

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Martin Černohorský

Newtonova formulace prvního pohybového zákona

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 20 (1975), No. 6, 344--349

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137923>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1975

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



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

- [3] P. ZEEMAN: *Phil. Mag.* 43, 226 (1897); přetištěno v *Am. J. Phys.* 16, 218 (1948).
 [4] P. ZEEMAN: *Nature* 55, 347 (1897).
 [5] E. SCOTT BARR: *Am. J. Phys.* 33, 76 (1965).
 [6] P. ZEEMAN: *Magneto-optische Untersuchungen*, Leipzig 1914.
 [7] A. SOMMERFELD: *Z. Naturfor.* 2a, 595 (1947).
 [8] A. EINSTEIN, A. SOMMERFELD: *Briefwechsel*, Armin Hermann, Basel 1968.
 [9] R. JUNGK: *Jasnější než tisíc sluncí*, Mladá fronta, Praha 1965.
 [10] F. PASCHEN: *Ann. Physik* 53, 301, 337 (1894)
 [11] F. PASCHEN: *Astrophysics J.* 10, 40 (1899), 11, 288 (1900).
 [12] F. PASCHEN: *Ann. Phys.* 50, 489 (1916).
 [13] F. BOPP, A. SOMMERFELD: *Science* 113, 85 (1951).

vyučování

Newtonova formulace prvního pohybového zákona

Martin Černohorský, Brno

Poznámka doc. Černohorského podnětně upozorňuje na možnosti rozličné interpretace smyslu Newtonova prvního pohybového zákona. Na druhé straně však se v ní prolínají v podstatě tři — autorem nespécifikované — problémy. Především jde o smysl a obsah Newtonova zákona v Newtonově pojetí, resp. v jeho době. Druhý problém tvoří obsah a smysl Newtonova zákona v interpretaci dalšího vývoje fyziky. A třetí otázkou je didaktické zpracování této partie fyziky.

I když autor analyzuje Newtonovu verzi a porovnává ji s formulacemi učebnic fyziky, upozorňuje nás vlastně na to, že sebestřednější překlad či interpretace určité pasáže textu nemohou nahradit historický rozbor, který by se pochopitelně musel opírat o širší materiál, než jsou jen Newtonova Principia.

(Pozn. redakce)

1. Učebnice fyziky a zákon setrvačnosti

Středoškolské ([1]) i vysokoškolské ([2] až [6]) učebnice fyziky se vyrovnávají s Newtonovým prvním pohybovým zákonem tak, že jeho formulaci (viz část 2 tohoto článku) vztahují jen na translační pohyb tuhého tělesa, popřípadě jen na pohyb částice, resp. hmotného bodu. V tomto smyslu je Newtonova formulace přeložena i v MACHOVĚ monografii o mechanice [7] a v kritickém anglickém překladu *Principií* ([8], str. 13). Zdá se mi však, že s Newtonovou formulací, starou bezmála tři století, se didaktika fyziky interpretačně dosud zcela bezesporně nevyrovnala.

Myslím, že fyzikální obsah prvního Newtonova pohybového zákona je širší, než jak se uvádí. Komentář k prvnímu zákonu uvedený v díle [8], str. 644, sice nic takového nenapovídá a není mi známo, že by byl už někdo interpretoval Newtonovu formulaci způsobem stejným nebo podobným jako v tomto článku — alespoň z fyzikálně historické studie [9] lze tak soudit.

Jde jistě o záležitost nejen fyzikální, ale i lingvistickou. Nabízí se proto několikrát zpracování základní myšlenky.

I když jsem ověřoval oprávněnost argumentů uvedených pro nové pojetí zákona na mnoha místech *Principií* [10], myslím, že pro širší okruh čtenářů je zajímavý jen hlavní výsledek. Ponechám proto stranou možnost zpracování tématu ve formě obsáhlé fyzikálně lingvistické studie.

Nebudu se snažit ani o fyzikálně didaktické pojetí, protože vazeb, které se v souvislosti s ním objevují, je příliš mnoho. Nebylo by účelné překrývat hlavní myšlenku, v podstatě čistě fyzikální, problematikou didaktickou. Už proto ne, že bychom se stěželi obešli bez analýzy vhodnosti tra-

dičních didaktických struktur newtonovské fyziky používaných v současné době.

