

Rozhledy matematicko-fyzikální

Martin Černohorský; Jana Musilová

Newtonovy pohybové zákony – retrospektiva a současnost (1. část). Vžitě mylné představy vyvolané literaturou, učebnicemi a tradiční výukou versus pravý obsah

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 96 (2021), No. 2, 32–56

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/149126>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2021

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Newtonovy pohybové zákony – retrospektiva a současnost (1. část)

Vžitě mylné představy vyvolané literaturou, učebnicemi
a tradiční výukou versus pravý obsah

Martin Černožorský, Jana Musilová, Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Poznámka redakce. Ve spolupráci s Československým časopisem pro fyziku přinášíme na stránkách našeho časopisu článek, který se s fyzikálním a historickým nadhledem zabývá základním stavebním kamenem celé fyziky – Newtonovými pohybovými zákony. Na první pohled se může zdát, že článek zabývající se tímto „prastarým tématem“ nemůže čtenáři nic nového přinést. Opak je pravdou. Newtonovy pohybové zákony jsou stále vynikající materiál k zamyšlení a k procvičení logického uvažování.

Obsah obou článků:

1. část: 1. Oč půjde? – 2. Newtonovy definice a axiomy – 3. První axiom a jeho devět formulací – 4. První axiom v překladech a interpretacích – 5. Druhý axiom a důsledky – 6. Třetí axiom – zákon interakce

2. část: 7. Machova kritika a alternativa Newtonových axiomů – 8. Newtonovy axiomy a školská fyzika

1. Oč půjde?

Zatímco Galilei uvedl princip setrvačnosti jen jako poznámku pod čarou, díky Newtonova Axiomu neboli zákona pohybu prochází historií s důstojností a nedotknutelností papežského výroku.

Ernst Mach

Na první pohled se téma uvedené v názvu může jevit jen jako přehled třistaleté historie Newtonových zákonů. Newtonovy zákony jsou však v duchu Machovy charakteristiky prvního z nich namnoze vnímány i jako celek, ať v překladech či interpretacích celého Newtonova zakladatelského díla novověké přírodovědy *Philosophiae Naturalis Principia*

Mathematica (1687, 1713 a 1723, 1726). K nejznámějším z nich patří např. Motte 1729, Cajori 1937, Cohen 1989 do angličtiny, Le Seur a F. Janvier 1739–1742 – rozsáhlé komentáře v latině, markýza du Châtelet (1859) do francouzštiny, Wolfers 1872 do němčiny a další. Četné překlady samotného fundamentálního úvodu *Principií – Axiomata, sive Leges Motus* – dospěly v jednotlivých jazycích k ustáleným zněním, formulačně a interpretačně se jen nepodstatně lišícím v jednotlivostech. Patrně největší zájem vzbudila otázka, proč po peripetiích s početnou řadou formulací principu setrvačnosti a s cestou k výsledné restrikci systému základních zákonů na tři *Axiomata, sive Leges Motus* (Axiomy neboli zákony pohybu) ponechal Newton v této konečné úpravě jako axiom i první zákon, „když je to zvláštní případ zákona druhého“.

Uvedené skutečnosti jsou ovšem natolik obecně známy, že odkazy čtenář nepostrádá a spíše se bude domnívat, že jde o tematiku zajímavou snad jen pro zájemce o historii přírodních věd, opodstatněnou především tím, že jde o nejzávažnější část zakladatelského díla moderní přírodovědy. Leckterému čtenáři se může jevit zbytečné, ne-li dokonce nesmyslné, zkoumat Newtonovy zákony ještě takřka po třech stovkách let od vydání Newtonových *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* [1]¹⁾ (dále „Principia“), když je přece vše tak jasné. Tři zákony, nazývané „zákon setrvačnosti“, „zákon síly“ a „zákon akce a reakce“, jsou přece obsaženy jak v mnoha překladech Principií, tak v nesčetných učebnicích fyziky všeho druhu a všech úrovní a jejich formulace jsou stručné a tak jednoduché, že na nich přece nemůže být nic k zpochybnění. Je tomu však jinak: v takové představě tkví právě pověstný „kámen úrazu“ (nejen) školské fyziky.

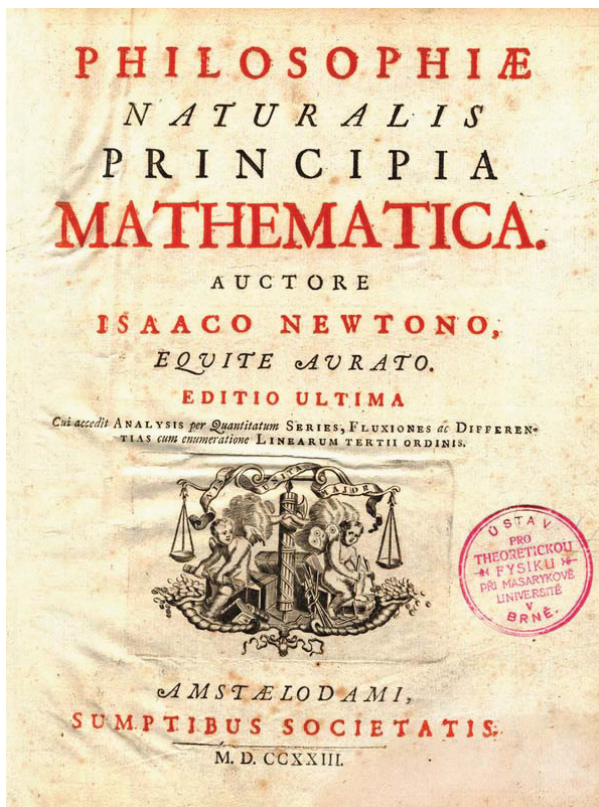
Ve snaze o přesnost překladu a interpretace originálního znění Newtonových zákonů a komentářů k nim je třeba vedle smyslu pro správnost a čistotu interpretace věhlasného díla spatřovat i to, že na této přesnosti závisí skutečné pochopení pilířů mechaniky, které jedině umožňuje jejich správnou aplikaci v modelových i praktických situacích a rozvoj fyzikálního myšlení nejen budoucích fyziků, ale studentů obecně.

Pokud jde o tři Newtonovy zákony samotné, zaměříme se při jejich interpretaci na následující skutečnosti vyplývající z originálního Newtonova znění.

¹⁾Z tohoto vydání Principií, jehož exemplář je součástí knihovního fondu Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity (obr. 1), jsou převzata originální (latinská) znění Newtonových definic, axiomů, důsledků a komentářů prezentovaná v tomto příspěvku. V Principiích jsou uváděna vesměs na prvních stranách (str. 1 až 20).

První zákon. Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného směrného pohybu, není-li působícími silami nuceno svůj stav měnit.

