Gauta 2005-06-03

EDMUNDAS ADOMONIS

Kultūros, filosofijos ir meno institutas

MOKSLINIŲ IDĖJŲ TĘSTINUMAS: GREIČIO SĄVOKA

The Continuity of Scientific Ideas: The Concept of Velocity

SUMMARY

The paper examines a particular case of continuity in the history of scientific ideas, namely the conceptual tools used in the description of the rate of uniform motion. The notion of uniform velocity has its origins in everyday language: motion is described in terms of time and the distance traversed. The idea was already in use in Babylonian astronomy and ancient Greek science. Ancient science had only the comparative notion of velocity, that is to say, the comparisons were true proportions as being between like quantities. Only in the 18th century was the more effective metric definition firmly established: velocity as a number representing the ratio of distance and time. But the main point is that despite the different conceptual explications, the notion of velocity in ancient and modern science is virtually the same.

ĮVADAS

Mokslo raidos filosofinė analizė dažniausiai pabrėžia idėjų trūkius. Šiame straipsnyje – priešingai, daugiausia dėmesio skirsime tęstinumui mokslo istorijoje, būtent parodysime, kaip mums įprasta pastovaus greičio sąvoka efektyviai buvo taikoma senovės moksle ir buvo perimta į modernųjį mokslą XVII a. Pagrindinis straipsnio tikslas yra pabrėžti, kad nepaisant skirtingos konceptualinės formos, mes naudojamės ta pačia greičio idėja, kaip ir senovės mokslininkai. Taip pat neapeisime ir pastovaus greičio sąvokos konceptualinių patobulinimų: nors idėja ir buvo ta pati, tačiau su senovine proporcine greičio

RAKTAŽODŽIAI: mokslo idėjų tęstinumas, mechanikos istorija, greitis.
KEY WORDS: continuity of scientific ideas, history of mechanics, velocity.

sąvoka samprotavimai tapdavo daug keblesni. Su greičio samprata yra susijęs ir vienas įdomiausių konceptualinių šuolių mokslo istorijoje – nykstamųjų („be galo mažų dydžių“) skaičiavimo atsiradimas (t.y. šiuo atveju momentinio greičio sąvokos įdiegimas). Tačiau šį konceptualinės pažangos atvejį jau išsamiai aptarėme straipsnyje „Konceptualinė pažanga moksle: momentinių dydžių panaudojimas gamtotyroje“[1], todėl čia jo visai neliesime.

1. Kasdienė (nemokyklinė) kalba pateikia efektyvių priemonių judėjimui kinematiškai aprašyti (kelias–laikas–greitumas): „persikelti iš vienos vietos į kitą“, „judėti tam tikru greičiu (greičiau, lėčiau)“ ir t.t. Jau senovės autoriai nemoksliniuose kontekstuose laisvai vartoja tokius terminus, pavyzdžiui, Ksenofontas kalba apie graikus, pražygiavusius „po penkis parasangus per dieną“[2]. Tokios sveiko proto priemonės kartu su jomis susijusiu kasdieniu judėjimo patyrimu sudaro tą pagrindą, kuriuo remiantis prasideda mokslinis judėjimo pažinimas. Greitis reprezentuoja tolygaus judėjimo aspektą kartu ir nueito kelio, ir sugaišto laiko požiūriu – šiuolaikiniu požiūriu jis nustatomas padalijus nueitą kelią iš sugaišto laiko. Vartojant šią paprastą sąvoką, jau galima suformuluoti, pavyzdžiui, vieną iš pamatinių šiuolaikinės fizikos dėsningumų apie šviesos greičio pastovumą.

Jau nuo seniausių laikų ši greičio idėja taikoma ir gamtotyroje. Pradedant astronomija, pažymėtina, kad reguliarus dangaus šviesulių vietos keitimas yra, matyt, vienas iš pirmųjų dėsningo judėjimo patyrimų, nors šios kaitos tikslesnę tvarką ne taip lengva nustatyti (išskyrus žvaigždžių sferą). Tad nenuostabu, kad vienas iš pirmųjų sistemingų kinematinių priemonių panaudojimų buvo dėsningumų danguje aprašymas. Persų periodo babiloniečiai sukūrė matematinės astronomijos sistemas[3], kurios leido numatyti Mėnulio, Saulės ir penkių planetų padėtį, užtemimus ir kitus dangaus reiškinius. Tai buvo sudėtingų aritmetinių[4] taisyklių rinkiniai. Mėnulio teorijoje buvo naudojamos sistemos *A* ir *B* (pagal Neugebauerio žymėjimus). Kaip tik Saulės greičio (t.y. kelias per laiko periodą) traktavimas ir sudarė pagrindinį skirtumą tarp šių sistemų: sistemoje *A* Saulė juda pastoviu greičiu (30° per mėnesį) vienoje Zodiako juostos dalyje ir kitu pastoviu greičiu (28° 7' 30'' per mėnesį) likusioje dalyje, o sistemoje *B* Saulė kiekvieną mėnesį nueina skirtingą kelią, kuris pasikeičia vienodu dydžiu kas mėnesį[5]. Mėnulio padėtis kiekvieną dieną skaičiuojama susumuojant paros judėjimus. Bet Mėnulio judėjimas nėra tolygus: laiko tarpas, per kurį jis nueina nuo maksimalaus greičio per minimalų iki kito maksimumo, vadinamas anomaliniu mėnesiu. Pasak Geminaus (I a. pr. Kr.?) liudijimų apie „chaldėjų astronomus“ ir šiuolaikinių rekonstrukcijų[6], Mėnulio greitis kinta nuo 11° 06' 35″ iki 15° 14' 35'' per parą (vidutinis greitis 13° 10' 35''), tad paros pokytis yra 0° 18'. Panašiai ir planetų teorijose – tik čia greičių lentelės sudėtingesnės, nes geocentriniu požiūriu planetų judėjimas yra netvarkingesnis. Todėl ekliptika dalijama į atskirus lankus, kuriuose planetos juda skirtingais greičiais. Taigi matome paprasčiausių judėjimo priemonių panaudojimą: dangaus šviesulys keičia vietą nueidamas tam tikrą kelią, laiko tarpo požiūriu kalbama apie greitį, t.y. lyginamas nueitas kelias per vienodą laiką.

