

# DEFINÍCIE A DEFINOVANIE V NEWTONOVÝCH *PRINCÍPOCH*: POKUS O METODOLOGICKÚ ANALÝZU<sup>1</sup>

Igor HANZEL

The paper analyzes Newton's eight definitions from his *Principia* from both the logico-semantic and epistemological perspectives. The paper first lists these definitions and then presents two views on the nature of definition as given in (Bielik – Zouhar – Gahér 2010) as well as in (Zouhar 2014). These views are then applied to those definitions. One result of this application is the conclusion that Transparent Intensional Logic's approach to definitions, once the latter contain magnitudes, cannot reconstruct the fact that the magnitude (or magnitudes) in the *definiens* is different from the magnitude in the *definiendum*. Another result is the recognition that Newton's eight definitions, even if they are of an a priori (analytical) nature, still yield an increase of knowledge about the world. This latter feature is manifested in Newton's computation of the mass of planets as well as in his reflection on the possibility of space flights.

**Key words:** Newton's definitions, intensions, objects, Transparent Intensional Logic, growth of knowledge, synthetic a priori

## 1. Úvod

Cieľom tejto štúdie je pokus o metodologickú analýzu definícií daných v Newtonových *Princípoch* (1687), opierajúc sa pritom o klasifikácie definícií ako boli predložené v štúdiu (Bielik – Gahér – Zouhar 2010) (ďalej ako BGZ), ako aj v štúdiu (Zouhar 2014).

Najprv uvedieme osem definícií, prostredníctvom ktorých Newton zavádza v *Princípoch* nové veličiny ako aj vzťahy medzi veličinami. Potom uvedieme klasifikácie definícií uvedené v štúdiu BGZ ako aj v štúdiu (Zouhar 2014). Na ich základe sa pokúsime o metodologickú analýzu

---

<sup>1</sup> Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0149-12. Ďakujeme L. Bielikovi, F. Gahérovi, J. Halasovi, M. Kostercovi, V. Markovi, I. Sedlárovi, M. Zouharovi, ako aj anonymnému oponentovi za cenné pripomienky k tejto štúdiu.

definícií v *Princípoch* a ukážeme niektoré ich špecifické charakteristiky. Nakoniec ukážeme dva dôsledky týchto definícií, overenie pravdivosti ktorých možno považovať za sprostredkované overenie syntetickej povahy týchto definícií.

## 2. Definície v Newtonových *Princípoch*

Newton na začiatku svojich *Princípov* v časti nazvanej *Definície* vyvinul výrazne sémantické úsilie s cieľom „vysvetliť v akom zmysle sa ďalej použijú menej známe slová“ (Newton 1687, 5). V tejto časti ako východiskové, nedefinované veličiny u neho vystupujú: *priestor* v zmysle *dráhy*, *čas*, *rýchlosť*, *zrýchlenie*, *hustota* a *objem*.<sup>2</sup> V ôsmich definíciách (1687, 1-3) potom definuje nasledujúce veličiny: *kvantita matérie*; *kvantita pohybu*; *inherentá sila*, *priložená sila*, *dostredivá sila* a *tri miery dostredivej sily*.<sup>3</sup>

**Def. I.** *Kvantita matérie je mierou matérie, ktorá vzniká spoločne z jej hustoty a objemu.*

Kvantita matérie sa tu definuje iným spôsobom ako za čias Newtona, totiž prostredníctvom súčinu kvantity veličiny nazvanej Newtonom „hustota“ a kvantity veličiny objemu.

**Def. II.** *Kvantita pohybu je mierou pohybu, ktorá vzniká spoločne z rýchlosti a kvantity matérie.*

---

<sup>2</sup> Časť *Definície* končí rozsiahlou poznámkou o čase a priestore, kde Newton uvažuje o absolútnom a relatívnom čase, ako aj o absolútnom a relatívnom priestore.

<sup>3</sup> V modernej fyzikálnej terminológii výrazu „matéria“ zodpovedá výraz „hmotnosť“, výrazu „pohyb“ výraz „hybnosť“ a výrazu „inherentná sila“ výraz „zotrvačnosť“. Pri interpretácii Newtonovej terminológie v kontexte terminológie fyziky 17. storočia vychádzame z (Cohen 1964), (Cohen 1999) a (Gabbey 1971), pri jej preklade vychádzame čiastočne z prekladov (Newton 1999) a (Ньютон 1989).

Kvantita veličiny pohybu sa tu definuje súčinom kvantity veličiny rýchlosti a kvantity veličiny matérie. Aj tu máme teda do činenia, v porovnaní s fyzikou za čias Newtona, s novou definíciou, keďže sa tu vychádza z termínu „kvantita matérie“, ktorý sa definuje v predchádzajúcej definícii.

**Def. III.** *Inherentná sila matérie je schopnosť klásť odpor, ktorou každé teleso, pokiaľ môže samo o sebe, zotrúva v stave pokoja alebo pohybu rovnomerne rovno.*<sup>4</sup>

Newton tu termínu „inherentná sila“, ktorý sa za jeho čias používal, priraduje nový význam, ktorý v komentári vyjadruje termínom „vis inertia“, t. j. sila zotrvačnosti a ktorej kvantitu kladie ako úmernú kvantite matérie definovanej v prvej definícii.

**Def. IV.** *Priložená sila je pôsobením vykonaným na telese, ktorým sa má zmeniť jeho stav pokoja alebo pohybu rovnomerne rovno.*

Termín „priložená sila“ (*vis impressa*) sa takisto používal vo fyzike 17. storočia; aj jemu však Newton priraduje nový význam, totiž, že má povahu pôsobenia na teleso, ktorým sa mení jeho pohybový stav, totiž stav pokoja alebo pohybu rovnomerne rovno.

**Def. V.** *Dostredivá sila je sila, ktorou sú telesá k nejakému bodu ako stredu zo všetkých strán priťahované, pobádané alebo majú tendenciu.*

V tejto definícii sa zavádza typ sily orientovanej do stredu, z ktorého sa šíria jej účinky; Newton ju označuje ním vymysleným termínom „vis centripeta“. V nasledujúcich troch definíciách Newton zavádza tri odlišné spôsoby kvantifikácie tohto typu sily. Ani jedna z nich sa

---

<sup>4</sup> Newton tu používa výraz „uniformiter in directum“ a nie výraz „uniformiter in linear recta“, teda „rovnomerne rovno“ a nie „rovnomerne priamočiario“.

dovtedy vo fyzike nepoužívala, keďže sa v nich uvažuje typ sily zavedený až Newtonom v piatej definícii.