Pojem „směrný pohyb“ je založen na užití slovního spojení „motus in directum“, k jehož začlenění do předposlední a poslední formulace prvního zákona se Newton nakonec rozhodl. Správný obsah prvního zákona neumožňuje považovat ho za zvláštní případ druhého zákona, jak bývá často interpretován. Newton proto označil Lex I ve své době správně jako axiom, zatímco když nyní z druhého a třetího zákona umíme odvodit obě impulsové věty, jejichž zvláštními případy jsou principy setrvačnosti směrného a rotačního pohybu, by musel první zákon z axiomů vynechat.



Obr. 1

Druhý zákon. *Změna hybnosti je úměrná působící hybné síle a děje se podél přímky, v níž ona síla zapůsobí.*

Ernst Mach operoval se silou jako s primárním pojmem, jehož význam je obecně jasný, s tím, že jako vektorová veličina je síla na těleso působící rovna součinu jeho hmotnosti a jeho zrychlení. Machova autorita vedla k tomu, že tento výklad se vžil jako definice síly ($F = ma$) a je tak také obecně užíván. Machova definice je však vadná, neboť síla není charakteristikou jen uvažovaného objektu. Správný postup vedoucí k vybudování pojmu síla spočívá v zavedení síly na základě experimentu pro každou jednotlivou interakci s následným zobecněním, vedoucím k pojmu síla jako vektorové kvantitativní charakteristice interakce, obecně závislé na parametrech trojího druhu: parametrech objektu, o jehož chování uvažujeme, parametrech okolí, s nímž objekt interaguje, a konfiguračních parametrech soustavy objekt-okolí. Druhý zákon je pak pohybovým zákonem umožňujícím na základě znalosti interakcí zkoumaného tělesa s okolními objekty v principu určit závislost jeho pohybu na čase.

Třetí zákon. *Akci je reakce vždy protisměrná a je stejně velká jako ona: neboli působení dvou těles na sebe navzájem jsou vždy stejně velká a směřují na opačné strany.*

Tento zákon sám Newton formuluje pomocí pojmů akce a reakce, ovšem s tím, že v jeho (správném) pojetí představují dvojici sil vzájemného působení mezi interagujícími objekty, nikoli realizaci rozhodnutí subjektu nadaného schopností vlastního rozhodování (akce), a touto akcí vyvolaný proces (reakce).

Výše uvedené charakteristiky, týkající se správné interpretace Newtonových zákonů, vyžadují podrobnější výklad doplněný Newtonovými komentáři. Je jistě udivující, že žádný z citovaných překladů Newtonova díla se nevypořádal s jeho pohybovými zákony zcela správně. Zejména markantní je to v případě prvního zákona, kdy si překladatel nepřipustili skutečnost, že zákon zahrnuje také rotační pohyb. Lze pochopit, že to uniklo překladatelům a vykladačům, kteří se soustředili bez potřebného hlubokého zamýšlení jen na přesný doslovný převod znění zákonů samotných do zvoleného jazyka, aniž si všímali vysvětlujících komentářů s příklady (mj. [3]–[5]). Stručnost formulací označených Newtonem přímo jako zákony (Leges) či axiomy (Axiomata) mohla totiž být při takovém přístupu poněkud zavádějící. Překladům se však věnovali i renomovaní fyzikové a pedagogové, kteří přeložili celá Principia včetně vy-

světlujících komentářů a příkladů, které dokonce komentovali, a přesto nevyšli za hranici obvyklých mylných či přinejmenším neúplných interpretací (např. [6]). V článku si podrobněji všimneme všech nám doposud známých překladů od doby vydání Principií až po současnost. Uvedeme původní znění axiomů a souvisejících definic, komentářů a příkladů spolu s naším překladem a předložíme jejich správnou interpretaci. Nakonec si všimneme některých základních učebnicových dezinterpretací a nejčastějších studentských chyb vyplývajících z nesprávného pojetí Newtonových zákonů. Text by tak měl napomoci tomu, aby učitel kteréhokoli školského stupně v něm našel – s uplatněním patřičné selektivity – vše, co pro výuku tématu potřebuje, aniž by musel sahat po další literatuře.

2. Newtonovy definice a axiomy²⁾

V této kapitole pouze uvedeme originální znění a náš překlad několika Newtonových definic a jeho tři axiomů, dále pak přípravné pojmy zjednodušující výklad Newtonových formulací.

Newtonovy definice

Axiomům samotným předchází v Principiích osm definic (Definitio I až VIII), z nichž jsou pro náš výklad podstatné tři:

Definitio II

Quantitas Motus est mensura eiusdem orta ex Velocitate et Quantitate Materie conjunctim.

Velikost pohybu je míra daná součinem rychlosti a velikosti hmoty.

Definitio III

Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unum-quodque, quatum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.

Inherentní síla³⁾ hmoty je schopnost odporu, jíž každé těleso, pokud je jen na něm, setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného směrného pohybu.

²⁾Tvrzení běžně nazývaná *Newtonovy (pohybové) zákony* tvoří ve skutečnosti soustavu axiomů klasické newtonovské mechaniky a splňují požadavky nezávislosti, bezespornosti a úplnosti. Sám Newton je v Principiích nazývá *Axiomata sive Leges motus*, jejich konkrétní znění však nadepisuje *Lex I, II, III*.

³⁾Pojem „*materiae vis insita*“, překládaný jako „inherentní síla hmoty“, může být také nahrazen jednoslovným „setrvačnost“ jako vlastnost chování hmoty.

Definitio IV

Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum eius statum vel quiscendi vel movendi uniformiter in directum.

Působící síla je akce zaměřená na těleso, aby změnilo svůj stav klidu nebo rovnoměrného direkčního pohybu.

Slovo „motus“ užívá Newton ve dvojím významu: jednak pro pohyb jako takový, jednak pro hybnost jako fyzikální veličinu (ve formulaci druhého axiomu níže). V definici II ji nazývá přesněji „velikost pohybu“ (quantitas motus).

Pro úplnost dodáváme, že definice I stanoví „velikost hmoty“, tedy hmotnost, jako součin hustoty a objemu, definice V až VIII se týkají dostředivého zrychlení a dostředivé síly. Tyto definice se v našem příspěvku přímo neuplatňují, proto je zde neuvádíme.

Newton dále pracuje s pojmy absolutní prostor, jakožto výlučná vztažná soustava, vzhledem k níž se vztahují formulace axiomů, a absolutní čas. Uvádí je v Principiích spolu s dalšími pojmy pod nadpisem Scholium. Uvedeme jeho úplné definice týkající se absolutního času a prostoru, v nichž je ona jedinečnost patrná:

Tempus Absolutum, verum, & mathematicum, in se & natura sua absque relatione ad externum quodivis, aequabiliter fluit, alioque nomine dicitur Duratio.

Absolutní, skutečný a matematický čas sám o sobě je svou povahou bez vztahu k čemukoli vnějšimu, plyne rovnoměrně a jiným slovem se nazývá trvání.

Spatium Absolutum natura sua absque relatione ad externum quodivis, semper manet simile & mobile.

Absolutní prostor je svou povahou bez vztahu k čemukoli vnějšimu a vždy zůstává stejný a nehybný.

