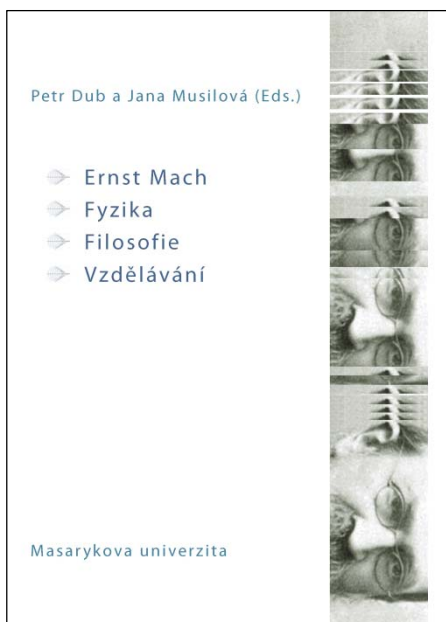


Martin Černohorský

## NEWTONOVA TRANSLAČNĚ-ROTAČNÍ FORMULACE PRVNÍHO ZÁKONA POHYBU

### Newton's Translational-Rotation Formulation of the First Law of Motion

The generally accepted translation of Newton's first law of motion in the sense of the law of inertia of the translational movement only is incorrect. Newton's formulation applies to rotation as well. This is supported firstly by the transposition of Newton's two-sentence explicit translational-rotation formulation from his manuscript *De Motu Corporum* ([1], p. 307) into an equivalent expression in his *Principia* ([2], p. 12) as a single-sentence axiom with a commentary stating three examples of translation, rotation and their superposition. The incorrectness of the commonly used wordings translated from Latin was first pointed out in 1975 [7], detailed analysis can be found in Czech articles [8, 9]. In English, its results have been published in articles [10, 11]. There, they have been put in context with Mach's ([4], p. 53; [5], p. 227) and the more recent Cohen's ([6], p. 109–110) answers to the alleged redundancy of the first axiom in Newton's (Newton's, not Newtonian) mechanics.



ČERNOHORSKÝ, Martin. Newtonova translačně-rotační formulace prvního zákona pohybu.

In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach – Fyzika – Filosofie – Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 248–254. ISBN 978-80-210-4808-9.

DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-248.

# Newtonova translačně-rotační formulace prvního zákona pohybu

Martin Černohorský

## „Erfahrungssatz“ Ernsta Macha vs. Newtonova „Axiomata sive Leges motus“

Machovu zkušenostní větu ([4], p. 53; [5], p. 227)

- a) Erfahrungssatz: Gegenüberstehende Körper bestimmen unter gewissen von der Experimentalphysik anzugebenden Umständen aneinander entgegengesetzte *Beschleunigungen* nach der Richtung ihrer Verbindungslinie. (Der Satz der Trägheit ist hier schon eingeschlossen.)
- a) Zkušenostní věta: Proti sobě stojící tělesa určují za jistých okolností, jejichž udání je úkolem experimentální fyziky, navzájem opačně orientovaná *zrychlení* ve směru jejich spojnice. (Věta setrvačnosti je zde už obsažena.)

Lze rozvést v třetí a druhý Newtonův zákon pohybu, dva zákony-axiomy, tvořící axiomaticky úplný základ mechaniky. Věta je jedním z pěti teorémů – tři zkušenostní věty, dvě definice –, jimiž Mach reaguje [5] na pocítovanou redundantnost Newtonových osmi definic, tří axiomů-zákonů a šesti korolárů jako základu mechaniky [2], včetně údajné nadbytečnosti prvního axiomu.

## Zdánlivá nadbytečnost Newtonova prvního axiomu je důsledek jeho chybného překladu

Setrvačnost rovnoměrného přímočarého pohybu je odvoditelná z první impulzové věty, setrvačnost rovnoměrného rotačního pohybu je odvoditelná z druhé impulzové věty. Impulzové věty lze odvodit z druhého a třetího axiomu, takže první axiom je při výstavbě newtonovské mechaniky skutečně nadbytečný. Newton se však v úvahách o rotačním pohybu těles sice značně přiblížil druhé impulzové větě ([1], s. 77–86), ale k ucelení dílčích

poznatků v podobě druhé impulzové věty už nedošel. Setrvačnost rovnoměrné rotace uvedl v *Principiích* axiomaticky ve formulaci zvolené pomocí termínu „in directum“ tak, že v jedné větě je obsažen zákon setrvačnosti jak rovnoměrné translace, tak rovnoměrné rotace. V důsledku prvotních překladů se však klíčový výraz „in directum“, použitý v Newtonově terminologicky vytříbené formulaci, překládá od samého počátku až po současnost trvale nesprávně v jednom z jeho homonymických významů tak, že Newtonem formulovaný obsah, tj. translace, rotace a jejich superpozice, je neoprávněně zúžen na pouhou translaci.