Kinematinės idėjos Graikijoje nuo pat pradžių taip pat buvo susijusios su astronominiais tyrinėjimais – tai visų pirma sferinio judėjimo problemos. Jau pitagoriečiai aiškino, kad dangaus kūnai turi tuo didesnį greitį, kuo didesnė jų orbita. Autolykas Pitanietis (IV a. pab. pr. Kr.) traktate apie sferų judėjimą tolygų judėjimą apibrėžia taip: „Sakoma, kad taškas tolygiai pasislenka, jei per lygų laiką jis nueina lygius ir vienodus dydžius“, taigi esant tokiam judėjimui, nueitų linijų santykis yra lygus sugaištų laiko tarpų santykiui[7]. Įdomu, kad šis apibrėžimas beveik visiškai atitinka šiuolaikinį tolygaus judėjimo apibrėžimą[8], t.y. lygūs atstumai per lygų laiką. Autolykas prideda žodį „vienodi“, tuo pabrėždamas, kad lyginami vienarūšiai dydžiai, pavyzdžiui, apskritimo lankai vienas su kitu ar tiesios linijos viena su kita. Autolykui kaip astronomui šis tolygaus judėjimo apibrėžimas buvo reikalingas analizuoti taškų judėjimą ant tolygiai besisukančių sferų. Ir toliau tolygus judėjimas apskritimu buvo antikos matematinės astronomijos pagrindas. Juo remiantis buvo stengiamasi stebimus judėjimo danguje nereguliarumus suvesti į tolygaus apskritiminio judėjimo sistemą, o tam padėjo sudėtinga ekscentriciteto, ekvanto ir epiciklų technika, kurios kulminacija – Ptolemajo *Almagestas*.

Tokia pastovaus greičio samprata jau buvo nusistovėjusi antikiniame moksle – tarp kitų panaši randama Aristotelio, Archimedo bei Herono darbuose. Kaip teigė pastarasis, „daiktai, kurie nueina lygius atstumus per lygius laikus, turi vienodą greitumą“[9]. Aristotelio darbai yra ypač svarbūs, nes tai buvo tas pagrindas, nuo kurio darbą pradėjo viduramžių mokslininkai: be pastovaus greičio idėjos, čia dar randame greičių lyginimą, t.y. „greičių santykį“ arba „greitesnį“. Neturėdamas dabartinio apibrėžimo (s/t), Aristotelis *Fizikos* šeštojoje knygoje gana ilgai užtrunka argumentuodamas, kad greitesnis nueina toliau už lėtesnį per tą patį laiką, kad greitesnis gali nueiti toliau per mažesnį laiką ir kad jis gali nueiti tą patį kelią per mažesnį laiką[10].

Senųjų mechanikos tyrinėjimų ypatybė buvo ta, kad jie buvo atliekami pasitelkus proporcijas ir santykiai buvo imami tarp vienarūšių dydžių, – greičio atveju buvo lyginami kelio ar laiko santykiai. Tipiškas būtų Aristotelio teiginys jam besvarstant dalumo problemą: galimas toks greičių santykis, kai greitesnis per tą patį laiką nueina pusantro atstumo[11]. Panaši taktika buvo perimta ir dar naudojama po viduramžių (žr. toliau apie Galilėjų bei Newtoną), ir netgi XVIII a. vyko ginčai, ar galima dalinti nevienarūšius dydžius. Senovės apibrėžimai – tai lyginamieji apibrėžimai, o dabartiniai – santykiniai apibrėžimai, kaip antai $v = s/t$. Betgi perdėtu tenka laikyti Zubovo kontrafaktinį teiginį, kad senovės mokslininkai „mūsų formulės $v = s/t$ paprasčiausiai nesuprastų“[12]. Apskritai su tuo sunku sutikti, nes tai rodytų, kad jie negali įvaldyti konceptualinių naujovių, vis dėlto visais laikais besilavinantys išmoksta daugybę naujų dalykų. Šiuo konkrečiu atveju mano uždavinys yra parodyti konceptualinio dialogo galimybę atskleidžiant ryšį tarp senosios ir mūsų greičio sampratos.

