

Kapitola 1

Newtonovská mechanika

V této stručné úvodní kapitole připomeneme klíčové pojmy a vzorce klasické mechaniky. Naznačíme i její meze ve vztahu k moderní relativistické a kvantové fyzice.

1.1 Hlavní pojmy, předpoklady a omezení klasické mechaniky

Úkolem klasické newtonovské mechaniky je popsat pohyb objektů, které navzájem interagují skrze silová působení. Klasická mechanika při tom pracuje s následujícími základními pojmy, o nichž činí tyto apriorní předpoklady:

- **prostor:** *spojitý, 3-dimenzionální, eukleidovský, homogenní a izotropní*
- **čas:** *spojitý, 1-dimenzionální, absolutní, rovnoměrně plynoucí, jednosměrný*
- **objekty:** *jsou idealizovány soustavou rozlišitelných hmotných bodů (nebo spojitým kontinuem)*
- **stav:** *stav hmotného bodu určen jeho polohou a hybností*

Z pohledu fyziky 20. a 21. století víme, že většina těchto předpokladů ve skutečnosti neplatí, nicméně za běžných okolností jsou s velmi dobrou mírou přesnosti oprávněné. Například:

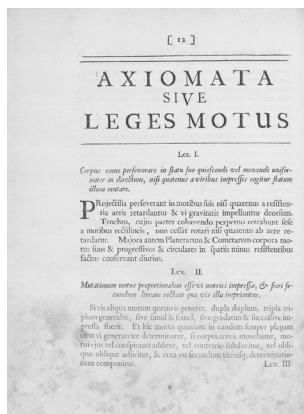
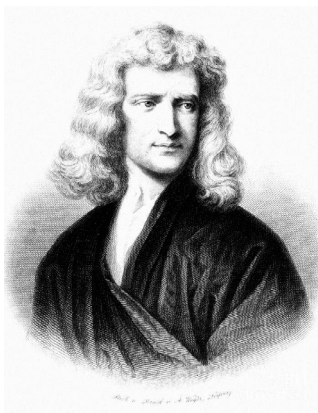
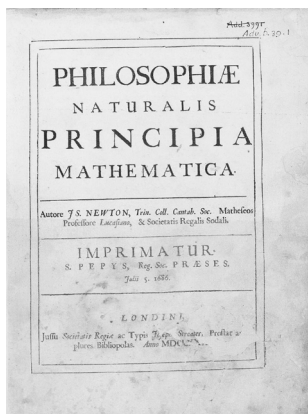
- podle obecné teorie relativity není prostoročas v přítomnosti gravitace plochý (ale ve sluneční soustavě je jeho zakřivení malé a odchylky od newtonovských předpovědí tudíž obvykle zanedbatelné)
- podle teorie relativity má každý pozorovatel svůj vlastní čas (ale pro malé rychlosti a daleko od hmotných těles časy různých pozorovatelů splývají)

- v kvantové teorii jsou elektrony, fotony a další objekty mikrosvěta principiálně nerozlišitelné (avšak pro makroskopická tělesa platí standardní statistika a kauzalita)
- v kvantové mechanice je stav dán například jenom polohou částice, a v tom případě je její hybnost libovolná (anebo naopak jenom hybností částice, a v tom případě je její poloha libovolná). Lze určovat pouze pravděpodobnost, s jakou naměříme různé hodnoty fyzikálních veličin (nicméně makroskopická tělesa se za běžných teplot chovají klasicky a deterministicky, jejich pohyb je popsitelný spojitou trajektorií)

Můžeme tedy učinit praktický závěr, že předpoklady Newtonovy mechaniky sice v přírodě nejsou rigorózně splněny, ale platí s „velkou přesností“ ve většině „obvyklých“ situací – pokud mají studované objekty běžné rozměry, hmotnosti, teploty, malé rychlosti a podobně. Tehdy je možné (a pochopitelně i výhodné) aplikovat poměrně snadný aparát klasické newtonovské fyziky.

1.2 Newtonovy pohybové zákony

Isaac Newton (1643–1727) ve svém přelomovém díle *Philosophiæ naturalis principia mathematica* z roku 1687 (zkráceně *Principia*) položil základy matematicky pojeté přírodovědy. Zejména zformuloval následující zákony mechaniky:



- Lex. I. *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*
- Lex. II. *Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*
- Lex. III. *Actioni contrariam semper et æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales et in partes contrarias dirigi.*

V českém překladu tedy:

- zákon 1. *Každé těleso setrvává ve stavu klidu anebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, ledaže je donuceno svůj stav změnit v důsledku sil na něj působících.*
- zákon 2. *Změna hybnosti je úměrná působící síle a odehrává se ve stejném směru, ve kterém tato síla působí.*
- zákon 3. *Proti každé akci vždy působí stejně velká reakce, neboli: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany.*

V našem textu se však nebudeme doslova držet těchto Newtonových původních formulací, které v různých obměnách známe již ze střední školy, viz též [1, 3]. Zákony místo toho přeformulujeme do moderní podoby, která lépe vystihuje jejich fundamentální obsah a význam:

1. Existuje vztažný systém (nazýváme ho inerciální), vůči němuž se každý volný hmotný bod pohybuje rovnoměrně přímočaře.

Volný hmotný bod je takový, který je odstíněný od všech „pravých“ sil. Toto odstínění lze v principu provést pro každou interakci, vyjma gravitace (proto se musíme při konstrukci globálního inerciálního systému omezit na situace, kdy se studovaný objekt nachází daleko od velkých hmot). Připomeňme, že existuje celá třída inerciálních systémů navzájem spojených *konstantním otočením* nebo *konstantní translací* nebo **Galileiho transformací** $\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{x}' = \mathbf{x} - \mathbf{V}t$, kde \mathbf{x} je vektor polohy a \mathbf{V} je vektor rychlosti čárkovaného inerciálního systému vůči nečárkovanému. Právě v inerciálních vztažných systémech je formulace druhého Newtonova pohybového zákona pro hmotné body jednoduchá:

2. Pro každý hmotný bod existuje konstanta m a vektorová funkce \mathbf{F} taková, že jeho pohyb vůči inerciálnímu systému je určen diferenciální rovnicí $m\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}$.

Druhý zákon je vlastně implicitní definicí setrvačné hmotnosti m hmotného bodu a současně i působící síly \mathbf{F} . Podstatné je, že tento zákon je *univerzální* v tom smyslu, že platí pro každý hmotný bod hmotnosti m a libovolnou klasickou sílu \mathbf{F} (a jejich kombinace).

Mechanika se sama o sobě „nestará“ o původ \mathbf{F} . To je úkolem ostatních oborů fyziky, například

teorie gravitace, podle níž $\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} (-\mathbf{n})$

Newtonův gravitační zákon (1687),

teorie elektromagnetizmu: $\mathbf{F} = e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$

Maxwell (1864), Lorentzova síla (1892)

a tak dále.