Newton se také poměrně podrobně zabývá pojmy relativní čas a relativní prostor, jež ilustruje příklady, a fakticky tak dává základ úvahám o pohybech v různých vztažných soustavách. Pokud však o pohybech hovoří v axiomech, má na mysli pohyby vzhledem k absolutnímu prostoru, jež nazývá *absolutní pohyby*. Dokládají to obsáhlé úvahy ve zmíněném Scholiu, z nichž je vhodné citovat alespoň toto:⁴⁾

⁴⁾Namísto pojmu „vtištěné síly“ je v našem překladu použito slovní spojení „působící síly“, resp. „zapůsobící síly“, které sice není doslovným překladem Newtonova termínu „vires impressæ“, je však podle našeho názoru vhodnější.

Causæ, quibus motus veri & relativi distinguuntur ab invicem, sunt vires in corpora impressæ ad motum generandum. Motus verus nec generatur nec mutatur; nisi per vires in ipsum corpus motum impressas: at motus relativus generari & mutari potest absque viribus impressis in hoc corpus. Sufficit enim ut imprimantur in alia folum corpora ad quæ fit relatio, ut iis cedentibus mutetur relatio lila in qua hujus quies vel motus relativus consistit.

Příčinami, jimiž se od sebe navzájem liší skutečné (absolutní) a relativní pohyby těles, jsou síly působící na tato tělesa, jež je uvádějí do pohybu. Skutečný pohyb vzniká a mění se pouze prostřednictvím sil působících na pohybující se těleso, avšak relativní pohyb může být vyvolán a změněn, aniž na toto těleso působí síly. Stačí totiž, jestliže působí pouze na jiná tělesa, k nimž se ono těleso vztahuje, aby se jejich pohybem změnil ten vztah, na kterém se zakládá klid, nebo pohyb onoho tělesa.

Scholium, po němž bezprostředně následuje kapitola Axiomata sive leges motus (Axiomy neboli zákony pohybu), Newton uzavírá slovy: *V následujícím výkladu podrobněji vyložíme, jak určit skutečné pohyby z jejich příčin, účinků a zdánlivých rozdílů, a naopak, jak z pohybů, ať již skutečných, nebo zdánlivých, určit jejich příčiny a účinky. Neboť toto pojednání jsem napsal právě za tímto účelem.*

Direkční pohyby

V definici IV se v našem překladu objevuje pojem „direkční pohyb“. Dle našeho mínění je to nejkratší a nejvýstižnější převedení Newtonova termínu „motus in directum“ do češtiny, které zároveň respektuje fyzikální obsah Newtonovy terminologie, na níž se jeho formulace prvního zákona ustálila až v osmé a deváté verzi. (Podrobněji o jednotlivých verzích v kapitole 3.)

Direkční pohyby nyní definujeme v souladu s přesným smyslem Newtonova „motus in directum“ (neboli „pohyb v daném směru“, „pohyb stále ve stejném směru“), jak je prokazatelné z jeho komentářů k prvnímu axiomu. Jedná se o nejjednodušší translační a nejjednodušší rotační pohyby:

- translační pohyb po přímce (přímočarý pohyb hmotného bodu, resp. středu hmotnosti tělesa),
- rotační pohyb kolem pevné osy,
- superpozice translačního a rotačního pohybu, kdy osa rotace nemění svou orientaci v prostoru a pohybuje se přímočaře.

Z hlediska Newtonova chápání absolutního prostoru jako jedinečné vztažné soustavy jsou druhý a třetí případ terminologicky odlišeny. Při popisu pohybu v inerciálních vztažných soustavách jsou tyto případy ekvivalentní. (Direkční pohyb může být samozřejmě jak rovnoměrný, tak nerovnoměrný.)

Newtonovy axiomy

Věnujme se tedy již třem Newtonovým axiomům obsaženým v Principiích. V tomto odstavci uvedeme originální (latinské) znění jejich definitivních verzí a naše překlady.

Lex I

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného direkčního pohybu, pokud není působícími silami nuceno onen stav změnit.

Lex II

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ & sieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Změna hybnosti je úměrná působící hybné síle a děje se podél přímky, v níž ona síla působí.

Lex III

Actioni contrariam semper & equalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse equales in partes contrarias dirigi.

Akci je reakce vždy protisměrná a je stejně velká jako ona: neboli působení dvou těles na sebe navzájem jsou vždy stejně velká a směřují na opačné strany.

3. První axiom a jeho devět formulací

K definitivní, deváté formulaci prvního axiomu se Newton pracoval v období 1664–1684. Pro ilustraci důkazu skutečnosti, že první axiom představuje princip setrvačnosti pro všechny direkční pohyby, jak jsme je zavedli v předchozí kapitole, uvádíme originální znění všech formulací (z nichž některé z prvních formuloval Newton anglicky, ostatní latinsky) spolu s našimi překlady. Z přehledu je zřejmý vývoj od principu setrvačnosti rovnoměrného přímočarého pohybu k principu setrvač-

nosti všech direkčních pohybů. Jednotlivé formulace označujeme stejně, jako jsou označovány v [7] a [8], tučně vyznačujeme formulačně důležitá místa. Odpovídající části textů v Newtonových rukopisných dílech byly podrobně rozebrány v [9], kde se zájemce může seznámit s důsledně vedenou argumentací dokazující zmíněný obecnější význam prvního axiomu (viz také [10]–[16]).

1) MS. II, Ax. 1, 2

*If a quantity once moves it will never rest unless hindered by some external cause and a quantity will always move on **in the same straight line** (not changing the celerity or determination of its motion) unless some external cause divert it.*

Jestliže se kvantita jednou pohybuje, nikdy se nezastaví, ledaže by byla zbrzděna nějakou vnější příčinou, a kvantita se bude stále pohybovat **po téže přímce** (neměnic rychlost a směr svého pohybu), ledaže by ji nějaká vnější příčina odklonila.

2) MS. II, Ax. 100

*A body once moved will always keep **the same celerity, quantity and determination** of its motion.*

Těleso uvedené do pohybu bude stále udržovat **stejnou rychlost, velikost a směr pohybu**.

3) MS. VI, § 4

*Et multo magis quod corporis sine impedimentis moti velocitas non dici potest uniformis, neque **linea recta** in qua motus perficitur.*

Nelze říci, že rychlost tělesa pohybujícího se bez odporu je stejnoměrná, a ani to, že pohyb probíhá v přímce.⁵⁾

4) MS. VIII, Hyp. 1

*Bodies move uniformly **in straight lines** unless so far as they are retarded by the resistance of the medium or disturbed by some other force.*

Tělesa se pohybují rovnoměrně **po přímkách**, pokud nejsou zpomalována odporem prostředí nebo rušivě ovlivňována nějakou jinou silou.

⁵⁾Tato formulace nevyjadřuje první axiom přímo, ale v jistém smyslu „komplementárně“. Týká se právě rotačního pohybu tělesa – zdůrazňuje skutečnost, že v situaci, kdy je těleso oproštěno od vnějších vlivů, ještě nemusí být jeho pohyb přímočarý a rychlosti všech jeho částí stejné.