Dialogo pagrindas yra tas, kad nevienarūšių dydžių dalijimas duoda ne kokį mįslingą dydį, o skaičių, iš karto įvertinantį judėjimą tiek atstumo, tiek laiko terminais, t.y. šis skaičius nurodo, kiek kūnas nuėjo per standartiniais pasirinktus laiko tarpus. Tai atitinka Aristotelio minties eigą[13]: yra du kūnai, kurių greičių santykis yra toks, kad per tą patį laiką greitesnis iš jų nueina pusantro karto daugiau kelio už lėtesnį[14]. Dabar reikia sutarti dėl laiko bei atstumo standarto-vieneto. Tai galėtume padaryti bet kokiu Aristoteliui priimtinu būdu, bet dėl paprastumo paimkime šiuolaikinius 1 metrą (m) ir 1 minutę (min). Be to, tarkime, kad minimas „tas pats laikas“ yra 3 minutės, per kurias lėtesnis nuėjo 6 metrus, greitesnis – 1,5 kart 6 m = 9 m. Metrinio apibrėžimo dalybos veiksmas leidžia vienu ypu abiejų kūnų greičiams priskirti skaičių: lėtesniajam – 6/3 = 2 m per 1 min., greitesniajam – 9/3 = 3 m per 1 min. (Beje, kaip tik šioje vietoje Aristotelis naudojasi kelio ir laiko dalijimu į 3 dalis.) Šitaip dalyba s/t pateikia metrų skaičių per standartinę minutę, kad ir kokie įvairūs būtų tolygiai nueiti keliai ir laikas, pavyzdžiui, greitesniajam – s = 120 m, t = 40 min., s/t = 3 m per 1 min., s = 1/3 m, t = = 1/9 min., s/t = 3 m per 1 min., lėtesniajam – s = 120 m, t = 60 min., s/t = 2 m per 1 min., s = 1/3 m, t = 1/6 min., s/t = 2 m per 1 min. Ieškodami kuo didesnio sutarimo su Aristoteliu, galime taip teigti: greitesniojo judėjimo ypatybė ta, kad jis per 40 min. nueina 120 m, betgi mūsų dalyba rodo, kad tai tas pats greitis kaip 3 m per 1 min. Galų gale Aristoteliui galima pasakyti, kad šiuolaikinis greičio apibrėžimas yra ne kas kita kaip greičių palyginimas su standartiniu 1 m per 1 min. greičiu (galimas, aišku, ir kitas standartas). Būtent greitis 3 m per 1 min. yra 3 kartus, greitis 2 m per 1 min. – 2 kartus didesnis už standartinį. O palyginę abu šiuos greičius tarpusavyje, gauname, kad per 1 min. greitesnysis nueina 1,5 karto daugiau metrų, o tai ir buvo pradinis Aristotelio teiginys.

Šiuolaikinis santykinis apibrėžimas (s/t) kiekvienam tolygiam judėjimui paprasčiausiai dalybos būdu priskiria skaičių nueito kelio ir laiko požiūriu. Be to, jis yra labai efektyvus atskleidžiant įvairius tolygaus judėjimo sąryšius. Tuo galima įsitikinti analizuojant Galilėjaus tolygaus judėjimo aprašymą iš jo dialogų apie du naujuosius mokslus (1638 m.)[15]. Galilėjus čia dirba senoviniu būdu, t.y. naudodamas vienarūšių dydžių santykius. Iš pradžių jis pateikia tolygaus judėjimo apibrėžimą: tai toks judėjimas, kai per bet kokius lygius laiko intervalus nueinami lygūs atstumai. Galilėjus pats nurodo naujovę palyginti su senoviniu apibrėžimu: tai žodis „kad ir kokie būtų (*quibuscumque*)“ laiko intervalai, taip pabrėžiama, kad lygūs atstumai nueinami ir per visokias mažas laiko dalis.

Šiuo požiūriu Galilėjaus kaip novatoriaus vaidmuo yra abejotinas: jau antikinis apibrėžimas iš principo turėtų galioti visoms mažoms laiko intervalo dalims. Kaip antai tolygaus judėjimo atveju Aristotelis, padalinęs atstumą į 3 dalis, padalina į 3 dalis ir laiką čia pat pabrėždamas, kad lygus praeinamas per lygų laiką[16]; tolydų dydį jam nebūtų sunku dalinti ir toliau. Net jei sutiktume su tuo, kad antikiniame apibrėžime tai nėra aiškiai išsakyta, tai jau Mertono koledže (XIV a. I pusė) tolygus judėjimas buvo apibrėžiamas kaip „per bet kokią vienodą laiko dalį (*in omni parte temporis equali*) vienodi atstumai“[17]. „Bet kokios laiko dalies“ svarba paaiškėja pradėjus momentinių dydžių analizę.