Rozhodneme se pro cíl co nejužší: Podat výklad prvního Newtonova pohybového zákona na základě Newtonovy originální formulace, a to ve smyslu co nejbližším Newtonovu vlastnímu pojetí a s použitím argumentů daných samotným Newtonem. Je jistě třeba ponechat úsudku čtenáře, bude-li považovat argumentaci, kterou uvedu ve prospěch nahrazení obecně vžitého pojetí zákona pojetím novým, za argumentaci průkaznou. Sám ji za průkaznou považuji a v novém pojetí vidím pojetí nejstarší, totiž pojetí Newtonovo.

Bez ohledu na to, přijme-li čtenář uváděná fakta a závěry z nich jen jako námět k diskusi o výkladu Newtonovy formulace nebo bude-li je považovat například i za podnět k úvahám o historismu a jeho úloze ve školské fyzice, zdají se mi některá fakta v článku uvedená sama o sobě natolik zajímavá, že seznámení se s nimi může být užitečné pro každého čtenáře.

2. Původní latinské znění a užívané české znění

Newtonova formulace zákona setrvačnosti, uveřejněná poprvé v roce 1687, je našim čtenářům snadno dostupná nejen svým zněním, ale i reprodukcí původní sazby z tisku druhého vydání ([9]). Uvedme nejprve vstupní část Newtonových axiomů ([10], str. 12):

Axiomata, sive leges motus.

Lex I.

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

Pro třetí vydání *Principii* (1726) upravil Newton znění takto ([8], str. 644):

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

Jedno užívané české znění prvního pohybového zákona je toto ([1]):

Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není přinuceno tento stav změnit působením jiného tělesa.

V učebnici [11] je tato formulace:

Těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud na ně nepůsobí síla.

Jazykový odborník bez fyzikálního vzdělání by si vyžádal vysvětlení pravděpodobně jen k části *a viribus impressis*, přeložené v první z uvedených formulací *působením jiného tělesa* (doslovný překlad je *vtištěnými silami* ([4])) a po objasnění by asi souhlasil.

3. Je dosavadní interpretace správná?

Poukažme na místa, která vyžadují pozornosti:

- (1) *corpus*: těleso nebo hmotný bod?
- (2) *omne*: každé – terminologicky bez problémů, frazeologicky je možné řešit i jinak.
- (3) *in statu suo quiescendi vel movendi*: doslovně *ve svém stavu klidu nebo pohybu*; ve větné souvislosti je možné řešit i jinak.
- (4) *in directum*: přeloženo pomocí *přímočarý* – je opravdu míněna přímočarost?
- (5) *a viribus impressis*: doslovně *vtištěnými silami*, volně *působením jiného tělesa*; jak ještě jinak?

Na nadhozené otázky už byla jednotlivými překlady, resp. výklady dána odpo-

věd, zpravidla jen implicitně. Velmi věcný je názor, uvedený explicitně v učebním textu [5]:

„V Newtonových zákonech se mluví o tělesech. Popis pohybu se však provádí tak, jako kdyby se celé těleso pohybovalo jako jediný bod. Mluví se o přímočarém pohybu tělesa a o zrychlení tělesa. Přitom lze ukázat, že pohyb i poněkud zabstrahovaného tělesa – „tuhého tělesa“ – za nepřítomnosti vnějších sil může být značně složitá rotace a nelze v tomto případě říci, že těleso se pohybuje rovnoměrně přímočaře. Je tedy rozumné chápat v Newtonových zákonech pojem těleso jako útvar, jehož kinematika je stejná jako kinematika bodu. ...“

Uvedeme už nyní, k čemu náš výklad bude směřovat. Půjde v podstatě o pokus ukázat, že Newtonova formulace se nemusí omezovat jen na translační pohyb a navíc, že se nemusí týkat jen ideálně tuhého tělesa, ale že platí pro těleso libovolné. Jde tedy o rozšíření dosavadní interpretace ve dvou směrech. K tomu by mělo stačit, jak se na první pohled zdá, všimnout si jen prvního (*corpus*) a čtvrtého (*in directum*) z uvedených pěti míst, ukáže se však, že se uplatní ve vzájemné souvislosti všechna.