Zatímco tedy newtonovská mechanika v době Machově vystačí, díky znalosti už i druhé impulzové věty, se dvěma axiomy, mechanika Newtonova vyžaduje ještě axiomy tři. U Newtona je tedy tříaxiomová struktura z uvedeného důvodu oprávněná. Machova struktura, s možností operování s oběma impulzovými větami, je oprávněná v rámci mechaniky newtonovské, ne Newtonovy. Nerespektování tohoto rozdílu vede ke konstataci nadbytečnosti prvního axiomu. Kritika by byla oprávněná, kdyby Newtonova latinská formulace vyjadřovala to, co je obsahem jejích překladů, totiž setrvačnost jen translačního pohybu. Newtonova formulace má však obsah translačně-rotací.

## Explicitní translace-rotace-superpozice v Newtonově komentáři k prvnímu axiomu

Newton vyslovil první zákon a *komentář* k němu jako jeho nedílnou součást v *Principiích* takto ([3], s. 644):

Lex I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare. (*Principia* 1687, *Principia* 1713.)

Lex I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare. (*Principia* 1726.)

*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.*

1. zákon. Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu v daném směru, pokud není působícími silami nuceno onen stav změnit. (*Principia* 1687, *Principia* 1713.)

1. zákon. Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu v daném směru, pokud není působícími silami nuceno svůj stav změnit. (*Principia* 1726.)

*Projektily setrvávají ve svých pohybech až na jejich zpomalování odporem prostředí a na 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, trvaleji.*

Pro interpretaci Newtonovy formulace prvního zákona pohybu je podstatné ([7], s. 348; [9], s. 25–26), že v něm jde o každé těleso („corpus omne“), které je v jistém stavu a v tomto stavu setrvává („perseverare in statu suo“). Jen o takové těleso v Newtonově formulaci jde:

Každé těleso (nejen tuhé), které je ve stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu daného směru (rozumí se ve stavu pohybu rovnoměrného přímočarého a/nebo rovnoměrného rotačního), setrvává ve svém stavu, pokud není působícími silami (nemusí to být jen síly vnější) nuceno svůj stav měnit.

## Fakta k translačně-rotačnímu obsahu Newtonovy formulace

Newtonovy tři zákony jsou axiomy – Axiomata sive Leges Motus

V rukopisu Xa *De Motu Corporum* uvedl Newton šest zákonů pohybu ([1], s. 307), do *Principií* zařadil jako axiomy-zákony jen první tři. Z ostatních uvedl dokonce i výsledný účinek interakcí (rovnoběžník sil) jen jako korolár, mezi axiomy-zákony jej nezařadil. První zákon tedy rozhodně nepovažoval za odvoditelný z druhého. Důvod pro to není na první pohled patrný. Plauzibilitnost, resp. zdánlivá bezproblémovost prvotních překladů přispěla k jejich usazení a jejich neměnnému používání až po současnost.

Odmítnutí představy, že by Newton mohl mít mezi svými axiomy jeden nadbytečný, vede k hledání vysvětlení diskrepance existující při přijetí obvyklé čistě translační formulace prvního zákona. Příkladem je Cohenův výklad vedoucí k závěru, že první zákon není zvláštním případem druhého zákona, protože v prvním zákoně jde o jiný druh síly než ve druhém ([6], s. 110): „Accordingly, we may conclude that law 1 is not a special case of law 2 since law 1 is concerned with a different kind of force.“

Dobově podmíněnou potřebou konstatovat platnost zákona setrvačnosti rovnoměrné rotace ještě axiomaticky je Newtonova formulace dobře pochopitelná. Diskrepance s postavením prvního zákona jako axiomu při plném respektování jejího obsahu mizí. Newton uvádí svou formulaci v tehdejší době opodstatněně jako axiom.