Toliau Galilėjus pateikia tolygaus judėjimo 4 aksiomas ir 6 teoremas, jos suformuluotos žodžiais be matematinių simbolių. Kad išryškėtų šiuolaikinio apibrėžimo pranašumai, verta jas visas čia pateikti. Kad būtų trumpiau, išreikšiu jas šiuolaikine matematine simbolika, žinoma, visai nekeisdamas senojo proporcijų metodo. Kad būtų aiškiau, pravartu pateikti pirmąją aksiomą, kaip ją žodžiu suformulavo pats Galilėjus: „Vieno tolyginio judėjimo atveju atstumas, nueitas per ilgesnį laiko intervalą, yra didesnis negu atstumas, nueitas per trumpesnį laiko intervalą“[18] (toliau t – laiko intervalas, s – nueitas kelias, v – greitis):

Aksioma I: jei $t_2 > t_1$, tai $s_2 > s_1$;
Aksioma II: jei $s_2 > s_1$, tai $t_2 > t_1$;
Aksioma III: jei $t_2 = t_1$ ir $v_2 > v_1$, tai $s_2 > s_1$;
Aksioma IV: jei $t_2 = t_1$ ir $s_2 > s_1$, tai $v_2 > v_1$.
Teorema I: $s_1/s_2 = t_1/t_2$, kai $v_2 = v_1$;
Teorema II: jei $t_2 = t_1$, tai $s_1/s_2 = v_1/v_2$; ir atvirkščiai, jei $s_1/s_2 = v_1/v_2$, tai $t_2 = t_1$;
Teorema III: jei $v_2 \neq v_1$ ir $s_2 = s_1$, tai $t_1/t_2 = v_2/v_1$;
Teorema IV: jei $v_2 \neq v_1$ ir $t_2 \neq t_1$, tai $s_1/s_2 = (v_1/v_2) \cdot (t_1/t_2)$;
Teorema V: jei $v_2 \neq v_1$ ir $s_2 \neq s_1$, tai $t_1/t_2 = (s_1/s_2) \cdot (v_2/v_1)$;
Teorema VI: $v_1/v_2 = (s_1/s_2) \cdot (t_2/t_1)$.

Konceptualiniu požiūriu čia yra svarbios dvi pamokos. Pirma, visos teoremos bei ilgi jų įrodymai taikant šiuolaikinį apibrėžimą virstų keliais elementariais aritmetiniais pertvarkymais. Pavyzdžiui, pirmoji teorema, kurią jau matėme suformuluotą Autolyko Pitaniečio traktate, gaunama tiesiog iš tolygaus judėjimo apibrėžimo: $v = s_1/t_1 = s_2/t_2$, šios lygybės abi puses padauginę iš t_1/s_2 gauname $s_1/s_2 = t_1/t_2$[19]. Tas pats galioja bet kuriam tolygaus judėjimo išdėstymui senoviniu proporciniu metodu.

Bet yra dar viena, svarbesnė, pamoka: kaip taikliai nurodo Liubomiras Kulviecas, Galilėjaus teoremos II įrodyme slypi ydingas ratas[20]. Kaip tai atsitinka? Pirmosios teoremos įrodyme Galilėjus naudojasi tolygaus judėjimo apibrėžimu („lygus kelias per lygų laiką“) ir Euklido proporcijų teorija. To pakanka įrodinėjant, kad per k lygių laiko intervalų nueinama k lygių kelio intervalų. Antrosios teoremos įrodyme jis laiko atkarpą pakeičia greičio atkarpa ir taria, kad galioja tas pats sąryšis: kiek kartų padidėja atstumas, tiek kartų padidėja ir greitis. Tai ydingas ratas: ką reikia įrodyti, tampa įrodymo prielaida. Taip yra todėl, kad aksiomose duoto greičių sąryšio „>“ neužtenka, kai reikia įrodyti teoremas apie greičių santykį. Žinoma, intuityviai yra aišku, kad per tą patį laiką k kartų greitesnis nueis k kartų toliau. Intuicijos, paremtos kasdiene greičio samprata, vedinas Galilėjus niekur nepadaro klaidos formuluodamas aksiomas ir teoremas. Bet yra dedukcinė klaida: teoremos nekyla iš aksiomų. Taigi antroji pamoka yra tokia: norint išsaugoti nuoseklumą be santykiško apibrėžimo (s/t), tenka kurią nors greičio proporciją įdėti į apibrėžimą aksiomos pavidalu. Kaip tik taip pasielgė Wallis savo *Mechanikoje*, tiesa, neformuluodamas tai kaip aksiomos (žr. kitą pastraipą). Tokia aksioma yra pagrįsta kasdiene greičio intuicija (t.y. kodėl pasirinkta tokia, o ne, pavyzdžiui, priešinga aksioma) ir pastovaus greičio atveju nekeltų didesnių problemų, bet pereinant prie netolygaus judėjimo kasdienės intuicijos jau nebepakanka.