4. O tělese a o stejnosměrnosti

Přiznáme-li Newtonovu *corpus* význam *částice (hmotný bod)*, je samozřejmě vše vyřešeno: všechny interakce částice jsou interakcemi částice s okolím, o žádné vnitřní interakce nemůže v tomto případě jít. Prostě částice, která je v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, setrvává v tomto stavu, dokud není přinucena tento stav změnit svými interakcemi s okolím. Mluvit o interakci s okolím a nikoli s tělesy se zdá vhodnější (samozřejmě ne

na nižších školských stupních) proto, že je zahrnut případ interakce s polem, aniž se musí zkoumat otázka vazby pole na látkové objekty.

Přiznat Newtonovu *corpus* význam *částice (hmotný bod)* však není namístě. Důvodem může být i to, že by se těžko hledalo vysvětlení, proč by Newton nebyl použil termínu *corpusculum*, v *Principiích* tak často používaného ve významu *tělisko*, resp. *částice*. I kdyby neexistoval mnohem závažnější důvod, jímž je obsah tří Newtonových příkladů uvedených v části 5, stačilo by to na vysvětlení snahy vyložit Newtonovu formulaci jako platnou nejen pro částici (*hmotný bod*), ale i pro těleso. Zůstává pak ještě otevřená otázka, jde-li o *každé* těleso nebo jen o *každé tuhé* těleso.

Newton zdůrazňuje stav tělesa. Dělá to takovým způsobem, že se zdá přiměřené vystihnout smysl toho tak, že místo obvyklého „Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, ...“ řekneme „Těleso, které je v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, setrvává ve svém stavu, ...“. Tato zdánlivě drobná úprava je z didaktického hlediska významná proto, že jasně specifikuje objekt, o kterém vypovídáme. Zejména ve středoškolské didaktice, nemluvě o didaktice na základní škole, stojí tato okolnost za povšimnutí.

Zdaleka nejpodstatnější je otázka překlada Newtonova *in directum*, které se překládá jako *přimočarý*. Najde se řada dokladů ([12]), že *in directum* je možné chápat jen někdy jako *přimočarý*. Jistě přijatelně a zejména pro nefyzika na první pohled nijak zvlášť odlišně zní překlad *v jednom směru*, popřípadě *ve stejném směru*. (Abychom neodvedli pozornost od fyzikálního obsahu k terminologii, připomínáme pro jednoznačnost, že používáme termínu „směr“ tak, že při pohybu v přím-

ce může jít o pohyb dvěma směry a podobně při otáčení kolem pevné osy může jít o otáčení dvěma směry. Pohyb, který probíhá stále vestejném směru, ať pohyb translační nebo pohyb rotační, můžeme pak nazvat pohyb stejnosměrný.) Na rozdíl od přímočarého pohybu se však stejnosměrný pohyb může týkat i rotace. Když mluvíme o otáčení Země, právem řekneme, že se otáčí kolem své osy stále v jednom směru, popřípadě stále ve stejném směru. Stejnosměrnou rotaci můžeme definovat jako rotaci, jejíž vektor úhlové rychlosti nemění ani směr ani orientaci. Rovnoměrná stejnosměrná rotace pak znamená, že vektor úhlové rychlosti nemění navíc ani svou velikost.

Mluvíme-li o pohybu a nespecifikujeme-li jeho druh, nebrání nic tomu, abychom termínem stejnosměrný pohyb mínili buď pohyb stejnosměrný posuvný (tedy pohyb přímočarý), nebo pohyb stejnosměrný otáčivý (tedy stejnosměrnou rotaci), nebo i superpozici obou těchto pohybů, tj. superpozici přímočaré translace se stejnosměrnou rotací. Tento přístup k výkladu Newtonova *in directum* je jistě přinejmenším neobvyklý. Lingvisticky mu nestojí v cestě nic. Fyzikálně není sice nepřijatelný, ale bylo by málo opírat jeho oprávněnost jen o údaje slovníku [12]. Podporu, resp. rozhodnutí bude fyzik očekávat a hledat jedině u Newtona samotného.

5. Newtonovy tři příklady

V *Principiích* je řada míst, která zpochybňují oprávněnost dosud obvyklého překladu *in directum* v prvním pohybovém zákoně jako *přimočarý*. Na tomto místě se spokojíme s uvedením jen jednoho z těchto míst, zato však takového, které lze považovat za nejkompentnější. Je to Newtonovo vlastní osvětlení obsahu prvního

pohybového zákona třemi příklady ([10], str. 12). Ponechme přitom stranou i tak závažnou okolnost, že ve druhém z těchto příkladů používá Newton pro *pohyb přímočarý* termínu *motus rectilineus*. Mnohem podstatnější než srovnání *in directum* versus *rectilineus* se jeví obsah těchto tří příkladů a logika jejich posloupnosti: první z nich se týká translace, druhý rotace a třetí superpozice translace a rotace. Seznamme se s těmito třemi příklady.

