Copy princip* je, jak jsme si již řekli, založen na předpokladu úplné korespondence idejí a impresí v lidské mysli a říká nám, jakým způsobem bychom měli přistupovat k naší zkušenosti. Zjednodušeně, co nebylo dříve ve smyslech, není ani v mysli. Hume je díky tomu schopen rozlišit pojmy, jež mají empirický obsah, od carnapovsky řečeno pseudo-pojmů. Tímto způsobem dokázal odhalit původ ideje nutného spojení příčiny a účinku ve zvykových strukturách lidské zkušenosti.

The Copy Principle má ovšem značný vliv na interpretaci klíčových Newtonových pojmů jako je síla (*force*), protože nedovoluje jejich realistickou interpretaci jako příčina pohybu. Stačí si připomenout část *Treatise* v poznámce 154. Hume neoperuje s těmito principy jako s deskripcí vycházející z konkrétního úseku naší reality, ale spíše jako s metodou, pomocí níž si můžeme udržovat přehled o přibližném charakteru přírodních jevů. Musíme mít vždy na paměti, že kdykoli Hume mluví o silách, nepředkládá jako Newton realistické pojetí, založené na reálné existenci sil v přírodě, ale má na mysli jejich deflační pojetí.¹⁸⁰

Pokud omezíme naše spekulace na to, jak se nám předměty jeví skrze smysly, aniž bychom se pouštěli do diskuzí o jejich pravé podstatě, pak se nemusíme obávat žádných překážek ani otázek, které mohou přijít. ... Nic není vhodnějšího pro [newtonovskou] filosofii, než určitý stupeň mírného skepticismu a smíření se s nedostižností toho, co převyšuje možnosti lidské mysli.¹⁸¹

Hume považuje přírodu principálně za nepoznatelnou. Jediné, co můžeme, je vytvářet *quam proxime* konstrukce, založené na naší vlastní interpretaci přírodních jevů. To má samozřejmě důsledky také pro Newtonovu přírodní filosofii jako celek.

Veškeré naše kauzální inference jsou založeny na mechanismu lidské mysli, která aplikuje kauzální vztahy na dva odlišné po sobě jdoucí jevy. Nic, co můžeme říci o přírodě, nevychází z poznání přírody samotné, ale z induktivních inferencí lidské mysli, jež je zvykem

¹⁸⁰ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/>>, str. 13.

¹⁸¹ HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 112 – 113.

vedena k představě existence nutného spojení mezi různými přírodními jevy. Hume nepovažuje Newtonovy zákony za popis skutečné povahy příčin a účinků v přírodě, ale za pouhé nástroje pro deskripci jevů¹⁸². Z toho plyne, že celkový epistemologický statut Newtonovy přírodní filosofie je v očích Huma devalvován na úroveň arbitrárních konstrukcí.

3.4 Kauzalita a pravidla rozvažování

V předešlé kapitole jsme si ukázali hlavní metodologické rozdíly v přístupu k přírodním a mentálním jevům. Hume přitom vycházel z pro něj charakteristického skeptického pojetí kognitivních schopností člověka, zatímco Newton se opíral o realistický statut vědeckých teorií. Nyní přejdeme k nejobsáhlejšímu a také nejvýraznějšímu styčnému bodu obou myslitelů. Naše zkoumání bude vedeno na dvou úzce souvisejících rovinách. První bude pojetí kauzální inference, kde nás bude zajímat rozdíl v teoretickém konceptu kauzality jako takové. Za druhé se budeme věnovat pravidlům rozvažování (*Rules of Reasoning*), jež určují, jakým způsobem pracovat s kauzalitou, nebo spíše obecně s induktivními inferencemi.