Johno Walliso greičio apibrėžimas iš 1669 m. *Mechanikos* – tai vienas iš pirmųjų eksplicitinių greičio apibrėžimų. Pasak Walliso, „greitis yra judėjimo savybė (*affectio*), atsispindinti lyginant ilgį ir laiką; būtent, ji apibrėžia, koks ilgis per kokį laiką nueinamas“. Toliau tradiciškai apibrėžiamas tolygus judėjimas (lygus atstumas per lygų laiką) ir „didesnis greitis“. Apibrėžiant pastarąjį, kaip tik panaudojamos greičio proporcijos, atsispindinčios Galilėjaus teoremoje II ir teoremoje III[21].

Hobbesas Walliso apibrėžimą apibūdina kaip *notum per ignota*, o Kulviecas – kaip *ignotum per ignota*[22]. Pirmiausia abiem autoriams užkliūva „judėjimo savybė (*affectio*)“ kaip *ignotum*. Nėra jokio pagrindo manyti, kad Walliso „*affectio*“ turėtų kokį nors antropomorfinį atspalvį; o *affectio* „savybės“ prasme (taip būtent verčia Kulviecas) visiškai negadina apibrėžimo: čia paprasčiausiai kalbama apie greitį kaip apie vieną iš judėjimo aspektų (gali būti ir kitų aspektų). Toliau einantys žodžiai „savybė, atsispindinti lyginant ilgį ir laiką“ tiksliai nurodo, kad greitis įvertina judėjimą atstumo ir laiko požiūriu (galima, pavyzdžiui, įvertinti judėjimą krypties požiūriu). Tačiau svarbiausia yra tai, kad toliau Wallis specifikuoja nurodytą judėjimo aspektą: „būtent ji apibrėžia, koks ilgis per kokį laiką nueinamas“. Kulviecas taip pat pabrėžia, kad svarbiausia yra ši apibrėžimo dalis, bet šitaip apibrėžimas tampąs per platus dėl neaiškaus žodžio „apibrėžia“ vartojimo: pavyzdžiui, jei v apibrėžia, kiek nueinama per kiek laiko, tai dydis mv (kur m – masė) tam tikra prasme taip pat apibrėžia tą patį[23]. Ginantis nuo šio priekaišto, galima nurodyti, kad tai nėra kontrapavyzdys apibrėžimui: Wallis aiškiai sako, kad kalbama apie judėjimą atstumo ir laiko terminais, o tai specifikuoja žodį „apibrėžia“; dydis mv kalba apie judėjimą jau atstumo, laiko ir masės terminais.

Jei dabartinį skaliarinį greičio apibrėžimą bandytume suformuluoti Walliso žodžiais, tai sakytume taip: greitis yra judėjimo savybė (aspektas), nurodanti, kiek atstumo nueinama per apibrėžtą laiką, t.y. s/t. Šis priedas s/t mūsų požiūriu yra trivialus, nes jau turime bendrą strategiją, kaip gauti santykinius fizikinius dydžius. Vis dėlto tenka pripažinti, kad Wallis nežengia paskutinio konceptualinio žingsnio santykinio apibrėžimo link. Todėl jam tenka dirbti senuoju būdu: greičių proporcingumo santykius įvesti apibrėžimais ir jais naudotis įrodant likusius tolygaus judėjimo sąryšius. Tai pakankamai gerai veikia pastovaus greičio atveju, bet problemos iškyla pereinant prie netolygaus judėjimo.

Šios pastabos tinka ir analogiškiems Newtono bandymams eksplikuoti greičio idėją. Nors Newtonas ir vartoja kinematinius terminus, jis savo paskelbtuose darbuose nepateikė jų eksplicitinės analizės. Tačiau jo rankraščiuose randama keletas greičio apibrėžimų (čia neatsižvelgsime į greičio momentinius aspektus). Vienas iš jų atitinka Walliso apibrėžimą: slenkamojo judėjimo atveju „greitis yra poslinkio kiekis, kiek tai susiję su judėjimo ilgiu, nueitu per apibrėžtą laiką“[24]. Šiame apibrėžime „poslinkio kiekį“ specifikuoja toliau einanti dalis, t.y. apie poslinkį kalbama aiškiai nurodytu aspektu – atstumo, nueito per apibrėžtą laiko tarpą. Pabrėžtina, kad kalbama apie „apibrėžtą laiką (*certo tempore*)“, o tai gerai atitinka dabartinio požiūrio pasirenkamą laiko vienetą, per kurį nueitas kelias ir yra kūno greitis. Nors Newtonas taip pat neįveda santykinio apibrėžimo, svarbiausia yra tai, kad jis turėjo aiškią greičio sampratą, kuria ir rėmėsi judėjimui aprašyti[25].