**Def. VI.** *Absolútna kvantita dostredivej sily je miera tejto sily, ktorá je väčšia alebo menšia v závislosti od účinnosti príčiny šíriacej sa zo stredu do okolitých oblastí.*

**Def. VII.** *Zrýchľujúca kvantita dostredivej sily je mierou tejto sily, ktorá je úmerná rýchlosti, ktorú generuje v danom čase.*

**Def. VIII.** *Hybnostná kvantita dostredivej sily je mierou tejto sily, ktorá je úmerná pohybu, ktorý generuje v danom čase.*

### 3. Klasifikácia definícií v štúdiu BGZ

V štúdiu BGZ sa pristupuje k definíciám z hľadiska, podľa ktorého tieto vyjadrujú významový vzťah medzi jazykovým výrazom, ktorý označuje predmet definície, tzv. *definiendum*, a jazykovým výrazom, tzv. *definiens*, prostredníctvom ktorého sa definuje. Formálne sa štruktúra definície vyjadruje nasledujúcou schémou („Dfd“ je definiendum, „Dfs“ je definiens a „=df“ je definičná rovnosť).

$$Dfd =_{df} Dfs \quad (1)$$

K významovému aspektu definícií štúdia BGZ pristupuje z pohľadu sémantiky danej v Transparentnej Intenzionálnej Logiky (TIL), podľa ktorej výraz *vyjadruje pojem* (konštrukciu ako štrukturovaný význam), ktorý *identifikuje objekt* (intenziu) ako denotát, ktorý je *denotovaný* týmto výrazom, pričom *referentom* výrazu sú *extenzie*, t. j. aktuálne hodnoty intenzie

v aktuálnom svete a okamihu času.<sup>5</sup> Na základe tejto sémantiky sa v BGZ formuluje, ak sa ohraničíme na empirické výrazy, nasledujúcich päť princípov:

**Princíp 1.** Väčšina výrazov (prirodzeného) jazyka vyjadruje objektívne abstraktné pojmy.

**Princíp 2.** Niektoré pojmy – konkrétne tie, ktoré sú vyjadrené jazykovými výrazmi – sú významami daných výrazov.

**Princíp 3.** Významy výrazov môžu byť jednoduché (jednokrokové) alebo štruktúrované (viac krokové) procedúry, ktorými identifikujeme objekty.

**Princíp 4.** Významy empirických výrazov identifikujú ako objekty tzv. intenzie.

**Princíp 5.** Aktuálnu hodnotu (rozsah) intenzii zisťujeme konfrontáciou s empirickým stavom vecí.

Pod intenziou empirických výrazov sa v BGK rozumejú napr. vlastnosti, relácie, vlastnosti vlastností, propozície atď., a ktoré sa chápu ako funkcie, ktoré v závislosti od možného sveta a okamihu času nadobúdajú určité hodnoty, napríklad množiny indivíduí, množiny usporiadaných  $n$ -tíc, pravdivostné hodnoty atď. Na základe týchto princípov sa v BGZ rozlišujú tri typy definícií.

**Typ 1.** *Kodifikačný typ definície.* Sem spadajú tie definície, ktorými sa do daného jazyka zavádza úplne nový semivýraz, t. j. zreťazenie symbolov, ktoré v ňom predtým neexistovalo, Definícia potom umožňuje priradiť semivýrazu, keďže predtým žiadny význam nemal, po prvý raz nejaký význam.

---

<sup>5</sup> O TIL pozri napríklad (Duží – Materna 2012).

**Typ 2.** *Objektuálne analytický typ definície.* Pod tento spadajú definície, kde výraz v definiense a výraz v definiende vyjadrujú vzájomne odlišné pojmy (konštrukcie) a kde tieto pojmy sú pojmami jedného a toho istého objektu (vedú na jednu a tú istú intenziu).

Napríklad ak v slovníku daného jazyka je daný termín „voda“ chápaný ako tekutina bez chuti a farby, ktorá sa nachádza v riekach, jazerách, moriach atď., a ak sa potom vďaka chémii chápe ako pozostávajúca z molekúl obsahujúcich dva atómy vodíka a jeden atóm kyslíka, potom v definícii „voda =<sub>df</sub> H<sub>2</sub>O“ („=“ je symbolom definičnej rovnosti) výraz „H<sub>2</sub>O“ v definiense ako aj výraz „voda“ v definiende vedú (vyčleňujú) ten istý objekt i keď vyjadrujú iný pojem (konštrukciu).

**Typ 3.** *Významovo analytický typ definície.* Sem spadajú definície, v ktorých sa semivýrazu v definiende priraduje význam pomocou významu priradeného semivýrazu daného v definiense. Napríklad v chémii je exaktné vymedzenie termínu „voda“ možné len prostredníctvom jazyka molekulárnej chémie, napríklad definíciou vo forme „Voda =<sub>df</sub> chemická látka, ktorej molekuly pozostávajú z dvoch atómov vodíka a jedného atómu kyslíka“.

Rozlíšenie uvedených troch typov definícií sa robí, ako je vidno z uvedených príkladov, vždy na pozadí určitého systému výrazov a im priradených významov alebo, stručne povedané, určitého konceptuálneho systému. Tak napríklad v konceptuálnom systéme teoretickej chémie, ktorá sa zakladá na znalosti atómovej štruktúry látok, bude mať výraz „voda“ a výraz „H<sub>2</sub>O“ ten istý význam, zatiaľ čo v konceptuálnom systéme, v ktorom bude existovať okrem teoretickej chémie aj každodenné chápanie termínu „voda“, budú mať oba výrazy odlišný význam, každý z nich identifikujúci jeden a ten istý objekt (intenziu).

Napriek všetkým uvedeným rozdielom medzi týmito tromi typmi definícií vykazujú tieto jednu spoločnú charakteristiku. V každej definícii spadajúcej pod jeden z týchto troch typov je *definiens a definiendum významovo ekvivalentný a to bez ohľadu na to, či sú alebo nie sú významovo totožné. Pojem vyjadrený definiensom a pojem vyjadrený definiendom vždy identifikujú ten istý objekt (intenziu)*. Pritom treba na pamäti, že v prípade definície spadajúcej pod významovo analytický typ máme dočinenia s jedným významom (v hore uvedenom zmysle).

