

**DEFINÍCIE A DEFINOVANIE V NEWTONOVÝCH  
PRINCÍPOCH****Pokus o metodologickú analýzu**

IGOR HANZEL, Katedra logiky a metodológie vied FiF UK, Bratislava, SR

HANZEL, I.: Definitions and Defining in Newton's *Principia*: An Attempt at a Methodological Analysis  
FILOZOFIA 72, 2017, No. 4, pp. 245-258

The paper deals with Newton's eight definitions from his *Principia* making them a subject of logical-semantic and epistemological analyses. First, it lists these definitions and then presents two views on the nature of definition, as given in recent scholarly works. These views are applied to Newton's definitions. Resulting from this application is the conclusion that Transparent Intensional Logic's approach to definitions, once the latter contain magnitudes, is unable to reconstruct the fact that the magnitude (or magnitudes) in the *definiens* is (are) different from the magnitude in the *definiendum*. Another result is the recognition that Newton's eight definitions, regardless of their a priori nature, still yield an increase of knowledge about the world. This conclusion is justified by Newton's computation of the mass of planets and his reflection on the possibility of space flight.

**Keywords:** 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), opierajúci sa o klasifikácie definícií, ako boli predložené v štúdií (Bielik, Gahér, Zouhar 2010) (ďalej ako BGZ), ako aj v štúdií (Zouhar 2014).<sup>1</sup>

Najprv uvedieme osem definícií, prostredníctvom ktorých Newton zavádza v *Princípoch* nové veličiny, ako aj vzťahy medzi veličinami. Potom uvedieme klasifikácie definícií uvedené v štúdií BGZ, ako aj v štúdií (Zouhar 2014). Na ich základe sa pokúsime o metodologickú analýzu 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 budú ďalej používať menej známe slová“ (Newton 1687, 5). V tejto časti ako

---

<sup>1</sup> Ďakujeme L. Bielikovi, F. Gahérovi, J. Halasovi, M. Kostercovi, V. Markovi, I. Sedlárovi, M. Zouharovi, ako aj anonymným oponentom za cenné pripomienky k tejto štúdií.

východiskové, nedefinované veličiny u neho vystupujú: *priestor* v zmysle *dráhy*, *čas*, *rýchlosť*, *zrýchlenie*, *hustota* a *objem*.<sup>2</sup> V ôsmich definíciách potom definuje nasledujúce veličiny: *kvantita matérie*; *kvantita pohybu*, *inherentná sila*, *priložená sila*, *dostredivá sila* a tri *miery* dostredivej sily (Newton 1687, 1-3).<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 vtedajších Newtonových čias, 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.* Kvantita veličiny pohybu sa tu definuje súčinom kvantity veličiny rýchlosti a kvantity veličiny matérie. Aj tu máme teda v porovnaní s fyzikou Newtonových čias do činenia 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, vďaka ktorej každé teleso, pokiaľ môže samo osebe, 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, 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 zo všetkých strán priťahované, pobádané alebo majú tendenciu k nejakému bodu ako stredu.* V tejto definícii sa zavádza typ sily orientovanej do stredu, z ktorého sa šíria jej účinky; Newton ju označuje ním zavedeným termínom „vis centripeta“.

V nasledujúcich troch definíciách Newton zavádza tri odlišné spôsoby kvantifikácie tohto typu sily. Ani jeden z nich sa dovedy vo fyzike nepoužíval, keďže sa v nich uvažuje o type sily zavedenej 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.*

---

<sup>2</sup> Časť *Definície* končí rozsiahlou poznámkou o čase a priestore, v ktorej 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 prác (Cohen 1964, 1999) a (Gabbey 1971); pri jej preklade vychádzame čiastočne z prekladov (Newton 1999) a (Ньютон 1989).

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

**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 definície vyjadrujú významový vzťah medzi jazykovým výrazom, ktorý označuje predmet definície, tzv. *definiendum*, a jazykovým výrazom, tzv. *definiensom*, 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 Intenzionalnej Logiky (TIL), podľa ktorej výraz *vyjadruje pojem* (konštrukciu ako štruktúrovaný 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 v okamihu času.<sup>5</sup> Na základe tejto sémantiky sa v BGZ formuluje, ak sa obmedzíme 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 (viackrokové) procedúry, ktorými identifikujeme objekty.