Be kitų, Newtonas vadovaujasi ir senąja „greitesnio“ proporcine samprata. Antai jo juodraščiuose (vadinamojoje *Waste Book*) randame: „Vienas dydis (*Quantity*) yra tiek greitesnis už kitą, kiek atstumas, kurį jis nueina, yra didesnis negu atstumas, kurį nueina kitas per tą patį laiką“[26]. Traktuojant tai kaip bandymą apibrėžti greitį per santykį, tenka konstatuoti, kaip tai daro Kulviecas, kad tai per platus apibrėžimas: juk jei v_A yra kūno *A* greitis, o v_B yra kūno *B* greitis, ir $v_A/v_B = s(A, t)/s(B, t)$, kur $s(t)$ – nueitas kelias, tai bet kokiam nenuliniam α dydžiai αv_A ir αv_B taip pat tenkina šį santykį. Atsakant į tai, pirmiausia matyti, kad, griežtai tariant, čia Newtonas eksplikuoja ne kūno greičio, o „greitesnio“ sampratą. Bet kaip galima kalbėti apie greičių santykį prieš tai nepriskyrus kūnui greičio? Tai išsiaiškinus, galima pamatyti, kaip netoli prie dabartinio apibrėžimo yra proporcinė samprata. Svarbiausia yra tai, kad prieš imdamas greičių santykį, Newtonas fiksuoja laiko tarpą, tarkime t. Tada su Newtonu sutariame, kad greitis v_A yra $s(A, t)$ *per* fiksuotą t (o ne $\alpha \cdot s(A, t)$) ir atitinkamai v_B yra $s(B, t)$ per fiksuotą t. Tad Newtono priemonės leidžia kūnui priskirti vienareikšmį greičio dydį, jei uždavinyje nekeičiame laiko t. O šiuolaikinis apibrėžimas visiškai lengvai leidžia apskaičiuoti nueitą atstumą standartizuoto laiko vieneto atžvilgiu (ir lengvai pereiti prie kitų vienetų standartų, jei reikia): $v_A = s(A, t)/t$.

Kaip jau minėjome, vartojant fizikinius terminus, rodančius, kiek vieno dydžio tenka kito dydžio vienetui, dabar pats termino apibrėžimas tiesiog formuluojamas kaip tų dydžių santykis, pavyzdžiui, skaliarine prasme greitis pagal apibrėžimą yra $\Delta s/\Delta t$, pagreitis – $\Delta v/\Delta t$ ir t.t. Tačiau reikia turėti omenyje, jog dalybos veiksmas į apibrėžimą įvedamas kaip tik tam, kad gautume, kiek vieno dydžio vienetų tenka kito dydžio standartiniam vienetui. Į tai neatsižvelgus galima padaryti klaidą manant, kad praeities fizikai neturėjo šiuolaikinių analizės priemonių. Antai Newtono *Principia* vertėjas į rusų kalbą Krylovas komentaruose aiškina, kad Newtonas nesinaudoja šiuolaikine pagreičio samprata: „pagreičio sąvoka, kaip ji dabar suprantama, *Principia* nevartojama, ir žodžiu „*acceleratio*“ – „pagreitis“ visada turimas omenyje *greičio prieaugis per duotą baigtinį arba be galo mažą laiko tarpą*“[27]. Newtonas iš tikrųjų naudojasi paryškintoje dalyje nurodytais terminais (pavyzdžiui, *Principia* teiginys XXXIX), tačiau kaip tik tai ir rodo, kad jis naudojasi šiuolaikine pagreičio samprata: dabartinio apibrėžimo dalybos rezultatas ir yra greičio prieaugis per pasirinktą laiko vienetą. Žinoma, šiuolaikinis apibrėžimas ($\Delta v/\Delta t$) yra efektyvesnis, leidžiantis iš karto panaudoti matematikos dedukcinį aparatą. Analogišku atveju žmonės galėjo įvertinti daiktų kiekį ir remdamiesi neefektyvia nepozicine skaičiavimo sistema, kurios skaitmenys nė neprimena šiuolaikinių skaitmenų, bet skaičiavimo idėja liko ta pati.