5) MS. IXa, Hyp. 2

Corpus omne sola vi insita uniformiter secundum rectam lineam in infinitum progredi nisi aliquid extrinsecus impediatur.

Každé těleso se pouhou inherentní silou pohybuje vpřed rovnoměrně **po přímce** do nekonečna, nezabrání-li tomu něco zvenčí.

6) MS. IXc, Lex 1

Sola vi insita corpus uniformiter in linea recta semper pergere si nil impediatur.

Pouhou inherentní silou postupuje těleso rovnoměrně **po přímce** stále vpřed, jestliže tomu nic nebrání.

7) MS. Xa, Lex 1

Vi insita corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta nisi quatenus viribus impressis cogitur statum illum mutare. Motus autem uniformis hic est duplex, progressivus secundum lineam rectam quam corpus centro suo aequabiliter lato describet et circularis circa axem suum quemvis qui vel quiescit vel motu uniformi latus semper manet positionibus suis praeipribus parellus.

Inherentní silou setrvává každé těleso ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu **po přímce**, pokud není působícími silami přinuceno onen stav měnit. **Tento rovnoměrný pohyb je však dvojitý**, postupný po přímce, kterou těleso opisuje svým rovnoměrně se pohybujícím středem, a otáčivý kolem osy, která je buď v klidu, nebo pohybující se rovnoměrně zůstává stále rovnoběžná se svými předchozími polohami.

8) MS. XI, Lex 1

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Každé těleso, které je ve stavu klidu nebo ve stavu rovnoměrného **dírkčného pohybu**, setrvává ve svém stavu, pokud není působícími silami přinuceno jej změnit.

9) Principia, Lex I, 1687, 1713

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Projectilia perseverant in motibus suis, nisi quatenus a resistentia aeris retardantur, et vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohaerendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari, nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum et Cometarum corpora motus suos et progressivos et circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného **direkčního pohybu**, pokud není působícími silami nuceno onen stav měnit.

Projektily setrvávají ve svých pohybech až na zpomalování odporem prostředí a pokles k zemi účinkem gravitační síly. Kolo, jehož části strhávají jedna druhou z přímočarých pohybů následkem trvalé vzájemné vazby, neochabuje v otáčení, dokud je prostředí nezpomalí. Větší pak tělesa planet a komet zachovávají své pohyby jak posuvné tak otáčivé, probíhající v prostorách kladoucích menší odpor, déle.

V [9] bylo podrobným rozbořem prokázáno, že Newton měl ve svém prvním axiomu nakonec skutečně na mysli setrvačnost všech direkčních pohybů. V tomto příspěvku nebudeme důkaz rekapitulovat. Samotný vývoj formulací prvního axiomu o tom totiž jasně svědčí: Jednověté formulace 1) až 6) se explicitně omezují na přímočarý pohyb, v anglických verzích „straight line“, nebo „straightforward“, v latinských „linea recta“. Naproti tomu v předposlední a v poslední, definitivní verzi (která již je pod názvem Lex I ve vydáních Principií z let 1687 a 1713), je toto slovní spojení nahrazeno promyšleným termínem „in directum“, připouštějícím potřebný širší význam. Tento význam předjímá jediná dvouvětá verze prvního axiomu, a to 7) MS. Xa, Lex 1. Druhá věta svědčí o tom, že měl Newton na mysli všechny (rovnoměrné) direkční pohyby. Její význam ilustrují právě tři výše uvedené příklady, jimiž doplnil poslední verzi prvního axiomu. Skutečnost, že zdánlivě nelogicky hovoří o „dvojím pohybu po přímce“ (in linea recta) dokládá pouze to, že v dané době neměl ujasněnu terminologii. Termín „uniformiter in directum“, v němž jsou obsaženy rovnoměrné direkční pohyby obecně, nalezl a použil až v posledních dvou formulacích (podrobněji o tom viz [9]). Konkrétní pří-

klad, jímž je doprovázena poslední, devátá formulace, rovněž nepřipouští pochybnost, že první axiom zahrnuje i rovnoměrnou rotaci.

4. První axiom v překladech a interpretacích

Newtonova Principia se dočkala řady překladů v širokém časovém období od jejich posledního originálního (latinského) vydání [2] až po dnešek. Podíleli se na nich renomovaní fyzikové a filosofové, včetně českých (viz [3]–[6], [8], [17]–[33], [35]). Zůstali však jen u přímočarého pohybu, s částečnou výjimkou [34], kde autor možnost rovnoměrné rotace v prvním zákonu připouští. Změně terminologie na „*motus in directum*“ a druhé větě verze 7) MS. Xa, Lex 1 však buď nevěnovali pozornost, nebo si těchto odlišností všimli, ale dospěli k závěru, že termín „*in directum*“ je synonymem termínu „*in linea recta*“ (konkrétně [6]). Většina následujících překladů byla sice uvedena již v [9], pro pohodlí čtenáře je však rekapitulujeme v chronologických přehledech a s doplněním převodu do češtiny.

A. Motte (1729) [3]

Law I. Every body continues in its state of rest, or of uniform motion *in a right line*, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.

Zákon I. Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu *po přímce*, dokud není nuceno změnit tento stav silami, které na ně působí.

Marquise du Châtelet (1759) [4]

Première loi. – Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme *en ligne droite* dans lequel il se trouve, a moins que quelque force n'agisse sur lui et ne le contraigne a changer d'état.

První zákon. – Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu *po přímce*, na které se nachází, dokud na ně nepůsobí nějaká síla a nedonutí je stav změnit.

J. Ph. Wolfers (1872) [5]

1. Gesetz. Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen *geradlinigen* Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.

1. zákon. Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného *přímočarého* pohybu, dokud není působícími silami donuceno svůj stav změnit.

W. Thomson, P. G. Tait (1879) [17]

Every body continues in its state of rest or of uniform motion *in a straight line*, except in so far as it may be compelled by force to change that state.

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu *po přímce*, ledaže je silou nuceno onen stav změnit.

O. D. Chvolson (1897) [18]

Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерно *прямолинейного* движения, пока действие сил не заставит его изменить своего состояния (движения).

Každé těleso zachovává stav klidu nebo rovnoměrného *přímočarého* pohybu, dokud působení sil je nedonutí svůj stav změnit.

A. N. Krylov (1915) [19]

Every body continues to preserve its state of rest or uniform motion *in a right line*, until it is and so far it is not compelled to change that state by forces impressed upon it (emphasis added).

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu *po přímce*, dokud není působícími silami nuceno tento stav změnit.

F.-M. Biarnais (1985) [20]

Loi I. Tout corps persévère en son état de repos ou de mouvement *rectiligne* uniforme, sauf si des forces „imprimées“ le contraignent d'en changer.

Zákon I. Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo *přímočarého* rovnoměrného pohybu, ledaže je „vtištěné“ síly donutí jej změnit.

S. Hawking (1985) [20]⁶⁾

Newton substitua sa première loi: „Tout corps demeure à l'état de repos, ou poursuit un mouvement *rectiligne* uniforme, à moins qu'il ne soit soumis à une force extérieure.“

⁶⁾V předmluvě k [20]. Pozn. MČ.