Odložme nyní otázku, zda Hume přiznává, vedle psychologické kauzality, existenci také reálné přírodní kauzality, která je pro nás nepoznatelná, a zaměřme se na to, co říká Hume o psychologické kauzalitě. Člověk má při pozorování dvou sousledných jevů tendenci považovat první za příčinu druhého, přestože v žádném z jevů není příčinnost ani účinnost nijak inherentně obsažena. Jak již víme, to, co nás vede k aplikaci kauzálních relací na jevy, je zvyková zkušenost, která nám říká: „Protože v minulosti jev B vždy následoval po jevu A, pak A je příčinou jevu B a vždy, když nastane jev A, bude následovat jev B.“. Naše kauzální inference tedy nemají platnost obecných zákonů přírody, ale pouze povahu explanace naší dosavadní empirie. Uveďme si to na známém příkladu s labutěmi. V našem zkoumání přírody jsme se setkali pouze s bílými labutěmi, a proto induktivně vyvodíme závěr, že všechny labutě jsou bílé. Podle Huma ovšem neformulujeme obecné pravidlo, ale pouze konstatujeme, že všechny labutě, se kterými jsme měli doposud zkušenost, jsou bílé a kterákoli další může být třeba černá nebo i fialová. Takovou možnost naše dosavadní zkušenost vyloučit nemůže.

¹⁸² SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/>>, str. 18.

Z toho, co jsme si prozatím na účet kauzality uvedli, můžeme vyvodit, že Hume popíral dva typy kauzality, s nimiž Newton pracoval: souběžná kauzalita (*simultaneous causation*) a finální příčina¹⁸³ (*final cause*). Souběžná kauzalita je založená na současném výskytu příčiny i účinku a popírá Humův předpoklad temporální priority příčiny. Newton s ní pracuje v případě působení gravitační síly. Působení gravitační síly zapříčiňuje zrychlení tělesa a toto zrychlení probíhá současně s působením gravitační síly, což zcela odporuje tomu, co říká Hume o souslednosti dvou jevů, např. dvou biliardových koulí¹⁸⁴. Humovo odmítnutí teleologického charakteru finální příčiny je pak do značné míry spojeno s kritikou argumentu z designu, zmíněnou v podkapitole 3.2. Newton mluví o finální příčině v Obecném scholiu v *Principiích*.

Známe ho [Boha] jen na základě vlastností a atributů a podle jeho nejmoudřejšího a nejlepšího stvoření všech věcí a jejich finálních příčin.¹⁸⁵

Princip působení gravitační síly ovšem z Humova pohledu představuje ještě jeden problém. Jednotlivé planety jsou na svých orbitách udržovány gravitační silou slunce a tatáž příčina, která určuje orbitu např. Merkuru, určuje orbitu také Jupiteru. Gravitační síla jako příčina pohybu a zrychlení těles, nejenže působí současně se samotnými projevy pohybu, ale také působí na několika místech zároveň. Vedle časové kontinuity je tedy u Newtona porušen také Humův předpoklad lokální souslednosti.

V předešlé podkapitole jsme si řekli, že existuje určitá spojitost mezi Humem a mechanickým materialismem. Tato podobnost spočívá ve struktuře spojení příčiny a účinku. Mechaničtí materialisté, stejně jako Hume, považovali za důležitou temporální prioritu příčiny před účinkem, souslednost a stálé spojení příčiny a účinku. Nicméně Hume by nesouhlasil s jejich redukcionismem charakteru kauzality na náraz dvou těles. Proto je Humův seznam příčin a principů obšírnější:

Pružnost, přitažlivost, soudržnost částí, předávání pohybu nárazem¹⁸⁶; to jsou pravděpodobně ty nejposlednější příčiny a principy, které kdy v přírodě objevíme.¹⁸⁷

¹⁸³ Finální příčina neboli teleologický argument, vychází z Aristotela a jeho pojetí čtyř příčin a vysvětluje vztah příčiny a účinku na základě účelovosti. Např. Kámen padá směrem k Zemi, protože jeho účelem (viz přirozený pohyb v kapitole 1) je směřovat ke středu země. Dalšími typy příčin byly materiální, formální a účinná.

¹⁸⁴ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Attack on Newton’s Philosophy“ in *Enlightenment and Dissent* 25, SNOBELN, S. (ed.), 2009, str. 193.

¹⁸⁵ NEWTON, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0, str. 942.