Greičio apibrėžimas nevienarūšių dydžių s ir t dalybos būdu pasirodo XVIII a. Varignono, Hermanno, Eulerio darbuose. Tolesnei raidai ypatingai svarbūs buvo Leonhardo Eulerio racionaliosios mechanikos traktatai, kuriuose daug vietos skiriama šios naujovės konceptualiniams komentarams (beje, rodantiems, kad naujovės ne taip lengvai skynėsi kelią). 1736 m. mechanikos vadovėlyje jis dar eksplicitiškai nepateikia greičio kaip s/t, bet, pasiremdamas tradiciniu tolyginio judėjimo greičio ir nueito kelio proporcingumu, įrodo, kad „$C : c = S/T : s/t$“; be to, čia pat teigiama, kad greitį galima išreikšti kelią padalinus iš laiko[28]. Tolyginio judėjimo greičio kaip atstumo, tenkančio laiko vienetui, idėją (tai atitinka straipsnio pradžioje pateiktą įvadinio mokyklinio vadovėlio apibrėžimą[29]) Euleris aiškina tokiu būdu: jei per sekundę nueinama 3 pėdas, tai greitis reiškiamas skaičiumi 3; jei per 6 s – 48 pėdas, tai greitis – 8, o tai rodo, kad per 1 s nueinamos 8 pėdos. Taikliai pasiremiama ir jūrininkų kasdienėmis praktikomis: pirmiausia jie išmatuoja, kiek mylių laivas nuplaukė per keturias valandas, o tada tardami, kad jis judėjo tolygiai, nustato, kiek pėdų nuplaukiama per mažesnį laiko vienetą[30]. 1760 m. Euleris žengia paskutinį konceptualinį žingsnį: čia pasirodo tolyginio judėjimo greitis kaip s/t. Abejojantiems dėl nevienarūšių dydžių dalybos, jis taikliai paaiškina, kad šitokiu būdu greitis yra tiesiog palyginamas su pasirinktu standartu $s/t = 1$[31].

IŠVADOS

Mokslo istorijos filosofinėms pamokoms svarbu ne tik konceptualiniai trūkiai, bet ir mokslinių idėjų perimamumas. Ankstyvojoje mokslo istorijoje judėjimo spartos aspektas buvo aprašomas pasiremiant kasdienine pastovaus greičio idėja. Ši samprata iš pradžių buvo realizuojama per vienarūšių dydžių proporcijas, o vėliau pereita prie efektyvesnio būdo, būtent kelio ir laiko santykio. Tačiau nepaisant skirtingos konceptualinės eksplikacijos, tiek senosios mechanikos proporcinis apibrėžimas, tiek modernusis santykinis apibrėžimas iš esmės išreiškia tą pačią judėjimo spartos idėją.

Literatūra ir nuorodos

[1] E. Adomonis, Konceptualinė pažanga moksle: momentinių dydžių panaudojimas gamtotyroje // *Filosofija. Sociologija* 2. – Vilnius, 2002, p. 15–23.

[2] „Anabasis" IV, VI 4. Tokių pavyzdžių apstu klasikiniuose tekstuose.

[3] B. L. Van der Waerden. *Пробуждающаяся наука II: Рождение астрономии*. – Москва, 1991.

[4] Išlikę babilonietiškos matematikos fragmentai rodo jos algebrinį ir aritmetinį, o ne geometrinį pobūdį, bet, kaip teigia van der Waerdenas, galimas daiktas, geometrinis elementas pas babiloniečius buvo stipresnis, negu anksčiau manyta (ten pat, p. 48).

[5] Ten pat, p. 219.

[6] Ten pat, p. 309–311.

[7] А. Т. Григорьян, В. П. Зубов. *Очерки развития основных понятий механики.* – Москва, 1962, p. 59.

[8] Štai apibrėžimas iš dabartinio standartinio vadovėlio mokykloms: tolygus judėjimas, „kai judantis kūnas per bet kuriuos lygius laiko tarpus nueina lygius atstumus" (A. Pioryškinas, N. Rodina. *Fizika VII klasei.* – Kaunas, 1969, p. 35).

[9] M. Clagett. *The Science of Mechanics in the Middle Ages.* – Madison, 1961, p. 40.

[10] Aristotle. *Physics*, tr. by R. P. Hardie and R. K. Gaye, in R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of the Western World, vol. 8: Aristotle I.* – Chicago, 1955, p. 314 (232a 23 – 232b 20).

[11] Ten pat, p. 315 (233b 20–23).

[12] А. Т. Григорьян, В. П. Зубов. *Очерки развития основных понятий механики.* – Москва, 1962, c. 60.

[13] Aristotle. *Physics*, tr. by R. P. Hardie and R. K. Gaye., in R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of the Western World, vol. 8: Aristotle I.* – Chicago, 1955, p. 315 (233b 18–28).

[14] Galima būtų iš karto užrašyti $v_2/v_1 = 1{,}5/1$, nors čia Aristotelis to aiškiai nesako. Jei Aristotelis tam prieštarautų, tai su vienu iš kinematikos pradininkų Vakaruose Gerardu Briuseliečiu jau rastume sutarimą: pasak pastarojo, taškų judėjimų proporcija yra tokia pat kaip ir linijų, nubrėžtų per tą patį laiką, proporcija. (Gerardas Briuselietis, kaip dar ir vėliau pasitaikydavo, vietoje „greitis" kartais vartodavo „judėjimas", panašiai ir dėl „judėti" bei „turėti greitį".) Clagettas pažymi, kad taip priartėjama prie dydžių ar skaičių priskyrimo judėjimams (M. Clagett. *The Science of Mechanics in the Middle Ages.* – Madison, 1961, p. 167). Tačiau reikia nepamiršti, kad jau Aristotelis aiškiai kalba apie „greičių santykį" (Aristotle. *Physics*, tr. by R. P. Hardie and R. K. Gaye, R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of the Western World, vol. 8: Aristotle I.* – Chicago, 1955, p. 315, 233b 22). Kad ir kaip ten būtų, mes laikysimės netikslios Aristotelio manieros.