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

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

Pod intenziou empirických výrazov sa v BGK rozumejú napr. vlastnosti, relácie, vlastnosti vlastností, propozície atď., chápané ako funkcie, ktoré v závislosti od možného sveta a okamihu času nadobúdajú určité hodnoty, napríklad množiny individuí, 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 definície, ktorými sa do daného jazyka zavádza úplne nový semivýraz, t. j. zreteľenie symbolov, ktoré v ňom predtým neexistovalo. Definícia potom umožňuje priradiť semivýrazu, keďže predtým žiadny význam nemal, po prvý raz nejaký význam.

**Typ 2: Objektívne analytický typ definície.** Pod tento typ spadajú definície, v ktorých výraz v definiense a výraz v definiende vyjadrujú odlišné pojmy (konštrukcie) a v ktorých tieto pojmy sú pojmi jedného a toho istého objektu (vedú na jednu a tú istú intenziu). Napríklad ak sa v slovníku daného jazyka daný termín „voda“ chápe 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

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

atóm kyslíka, tak 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 danom 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 týchto troch typov definícií sa robí, ako 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, budú mať výrazy „voda“ a „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 tieto výrazy odlišný význam, pričom identifikujú jeden a ten istý objekt (intenziu).

Napriek všetkým uvedeným rozdielom medzi týmito troma typmi majú tieto definície jednu spoločnú charakteristiku. *V každej definícii spadajúcej pod jeden z týchto troch typov sú definiens a definiendum významovo ekvivalentné, 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 mať na pamäti, že v prípade definície spadajúcej pod významovo analytický typ máme do činenia s jedným významom (v hore uvedenom zmysle).

Tri typy definícií rekonštruovaných v štúdiu 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.

Typ definície Definiens & definiendum	Kodifikačná	Významová	Objektuálna
pojem/konštrukcia	Totožné	Totožné	Odlišné
intenzie	Totožné	Totožné	Totožné

Tabuľka č. 1: Klasifikácia definícií v štúdiu (Bielik, Gahér, Zouhar 2010)

**4. Zouharova klasifikácia definícií.** V Zouharovej štúdiu (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 uvedenej v (Zouhar 2014), kde sa táto forma vyjadruje ako „X =<sub>df</sub> Y“. Dôvod tejto zmeny osvetlíme neskôr.

$$„Y =_{df} X“, \quad (2),$$

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

Klasifikácia definícií, ktorá sa tu ponúka, sa zakladá na dvoch kritériách: podľa povahy definienda a podľa 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

$$\begin{aligned} &„Výraz Y =_{df} X“ \\ &„Pojem Y =_{df} X“ \\ &„Objekt Y =_{df} X“ \end{aligned} \quad (3)$$

Druhé kritérium, tzv. kritérium ilokučnej sily možno pochopiť vtedy, ak sa zohľadní skutočnosť, že určitý výraz, alebo pojem, alebo objekt, ako je daný v definícii, je vždy súčasťou buď 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:

$$\begin{aligned} &„Vzhľadom na jazyk J: výraz Y =_{df} X“ \\ &„Vzhľadom na konceptuálny systém K: Pojem Y =_{df} X“ \\ &„Vzhľadom na ontológiu O: Objekt Y =_{df} X“ \end{aligned} \quad (4)$$

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

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

<sup>7</sup> Z tohto dôvodu uprednostňujeme zápis „Y =<sub>df</sub> X“ pred zápisom „X =<sub>df</sub> Y“ uvedeným v Zouharovej práci (Zouhar 2014).

Kritérium ilokučnej sily  Kritérium Predmetnosti	<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 č. 2: Klasifikácia definícií v štúdií (Zouhar 2014)

**5. Metodologická analýza definícií v Newtonových *Princípoch*.** Pokúsme sa teraz na základe uvedených klasifikácií analyzovať osem definícií z Newtonových *Princípov*, pričom budeme zohľadňovať naše stručné komentáre k týmto definíciám.

Z pohľadu klasifikácie definícií v štúdií BGZ by prvé štyri Newtonove definície mali spadať pod *významový typ* definícií, 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 ide o definície, ktoré nespádajú ani pod Typ 1, ani pod Typ 2, ako sú uvedené v štúdií BGZ, keďže sa pri charakterizácii obidvoch týchto typov v štúdií BGZ predpokladá, že v nich máme vždy do činenia s jednou intenziou (objektom). Tento predpoklad ale podľa nášho názoru nie je splnený ani jednou z týchto definícií.