¹⁸⁶ *Elasticity, gravity, cohesion of parts, communication of motion by impulse.*

Přestože tedy ponecháme stranou otázku, do jaké míry by Hume připustil existenci a naše potencionální znalosti o reálné kauzalitě v přírodě, je jeho koncepce kauzality v protikladu k Newtonově přírodní filosofii, když popírá souběžnou a finální kauzalitu. Druhá sice hraje roli pouze v ohledu na Newtonovu teologii a metafyziku, nicméně první je nedílnou a ústřední součástí jeho práce na mechanice.¹⁸⁸

Obraťme nyní naši pozornost k pravidlům rozvažování. Hume v Sekci 15 Třetí části První knihy *Treatise* říká, že každý jev se může stát příčinou i následkem kteréhokoli jiného jevu. Rozhodl se proto vytvořit osm obecných pravidel, podle nichž bychom měli přistupovat ke kauzálním relacím a na základě kterých jsme schopni určit, co je příčina a co účinek.

Pravidlo 1: Příčina a účinek musí být sousledné v místě a čase.

Pravidlo 2: Příčina musí předcházet účinku.

Pravidlo 3: Musí existovat stále spojení mezi příčinou a účinkem. Tento předpoklad je konstitutivním prvkem kauzálního vztahu.

Pravidlo 4: Stejná příčina musí vždy vytvářet stejný účinek a stejný účinek musí vždy vycházet ze stejné příčiny. Tento Princip vychází z naší zkušenosti a je základem pro většinu našich filosofických úvah. Kdykoli na základě experimentu objevíme vztah příčiny a účinku v nějakém jevu, pak okamžitě rozšiřujeme naše závěry na všechny podobné přírodní jevy, aniž bychom čekali na stálé opakování jevu, z něhož jsme ideu kauzálního spojení vyvodili.

Pravidlo 5: S tím souvisí také jeden další princip. Pokud několik různých jevů je příčinou stejného účinku, pak je tomu tak z důvodu existence společné kvality. Poněvadž podobné příčiny vždy vytváří podobné účinky, musíme stejný kauzální vztah připisovat jevům, v nichž nalezneme podobnost.

Pravidlo 6: I tento princip vychází z obdobné úvahy. Rozdíl v účinku dvou podobných příčin, vychází ze vzájemných rozdílů mezi příčinami. Poněvadž podobné příčiny vždy vytváří podobné účinky, pak vždy, když se nenaplní naše očekávání určitých účinků, musíme seznat, že tomu tak je kvůli rozdílům v příčinách.

¹⁸⁷ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 55.

¹⁸⁸ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/>>, str. 23 - 24.

Pravidlo 7: Pokud se nějaký objekt zvětšuje nebo zmenšuje a zároveň se také zvětšuje nebo zmenšuje jeho příčina, pak to musí být považováno za kombinovaný účinek, odvozený od spojení několika různých účinků, které vycházejí z několika různých příčin. Nedostatek nebo nadbytek v účinku je vždy vysvětlován na základě nedostatku nebo nadbytku v příčině. Tento vzájemný vztah stálého spojení uspokojivě dokazuje, že jeden jev je příčinou a druhý účinkem. Nicméně musíme být opatrní, abychom takové závěry nevynášeli na základě několika málo experimentů. Např. určitý stupeň tepla nám poskytuje uspokojení a s úbytkem tepla klesá také míra uspokojení. Nicméně z toho ještě neplyne, že enormním zvýšením tepla, se úměrně zvýší také potěšení z něj, protože překročíme-li určitou hranici, pak se naše uspokojení změní v bolest.

Pravidlo 8: Poslední pravidlo, které poznamenám, je, že objekt, který existuje ve své vlastní dokonalosti bez jakékoli příčiny, není příčinou sebe sama, ale pro popis jeho působení a činností je potřeba najít nějaký jiný princip.¹⁸⁹

Abychom si usnadnili práci a pochopení toho, o čem budeme pojednávat, uvedeme zde také výčet všech čtyř Newtonových pravidel rozvažování.

Pravidlo 1: Nemělo by být postulováno více příčin, než je nezbytně nutné pro dostatečné vysvětlení přírodních jevů.

Pravidlo 2: Z toho plyne, že příčiny přiřazené přírodním jevům určitého typu, musí být vždy stejné.

Pravidlo 3: Vlastnosti těles, které nemohou být kvalitativně změněny, tedy takové, jejichž hodnota ani nenarůstá ani neklesá, společných všem tělesům, které mohou být předmětem experimentu, by se měly považovat za vlastnosti společné všem tělesům.

Pravidlo 4: V experimentální filosofii by měly být propozice získané z přírodních jevů pomocí indukce považovány za zcela nebo alespoň přibližně pravdivé. Pravdivostní hodnota propozic není nijak snížena na základě hypotézy, není-li pravdivost hypotézy experimentálně prokázána.