Komentář k prvnímu zákonu je výrazem jeho translačně-rotačního obsahu

Komentář k prvnímu zákonu je nápadný svými třemi příklady v pořadí translace, rotace, jejich superpozice. Komentář už sám o sobě tedy napovídá, že v prvním zákoně nejde jen o translaci. Avšak druhý příklad, setrvačnost rotace kola, umožňuje zůstat u setrvačnosti přímočarého pohybu jako základu, a také ve třetím příkladu není třeba vidět především superpozici, ale poukaz na specifičnost vesmírného prostoru, takže uvedená nápověda může být odmítnuta. Taková argumentace by byla oprávněná, nebyť souvislosti *Principií* s rukopisem Xa *De Motu Corporum* (viz zdejší odst. 4.5, 4.6).

Newtonův odkaz na první zákon u rotačního pohybu planet

Ve Třetí knize *Principií* je toto místo:

Propositio XVII. Theorema XV.

*Planetarum motus diurnos uniformes esse, et librationem Lunae ex ipsius motu diurno oriri.*

Patet per motus Legem I. et Corol. 22. Prop. LXVI. Lib.I.

*Denní pohyby planet jsou rovnoměrné a librace Měsíce vznikají z jeho denního pohybu.*

Plyne z 1. zákona a z koroláru 22 propozice LXVI knihy I.

Zpochybnění tohoto dokladu Newtonovy translačně-rotační myšlenky by mohlo být oprávněné při neexistenci vazby mezi rukopisem MS. Xa *De Motu Corporum* a *Principií* (viz odst. 4.5, 4.6).

Translačně-rotační dvouvětá formulace prvního zákona

Rukopis MS. Xa *De Motu Corporum* obsahuje první zákon už ve znění blízkém *Principiím*: (1) Místo „in linea recta“ (MS. Xa) se objevuje „in directum“ (*Principia*); (2) rukopisné úvodní „Vi insita“ je vynecháno; (3) nežádoucí restriktivnost termínu „in linea recta“ je řešena zvláštní větou s výslovným uvedením translace, rotace a jejich superpozice (tučné písmo a podtržení – M. Č.):

Lex 1. Vi insita corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum suum 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 uniformis latus semper manet positionibus suis prioribus parallelus.

1. zákon. Inherentní silou setrvává každé těleso ve svém stavu klidu nebo rovnoměrného pohybu v přímce, ledaže je silami na ně působícími přinuceno svůj stav změnit. **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 pohybujíc se rovnoměrně zůstává stále rovnoběžná se svými předchozími polohami.

Terminologický zlom „in linea recta“ /// „in directum“

Newtonova vyjádření směru pohybu nevzbuzují sama o sobě pozornost. V průběhu vývoje formulace zákona setrvačnosti (1662–1687) použil Newton řadu synonymicky míněných termínů – až na poslední dvojici:

in the same straight line; the same celerity, quantity and determination; linea recta; in straight lines; secundum rectam lineam; *in linea recta* /// *in directum*.

Termín „in linea recta“ použitý v dvouvěté formulaci prvního zákona v rukopise MS. Xa *De Motu Corporum* je v *Principiích* nahrazen termínem „in directum“. Nejde o synonymum, oproti translačně jednoznačnému „in linea recta“ je termín „in directum“ homonymický, může mít i jiný význam než jen „přímočaře“. Namísto jsou výrazy dopředu, vpřed, přímo dopředu, v daném směru, do přímém směru, v přímém směru, ..., s konkrétním významem podle kontextu. V daném případě je tímto kontextem Newtonův přechod od dvouvěté formulace prvního zákona v rukopise MS. Xa *De Motu Corporum* k formulaci jednověté v *Principiích*. Termín „in linea reacta“ je zavádějící, vyvolává – není-li řečeno nic jiného – oprávněně představu jedině přímočarého pohybu. Proto ta druhá věta v rukopise MS. Xa *De Motu Corporum*, která explicitním vyjádřením myšlenku jednoznačně objasňuje. Oproti jednoznačnosti termínu „in linea recta“ termín „in directum“ znamená v Newtonově formulaci „v daném směru vpřed“, a to jak při translačním pohybu (konstatní vektor rychlosti), tak i při pohybu rotačním (konstatní vektor úhlové rychlosti).