Newton nahradil svůj první zákon: Každé těleso zůstává ve stavu klidu nebo koná *přímocharý* rovnoměrný pohyb, ledaže je podrobena vnější síle.

C. L. Tascón (1998) [21]

Toda practicula material persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme *en línea recta*, salvo que se vea forzada a cambiar ese estado por acción de una fuerza impresa.

Každá hmotná částice setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu *po přímce*, pokud není nucena změnit tento stav působením síly.

I. B. Cohen (1999) [6]

Every body perseveres in its state of being at rest or of moving uniformly *straight forward*, except insofar as it is compelled to change its state by forces impressed.

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo v rovnoměrném pohybu *přímo vpřed*, kromě případu, kdy je nuceno změnit svůj stav působením sil.

Č. Strouhal, B. Kučera (1910) [23]

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo pohybu rovnoměrného *přímocharého*, leč by vnějšími silami bylo nuceno stav svůj měniti.

V. Novák (1919) [24]

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo pohybu rovnoměrného, *přímocharého*, leč by vnějšími silami bylo nuceno stav svůj změniti.

B. Kučera (1921) [25]

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo *přímocharého* rovnoměrného pohybu, není-li nuceno vtisknutými silami stav svůj změniti.

F. Závíška (1933) [26]

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu *v přímé čáře*, leč by bylo vnějšími silami nuceno stav svůj změniti.

F. Nachtikal (1946) [27]

Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného *přímocharého* pohybu, pokud vnějšími silami není nuceno stav onen měniti.

J. B. Slavík (1962) [28]

Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného *přímočarého* pohybu, není-li působením jiných těles (působením vnějších sil) nuceno tento stav měnit.

Z. Horák, F. Krupka (1966) [29]

Každé těleso setrvává v stavu klidu nebo rovnoměrného *přímočarého* pohybu, není-li vnějšími silami nuceno tento stav měnit.

A. Hlavička a kol. (1971) [30]

Každé těleso setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném *přímočarém*, pokud není nuceno působením vnějších (vtištěných) sil tento stav měnit.

A. Havránek (1972) [31]

Těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném *přímočarém* pohybu, dokud není nuceno vnějšími silami⁷⁾ tento stav měnit.

B. Havelka (1974) [32]

Každá částice setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného *přímočarého* pohybu, je-li ponechána sama sobě, tj. nepůsobí-li na ni vnější síla. Platí tedy $\mathbf{a} = \mathbf{0}$, když $\mathbf{F} = \mathbf{0}$. Klid a rovnoměrný přímočarý pohyb jsou rovnocenné přirozené stavy částice (tělesa).

V. Hajko, D. Szabó (1974) [33]

Těleso je v pokoji alebo koná rovnomerný *priamočarý* pohyb, kým naň nepôsobí nejaká sila.

J. Kvasnica a kol. (1988) [34]

Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného *přímočarého* pohybu, dokud není vnějšími silami nuceno tento stav změnit.

Auťori [34] ďale pokračujú: Pokud jde o výše uvedenou formulaci zákona setrvačnosti, je zarážející, že se nezmiňuje o rotačním pohybu těles, takže je obecně použitelná jen na pohyb hmotného bodu. Na základě rozboru různých vydání překladů Newtonových Principií dospěli někteří badatelé k přesvědčení, že správný český překlad by měl znít:⁸⁾

⁷⁾Někdy zde bývá uváděno „působením jiného tělesa“. Pozn. JM

⁸⁾Autor byl pravděpodobně obeznámen s některou z prací [10]–[12]. Pozn. JM

Každé těleso, které se nachází ve stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu v daném směru, setrvává ve svém stavu, ledaže je silami přinuceno jej změnit.

Ten totiž vystihuje v nejstručnější podobě skutečnost, kterou Newton podrobně uvádí v komentářích k tomuto zákonu, že si při uvedeném pohybu těleso zachovává jak velikost, tak směr rychlosti translačního pohybu, tak velikost i směr rychlosti otáčení (úhlové rychlosti ω).

J. Franek (2020) [35]

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu anebo *rovnoměrného pří-
měho pohybu*, dokud ho vtištěné síly nedonutí změnit jeho stav.

V nejnovějším díle [35], zabývajícím se interpretací Newtonových zákonů, překladatel nijak neinterpretuje pojem „rovnoměrný přímý pohyb“, jenž použil pro latinské „*motus uniformiter in directum*“. Vedle samotného překladu prvního axiomu uvádí sice i vlastní překlad Newtonova komentáře k jeho poslední formulaci prvního axiomu (viz Principia, Lex I, 1687, 1713), nemá pravděpodobně na mysli „direkční pohyb“ ve smyslu naší definice, i když právě Newtonův příklad poskytuje zcela dostatečnou argumentaci ve prospěch názoru, že o direkční pohyby v prvním axiomu jde. Rovněž J. Novotný, jeden z autorů a editorů publikace [35], se vyjadřuje k zahrnutí rotace do prvního axiomu skepticky s odvoláním na Cohenu na první pohled mylnou a ne zcela jasnou interpretaci (viz [6]), podle níž

„... má (Newton) pouze na mysli, že při otáčení tělesa kolem osy je složka síly do směru pohybu nulová, a rychlost rotace se proto nemění.“

Novotný uzavírá:

„Zdá se proto, že požadavek přesnějšího překládání Newtonova textu je oprávněný. Jiná otázka je, zda s tím musíme spojovat nutnost změny tradiční axiomatiky oproti dosavadnímu chápání.“

Tento závěr je nepochybně překvapivý, a to proto, že „tradicie dosavadního chápání“ Newtonovy axiomatiky nevznikla ničím jiným než vytrvalým opakováním z hlediska pravého obsahu nepřesných překladů s následnými mylnými interpretacemi prvního axiomu.

Cohenova interpretace prvního axiomu v jeho překladu Principií (viz [6]) je podrobně rozebrána v [9]. Zde zmiňme pouze skutečnost, že Cohen jako jediný z citovaných překladatelů Principií zaznamenal a komentoval Newtonův posun formulace od „*in linea recta*“ k „*in directum*“. Interpretačně však zůstal u rovnoměrného přímočarého pohybu. Konkrétně

píše:

Kdekoli to bylo možné, pokusili jsme se postupovat podle Newtonovy vlastní volby termínu. Například na řadě míst, jako v prvním zákoně, Newton píše o pohybu „uniformiter in directum“, což uvádíme jako „rovnoměrně přímo vpřed“, kde „přímo“ znamená „v přímé nebo rovné čáře“. Vyhnuli jsme se použití slov „přímá čára“, která Newton sám vědomě opustil, když předtím psal „in linea recta“ v traktátu De Motu v předběžné verzi prvního zákona. Samozřejmě, pohyb „rovnoměrně přímo vpřed“ musí být nutně rovnoměrný přímočarý.