První tři Humova pravidla nám říkají, co je to vlastně kauzální relace příčiny a účinku, a v průběhu našeho zkoumání jsme na ně v různé podobě již několikrát narazili. Pravidlo 1 a 2

¹⁸⁹ HUME, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2, str. 223 – 225.

se sice u Newtona neobjevuje, nicméně je to z pochopitelných důvodů. Jak jsme si řekli, pro Newtona nebyla kontinuita v místě a čase a ani temporální priorita příčiny přijatelná, protože by narušovala základní principy působení gravitační síly. Ani v případě Pravidla 3 nenajdeme přímou textovou evidenci. Nicméně s výjimkou prvních tří pravidel, zbývajících pět vykazuje značnou podobnost s Newtonovými pravidly z počátku *Knihy 3 Principií*¹⁹⁰.

Humovo Pravidlo 4 a s ním související Pravidla 5 a 6¹⁹¹ vycházejí z Newtonova Pravidla 2. Newton u druhého pravidla uvedl příklad respirace u zvířat a lidí a kamene padajícího v Evropě a v Americe. Hume by v tomto směru souhlasil, že pokud „na základě experimentu objevíme příčiny a účinky v nějakém jevu“, v tomto případě pozorujeme-li kámen padat směrem k Zemi s určitým zrychlením, „pak okamžitě rozšiřujeme naše závěry na všechny podobné přírodní jevy“. Kauzální vztah mezi přitažlivou silou Země a hmotností kamene, jako příčinami, a pohybem kamene směrem dolů, jako účinkem, je pro nás platný v případě pozorování jakéhokoli kamene kdekoli na Zemi. Je patrné *prima facie*, že Hume věnuje tomuto vztahu větší pozornost nežli Newton, nicméně Pravidla 5 a 6 můžeme jednoduše odvodit z Pravidla 4, respektive z Newtonova Pravidla 2. Tendence k zobecnění pozorovaných kauzálních relací v rámci experimentu v třetí větě Humova Pravidla 4 můžeme vystopovat také v Newtonově Pravidle 3. Hume sice v tomto ohledu pojednává o pozorování kauzálních relací zatímco Newton o identifikaci společných znaků jako je např. hmotnost (*mass*), nicméně oba vycházejí z předpokladu, že při pozorování v rámci experimentu jsme schopni nalézt rigidní struktury, které můžeme následně zobecnit. Hume je ovšem více zdrženlivý v míře aplikace takového zobecnění, což pochopitelně vychází z jeho skepticismu ohledně lidských kognitivních schopností. Podle Huma existují dva případy, kdy si můžeme dovolit bezpečně zobecnit závěry z experimentálního pozorování:

Jsou některé příčiny, jež způsobují určitý následek s naprostou uniformitou a stálostí, a dosud nebyl shledán žádný případ selhání nebo nepravidelnosti jejich působení ... způsobování pohybu nárazem a přitažlivostí¹⁹² je univerzální zákon, jenž dosud nepřipouštěl žádnou výjimku.¹⁹³

¹⁹⁰ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z < <http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/> >, str. 26.

¹⁹¹ Pravidlo 8 sice již nelze tak jednoduše vztáhnout na Newtonovo Pravidlo 2, nicméně podle Huma je i toto pravidlo rozpracováním pravidla 4.

¹⁹² *The production of motion by impulse and gravity*.

¹⁹³ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 91.

Je potřeba rozlišovat mezi přitažlivostí, jako působení gravitace na Zemi, se níž pracuje Hume, a gravitací, jako univerzální silou působící v celém kosmu, se kterou pracoval Newton. Hume by nikdy nepřistoupil na rozsah, v němž Newton zobecňuje působení gravitace na planetární pohyb, příliv a odliv a pohyb komet a vytváří ve snaze o vytvoření univerzálního zákona¹⁹⁴.

Prozatím jsme si v Humově výčtu pravidel rozvažování identifikovali vliv Newtonových Pravidel 2 a 3. Pravidla 1 a 4 představují větší interpretační výzvu, protože je není možno nalézt explicitně mezi osmi pravidly, nicméně je možno jejich vliv vystopovat v jiných pasážích *Treatise a Enquiry*. Podívejme se nejdříve na Pravidlo 1 představující formulaci Ockhamovy břitvy.