Tri typy definícií rekonštruovaných v štúdií BGZ vyjadrujeme nasledujúcou tabuľkou. Prvý riadok udáva, či sa konštrukciou vyjadrenou definiensom zavádza pojem vyjadrený definiendom, alebo definiens vyjadruje konštrukciu, ktorá je odlišná od konštrukcie vyjadrenej definiendom; druhý riadok udáva či intenzia denotovaná definiensom, je alebo nie je totožná s intenziou denotovanou definiendom.

<b>Typ definície</b>	<b>Kodifikačná</b>	<b>Významová</b>	<b>Objektuálna</b>
<b>Definiens &amp; definiendum</b>			
<b>pojem/konštrukcia</b>	totožné	totožné	odlišné
<b>intenzie</b>	totožné	totožné	totožné

Tabuľka 1 Klasifikácia definícií v štúdií (Bielik – Gahér – Zouhar 2010)

#### 4. Zouharova klasifikácia definícií

V štúdií (Zouhar 2014) sa pod termínom „definícia“ rozumie určitý druh viet, ktorých logickú formu je možné vyjadriť nasledovne:<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Naša notácia sa tu odlišuje od notácie danej v (Zouhar 2014), kde sa táto forma vyjadruje ako „ $X =_{df} Y$ “. Dôvod pre túto zmenu uvedieme neskôr.

$$„Y =_{df} X“ \quad (2),$$

kde Y je definovaná entita (definiendum), X je definujúca entita (definiens) a „=df“ je znak pre definičnú rovnosť.

Klasifikácia definícií, ktorá sa tu ponúka sa zakladá na dvoch kritériách: podľa povahy definienda a podľa kritéria tzv. ilokučnej sily. Na základe prvého kritéria je možné rozlíšiť definície, ktorých definiendum je buď *výraz*, alebo *pojmem*, alebo *objekt*. Pod výrazom sa rozumie semivýraz v zmysle entity s určitými grafickými, fonetickými (prípadne inými) vlastnosťami, ktorý ale nie je nutne spojený s určitým významom. Pod pojmom sa chápe abstraktný identifikačný prostriedok schopný vyčleniť entitu akéhokoľvek druhu, a pod objektom sa chápe funkcia, relácia, atď. Na základe tohto rozlíšenia je možné (2) zmeniť nasledovne

$$„Výraz Y =_{df} X“$$

$$„Pojem Y =_{df} X“ \quad (3)$$

$$„Objekt Y =_{df} X“$$

Druhé kritérium, tzv. kritérium ilokučnej sily možno pochopiť, ak sa zohľadní skutočnosť, že určitý výraz, alebo pojem alebo objekt, ako je daný v definícii je vždy súčasťou nejakého systému výrazov (jazyka J), alebo určitého systému pojmov (konceptuálnej sústavy K), alebo systému objektov (ontológie O). Zápisy dané v (3) potom môžeme upraviť nasledovne:

$$„Vzhľadom na jazyk J: Výraz Y =_{df} X“$$

$$„Vzhľadom na konceptuálny systém K: Pojem Y =_{df} X“ \quad (4)$$

$$„Vzhľadom na ontológiu O: Objekt Y =_{df} X“$$



Vzhľadom na jazyk J, alebo konceptuálnu sústavu K, alebo ontológiu O je potom možné rozlíšiť dve skupiny definícií. V prvej sú dané tie, u ktorých tak definiens ako aj definiendum je súčasťou daného jazyka J, alebo daného konceptuálneho systému K, alebo danej ontológie O; v tomto prípade hovoríme o *deskriptívnych definíciách*. V druhom prípade je definiens X súčasťou jazyka J, alebo konceptuálneho systému K, alebo ontológie O, pozostávajúci z výrazov alebo pojmov alebo objektov A, B, ..., V, W, X. Zavedením výrazu, alebo pojmu, alebo objektu Y v definiende, sa jazyk J mení na J\*, alebo konceptuálny systém K na K\*, alebo ontológia O na O\*.<sup>7</sup> V tomto prípade hovoríme o *preskriptívnych definíciách*.

Deskriptívne definície reprezentujú stav vecí ako je daný v J, alebo K, alebo O; je preto možné uvažovať o ich pravdivostnej hodnote. Na rozdiel od toho *preskriptívne* definície predpisujú, ako má príslušný systém J\*, alebo K\*, alebo O\* vyzeráť; nie je preto možné uvažovať o ich pravdivostnej hodnote. Z tohto dôvodu je aj vhodné symbol „ $\_ =_{df} \dots$ “ pre zápis definície, ktoré majú preskriptívnu povahu zmeniť na „Nech  $\_ =_{df} \dots$ “. Klasifikáciu definícií ako je daná v štúdiu (Zouhar 2105) potom vyjadríme nasledujúcou tabuľkou.

<b>Kritérium ilokučnej sily</b> <b>Kritérium predmetnosti</b>	<i>deskriptívne definície</i>	<i>preskriptívne definície</i>
<i>výrazové definície</i>	„Vzhľadom na jazyk J: Výraz $Y =_{df} X$ “	„Nech sa jazyk J modifikuje tak, že vzhľadom na jazyk J*: Výraz $Y =_{df} X$ “
<i>pojmové definície</i>	„Vzhľadom na konceptuálny systém K: Pojem $Y =_{df} X$ “	„Nech sa konceptuálny systém K modifikuje tak, že vzhľadom na konceptuálny systém K*: Pojem $Y =_{df} X$ “
<i>objektové definície</i>	„Vzhľadom na ontológiu O: Objekt $Y =_{df} X$ “	„Nech sa ontológia O modifikuje tak, že vzhľadom na ontológiu O*: Objekt $Y =_{df} X$ “

Tabuľka 2 Klasifikácia definícií v štúdiu (Zouhar 2014)

<sup>7</sup> Z tohto dôvodu uprednostňujeme zápis „ $Y =_{df} X$ “ pred zápisom „ $X =_{df} Y$ “ daným v (Zouhar 2014).

## 5. Metodologická analýza definícií v Newtonových *Princípoch*

Pokúsme sa teraz na základe uvedených klasifikácií analyzovať osem definícií z Newtonových *Princípov* pri zohľadnení našich stručných komentárov k nim.