Z pohľadu intenzií (objektov) je podľa nášho názoru možné Newtonove definície rozdeliť do dvoch skupín. Do *prvej skupiny* patria prvé dve a 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, ktorú Newton nazýva „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. ide o iný objekt. Túto odlišnosť nie je možné vyjadriť aparátom TIL, keďže podľa tej sa v definičnej

ekvivalencii prostredníctvom odlišných konštrukcií konštruuje v definiense a definiende ten istý objekt.

Podobná situácia je aj v druhej definícii, kde sa kvantita získaná súčinom kvantity veličiny rýchlosti a kvantity veličiny matérie priraduje veličine, ktorú Newton nazýva „pohyb“, v modernej terminológii veličine nazvanej „hybnosť“. Nakoniec v posledných dvoch definíciách sa kvantitám získaným v definiense – aplikáciou operácie nazvanej „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 definiensy a definiendy odlišujú svojimi príslušnými veličinami, t. j. svojimi objektmi.

Proti tomuto pohľadu by sa mohlo zdanlivo namietat', 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 obidvoch definícií tak došlo k rastu poznania o svete. Tento nárast bol dosiahnutý nie na základe praktickej intervencie do sveta, ale čisto apriórnyimi prostriedkami, konkrétne prostredníctvom definovania. K tomuto rastu sa ešte raz vrátíme z iného pohľadu v siedmej časti našej štúdie.

Do *druhej skupiny* zaradujeme tretiu, štvrtú, piatu a šiestu Newtonovu definíciu. Tie majú spoločné to, že veličina daná v definiende sa v nich nekvantifikuje pomocou kvantít veličín daných v definiense, ale dáva sa do súvisu *príčina a jej účinok*, a to tak, že príčina je uvedená v definiende a účinok je uvedený v definiense. Pritom však medzi týmito definíciami existujú nasledujúce rozdiely:

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

Podobne vo 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 je 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 uhla pohľadu, ktorý umožňuje nájsť charakteristiku spoločnú všetkým týmto definíciám – až na prvé dve. Máme tu na mysli to, že sa v nich postupuje od poznania účinku, opísaného v definiense, k poznaniu jeho príčiny, opísanej v definiende.

---

<sup>8</sup> To isté by platilo o posledných dvoch definíciách, ak by sme kvantitu v definiense vynásobili nejakou konštantou  $k$ ; v takom prípade by sa kvantita v definiende rovnala kvantite v definiense.

Aké závery je možné vyvodit' 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*, sa líši od objektu danom v *definiende*. Z tohto pohľadu definovanie veličín, ako ho nachádzame na začiatku *Princípov*, prekračuje klasifikačný rámec 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 objektovej sfére, ku ktorým dochádza v Newtonových ôsmich definíciách v tom zmysle, že *prechodom od definiensa k definiendu sa rozširuje objektová sféra*. Tieto posuny sú vyjadrené v poslednom rámečku vpravo dole v Tabuľke č. 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 už spomenutú 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 podmienkami (možnej) pravdivosti definícií, t. j. viet s formou „ $Y =_{df} X$ “ na strane druhej. Prvým z nich je možné v uvedenom zmysle priradiť pravdivostnú hodnotu; sú pravdivé len vtedy, keď  $X$  a  $Y$  sú tými istými objektmi. Vetám formy „ $Y =_{df} X$ “, ktoré majú povahu deskriptívnych definícií, síce tiež môžeme priradiť pravdivostnú hodnotu, ale zároveň platí, že sú pravdivé aj vtedy, ak  $X$  a  $Y$  sú odlišné; vetám, ktoré majú form „ $Y =_{df} X$ “ a ktoré majú povahu preskriptívnych definícií v uvedenom zmysle, dokonca nie je možné priradiť nijakú pravdivostnú hodnotu.

**6. Je Newtonova 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 *Definie* na začiatku *Princípov* sa ukazuje veličina hustoty, keďže Newton ju ani v tejto časti, ani v rozsiahlom komentári, ktorý nasleduje hneď po definíciách, nedefinuje. Na túto skutočnosť upozornil Mach: „Ohľadom pojmu ‚hmotnosť‘ najprv poznamenajme, že Newtonova formulácia, ktorá označuje kvantitu matérie ako určenú súčinom hustoty a objemu, je nešťastná. Keďže hustotu môžeme definovať len ako hmotnosť jednotky objemu, kruh je tu zjavný... Definícia 1 je ... pseudodefiníciou. Pojem hmotnosti sa nestane jasnejším tým, že sa hmotnosť vyjadří ako súčin objemu a hustoty, keďže samotná hustota predstavuje len hmotnosť jednotky objemu“ (Mach 1901, 202, 256).