Ekvivalence obsahů formulací prvního zákona v *Principiích* a v MS. Xa *De Motu Corporum*

Použitím výrazu „in directum“ a připojením komentáře s obsahem translace-rotace-superpozice vyjádřil Newton v *Principiích* totéž co ve dvouvěté formulaci v MS. Xa *De Motu Corporum* – rukopisná verze a verze v *Principiích* jsou si obsahově rovnocenné. Newton nahradil nevyhovující „in linea recta“ v první větě významově bivalentním „in directum“, což umožnilo upustit od druhé věty s jejím explicitním poukazem na translaci-rotaci-superpozici, a tuto její funkci převedl do komentáře se třemi příklady translace-rotace-superpozice.

# První Newtonův zákon pohybu: „translace“, nebo „translace-rotace“?

Argumentace pro či proti úsudku, že Newton formuloval první zákon tak, aby vyjádřil i setrvačnost rovnoměrné rotace, vybízí k rozhodnutí buď pro první, nebo pro druhý z těchto názorů:

1. Newtonovu formulaci prvního zákona pohybu je namísto chápat v tradičním smyslu. Jde v ní jen o translaci, o rotaci nikoli. Newtonovo označení zákonů jako axiomů („*Axiomata sive Leges Motus*“) je nesprávné, protože první zákon axiomem není, je to zvláštní případ druhého zákona.

2. Newton vyjádřil formulaci prvního zákona pohybu setrvačnost translačního i rotačního pohybu; tomu mají odpovídat i její překlady. Označit i první zákon při jeho translačně-rotacním obsahu jako axiom je v Newtonově době plně odůvodněné a název „*Axiomata sive Leges Motus*“ je oprávněný.

Fakta uvedená v tomto článku se svými lingvisticko-historicko-fyzikálními vazbami mluví ve prospěch přijetí druhého názoru.

## Seznam odkazů

- [1] Herivel, J.: *THE BACKGROUND TO NEWTON'S PRINCIPIA. A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664–84.* Oxford University Press 1965. 337 p. Pp. 29, 30–31, 77–86, 304–326.
- [2] Newton, I.: *PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA.* Editio ultima. Amstaelodami, Sumptibus Societatis, 1723.
- [3] Sir Isaac Newton's *MATHEMATICAL PRINCIPLES of Natural Philosophy and his System of the World.* Translated into English by Andrew Motte in 1729. The translation revised, and supplied with an historical and explanatory appendix, by Florian Cajori, copyright 1934. Vol. I, pp. XXXIV+1–396, sixth printing University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1966; Vol. II, pp. 397–680, seventh printing, University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London, 1973.
- [4] Mach, E.: *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der ERHALTUNG DER ARBEIT.* Vortrag gehalten in der k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften am 15. Nov. 1871 von E. Mach, Professor der Physik an der Universität Prag. Prag, 1872. J. G. Galve'sche k. k. Buchhandlung (Ottomar Bayer). II+58 S. Vortrag S.1–46, Noten S. 47–58.
- [5] Mach, E.: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt.* Leipzig, F. A. Brockhaus, 1883. 496 S.

- [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] Černohorský, M.: Newtonova formulace prvního pohybového zákona. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 20 (1975) 344–349.
- [8] Černohorský, M.: Nová formulace Newtonova prvního pohybového zákona. K 250. výročí úmrtí Isaaca Newtona (25. 12. 1642–20. 3. 1727). Folia Facultatis scientiarum naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis, Physics 23, opus 1, 18 (1977) 5–36. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 1977.
- [9] Černohorský, M.: Problém interpretace Newtonovy formulace prvního pohybového zákona. Folia facultatis scientiarum naturalium Universitatis Purkynianae brunensis 20 (1979), Physica 28, opus 3, pp. 5–32. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 1979.
- [10] 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 Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“, 15–17 October 1987, Lublin, Poland. World Scientific Publ. Co., Singapore-New Jersey-Hong Kong, 1988. 221 p. Pp. 28–46.
- [11] Černohorský, M.: Mach's criticism on Newton's axiomatization and the rotation in Lex I. In: Prosser V., Foltá J. (eds.): Ernst Mach and the Development of Physics. Conference papers. Karolinum, Prague, 1991. 531 p. Pp. 267–270. (Conference „Ernst Mach and the Development of Physics“, Prague, 14–16 September 1988.)