Z pohľadu klasifikácie definícií v štúdiu BGZ by prvé štyri Newtonove definície mali spadať pod *významový typ* definície, keďže sa v nich semivýrazom v definiende priraduje význam prostredníctvom príslušného definiensu. Naproti tomu posledné štyri Newtonove definície by z pohľadu štúdie BGZ mali spadať pod *kodifikačný typ*, keďže sa nimi do jazyka fyziky zaviedli úplne nové semivýrazy: „dostredivá sila“, „absolútna kvantita dostredivej sily“ „zrýchľujúca kvantita dostredivej sily“ a „hybnostná kvantita dostredivej sily“, ktoré v konceptuálnom systéme fyziky pred vydaním *Princípov* neexistovali. Pokúsime sa však ukázať, že v prípade uvedených ôsmich Newtonových definícií sa jedná o definície, ktoré nespádajú ani pod Typ 1 a ani pod Typ 2 uvedenými v štúdiu BGZ, keďže sa pri charakterizácii oboch týchto typov v štúdiu BGZ predpokladá, že v nich máme vždy dočinenia s jednou intenziou (objektom). Tento predpoklad ale podľa nášho názoru nie je splnený ani jednou z týchto definícií. Treba tu mať ale na pamäti, že *typológia definícií v štúdiu BGZ nebola vytvorená s úmyslom analyzovať definície, v ktorých vystupujú veličiny špeciálnych vied.*

Z pohľadu intenzii (objektov) je podľa nášho názoru možné Newtonove definície rozdeliť do dvoch skupín. Do *prvej skupiny* patria prvé dve, ako aj posledné dve definície. Pre prvé dve definície platí, že na základe kvantít veličín daných v definiense sa použitím operácie súčinu určuje kvantita, ktorá sa priraduje veličine zavedenej v definiende a pre posledné dve definície

platí, že použitím vzťahu úmery sa kvantita veličiny danej v definiende definuje prostredníctvom kvantity veličiny danej v definiense.

V prvej definícii sa kvantita získaná súčinom kvantity veličiny hustoty a kvantity veličiny objemu priraduje veličine nazvanej Newtonom „matéria“, v modernej terminológii veličine nazvanej „hmotnosť“. To znamená, že zatiaľ čo v definiense vystupujú dve veličiny (objekty), v definiende je daná tretia veličina odlišná od prvých dvoch, t. j. iný objekt. Túto odlišnosť nie je možné vyjadriť aparátom TIL, keďže podľa tejto sa v definičnej ekvivalencii prostredníctvom odlišných konštrukcií konštruuje v definiense a definiende ten istý objekt.

Podobná situácia je daná aj v druhej definícii, kde sa kvantita získaná súčinom kvantity veličiny rýchlosti a kvantity veličiny matérie priraduje veličine nazvanej Newtonom „pohyb“, v modernej terminológii veličine nazvanej „hybnosť“. Nakoniec v posledných dvoch definíciách sa kvantitám získaným v definiense – aplikáciou operácie nazvanou „generovaná v danom čase“ na veličiny dráhy a pohybu (hybnosti) spolu so zavedením vzťahu úmery – priradujú kvantity veličiny dostredivej sily. Aj v týchto dvoch definíciách sa ich definientia a definienda odlišujú ich príslušnými veličinami, t. j. svojimi objektami.

Proti tomuto pohľadu by sa mohla zdanlivo formulovať námietka, že prvé dve definície sú vlastne tvrdeniami o identite, totiž o identite *kvantít*.<sup>8</sup> Táto námietka však nezohľadňuje skutočnosť, že kvantita získaná operáciou súčinu kvantít veličín daných v definiense sa považuje v definiende za kvantitatívne určenie veličiny, ktorá je odlišná od veličín daných v definiense. Zavedením oboch definícií tak došlo k rastu poznania o svete. Tento nárast bol dosiahnutý nie na základe praktickej intervencie do sveta, ale číro apriórnyimi (analytickými) prostriedkami,

---

<sup>8</sup> To isté by platilo aj pre posledné dve definície, ak by sme kvantitu v definiense vynásobili nejakou konštantou  $k$ ; v tomto prípade by sa kvantita v definiende rovnala kvantite v definiense.

konkrétne prostredníctvom definovania. K tomuto rastu sa ešte raz vrátíme z iného pohľadu v siedmej časti našej štúdie.

Do *druhej skupiny* zaraďujeme tretiu, štvrtú, piatu a šiestu Newtonovu definíciu. Čo je pre ne spoločné je to, že v nich samotných sa veličina daná v definiende nekvantifikuje pomocou kvantít veličín daných v definiense, ale sa dáva do súvisu *príčina a jej účinok* a to tak, že prvá z nich je uvedená v definiende a druhá v definiense. Pritom však existujú nasledujúce rozdiely medzi týmito definíciami.

V tretej definícii sa veličina sily, ktorá je inherentná matérii, t. j. nejakému telesu definuje prostredníctvom jej účinku na toto teleso, totiž, že toto zotrúva v určitom pohybovom stave a tento sa v definiense určuje ako stav pokoja alebo rovnomerne priameho pohybu, t. j., že rýchlosť telesa je konštantná. V komentári k tejto definícii Newton už kvantifikuje inherentnú silu a to prostredníctvom veličiny kvantity matérie a vzťahom medzi ich kvantitami, totiž vzťahom priamej úmery.

Podobne v štvrtej definícii sa veličina sily priloženej k nejakému telesu definuje prostredníctvom jej pôsobenia, t. j. jej účinkom na toto teleso, totiž zmenou jeho rýchlosti. Na rozdiel od týchto dvoch definícií, v šiestej definícii sa kvantita dostredivej sily ako vyjadrená v definiende definuje účinnosťou jej pôsobenia, t. j. účinkami, ktoré vyvoláva v priestore okolo stredu, z ktorého sa tieto účinky šíria, ale bez toho, aby sa samotné tieto účinky v definiense kvantifikovali.

Na Newtonove definície je však možné pozrieť sa aj z iného pohľadu, ktorý umožňuje nájsť spoločnú charakteristiku pre všetky tieto definície s výnimkou prvých dvoch. Máme tu na mysli,

že sa v nich postupuje od poznania účinku, opísaného v definiense, k poznaniu jeho príčiny opísanej v definiende.

Aké závery je možné urobiť z našej analýzy ôsmich Newtonových definícií v *Princípoch*? Po prvé pre všetky tieto definície, aspoň podľa nášho názoru, platí, že objekt, prípadne objekty dané v definiense a objekt daný v definiende sú odlišné. Z tohto pohľadu definovanie veličín ako sa uskutočňuje na začiatku *Princípov* prekračuje klasifikačný rámec ako je daný v štúdiu BGZ, ako aj pohľad TIL na povahu definícií, pokiaľ v nich vystupujú veličiny.