Podobne I. B. Cohen vyhlasuje, že „Newton v *Princípoch* vlastne nikdy nezačína určením hustoty a objemu telesa, aby potom vypočítal hmotnosť. ... Obzvlášť treba poznamenať, že v definícii na začiatku *Princípov* Newton nedefinuje hustotu; a nehovorí o nej ani v poučení, ktoré nasleduje po definíciách“ (Cohen 1999, 88, 90).

Newton podľa Cohena „používa kombináciu úvah o dynamike a gravitácii, aby určil hmotnosť, ktorá potom vedie k hustote“ (Cohen 1999, 88). Cohen tu má na mysli Newtonov komentár k tejto definícii, kde o kvantite matérie vyhlasuje: „Je možné určiť ju na základe váhy telesa, keďže som prostredníctvom veľmi presných experimentov s kyvadlami



zistil, že je úmerná váhe, ako ukážem neskôr“ (Newton 1687, 1).

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

**Prop. XXIV:** „Kvantita matérie v kyvadlách, ktorých stred oscilácií je rovnako vzdialený od stredu zavesenia, sú v pomere zloženom z váhy a štvorcu času ich oscilácie vo vákuu.

*Dôsledok 1.* A teda, ak časy sú rovnaké, tak kvantita matérie v telesách budú vo vzťahu ako je vzťah ich váh.

*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 aj kvantita matérie kyvadla úmerná relatívnej váhe a štvorcu času a nepriamo úmerná dĺžke kyvadla. Relatívna váha je totiž hybnou silou telesa v akomkoľvek prostredí... a teda predstavuje to isté ako absolútna váha vo vákuu.

*Dôsledok 7.* Takže spôsob, ako navzájom porovnávať telesá vzhľadom na ich kvantitu matérie, prípadne porovnávať váhu jedného a toho istého telesa na rôznych miestach, aby sa zistila zmena jeho gravitácie, je teda zrejмый. A vykonaním experimentov s čo najväčšou presnosťou som vždy zistil, že kvantita matérie v jednotlivých telesách je úmerná váhe“ (Newton 1687, 303-305).

Experimenty uvedené v *Dôsledku 7* sú práve tie, na ktoré Newton odkazuje v Defínícii 1 a ktoré sú opísané v komentári k Propozícii VI v Knihe 3 takto: „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, čo boli umiestnené tesne vedľa seba [a rozkmitané], pokračovali v kyvoch tam a späť dlhý čas s rovnakými osciláciami“ (Newton 1687, 408).

Tieto experimenty Newton opakovol s rôznymi látkami, napríklad so striebrom, olovom, sklom atď., pričom viedli vždy k tým istým výsledkom.

Aká je teda povaha Newtonovho zavedenia veličiny hmotnosti, ako je dané v Defínícii 1? Newton po formulácii tejto defínície odkazuje v komentári 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 má nasledujúcu podobu:

„[1.] 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 o čo dlhší je čas a čo menšia je matéria, o to väčšia je generovaná rýchlosť. To je zjavné z druhého zákona.<sup>9</sup>

[2.] Ak sú kyvadlá rovnakej dĺžky, tak hybnostné sily v miestach rovnako vzdialených od kolmice sú úmerné váham; a preto ak dve oscilujúce telesá opisujú rovnaké oblúky a tieto oblúky rozdelíme na rovnaké časti, tak rýchlosti (keďže čas, za ktoré telesá opíšu každú zodpovedajúcu časť oblúkov je úmerný času celých oscilácií) v zodpoveda-

---

<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“ (Newton 1687, 12).

júcich častiach oscilácií sú priamo úmerné hybnostným silám a času celých oscilácií a nepriamo úmerné kvantitám matérie. A teda kvantity matérie sú priamo úmerné silám a času oscilácií a nepriamo úmerné rýchlostiam.

[3.] Rýchlosti sú ale nepriamo úmerné času, a teda čas je priamo úmerný a rýchlosti nepriamo úmerné štvorcu času, a preto kvantity matérie sú priamo úmerné hybnostným silám a štvorcu času, t. j. váham a štvorcu času. Q.E.D.“ (Newton 1687, 303-304).