V kapitole 11 „O zvláštní prozřetelnosti a příštím životě“ v *Enquiry* pronáší Hume ústy Epikura, za něhož se vydává jeho přítel¹⁹⁵, následující slova:

Když vyvozujeme jakoukoli jednotlivou příčinu z účinku, musíme dbát, abychom mezi nimi zachovali správný poměr, a nikdy nesmíme příčině připisovat nějaké kvality přesahující ty, jež přesně postačují ke způsobení účinku.¹⁹⁶

Je samozřejmě otázkou, do jaké míry můžeme vést rovnítko mezi slovy Epikura a Humovým filosofickým přesvědčením. Jedna z interpretací říká, že Hume se k dialogické struktuře uchýlil, protože pojednával o velice ožehavém tématu a jednom ze zásadních principů křesťanství. Mohl se tak poměrně obratně vyhnout případné perzekuci, která by ho mohla za jeho názory stihnout. V případě našeho úryvku si s určitou mírou jistoty můžeme dovolit říci, že opravdu odráží Humův názor, neboť obdobný způsob uvažování se vyskytuje také v jiných částech *Enquiry*, kde již nelze vznést pochybnost o jejich pravosti. V kapitole 10 „O zázracích“, postuluje Hume svoji maximu:

[Ž]ádné svědectví nestačí k doložení zázraku, není-li to svědectví takového druhu, že jeho nepravdivost by byla ještě zázračnější než fakt, který se snaží doložit.¹⁹⁷

Podívejme se nyní, co vedlo Huma k takovému závěru.

¹⁹⁴ SCHLIESSER, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z < <http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/> >, str. 29.

¹⁹⁵ Tato kapitole se vyznačuje oproti jiným částem *Enquiry* velice nezvyklou formou. Hume v něm popisuje dialog, jenž vedl s přítelem, milovníkem skeptických paradoxů, nad stavem filosofie antického Řecka, přičemž na Humův popud přejímá tento přítel úlohu Epikura, jenž měl hájit svoji filosofii před aténským lidem.

¹⁹⁶ HUME, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80-205-0521-0, str. 186.

¹⁹⁷ Ibid, str. 160.

Otázka prokázání pravdivosti zázraku je založena na rozhodnutí mezi dvěma druhy evidence: 1) naše dosavadní smyslová zkušenost, 2) svědectví těch, kteří zázrak viděli. Zatímco první přesvědčení vyvábí naše zvyková zkušenost s přírodními jevy a je tvořena na základě kauzálních relací¹⁹⁸, zázrak je popření této evidence postulováním existence jevu, jenž se zcela vymyká naší smyslové zkušenosti. Je ovšem otázkou, zdali domnělá existence zázraku není založena pouze na nepochopení, nebo spíše neodhalení příčin. Jako jeden z argumentů proti existenci zázraků udává Hume fakt, že jejich svědectví je především u primitivních národů majících jen omezenou představu o přírodních zákonech. Díky tomu usuzovali z pozorování jevů, s nimiž neměli zkušenost a jež byly neobvyklé, že se jedná o dílo vyšší moci. Namísto hledání přirozených příčin vysvětlujících účinek tak usuzovali na existenci bohů nebo duchů. Ve společnostech s vyvinutějším chápáním přírodních jevů již k takovému pozorování ovšem nedochází. Můžeme tedy říci, že evidence zázraků s sebou nese vytváření falešných kauzálních relací založených na konstrukci příčin, jež nejsou nutné pro uspokojivou explanaci jevu. Abychom mohli v rámci jevu uvažovat platný kauzální vztah, musíme nalézt takovou příčinu, která by dostatečně vysvětlovala účinek a právě v tom spočívá Humova aplikace Ockhamovy břitvy. Z našeho pohledu bychom ji mohli považovat za zamlčený předpoklad všech osmi Humových pravidel.