Po druhé, klasifikácia definícií, ako je daná v štúdiu (Zouhar 2014) dokáže zachytiť posuny v objektivej sfére, ku ktorým dochádza v Newtonových ôsmich definíciách. Tieto posuny sú vyjadrené v poslednej bunke vpravo dole v Tabuľke 2.

To, že klasifikácia definícií daná v štúdiu (Zouhar 2014) dokáže explikovať povahu definícií, v ktorých vystupujú veličiny vidno aj na jednom z jej dôsledkov. Táto klasifikácia totiž dokáže zachytiť hore uvedenú skutočnosť, že prvé dve Newtonove definície nie sú tvrdeniami o identite. V štúdiu (Zouhar 2015) sa totiž jasne rozlišuje medzi *definičnou rovnosťou* a *identitou* a to prostredníctvom rozlíšenia medzi podmienkou pravdivosti viet o identite, ktoré majú formu „ $Y = X$ “ na jednej strane a na strane druhej podmienkami (možnej) pravdivosti definícií, t. j. viet s formou „ $Y =_{df} X$ “. Prvým z nich je možné v hore uvedenom zmysle priradiť pravdivostnú hodnotu a tieto sú pravdivé len vtedy, keď  $X$  a  $Y$  sú tými istými objektmi. Vetám formy „ $Y =_{df} X$ “, ktoré majú povahu deskriptívnych definícií je síce tiež možné priradiť pravdivostnú hodnotu, ale zároveň platí, že tieto sú pravdivé aj keď  $X$  a  $Y$  sú odlišné; v prípade viet formy „ $Y =_{df} X$ “, ktoré majú povahu preskriptívnych definícií, týmto v hore uvedenom zmysle dokonca ani nie je možné priradiť nejakú pravdivostnú hodnotu.

## 6. Je Newtona definícia hmotnosti v *Princípoch* kruhová?

Newton zavádza v prvej definícii kvantitu matérie, t. j. veličiny hmotnosti spolu s jej kvantitou a to prostredníctvom súčinu kvantity veličiny hustoty a kvantity veličiny objemu. Ako problematická z pohľadu časti *Definície* na začiatku *Princípov* sa ukazuje veličina hustoty, keďže Newton v tejto časti a ani v rozsiahlom komentári, ktorý nasleduje hneď po definíciách, túto nedefinuje. Na túto skutočnosť upozornil Ernst Mach nasledovne (1901, 202, 256):

Ohľadne pojmu „hmotnosť“ najprv poznamenajme, že Newtonom daná formulácia, ktorá označuje kvantitu matérie ako určenú súčinom hustoty a objemu, je nešťastná. Keďže hustotu môžeme definovať len ako hmotnosť jednotky objemu je kruh zjavný ... Definícia 1 je ... pseudodefiníciou. Pojem hmotnosti sa nestane jasnejším tým, že sa hmotnosť vyjadrí ako súčin objemu a hustoty, keďže samotná hustota predstavuje len hmotnosť jednotky objemu.

Podobne I. B. Cohen vyhlasuje, že „nikde v *Princípoch* Newton v skutočnosti nezačína určením hustoty a objemu telesa a potom vypočíta hmotnosť. ... Obzvlášť treba poznamenať, že v definícii na začiatku *Princípov* Newton nedefinuje hustotu; a táto nie je ani diskutovaná v poučení, ktoré nasleduje po definíciách“ (1999, 88, 90).

Newton podľa Cohena „používa kombináciu dynamických a gravitačných úvah, aby určil hmotnosť, ktorá potom vedie k hustote“ (1999, 88). Cohen tu má na mysli Newtonov komentár k tejto definícii, kde vyhlasuje ohľadne kvantity matérie nasledovné: „Túto kvantitu budeme rozumieť v tom, čo nasleduje pod názvom ‚teleso‘ alebo ‚hmotnosť‘. Je možné určiť ju z váhy telesa, keďže som prostredníctvom veľmi presných experimentov s kyvadlami zistil, že je úmerná váhe, ako bude neskôr ukázané“ (1687, 1).

Newton tu odkazuje na komentár k Propozícii VI v Knihe 3, ktorý ale vychádza z fyziky pre pohyb kyvadla ako je daná v Propozícii XXIV a jej štyroch dôsledkov v druhej knihe *Princípov*.

Tieto znejú nasledovne (1687, 303-305):

**Prop. XXIV** *Kvantita matérie v kyvadlách, ktorých stredy oscilácií sú rovnako vzdialené od stredu zavesenia, sú v pomere zloženom z váh a štvorcov časov ich oscilácií vo vákuu.*

*Dôsledok 1.* A teda, ak časy sú rovnaké, potom kvantita matérie v telesách budú ako ich váhy.

*Dôsledok 5.* A všeobecne, kvantita matérie kyvadla je priamo úmerná váhe a štvorcu času a nepriamo úmerná dĺžke kyvadla.

*Dôsledok 6.* Ale v nerezistentnom médiu je takisto kvantita matérie kyvadla úmerná relatívnej váhe a štvorcu času a nepriamo úmerná dĺžke kyvadla. Relatívna váha je totiž hybnostnou silou telesa v akomkoľvek prostredí ... a teda predstavuje to isté ako absolútna váha vo vákuu.

*Dôsledok 7.* A teda je zrejмый spôsob ako navzájom porovnávať telesá vzhľadom na ich kvantitu matérie, ako aj porovnávať váhu jedného a toho istého telesa v rôznych miestach, aby sa zistila zmena jeho gravitácie. A vykonaním experimentov s čo najväčšou presnosťou som vždy zistil, že kvantita matérie v jednotlivých telesách je úmerná váhe.

Experimenty uvedené v Dôsledku 7 sú práve tie, na ktoré Newton odkazuje v Definícii 1 a ktoré sú opísané v komentári k Propozícii VI v Knihe 3 nasledovne (1687, 408):

Zhotovil som dva drevené boxy (*pixides*), okrúhle a rovnaké. Jeden z nich som naplnil drevom a v strede oscilácií druhého som umiestnil zlato tej istej váhy ... Boxy, zavesené na rovnakých špagátoch dĺžky jedenástich stôp, tvorili dvojicu kyvadiel rovnakých čo do váhy, formy a odporu vzduchu. Potom, keď boli umiestnené tesne vedľa seba [a rozkmitané], pokračovali v kyvoch tam a späť dlhý čas s rovnakými osciláciami.