Na rozdíl od řady jiných překladatelů a interpretací Cohen uznával první zákon jako nezávislý axiom (tj. není zvláštním případem druhého), argumentoval však nesprávnou domněnkou, že v prvním zákonu měl Newton na mysli sílu působící „impulsně“ (jednorázově), zatímco v druhém sílu „působící spojitě“.

5. Druhý axiom a důsledky

Druhý axiom, který pro pohodlí čtenáře spolu s překladem zrekapitulujeme, doprovází Newton stejně jako u axiomu prvního důležitým komentářem.

Lex II

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae & sieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Změna hybnosti je úměrná působící hybné síle a děje se podél přímky, v níž ona síla působí.

Si vis aliqua motum quemvis generet; dupla duplum, tripla triplum generabit sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus (quoniam in aendem semper plagam cum vi generatrice determinatur) si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adjicitur & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.

Jestliže nějaká síla vyvolává určitou změnu hybnosti, síla dvojnásobná vyvolává změnu dvojnásobnou, síla trojnásobná změnu trojnásobnou, ať již zapůsobí naráz, anebo působí krok za krokem. A tato změna hybnosti (protože má stejný směr jako síla, která ji vyvolává), jestliže se těleso předtím pohybovalo, se k jeho hybnosti buď souhlasného směru přičte, nebo se od protisměrně orientované odečte, anebo se ke kose orientované hybnosti kose připojí a složí se s ní.

K druhému axiomu se úzce vztahuje šest tzv. Corollaríí, majících charakter důsledků, rovněž s vysvětlujícími komentáři. První z nich uvedeme i s komentářem, neboť představuje podrobnější výklad k zacházení se silami působícími na těleso (i když je již dostatečně zřejmý z příkladu dokumentujícího druhý zákon). V dnešním pojetí je obvykle nazýván principem superpozice sil. Další tři Corollaria uvedeme pouze v originálním znění a v překladu do češtiny. Corollaria 5 a 6 se přímo nevztahují k naší diskusi, proto je neuvádíme.

Corollarium I

Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore describe, quo latera separatis.

Těleso opiše při působení sloučených sil úhlopříčku rovnoběžníku za tutéž dobu, za kterou opiše strany při působení jednotlivých sil.

Si corpus dato tempore, vi sola M in loco A impressa, ferretur uniformi cum motu ab A ad B ; \mathcal{E} vi sola N in eodem loco impressa ferretur ab A ad C ; compleatur parallelogrammum $ABDC$, \mathcal{E} vi utraque ferretur id eodem tempore in diagonali ab A ad D . Nam quoniam vis N agit secundum lineam rectam AC ipsi BD parallelam, haec vis per Legem II nihil mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam BD a vi alteram genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore da lineam BD , sive vis N imprimatur, sive non; atque adeo in fine: illius temporis reperietur alicubi in linea illa BD . Eodem argumento in fine temporis ejusdem reperietur alicubi in linea CD , \mathcal{E} idcirco in utriusque lineae concursu D reperiri necesse est. Perget autem motu rectilineo ab AB ad AD per Legem 1.

Jestliže se těleso v dané době přesune rovnoměrným pohybem vlivem zapůsobení jen síly M v místě A z A do B a zapůsobením jen síly N v témž místě z A do C , přesune se při zapůsobení obou sil za tutéž dobu po úhlopříčce doplněného rovnoběžníku $ABDC$ z A do D . Protože totiž síla N zapůsobí v čáře AC rovnoběžně s BD , nezmění vzhledem k Zákonu II nijak rychlost postupu k oné čáře BD vzniklou díky druhé síle. Těleso tedy dospěje k čáře BD za stejnou dobu, ať síla N působí, nebo ne, či lépe řečeno na konci oné doby se objeví někde na oné čáře BD . S týmž odůvodněním se objeví na konci téže doby někde na čáře CD , a proto se musí objevit v průsečíku D obou čar. Postupuje ovšem přímočarým pohybem z A do D podle Zákona I. (Vlastní Newtonův nákres viz obr. 2.)

PRINCIPIA MATHEMATICA. 13

L E X III. L
M

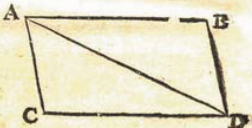
Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.

Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Si quis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi alligatum trahit, retrahetur etiam & equus (ut ita dicam) æqualiter in lapidem: nam funis utrinque distentus eodem relaxandi se conatu urgebit equum versus lapidem, ac lapidem versus equum; tantumque impeditur progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocunque mutaverit, idem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem pressionis mutuae) subibit. His actionibus æquales fiunt mutationes, non velocitatum, sed motuum; scilicet in corporibus non aliunde impeditis. Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, sunt corporibus reciproce proportionales. Obtinet etiam hæc Lex in Attractionibus, ut in Scholio proximo probabitur.

COROLLARIUM I.

Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore describere, quo latera separatis.

Si corpus dato tempore, vi sola M in loco A impressa, ferretur uniformi cum motu ab A ad B ; & vi sola N in eodem loco impressa, ferretur ab A ad C : compleatur parallelogrammum $ABDC$, & vi utraque feretur id eodem tempore in diagonali ab A ad D . Nam quoniam vis N agit secundum lineam AC ipsi BD parallelam, hæc vis per Legem 11 nihil mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam BD a vi altera genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam BD , sive vis N imprimatur, sive non; atque adeo in fine illius temporis reperietur alicubi in linea illa BD . Eodem argumento in fine temporis ejusdem reperietur alicubi in linea CD , & ideo in utriusque lineæ concursu D reperiri necesse est. Perget autem motu rectilineo ab A ad D per Legem 1.



B 3. COROL-

Obr. 2

Corollarium II

Et hinc patet compositio vis directæ AD ex viribus quibusvis obliquis AB & BD , & vicissim resolutio vis cujusvis directæ AD in obliquas quascunque AB & BD . Quæ quidem compositio & resolutio abunde confirmatur ex Mechanica.

Odtud je zřejmý způsob složení přímé síly AD z jakýchkoli různoběžných sil AB a BD , a naopak rozklad jakékoli přímé síly AD do libovolných různoběžných sil AB a BD . Takovéto složení a rozklad jsou hojně potvrzeny v mechanice.

Corollarium III

Quantitas motus quae colligitur capiendo summam motuum factorum ad eandem partem, est differentiam factorum ad contrarias, non mutatur ab actione corporum inter se.

Působení těles na sebe navzájem nemění hybnost celku, kterou stanovíme tak, že sečteme hybnosti na jednu a touž stranu a odečteme hybnosti do opačných stran.

Corollarium IV

Commune gravitatis Centrum, corporum duorum vel plurium, ab actionibus corporum inter se non mutat statum suum vel motus vel quietis; est propterea corporum omnium in se mutuo agentium (exclusis actionibus est impedimentis externis) commune Centrum gravitatis vel quiescit vel movetur uniformiter in directum.

Společné těžiště dvou nebo více těles nezmění svůj stav pohybu nebo klidu v důsledku působení těles na sebe navzájem, a proto společné těžiště všech těles, jež na sebe vzájemně působí, je při vyloučení vnějších působení a překážek buď v klidu, anebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře.