Nyní nám na závěr zbývá pojednat o koncepci Newtonova Pravidla 4 v Humově filosofii. Abychom mohli naši úvahu plně rozvinout, je potřeba si připomenout, co říká Hume o indukci. Jeho snahou je poukázat na určité mezery v naší kognici. V případě induktivní inference nemůžeme vytvářet takové výroky, které by měly platnost univerzálně platných obecných zákonů. Na mysli bychom tedy měli mít, že vše co vytváříme, jsou jen interpretace naší předešlé empirie mající pouze probabilistický charakter. Vše, co můžeme říci o světě kolem nás, je z principu revidovatelné, protože nic nebrání tomu, abychom při se příští zkušenosti s nějakým jevem nesetkali s jevem opačným. Kdykoli tedy mluví Hume o induktivní metodě, má na mysli tentýž falibilistický předpoklad jako Newton, když v Pravidle 4 zmiňuje možnost falsifikace induktivní inference pomocí experimentálního prokázání pravdivosti protikladné hypotézy.

Přestože Hume přímo nezahrnuje možnost falsifikace hypotéz mezi svá pravidla rozvažování, zcela explicitně na něm staví v případě kritiky naší kauzální inference. Můžeme

¹⁹⁸ Hume se zcela explicitně odvolává na pravidla rozvažování.

si tedy bez obtíží dovolit říci, že Newton v tomto směru předjímal Humovu maximu o falibilistickém charakteru našich výpovědí o světě, na kterém je založena moderní věda.

ZÁVĚR

Shrňme si nyní, jakých výsledků jsme v našem zkoumání dosáhli. V úvodní kapitole jsme si ukázali, jakou roli sehráli ti největší velikáni vědecké revoluce, jež položila základ pro vznik moderní vědy. Nejprve Mikuláš Koperník formuloval heliocentrickou teorii, která měla nahradit převládající aristotelsko-ptolemaiovský model. Koperník sám by však takového cíle nikdy nedosáhl, nebýt dalších géníů své doby. Johannes Kepler převzal jeho teorii a pomocí svých tří zákonů přiblížil naše poznání světa jeho skutečné podobě. Galileo Galilei a Tycho Brahe díky svým pečlivým pozorováním roztříštili neprostupné krystalické sféry aristotelského modelu a otevřeli pro nás při pohledu na nebe zcela nový rozměr. Galilei ovšem nezůstal jen u pozorování nebes, ale vyzval na souboj také aristotelskou mechaniku a díky rafinovaným experimentům nám ukázal, že pro vysvětlení povahy přírody budeme muset naši pozornost obrátit jinam než k aristotelskému kompendiu.

Tohoto úkolu se zhostil jeden z největších géníů lidského rodu, Isaac Newton. Newton dokázal na matematických základech vystavět fyzikální teorii, která byla schopna vysvětlit veškerý pohyb na základě několika parciálních zákonů, a to především na třech Pohybových zákonech a Gravitačním zákonu. Podařilo se mu tak unifikovat veškerý pohyb v našem kosmu, experimentálně dokázat oprávněnost svých závěrů a s konečnou platností rozhodnout spor mezi heliocentrickým a geocentrickým potažmo geoheliocentrickým modelem. Pro všechny poměrně překvapivě tak, že zavrhnul oba. Ukázal také, že správná cesta vědeckého zkoumání nevede skrze hypoteticko-deduktivní model uvažování praktikovaný mechanicistickými filozofy, ale skrze induktivní zobecnění experimentálně získaných dat. Newtonova práce na mechanice si následně získala dominantní postavení, jež si udržela až do 20. století, do nástupu relativistické a kvantové mechaniky. My jsme se ovšem v naší práci nepouštěli tak daleko a kritickému zkoumání jsme podrobili jeho vztah s Davidem Humem.

Jak jsme si řekli, byl vzájemný vztah Newtona a Huma z pohledu historie filosofie vcelku neproblematický. Hume, jak i on sám říká, přijal pod vlivem úspěchu přírodní filosofie její induktivní metodologický rámec, na němž se rozhodl vystavět svoji vědu o člověku, která měla za cíl zkoumat lidskou přirozenost a jeho kognitivní funkce. My jsme si ovšem ukázali, že tento, do značné míry limitující pohled, je až příliš vzdálený od pravdy, aby byl považován za správný. Hume byl ve svém přístupu mnohem více kritický, než se mu přiznává. Na základě analýzy jejich pojetí kauzality, induktivní metody a pravidel rozvažování jsme si