Tieto experimenty Newton opakoval s rôznymi látkami, napríklad striebro, olovo, sklo atď. a tieto viedli vždy k tým istým výsledkom.

Aká je teda povaha Newtonovho zavedenia veličiny hmotnosti ako je dané v Definícii 1? Newton, potom ako formuloval túto definíciu, odkazuje v komentári k nej na experimenty, ktoré majú svoje konceptuálne východisko v Propozícii XXIV a v jej dôsledkoch. Bližší pohľad na dôkaz tejto propozície ale ukazuje, že je založený na znalosti *veličiny hmotnosti* a *veličiny váhy pochopenej ako hybnostná sila*. Dôkaz je nasledovný (1687, 303-304):

[1.] Keďže rýchlosť, ktorú daná sila môže generovať v danom čase v danej matérii je priamo úmerná sile a času a nepriamo úmerná matérii. O čo väčšia je sila alebo čas, a čo menšia je matéria, o to väčšia je rýchlosť, ktorá sa bude generovať. Toto je zjavné z druhého zákona.<sup>9</sup>

[2.] Ak sú kyvadlá rovnakej dĺžky, potom hybnostné sily rovnako vzdialené od kolmice sú ako váhy; a teda ak dve oscilujúce telesá opisujú rovnaké oblúky a ak tieto oblúky rozdelíme na rovnaké časti, potom, keďže časy, v ktorých telesá opíšu jednotlivé zodpovedajúce si časti oblúkov, sú navzájom priamo úmerné hybnostným silám a celým časom oscilácií a nepriamo úmerné kvantitám matérie. A teda kvantity matérie sú priamo úmerné silám a časom oscilácií a nepriamo úmerné rýchlostiam.

[3.] Rýchlosti sú ale nepriamo úmerné časom a teda časy sú priamo úmerné a rýchlosti nepriamo úmerné štvorcom časov, a preto kvantity matérie sú ako hybnostné sily a štvorce časov, t. j., ako váhy a štvorce časov. Q.E.D.

To, že máme skutočne do činenia s kruhovým dôkazom zistíme, aj keď si ozrejníme pôvod tu daného chápania váhy ako hybnostnej sily. Svoj pôvod má v komentári k Definícii 8, kde sa váha charakterizuje ako príklad hybnostnej sily. V tejto definícii sa chápe ako miera vypočítaná na základe časovej zmeny veličiny hybnosti. A odkiaľ pochádza chápanie veličiny hybnosti? Je dané v Definícii 2, kde sa definuje ako súčin veličín hmotnosti a rýchlosti a kde prvá z nich je zavedená v Definícii 1.

Celý argument prostredníctvom ktorého Newton zdôvodňuje svoje zavedenie veličiny hmotnosti možno vyjadriť nasledujúcou schémou.

---

<sup>9</sup> Druhý zákon znie nasledovne: „Zmena hybnosti je úmerná priloženej hybnostnej sile a prebieha v smere priamky, v ktorej je táto sila priložená“ (1687, 12).



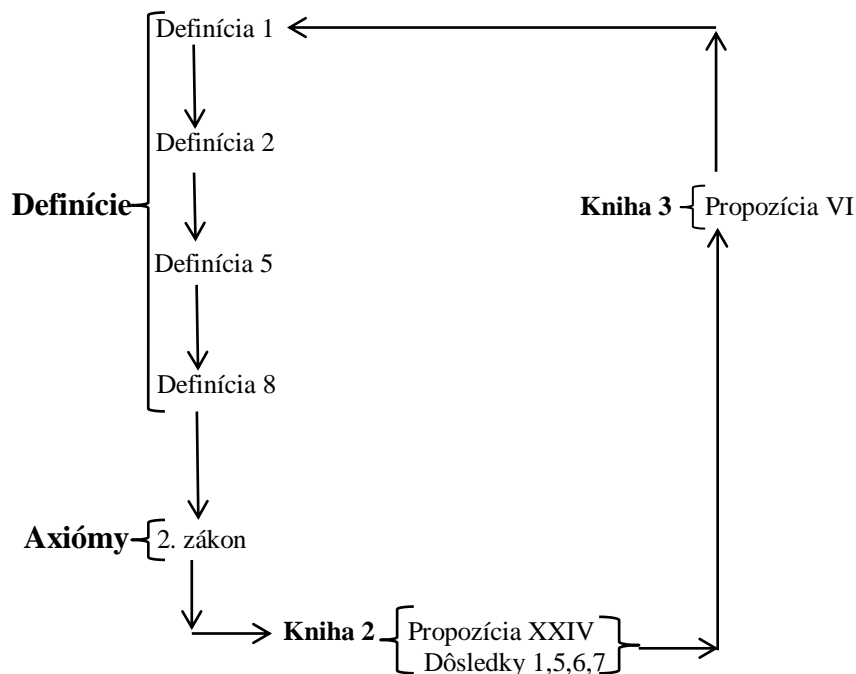


Schéma 1 Kruhovú povahu Newtonovho zavedenia veličiny hmotnosti v *Princípoch*

Z uvedenej schémy je zjavné, že zavedenie veličiny hmotnosti v Definícii 1 v zmysle komentára k nej, je čo do svojej povahy *argumento in circulo*.

Tým sa potvrdzuje Machova charakterizácia Definície 1 ako kruhovej, avšak táto kruhovosť nesúvisí s veličinou hustoty a neohraničuje sa na samotnú túto definíciu, ale zahrňuje aj Knihu 2 a Knihu 3 *Princípov*. Dôvodom tohto je, ako správne poznamenal Cohen, že Newton sa pokúšal zaviesť veličinu hmotnosti na základe úvah o dynamike a gravitácii telies. Ako sme však ukázali, tieto úvahy predpokladajú už zavedenie veličiny hmotnosti.

## 7. Sú Newtonove definície analytickými definíciami?

V piatej časti našej štúdie sme na základe klasifikácie Newtonových definícií ako objektovo-preskriptívnych definícií tvrdili, že sa v nich prechodom od definiensa k definiendu rozširuje

poznanie o svete. Pokúsme sa teraz toto rozšírenie bližšie charakterizovať; touto charakterizáciou spájame logicko-sémantickú problematiku s epistemologickou problematikou.