[15] G. Galileo. *Dialogues Concerning the Two New Sciences*, in R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of the Western World, vol. 28: Gilbert, Galileo, Harvey.* – Chicago, 1955 [1638], p. 197–200.

[16] Aristotle. *Physics*, tr. by R. P. Hardie and R. K. Gaye, in R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of the Western World, vol. 8: Aristotle I.* – Chicago, 1955, p. 315 (233b 25–28).

[17] M. Clagett. *The Science of Mechanics in the Middle Ages.* – Madison, 1961, dokumentas 4.5, p. 245.

[18] G. Galileo. *Dialogues Concerning the Two New Sciences*, in R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of the Western World, vol. 28: Gilbert, Galileo, Harvey.* – Chicago, 1955 [1638], p. 197.

[19] Plg. tai su komplikuotu Galilėjaus įrodymu, žr. ten pat, p. 197–198.

[20] L. Kulviecas. К истории определения понятия скорости, in А. Т. Григоръян (ред.), *Исследования по истории механики.* – Москва, 1983, p. 32–33.

[21] Ten pat, p. 33–35.

[22] Ten pat, p. 35.

[23] Ten pat, p. 34.

[24] „*Def.* 11. *Velocitas est quantitas translationis quoad longitudinem itineris certo tempore confecti*" (žr.

L. Kulviecas. О попытках Исаака Ньютона определить понятие скорости // L. Kulviecas. *Klasikinė mechanika. Vadovėlio fragmentai.* – Vilnius, 2001, p. 80).

[25] Apie momentinių dydžių svarbą Newtono darbuose žr. E. Adomonis, Konceptualinė pažanga moksle: momentinių dydžių panaudojimas gamtotyroje // *Filosofija. Sociologija* 2. – Vilnius, 2002, p. 15–23.

[26] L. Kulviecas. О попытках Исаака Ньютона определить понятие скорости // L. Kulviecas. *Klasikinė mechanika. Vadovėlio fragmentai.* – Vilnius, 2001, p. 80.

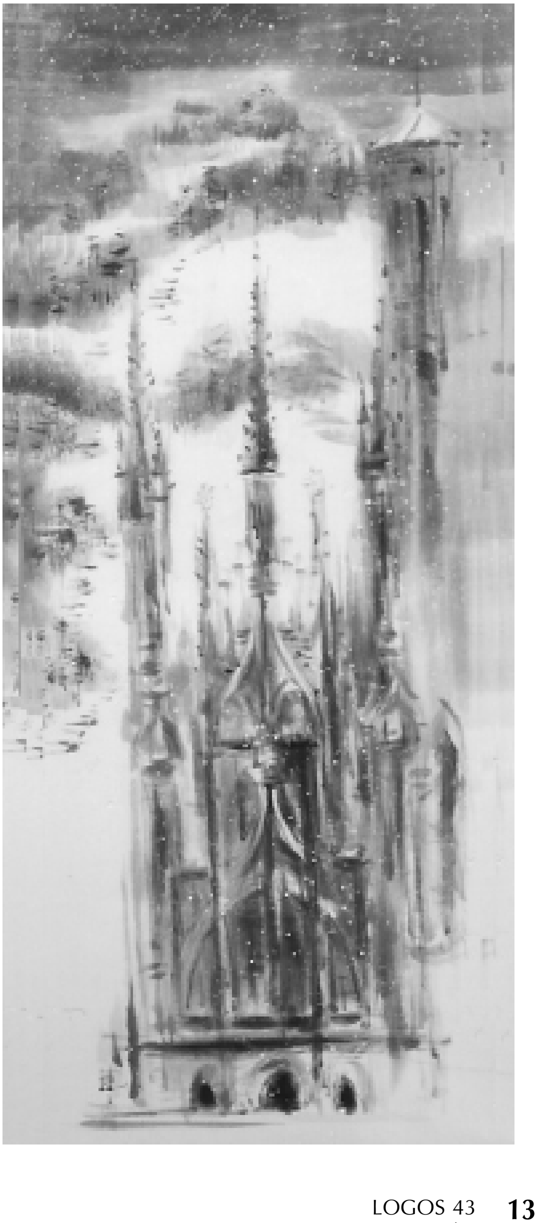
[27] I. Newton. *Математические начала натуральной философии*, пер. А. Н. Крылова. – Москва, 1989 [1687], c. 28, n. 9 (paryškinta mano).

[28] Эйлер. *Основы динамики точки.* – Москва, 1938 [1736, 1765], c. 53.

[29] Žr. 8 nuorodą.

[30] Эйлер. *Основы динамики точки.* – Москва, 1938 [1736, 1765], c. 50–53.

[31] Ten pat, p. 286–289.



Dalia DOKŠAITĖ.
Vilniaus gotika.
1999. *Sumi-e.* 105 × 45