ukázali, že Hume na jedné straně přijal indukci, se všemi svými limitacemi, za tu jedinou správnou metodu přístupu k *matters of fact*, zároveň ale odmítl několik zásadních maxim Newtonovy filosofie. V oblasti kauzality tomu tak bylo v případě souběžného působení příčiny a účinku, jež bylo klíčové pro Newtonovo pojetí gravitačního působení na dálku, a finálních příčin. Na účet platnosti induktivních inferencí snížil jejich epistemologický statut na pouhé konstrukce lidské mysli, zatímco Newton prosazoval jejich realistickou povahu. V případě pravidel rozvažování jsme si obě stanoviska opět trochu přiblížili a ukázali si, jak Hume vycházel např. z Newtonovy interpretace Ockhamovy břitvy a falibilistického pojetí vědeckých teorií.

V úvodu jsme si vytyčili dva hlavní cíle této práce. Prokázat oprávněnost pohledu na Isaaca Newtona jako na filosofa a objasnit charakter jeho vztahu s Davidem Humem. První cíl jsme splnili mimo jiné tím, že jsme si ukázali, v čem byla filosofická tradice pro Newtona významná a v jakých ohledech, přestože nese psal žádné vysloveně filosofické dílo, se musel vypořádat s filosofickými otázkami své doby. Ačkoliv nemůžeme analyzovat jeho myšlení zcela odděleně od jeho práce na mechanice, jsme schopni v něm identifikovat množství zajímavých a významných závěrů, které ovlivnily (nejen) filosofické myšlení následujících generací. Díky úspěšné identifikaci Newtonovy filosofie jsme byli schopni uvést si ji do kontextu s jedním z nejdůležitějších filosofů novověkého myšlení Davidem Humem a úspěšně tak naplnit náš druhý záměr.

LITERATURA

- 1) **ANSTEY**, Peter R., „Experimental versus Speculative Natural Philosophy“ in *The Science of Nature in the Seventeenth Century*, P. R. Ansey et J. A. Schuster (eds), Dordrecht: Springer, 2005, ISBN 978-1-4020-3703-0.
- 2) **ARISTOTELES**, *Druhé analytiky*, Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1962.
- 3) **COHEN**, I. Bernar, „Newton’s Concepts of Force and Mass, with Notes on the Laws of Motion“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0.
- 4) **COPERNICUS**, Nicolaus „Commentariolus“ in *Three Copernican Treatises*, ROSEN, Edward (trans. et ed.) New York: Octagon Books, 1971, ISBN 978–0486436050.
- 5) **DESCARTES**, René, *Principles of Philosophy*, MILLER, Valentine Rodger, MILLER, Reese P. (trans. et ed.), Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1982, ISBN 978–90-277–1754-2.
- 6) **DI LISCIA**, Daniel A., „Johannes Kepler“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Summer 2015 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2015 [cit. 7. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/kepler/>>.
- 7) **DEL SOLDATO**, Eva, „Natural Philosophy in the Renaissance“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Fall 2015 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2015 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/entries/natphil-ren/>>.
- 8) **GRANT**, Edward, *A History of Natural Philosophy*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007, ISBN 978-0-511-29450-1.
- 9) **HALL**, A. Rupert, *From Galileo to Newton 1630 – 1720*, New York: Harper & Row, Publishers, 1963, ISBN 978–0486242279.