V Newtonových definíciách, prípadne v komentároch k nim, sa používa matematická operácia násobenia (v prvej a druhej definícii) ako aj matematický vzťah úmery (v komentári k tretej a piatej definícii, v šiestej, siedmej a ôsmej definícii) a tieto sa aplikujú na veličiny, ktoré boli známe vo fyzike už pred publikáciou *Princípov*. Použitie týchto operácií a vzťahov tak ukazuje, že postupné odvodzovanie veličín v *Definíciách* má *apriórnu (analytickú) povahu a nie aposteriórnu povahu v zmysle praktickej intervencie do sveta fyzikálnych telies*.

Apriórna povaha odvodzovania v *Definíciách* je badateľná aj na tretej a štvrtej definícii. V prvej z nich Newton charakterizuje stav telesa, ktorého rýchlosť sa nemení v čase ako stav, ktorý *nie je zapríčinený* pôsobením sily na toto teleso zvonka, zatiaľ čo v druhej z nich považuje zmenu rýchlosti telesa v čase za *zapríčinenu* pôsobením sily na toto teleso zvonka; túto silu označuje výrazom „priložená sila“. Takéto definičné rozlíšenie medzi nezapríčením a zapríčením stavom má výrazne *konvenčnú* povahu. Na túto konvenčnú povahu poukázal B. Ellis v štúdiách (1963; 1965; 1976), kde navrhol alternatívnu konvenciu, podľa ktorej sa za zapríčinený stav telesa považuje nie stav, v ktorom sa mení jeho rýchlosť v čase, ale stav, v ktorom sa mení jeho zrýchlenie v čase.

Z tohto by bolo možné zdanlivo urobiť záver, že uvedené definície umožňujú urobiť logický uzáver informácií daných v podobe veličín tvoriacich súbor poznatkov daných vo fyzike pred týmto publikovaním. Z týchto veličín aplikáciou uvedenej operácie a uvedeného vzťahu by teda zdanlivo malo byť možné odvodiť veličiny, ktoré boli *implicitne dané v pôvodnom súbore poznatkov fyziky danej doby*. Tak napríklad v systéme poznatkov Galileiho, keďže používal

veličinu zrýchlenia a bol mu známy aj vzťah úmery, by mala byť implicitne daná zrýchľujúca kvantita veličiny dostredivej sily i keď túto aktuálne definoval až Newton v siedmej definícii ako úmernú kvantite veličiny zrýchlenia.

Ak by sme prijali toto stanovisko, potom by malo platiť, že z pohľadu fyziky, ako bola daná v sedemnástom storočí pred publikovaním *Princípov*, majú prechody od definiensu k definiendu v každej z ôsmich Newtonových definícii povahu krokov, vykonaním ktorých by sa nešlo za implicitný obsah poznania daného vo fyzike pred vydaním *Princípov*. To by potom ale znamenalo, že *veličiny odvodené prostredníctvom týchto definícii v zmysle apriórnych (analytických) krokov nehovoria o svete viac, ako tie východzie veličiny ktoré už boli známe vo fyzike pred vydaním Princípov a na ktoré boli tieto kroky pôvodne aplikované. Nehovorí nám teda napríklad veličina hmotnosti v definiense prvej definície niečo viac o svete, ako veličiny objemu a hustoty dané v definiense tejto definície?*

Pri hľadaní odpovede na túto otázku je vhodné sa najprv obrátiť na Hemplov pohľad na veličinu špecifickej váhy  $sw$  ako je daný v štúdiu (Hempel 1958). Táto veličina sa vo fyzike definuje ako podiel veličiny váhy  $w$  a veličiny objemu  $V$ , t. j.  $sw =_{df} w/V$ . Keďže podľa Hempla výraz „ $sw$ “ nereferuje, na rozdiel od výrazov „ $w$ “ a „ $V$ “, na niečo pozorovateľné, nehovorí nič o svete a je možné ho eliminovať tým, že na všetkých miestach jeho výskytu ho nahradíme výrazom „ $w/V$ “.

Ak sa pozrieme na toto stanovisko z pohľadu toho, ako sa veličina  $sw$  definuje, totiž prostredníctvom *operácie podielu* aplikovanej na veličiny  $w$  a  $V$ , zistíme, že skutočným dôvodom pre uskutočnenie uvedenej eliminácie je presvedčenie, že aplikáciou apriórnej

(analytickej) operácie na uvedené dve veličiny nedochádza k rastu poznania o svete za to, ktoré je už dané prostredníctvom týchto dvoch veličín.

Podľa nášho názoru však použitie operácie súčinu a vzťahu úmery v časti *Definície* v *Princípoch* vedie k odvodeniu veličín, ktoré hovoria o svete viac ako tie, na ktoré sa tieto operácie pôvodne aplikovali. Z tohto pohľadu má metóda definovania, ako je daná v tejto časti, *syntetickú* povahu. Ak súčasne zohľadníme aj jej apriórnu (analytickú) povahu, potom môžeme povedať, že má *apriórne-syntetickú* povahu. A keďže táto metóda má apriórnu povahu, potom jej syntetickú povahu, existenciu prírastku („surplusu“) poznania v porovnaní s minulosťou nemožno posudzovať prostredníctvom nárastu počtu pozorovateľných entít, ale iným spôsobom, totiž overením pravdivosti dôsledkov Newtonových definícií.

V procese výstavby *Princípov* uskutočneného prostredníctvom matematických operácií a vzťahov si Newton v ôsmej propozícii Knihy 3 kladie za cieľ vypočítať hmotnosti Jupitera, Saturnu a Zeme vzhľadom na hmotnosť Slnka a to použitím veličín odvodených už predtým v Knihe 1 spolu s astronomickými údajmi o satelitoch obiehajúcich okolo týchto planét.<sup>10</sup> Na tomto základe Newton uskutočnil výpočet, pomocou ktorého potom formuloval ako *predikciu* rad relatívnych hmotností týchto planét vzhľadom na hmotnosť Slnka, ktorú položil rovnú 1.

Schopnosť vôbec formulovať takúto predikciu prostredníctvom výpočtov, v ktorých vystupujú veličiny odvodené v *Princípoch*, tak poukazuje na nárast poznania v porovnaní s poznaním daným v fyzike pred jej vydaním, a kde východiskom tohto nárastu je postupné odvodzovanie veličín a ich vzťahov v časti *Definície*, bez ktorého by nebolo možné túto predikciu vôbec odvodiť.

---

<sup>10</sup> Pozri o tom (Cohen 1998); podrobný metodologický rozbor tejto formy merania pozri v (Hanzel 2010, 175-179).