Pod Newtonovou formulací prvního pohybového zákona je tento text:

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.

Toto místo je pro všechny naše úvahy nejzávažnější. Proto je uvádíme i v originále, i když varianty překladu se mohou dotýkat jen jednotlivostí, které jsou pro smysl Newtonova textu ze sledovaného hlediska nepodstatné. V našem překladu tento text zní:

Projektily setrvávají ve svých pohybech, dokud je nezpomalí odpor prostředí a dokud neklesají účinkem gravitační síly k zemi. 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, vzniklé v prostorách kladoucích menší odpor, déle.

V prvním příkladě jde o čistou translaci. Newton si všímá pohybu částice a jejich

dvou interakcí s okolím – se Zemí a s ovzduším.

V druhém příkladě jde podle naší interpretace o čistou rotaci. Newton mluví o otáčení kola. Není ovšem bezprostředně zřejmé, že jde o otáčení kola na pevné ose a nikoli o odvalování obruče. Aby bylo nesporné, že jde o otáčení kola na pevné ose, uvítali bychom poukaz nejen na interakci kola s ovzduším, ale i na interakci kola s osou. Je ovšem jistě dobře možné Newtonovo *aer* chápat jako okolní prostředí kola obecně, nikoli jen jako ovzduší v úzkém slova smyslu. Pro interpretaci tohoto příkladu ve smyslu čisté rotace však mluví hlavně obsah třetího příkladu.

Ve třetím příkladu jde o superpozici posuvného (nikoli přímočarého) a otáčivého pohybu. Na rozdíl od druhého příkladu, kde se Newton explicitně vyrovnává s působením vnitřních sil systému ve formě poukazu na vzájemné interakce mezi částmi kola, nepoukazuje se ve třetím příkladě na nepřímou translační pohyb planet a komet, resp. na její příčinu, což ovšem nijak nezmenšuje význam tohoto příkladu. Tento příklad je jistě velkou podporou pro názor, že Newton nemyslel při svém termínu *in directum* jen na pohyb přímočarý.

6. Platí zákon setrvačnosti pro libovolné těleso?

Při úvahách o zákonu setrvačnosti je třeba si uvědomit, že v Newtonově formulaci se nemluví o absenci interakcí, resp. sil, popřípadě o kompenzaci účinků interakcí, resp. sil. Vypovídá se o tělese, které je v klidu nebo v rovnoměrném stejnosměrném pohybu, a nespécifikuje se, zda vůbec nebo jaké interakce, resp. síly se při tomto stavu uplatňují. Přirozeně při nenulových interakcích, resp. silách může

být těleso ve stavu uvedeném v Newtonově formulaci jen při kompenzaci jejich jednotlivých účinků. Ideálně tuhá koule, ideálně tuhý kvádr, ale také nepravidelně ideálně tuhé těleso, těleso s pružnými vazbami částic, demonstrátor na otáčivé židli, krasobruslařka, kosmonaut při vesmírné procházce – všechna tato „tělesa“ mohou setrvávat v rovnoměrném stejnosměrném pohybu jen tehdy, když v takovém stavu už jsou. Je-li však těleso v takovém stavu – ať je samo jakékoli – setrvává v něm tak dlouho, dokud není interakcemi přinuceno svůj pohybový stav klidu nebo rovnoměrného stejnosměrného pohybu změnit. Přitom může jít samozřejmě i o interakce, které jsou z hlediska „tělesa“ jako systému interakcemi vnitřními. Příkladem je přechod krasobruslařky z rovnoměrné stejnosměrné rotace do rychlejší rotace zmenšením momentu setrvačnosti přitažením paží k tělu nebo jejich vzpažením. Interakce uvnitř systému způsobují změnu pohybového stavu – proto je možné přeložit *a viribus impressis* volně jako prosté *interakcemi*, aniž bychom přitom chtěli mít na mysli jen vnější interakce.

7. Překlad Newtonovy formulace

Můžeme tedy uzavřít návrhem tohoto překladu Newtonovy formulace prvního pohybového zákona:

Těleso, které je v klidu nebo v rovnoměrném stejnosměrném pohybu, setrvává ve svém pohybovém stavu, dokud není interakcemi přinuceno jej změnit.