- 10) **HAMOU**, Philippe, „Vision, Color, and Method in Newtons *Opticks*“ in *Newton and Empiricism*, BIENER, Zvi, SCHLIESSER, Eric (ed.), Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978–0–19–933709–5.
- 11) **HARPER**, William L., *Isaac Newton's Scientific Method: Turning Data into Evidence about Gravity and Cosmology*, Oxford: Oxford University Press, 2014, ISBN 978-0-19-870942-8.
- 12) **HARPER**, William L., “Newton’s Argument for Universal Gravitation” in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0.
- 13) **HENRY**, John, *The Scientific Revolution and the Origin of Modern Science*, Basingstoke: Palgrave, 2002, ISBN 0–333-96090–4.
- 14) **HUME**, David, *A Treatise of Human Nature*, London: Penguin Classics, 1985, ISBN 978-0-140-43244-2.
- 15) **HUME**, David, *History of England from the Invasion of Julius Caesar to the Revolution in 1688*, Indianapolis: Liberty Fund, 1983.
- 16) **HUME**, David, *Selected Essays*, COPLEY, Stephen, EDGAR, Andrew (ed.), Oxford: Oxford University Press, 1996, ISBN 0–19–283621–8.
- 17) **HUME**, David, *Zkoumání o lidském rozumu*, Praha: Svoboda, 1996, ISBN 80–205-0521–0.
- 18) **HUYGENS**, Christiaan, *Treatise on Light*, [online] Leyden, 1690, [cit. 22. 4. 2016]. Dostupné z <https://www.stmarys-ca.edu/sites/default/files/attachments/files/Treatise_on_Light.pdf>.
- 19) **CHALMER**, Alan, „Atomism from the 17th to the 20th Century“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Winter 2014 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2014 [cit. 10. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/atomism-modern/>>.
- 20) **JANIAK**, Andrew, *Newton as Philosopher*, Cambridge: Cambridge University Press, 2008, ISBN 978-0-521-17244-8.

- 21) **JANIAK**, Andrew, „Newton's Philosophy“ *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Summer 2014 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2014 [cit. 18. 4. 2016]. Dostupné z <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-philosophy/>>.
- 22) **KANT**, Immanuel, *Prolegomena ke každé příští metafyzice, jež se bude moci stát vědou*, Praha: Svoboda, 1992, ISBN 80–205-0310–2.
- 23) **LAUDAN**, Larry, *Science and Hypothesis*, Ontario: Springer, 1981, ISBN 978-94-015-7288-0.
- 24) **LERNER**. K. Lee, **LERNER**, Brenda Wilmoth, *Scientific Thought: In Context*, Gale: Cengage Learning, 2009, ISBN-13: 978–1-4144–0298-7.
- 25) **MORIN**, David, *Introductory Classical Mechanics with Problems and Solutions*, Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 9780521876223.
- 26) **NAYAK**, Prasun Kumar, *Mechanics: Newtonian, Classical, Relativistic; Theory, Problems, Applications*, New Dehli: Asian Books Pvt. Ltd., 2008, ISBN 978–81-8412–067-7.
- 27) **NEWTON**, Isaac, *A letter to the Royal Society presenting A new theory of light and Colours*, [online] BENNETT, Jonathan (ed.), 2010, [cit. 19. 4. 2016]. Dostupné z <<http://www.earlymoderntexts.com/assets/pdfs/newton1671.pdf>>.
- 28) **NEWTON**, Isaac, *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, London: Smith and Walford, 1704.
- 29) **NEWTON**, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, United States: Snowball Publishing, 2010, ISBN 978–1607962403.
- 30) **NEWTON**, Isaac, *Mathematical Principle of Natural Philosophy*, COHEN, I. Bernard, WHITMAN, Anne (trans. et ed.), London: University of California Press, 1999, ISBN 978-0-520-08816-0.
- 31) **SAPADIN**, Eugene, „A Note on Newton, Boyle, and Hume’s Experimental Method“ [online], in *Hume Studies* Volume XXIII, 1997, [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <<http://www.humestudies.org/>>.

- 32) SAPHIRO**, Alan E., „Newton’s Optics and Atomism“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0.
- 33) SCHLIESSER**, Eric, „Hume’s Attack on Newton’s Philosophy“ in *Enlightenment and Dissent* 25, SNOBELEN, S. (ed.), 2009.
- 34) SCHLIESSER**, Eric, „Hume’s Newtonianism and Anti-Newtonianism“, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, [online], Spring 2009 Edition, ZALTA, Edward N. (ed.), 2009 [cit. 29. 4. 2016]. Dostupné z <
<http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/hume-newton/> >.
- 35) SMITH**, George E., „The Methodology of the Principia“ in *The Cambridge Companion to Newton*, COHEN, I. Bernard, SMITH, George E. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2004, ISBN 0–511-03287–0.
- 36) TURNBULL**, H. W. (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*, Vol. 1 1661 - 1675, Cambridge: Cambridge University Press, 1959, ISBN 0–521-05815–5.
- 37) ZAVADIL**, Roman, *Pojetí kauzality ve filosofii Davida Huma a Immanuela Kanta*, bakalářská práce, Olomouc: Universita Palackého, Filosofická fakulta, 2014.