Zaměříme se na výklad prvního Corollaria. Newtonova formulace a jeho komentář nejsou při prvním čtení a bez hlubšího zamyšlení příliš jasné, a to vzhledem k tehdejší absenci potřebné matematiky. Ve spojení s komentářem k samotnému druhému axiomu je situace již srozumitelnější. Newton v něm slovně (a poměrně srozumitelně) zavádí pravidlo pro skládání rychlostí, resp. hybností. První Corollarium sám o sobě srozumitelný není a ke komentáři je třeba připojit vysvětlení. Vyjádření: „... těleso se v dané době přesune rovnoměrným pohybem vlivem zapůsobení jen síly \mathbf{M} v místě A z A do B ...“ znamená, že síla \mathbf{M} působila ve směru úsečky AB na těleso (hmotný bod) tak, že z nulové rychlosti získalo v bodě A určitou rychlost $\Delta \mathbf{v}_M$, se kterou se pak, již bez působení sil, pohybovalo rovnoměrně z bodu A do bodu B . Vzdálenost AC urazilo za dobu Δt . Kdyby na těleso působila síla \mathbf{N} ve směru úsečky AC tak, že by tělesu v bodě A udělila rychlost $\Delta \mathbf{v}_N$, se kterou by se pak pohybovalo bez působení sil rovnoměrně, urazilo by za dobu Δt vzdálenost

AC. Kdyby na těleso s nulovou počáteční rychlostí zapůsobily obě síly, získalo by (z nulové rychlosti) výslednou rychlost $\Delta \mathbf{v}$. Touto rychlostí by pak bez působení sil dospělo za (stále stejnou) dobu Δt do bodu D , který je koncovým bodem úhlopříčky rovnoběžníku $ABDC$. V souladu s druhým zákonem je ovšem

$$m \frac{\Delta \mathbf{v}_M}{\Delta t} \sim \mathbf{M} \quad \text{a} \quad m \frac{\Delta \mathbf{v}_N}{\Delta t} \sim \mathbf{N}.$$

Působí-li tedy na těleso obě síly současně, mají na výsledný pohyb stejný vliv jako jediná síla vzniklá jejich složením podle stejného pravidla, jako se skládají změny hybnosti, resp. rychlosti (vztažené na jednotku času) získané působením jednotlivých sil. Corollarium II je jen zobecněním Corollaria I.

Pozoruhodné jsou ovšem Corollaria III a IV, které jsou skutečně důsledky, a to důsledky aplikace druhého a třetího axiomu na translační pohyb soustavy těles. Představují totiž první impulsovou větu (Corollarium III) a její speciální případ pro pohyb středu hmotnosti tělesa (Newtonem nazývaného těžiště) při absenci vnějších sil (Corollarium IV). K druhé impulsové větě Newton vinou nedostatku potřebné matematiky již nedospěl. (Pokud by se tak stalo, jistě by s ohledem na skutečnost, že axiomy formuloval vůči absolutnímu prostoru, první axiom vypustil.)

Se smyslem druhého axiomu jasně osvětleným doprovodným komentářem kontrastuje interpretace Ernsta Macha, který nesprávně považuje druhý axiom za definici síly (viz kapitolu 7 v druhé části článku).

6. Třetí axiom – zákon interakce

V třetím axiomu užívá Newton terminologii, která bez podrobnějšího vysvětlení může vyvolávat či (kritičtěji řečeno) vyvolává mylné interpretace. Zřejmě proto doplnil Newton i tento axiom poměrně obsáhlým vysvětlujícím komentářem. Pro pohodlnější čtení opět zrekapitulujeme originální znění i náš překlad.

Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.

Akci je reakce vždy protisměrná a je stejně velká jako ona: neboli působení dvou těles na sebe navzájem jsou vždy stejně velká a směřují na opačné strany.

Quicquid premit vel trahit alternum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Si quis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi alligatum trahit, retrahetur etiam & equus (ut ita dicam) æqualiter in lapidem: nam unis utrinque distentus eodem relaxandi se conatu urgebit equum versus lapidem, ac lapidem versus equum; tantumque impedit progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocunque mutaverit, idem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem pressionis mutue) subibit. His actionibus æquales sunt mutationes, non velocitatum sed motuum; scilicet in corporibus non aliunde impeditis. Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, sunt corporibus reciproce proportionales. Obtinet etiam hæc Lex in Attractionibus, ut in Scholio proximo probabitur.

Cokoli tlačí nebo táhne něco druhého, je právě tolik tlačeno nebo taženo jím. Tlačí-li kdo prstem na kámen, je tlačěn i jeho prst kamenem. Táhne-li kůň kámen přivázaný na lano, rovněž i kůň je tažen zpět (abych tak řekl) stejnou měrou ke kameni; neboť lano napnuté na jedné i druhé straně ve snaze zbavit se tam napětí bude přitahovat koně ke kameni a také kámen ke koni; a tak mnoho zadržuje postup vpřed jednoho, jak mnoho napomáhá k postupu vpřed druhého. Jestliže nějaké těleso narážející na jiné těleso jeho pohyb svou silou jakkoli změní, dozná zase i ono samo u vlastního pohybu díky síle druhého touž změnu v opačném směru (pro rovnost obojího vzájemného tlaku). Těmito akcemi dochází ke stejným změnám, nikoli rychlostí, ale hybností, ovšem jen u těles neovlivněných odjinud. Změny rychlostí, nastalé rovněž v opačných směrech, protože hybnosti se mění stejně, jsou nepřímou úměrné hmotnostem. Tento zákon platí i u přitažlivosti, jak bude dokázáno v nejbližším Scholiu.

Jakkoli v samotném axiomu používá Newton poněkud zavádějící dvojici termínů „akce a reakce“, vyvolávající představu časové následnosti a také příčinnosti, je v jeho komentáři a příkladech patrná snaha o vysvětlení, že se o nic takového nejedná. Příklad s koněm sice zpočátku zcela přesvědčivý není (kůň jako živá bytost „se rozhodne“ táhnout za provaz, na němž je uvázan kámen – „akce“), podrobnější výklad „neboť lano napnuté na jedné i druhé straně ve snaze zbavit se tam napětí bude přitahovat koně ke kameni a také kámen ke koni“ tuto představu přece jen

narušuje a vede interpretaci správným směrem. Z komentáře a příkladů jsou zřejmé další informace, které bychom bez velmi pečlivého přemýšlení v samotném znění axiomu nehledali nebo nenašli: Úvaha o opačných změnách rychlosti úměrných hmotnostem potvrzuje (vedle Definitio II) fakt, že slovo „motus“ používal Newton nejen jako termín vyjadřující pohyb kvalitativně, což by ve zmíněné úvaze nemělo smysl, ale rozuměl jím také hybnost. V poslední větě dává Newton na srozuměnou, že axiom se netýká jen vzájemného působení, při němž jsou tělesa v přímém kontaktu (typicky tlakové síly), ale i působení na dálku, v daném případě přitažlivá gravitační interakce. Ať tak či tak, terminologie „zákon akce a reakce“, která ve fyzice doslova zapustila hluboké kořeny (je snadno zapamatovatelná a „nakažlivá“) není z hlediska správného pochopení třetího axiomu příliš vhodná. Podstatu třetího axiomu vystihují jediné správně slovní spojení typu „interakce těles“, „vzájemné působení těles“, „interakční síly“ apod. Jinými slovy – třetí axiom není „zákon akce a reakce“, ale „zákon interakce“.