Vzniká ale otázka, ako možno overiť uvedenú predikciu. A práve tu sa ukazuje ešte výraznejšie syntetická povaha odvodení, ktorými sa budujú *Princípy*. Newton totiž ku koncu Knihy 1 (Propozícia 60) odvodil nasledujúcu úmeru („ $\propto$ “ je znak priamej úmery):

$$T^2\left(1 + \frac{P}{S}\right) \propto r^3$$

Táto udáva vzťah medzi hmotnosťou  $P$  nejakého telesa, periódou  $T$  jeho obehu po kruhovej dráhe okolo nejakého telesa, hmotnosťou  $S$  tohto telesa a polomerom  $r$  tejto dráhy. Odvođením tejto úmery sa otvára cesta k vypočítaniu absolútnych hodnôt hmotností uvedených troch planét a tým aj k overeniu uvedeného radu relatívnych hmotností. Ak sa totiž podarí vypustiť na obežnú dráhu, napríklad okolo Zeme, umelý satelit, ktorého hmotnosť  $P$  bola už určená pred jeho vypustením, potom je možné určením polomeru  $r$  dráhy ako aj periódy  $T$  jeho obehu okolo Zeme vypočítať jej hmotnosť a túto hodnotu potom dosadiť do uvedeného radu. Týmto spôsobom vypočítané hmotnosti zvyšných planét v danom rade je možné potom ďalej postupne overovať vypúšťaním ďalších satelitov so známou hmotnosťou na obežné dráhy okolo týchto planét.

Uvedená aplikácia poznania daného v Newtonových *Princípov* predpokladá pochopiteľne realizáciu kozmických letov. Špecifickosť poznania daného v *Princípoch*, je v porovnaní s poznáním daným pred ich publikáciou, v tom, že tieto svojou postupnosťou veličín vôbec umožňujú tieto lety myslieť v zmysle ich vypočítavania a nadväzného plánovania a potom realizovať praktickou intervenciou do sveta. V druhom vydaní *Princípov*, konkrétne v komentári k piatej definícii (1713, 3) Newton uvažuje o guli vystrelenej (z dela) použitím strelného prachu v horizontálnom smere z hory a kde postupným zvyšovaním jej počiatkovej rýchlosti táto nakoniec obehne Zem či dokonca prejde do vesmíru.

Možnosť vypustenia umelého satelitu sa uvažuje aj v jednom z jeho rukopisov, kde sa nachádza nasledujúca schéma (1728, [109]).<sup>11</sup>

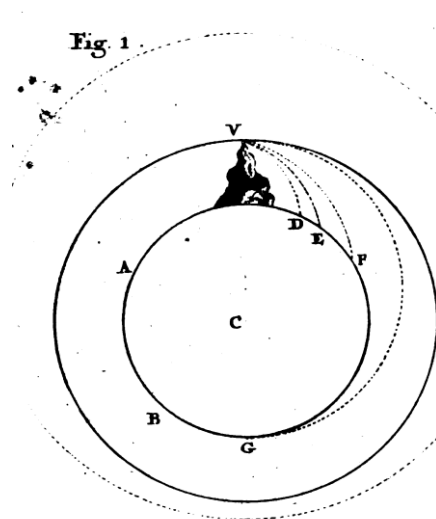


Schéma 1 Newtonova schéma pohybu telies vypustených zo Zeme

Krivky  $VD$ ,  $VE$ ,  $VF$  a  $VG$  predstavujú dráhy, po ktorých sa pohybuje projektil vypustený s postupne narastajúcou počiatočnou rýchlosťou z vrchu  $V$  hory na Zemi so stredom v  $C$ ; pri určitej rýchlosti by už projektil nedopadol na povrch Zeme, ale by sa vrátil do bodu  $V$ . Nakoniec uvažuje prípad, kedy je projektil vypustený už nie zo Zeme, ale v rôznych výškach nad Zemou pri rôznych počiatočných rýchlostiach; v dôsledku toho by sa pohyboval buď ako umelý satelit po dráhe centrovanej okolo Zeme, alebo po excentrických dráhach podobne ako planéty obiehajú po svojich dráhach.

## LITERATÚRA

Bielik, L. – Gahér, F. – Zouhar, M. (2010): O definíciách a definovaní. *Filozofia*, 65 (8): 719-737.

<sup>11</sup> Rozbor tejto schémy z pohľadu fyziky pozri v (Topper – Vincent 1999).

- Cohen, I. B. (1964): 'Quantum in se est'. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 19 (2): 131-155.
- Cohen, I. B. (1998): Newton's Determinations of the Masses and Densities of the Sun, Jupiter, Saturn and Earth. *Archive for the History of Exact Sciences*, 53 (1): 83-95.
- Cohen, I. B. (1999): A Guide to Newton's *Principia*. In: Newton 1999: 1-370.
- Duží, M. – Materna, P. (2012): *TIL ako procedurálná logika*. Bratislava: ALEPH.
- Ellis, B. (1963): Universal and Differential Forces. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 14 (55): 177-194.
- Ellis, B. (1965): The Origin and Nature of Newton's Laws of Motion. In: Robert G. Colodny (ed.): *Beyond the Edge of Certainty*. Prentice Hall: Englewood Cliffs (NJ), 29-68.
- Ellis, B. (1976): The Existence of Forces. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 7 (2): 171-185.
- Gabbey, W. A. (1971): Force and Inertia in Seventeenth-Century Dynamics. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 2 (1): 1-67.
- Hanzel, I. (2010): *Studies in the History and Philosophy of Science*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Hempel, C. G. (1958). The Theoretician's Dilemma. In: Herber Feigl – Michael Scriven – Grover Maxwell (eds.): *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. II. Minneapolis: University of Minnesota Press, 37-97.
- Mach, E. (1901): *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig: F. E. Brockhaus.
- Newton, I. (1687): *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Londoni: Josephi Straeter.
- Newton, I. (1713): *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Cantabrigiae.
- Newton, I. (1728): *De mundi systemate liber*. Londini: Tonson – Osborn – Longman.
- НЬЮТОН, И. (1989) *Математические начала натуральной философии*. Москва: Наука.

Newton, I. (1999): *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Berkeley: University of California Press.

Topper, D. – Vincent, D. E. (1999): An Analysis of Newton's Projectile Diagram. *European Journal of Physics*, 20 (1): 59-66.

Zouhar, M. (2011): *Význam v kontexte*. Bratislava: Aleph.

Zouhar, M. (2014): Klasifikácia definícií. *Teorie vědy*, 36 (3): 337-358.

Zouhar, M. (2015): Logická forma definícií. *Filozofia*, 70 (3): 161-174.

.