Pro základní školu je toto znění svým obsahem (translace, rotace, jejich superpozice) i terminologií (interakce) příliš náročné. Tak jako jinde i zde je namíště přiměřené zjednodušení. Každý by měl znát zákon setrvačnosti alespoň ve formulaci

omezující se na posuvný pohyb. Pro dosažení tohoto cíle můžeme použít znění uvedeného v učebnici [1], popřípadě v učebnici [11] v této úpravě:

Těleso, které je v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, setrvává ve svém pohybovém stavu, dokud není přinuceno tento stav změnit působením jiného tělesa.

Toto zjednodušené znění je jistě možné označit jako zákon setrvačnosti, avšak plný obsah Newtonovy formulace prvního pohybového zákona ve smyslu naší interpretace nevystihuje.

Literatura

- [1] MAREK J. aj.: *Fyzika pro I. ročník střední všeobecně vzdělávací školy*. SPN, Praha 1966. Str. 54.
- [2] ILKOVIČ D.: *Fyzika I*. Alfa Bratislava, SNTL Praha 1968. Str. 55.
- [3] SLAVÍK J. B. aj.: *Základy fyziky I*. NČSAV, Praha 1961. Str. 125.
- [4] HLAVIČKA A. aj.: *Fyzika pro pedagogické fakulty I*. SPN, Praha 1971. Str. 67.
- [5] HAVRÁNEK A.: *Mechanika I*. SPN, Praha 1972. Str. 19.
- [6] KITTEL CH., KNIGHT W. D., RUDERMAN M. A.: *Mechanics*. Berkeley Physics Course — Volume 1. McGraw-Hill Book Company, New York 1965. Str. 55.
- [6a] Ruský překlad (6): Nauka, Moskva 1971. Str. 78.
- [7] MACH E.: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Brockhaus, Leipzig 1933. Str. 240.
- [8] NEWTON I.: *Principia*. Vol. I, 6. vyd. 1966; Vol. II, 7. vyd. 1973. University of California Press, Berkeley—Los Angeles—London. (Anglický překlad. Přeložil A. MOTTE v roce 1729; revidoval a komentoval F. CAJORI. 1. vyd. 1934.)
- [9] NOVÝ L.: *K Newtonově práci na textu díla Philosophiae naturalis principia mathematica*. Čs. čas. fyz. A 24 (1974) 490—496.
- [10] NEWTON I.: *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Sumptibus Societatis, Amstaelodami 1723 (s Newtonovou předmluvou datovanou 28. 3. 1713 a s předmluvou vydavatele datovanou 12. 5. 1713).
- [11] CHYTILOVÁ M. aj.: *Fyzika pro 8. ročník*. SPN, Praha 1963, str. 15.
- [12] PRAŽÁK M., NOVOTNÝ F., SEDLÁČEK J.: *Latinsko-český slovník*. Čs. grafická unie, Praha 1939. Str. 383, 384, 638.

Fyzikální olympiáda — jedna složka práce s talentovanými žáky

Mojmír Simerský, Rožnov pod Radhoštěm

Vedoucí školské orgány v ČSSR ve spolupráci s odbornými složkami a s ústředním výborem SSM pořádají každoročně několik odborných soutěží. Jejich účelem je získat talentované žáky k hlubšímu studiu v některém oboru a zároveň jim dát příležitost k tomu, aby mohli prokázat své znalosti a schopnosti jejich užití v konkurenci s rovnocennými partnery v měřítku krajském, popř. celostátním i mezinárodním. Cílem těchto soutěží je vyhledávat pro naši společnost budoucí odborníky v některém oboru.

Jednou z těchto soutěží je celostátní fyzikální olympiáda. Byla uvedena v život svým prvním ročníkem ve školním roce 1959-60. Statut soutěže byl, spolu se statutem matematické olympiády, kodifikován výnosem MŠK z roku 1963. V současné době se připravuje nový statut, který bude přesnější a úplnější, ale beze změny přezve vlastní, podstatnou ideovou náplň dosavadního statutu.

Podle statutu je fyzikální olympiáda soutěží výběrovou a dobrovolnou. Tyto dvě zásady by měly být důsledně respektovány, poněvadž vyplývají z účelů a cílů soutěže. Bohužel však na některých školách je praxe v rozporu s uvedenými záměry.

S nadměrným počtem přihlášených účastníků soutěže se setkáváme především