Literatura

- [1] Newton, I.: *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Amsterdam, 1723.
- [2] Newton, I.: *Philosophiæ naturalis principia mathematica: perpetuis commentariis illustrata communi studio Thomæ Le Seur et Francisci Jacquier*. Editio nova. Glagauæ, Vol. I, II, III – 1822. Editio prima: Romæ, Vol. I – 1739; Vol. II – 1740; Vol. III – 1742.
- [3] Newton, I.: *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*. Tr. Andrew Motte, revised Florian Cajori, University of California Press, Berkeley, 1934.
- [4] Newton, I.: *Les Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*. Traduction de la Marquise du Châtelet augmentée des commentaires de Clairaut, édition Blanchart, Paris, 1966, (fac-simile d'une édition de 1759).
- [5] Newton, I.: *Sir Isaac Newton's Mathematische Principien der Naturlehre. Mit Bemerkungen und Erläuterungen herausgegeben von Prof. Dr. J. Ph. Wolfers*. Verlag von Robert Oppenheim, Berlin, 1872.
- [6] Newton, I.: *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy. A new translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman assisted by Julia Budenz. Preceded by A guide to Newton's Principia by I. Bernard Cohen*. University of California Press, Berkeley–Los Angeles–London, 1999.

- [7] Newton, I.: *De Motu Corporum Liber Primus*, 1684, De motu corporum in mediis regulariter cedentibus. MS Add. 3965.5. Zdroj: Cambridge University Library, Cambridge, UK.
- [8] Herivel, J.: *The Background to Newton's Principia: A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664–84*. Oxford University Press, Oxford, 1965.
- [9] Černohorský, M.: Translačně-rotační první axiom 1687 (1726) ve světle Newtonových rukopisů. *Čs. čas. fyz.*, roč. 62 (2012), č. 5-6, s. 331–340.
- [10] Černohorský, M.: Newtonova formulace prvního pohybového zákona. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, roč. 20 (1975), s. 344–349.
- [11] Černohorský, M.: Nová formulace Newtonova prvního pohybového zákona. *Folia facultatis scientiarum naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis*, roč. 18 (1977), Physica 23, opus 1, s. 5–36.
- [12] Černohorský, M.: Problém interpretace Newtonovy formulace prvního pohybového zákona. *Folia facultatis scientiarum naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis*, roč. 20 (1979), Physica 28, opus 3, s. 5–32.
- [13] Černohorský, M.: Devět Newtonových formulací prvního pohybového zákona. In: Černohorský, M. (red.): *Pocta Newtonovi*. Sborník. Pracovní materiály seminářů Jednoty čs. matematiků a fyziků. Odborná skupina Pedagogická fyzika Fyzikální vědecké sekce JČSMF, Brno, 1986, s. 36–55, 2. rozšířené vydání, Brno, 1986, s. 70–86.
- [14] Černohorský, M.: The rotation in Newton's wording of his first law of motion. In: Kamiński, W. A. (red.): *Proceedings of the Lublin Tercentary Celebration Isaac Newton's Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. 15–17 October 1987, Lublin, Poland, World Scientific, Singapore–New Jersey–Hong Kong, 1988, s. 28–46.
- [15] Černohorský, M.: Mach's criticism on Newton's axiomatization and the Rotation in Lex I. In: Prosser, V., Folta, J. (eds.): *Ernst Mach and the Development of Physics*. Conference papers, Karolinum, Praha, 1991, s. 267–270.
- [16] Černohorský, M.: Newtonova translačně-rotační formulace prvního zákona pohybu. In: Dub, P., Musilová, J. (eds.): *Ernst Mach – Fyzika – Filosofie – vzdělávání*. Muni Press, Masarykova univerzita, Brno, 2010, s. 248–254.
- [17] Thomson, W., Tait, P. G.: *Treatise on Natural Philosophy*. Vol. I. Part I. New Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1879.
- [18] Chvolson, O. D.: *Kurs fiziki I*. Izd. 5, Gosudarstvennoe Izdatelstvo, Berlin, 1923.

- [19] Krylov, A. N.: *První ruský překlad Principií z latiny*, 1915. (zde citace v angličtině).
- [20] Newton, I.: *De Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. Les Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle. Préface de Stephen Hawking*. Traduction nouvelle par Marie-Françoise Biarnais. Christian, Bourgoin, 1985. (S. Hawking: Newton substitua sa première loi: „Tout corps demeure à l'état de repos, ou poursuit un mouvement rectiligne uniforme, à moins qu'il ne soit soumis à une force extérieure.“)
- [21] Tascón, C. L.: *Mécanica Newtoniana*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá, Colombia, 1998.
- [22] Rouse Ball, W. W.: *An Essay on Newton's "Principia"*. Macmillan and Co., London, 1893, reprint with an introd. by I. B. Cohen, Johnson Reprint Corp., New York–London, 1972.
- [23] Strouhal, Č., Kučera, B.: *Mechanika*. 2. vyd., Jednota českých matematiků, Praha, 1910, (1. vyd. 1900 nebo spíše 1901 – Předmluva datována 9. 9. 1900, předmluva k 2. vyd. datována v září 1909).
- [24] Novák, V.: *Fyzika I*. JČMF, Praha, 1919.
- [25] Kučera, B.: *Základy mechaniky tuhých těles*. JČMF, Praha, 1921.
- [26] Záviška, F.: *Mechanika*. Jednota čs. matematiků a fyziků, Praha, 1933.
- [27] Nachtikal, F.: *Technická fyzika*. 3. vyd., JČMF, Praha, 1946.
- [28] Slavík a kol., J. B.: *Základy fyziky*. ČSAV, Praha, 1962.
- [29] Horák, Z., Krupka, F.: *Fyzika. Příručka pro fakulty strojího inženýrství*. SNTL/SVTL, Praha, 1966.
- [30] Hlavička, A. a kol.: *Fyzika pro pedagogické fakulty*. 1971.
- [31] Havránek, A.: *Mechanika I. Hmotný bod a tuhé těleso*. Praha, 1972.
- [32] Havelka, B.: *Základní kurs fyziky 1*. Praha, 1974.
- [33] Hajko, D., V.Szabó: *Všeobecná fyzika 1*. UPJŠ, Košice, 1974.
- [34] Kvasnica a kol., J.: *Mechanika*. Academia, Praha, 1988.
- [35] Franek, J., Špelda, D., Novotný, J., Svobodová, J., Durnová, H.: *Isaac Newton: Matematické principy přírodní filosofie*. Fontes scientiæ 1., Togga, Praha–Brno, 2020.