To, že máme skutočne do činenia s kruhovým dôkazom zistíme, aj vtedy, keď si ozrejmieme pôvod uvádzaného 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, pričom prvá z nich je zavedená v Definícii 1.

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

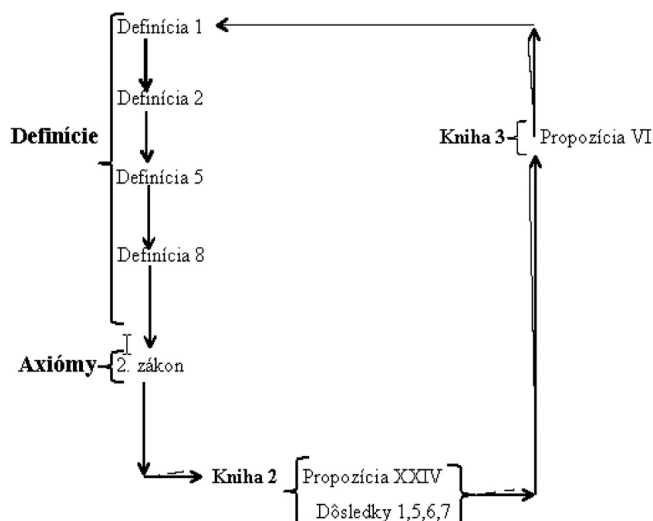


Schéma č. 1: Kruhová povaha Newtonovho zavedenia veličiny hmotnosti v *Princípoch*

Zo schémy je zjavné, že zavedenie veličiny hmotnosti v Definícii 1 v zmysle komentára k nej je svojou povahou *argumento in circulo*.

Tým sa potvrdzuje Machova charakterizácia Definície 1 ako kruhovej, avšak táto charakterizácia nesúvisí s veličinou hustoty a neobmedzuje sa na samotnú definíciu, ale zahŕňa aj Knihu 2 a Knihu 3 *Princípov*. Dôvodom je to, 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 už predpokladajú zavedenie veličiny hmotnosti.

**7. Akú povahu majú Newtonove definície?** 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 i v šiestej, siedmej a ôsmej definícii), pričom sa aplikujú na veličiny, ktoré boli známe vo fyzike už pred vydaním *Princíпов*. Použitie týchto operácií a vzťahov tak ukazuje, že postupné odvodzovanie veličín v *Definíciách* má *apriórnu*, 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 *zapríčinenú* pôsobením sily na toto teleso zvonka; túto silu označuje výrazom „priložená sila“. Takéto definičné rozlíšenie medzi nezapríčinením a zapríčinením stavom má výrazne *konvenčnú* povahu. Na túto konvenčnú povahu poukázal B. Ellis v štúdiách (Ellis 1963; 1965; 1976), kde navrhol alternatívnu konvenciu, podľa ktorej sa za zapríčinený stav telesa nepovažuje stav, v ktorom sa mení jeho rýchlosť v čase, ale stav, v ktorom sa mení jeho zrýchlenie v čase.

Z toho by zdanlivo bolo možné vyvodit' záver, že uvedené definície umožňujú formulovať logický záver z informácií daných v podobe veličín tvoriacich súbor poznatkov daných vo fyzike pred publikovaním *Princíпов*. 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, hoci tú v skutočnosti definoval až Newton v siedmej definícii ako úmernú kvantite veličiny zrýchlenia.

Ak by sme prijali toto stanovisko, tak by malo platiť, že z pohľadu fyziky sedemnásteho storočia pred publikovaním *Princíпов*, majú prechody od definiensa k definiendu v každej z ôsmich Newtonových definícií povahu krokov, vykonaním ktorých by sa neprekročil implicitný obsah poznania vo fyzike pred vydaním *Princíпов*. To by potom ale znamenalo, že *veličiny odvodené prostredníctvom týchto definícií nehovoria o svete* viac ako tie východiskové veličiny, ktoré boli vo fyzike známe už pred vydaním *Princíпов* a na ktoré boli tieto kroky pôvodne aplikované. Nehovori nám teda napríklad veličina hmotnosti v definiende prvej definície o svete niečo viac ako veličiny objemu a hustoty dané v definiense tejto definície?

Pri hľadaní odpovede na túto otázku je vhodné najprv upozorniť na Hemplov pohľad na veličinu špecifickej váhy  $sw$ , ako je uvedený v jeho štúdií (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 „ $sw$ “ na rozdiel od výrazov „ $w$ “ a „ $V$ “ nerefereuje na nič po-

zorovateľné, 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 na uskutočnenie uvedenej eliminácie je presvedčenie, že aplikáciou tejto *matematickej operácie* na uvedené dve veličiny nedochádza k rastu poznania o svete, ktoré by prekračovalo poznanie dané už prostredníctvom týchto dvoch veličín.

Podľa nášho názoru však použitie operácie súčiny 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 hľadiska má metóda definovania, ako je daná v tejto časti, *syntetickú* povahu. Ak súčasne zohľadníme aj jej apriórnu povahu, tak môžeme povedať, že má *apriórno-syntetickú* povahu. A keďže táto metóda má apriórnu povahu, tak 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 hmotnosť Jupitera, Saturnu a Zeme vzhľadom na hmotnosť Slnka, a to použitím veličín odvodených už predtým v Knihe 1, ako aj astronomických údajov 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 kládol ako rovnajúcu sa 1.

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

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

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

Tá 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. Odvodením 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, tak je možné určením polomeru  $r$  dráhy a periódy  $T$  jeho obehu okolo Zeme vypočítať jej hmotnosť a túto hodnotu potom dosadiť

---

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

do uvedeného radu. Takto vypočítanú hmotnosť 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 obsiahnutého v Newtonových *Princípoch* predpokladá, pochopiteľne, realizáciu kozmických letov. Špecifickosť poznania obsiahnutého v *Princípoch* spočíva v porovnaní s poznáním daným pred ich publikáciou, v tom, že *Princípy* vďaka postupnosti veličín vôbec umožňujú o takýchto letoch uvažovať v zmysle ich vypočítavania a nadväzného plánovania a potom ich realizovať praktickou intervenciou do sveta. V druhom vydaní *Princípov*, konkrétne v komentári k piatej definícii Newton uvažuje o guli vystrelenej (z dela) použitím strelného prachu v horizontálnom smere z hory. Táto guľa postupným zvyšovaním svojej počiatočnej rýchlosti nakoniec obehne Zem, či dokonca preletí do vesmíru (Newton 1713, 3).

O možnosti vypustenia umelého satelitu uvažuje Newton aj v jednom zo svojich rukopisov, kde sa nachádza nasledujúca schéma (Newton 1728, [109]):<sup>11</sup>

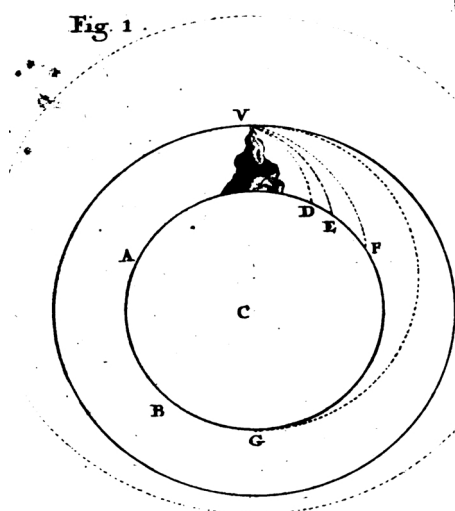


Schéma č. 2: Newtonova schéma pohybu telies vypustených zo Zeme

Krivky  $VD$ ,  $VE$ ,  $VF$  a  $VG$  predstavujú dráhy, po ktorých sa pohybuje projektil s postupne narastajúcou počiatočnou rýchlosťou vypustený 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 Newton uvažuje o možnosti že by projektil nebol vypustený zo Zeme, ale v rôznych výškach nad Zemou s rôznou počiatočnou rýchlosťou; 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.

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

## Literatúra

- BIELIK, L., GAHÉR, F., ZOUHAR, M. (2010): O definíciách a definovaní. *Filozofia*, 65 (8), 719-737.
- 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 procedurálna 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: Herbert 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): *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londini: Josephi Staerker.
- NEWTON, I. (1713): *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Cantabrigiæ.
- 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. (2014): Klasifikácia definícií. *Teorie vědy*, 36 (3), 337-358.
- ZOUHAR, M. (2015): Logická forma definícií. *Filozofia*, 70 (3), 161-174.

---

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0149-12.

---

Igor Hanzel  
Katedra logiky a metodológie vied FiF UK  
Gondova 2  
814 99 Bratislava 1  
Slovenská republika  
e-mail: hanzel@fphil.uniba.sk