



Jsou fyzikální zákony jednoduché a přesné?

Ludmila Eckertová¹, †

Období, kdy lidé vykládali přírodu kolem sebe působením bohů, duchů apod., bylo vystřídáno dobou, kdy pro ni začali hledat racionální výklad. Staří Řekové byli na to připraveni tím, že přivedli ke značné dokonalosti schopnost abstrakce, zejména v geometrii. Uměli už pracovat s geometrickými útvary, které v čisté podobě nikde neexistují (přímka, kružnice atd.) tak, že stanovili to společné a podstatné pro určitou skupinu navzájem podobných předmětů (napnutý provaz – stéblo obilí → úsečka, kolo vozu – tvar slunečního kotouče → kružnice) a některé jejich vlastnosti zidealizovali, tj. považovali za přesně definované (např. konstantní poloměr kružnice), příp. limitovali k nule (tloušťku čáry), příp. k nekonečnu (např. délku úsečky → přímka).

Pro tyto geometrické útvary pak stanovili přesné vzájemné vztahy a zákony a extrapolací dospěli i k pojmu nekonečna, což zcela překračuje přímou zkušenost. Krása a dokonalost Euklidovy geometrie, vystavěné pomocí logiky na několika málo základních axiomech, nás dodnes udivuje a uchvacuje.

Dalším základním kamenem pokroku bylo užití pojmu čísla (celá čísla, zlomky), tedy opět abstrakce, pomocí níž však bylo možno operovat s předměty reálného světa, počítat je a provádět s nimi základní matematické operace. Abstrakce tak prokázala svou důležitost i pro praktický život.

Při pozorování jevů v přírodě byla nápadná jejich složitost a různorodost, kterou bylo nemožné postihnout v celé její šíři a hloubce. I zde se ukázala velmi plodnou snaha vybrat určitý jev, „očistit“ ho od všeho nepodstatného, upřesnit podmínky, za kterých nastává, a tímto způsobem zjednodušený zkoumat. Důležitým krokem je pak pokus vyjádřit matematicky zásadní chování takto v podstatě „abstrahovaných“ předmětů a jevů. Zákony zjištěné Galileem a celá Newtonova mechanika jsou dokladem úspěšnosti tohoto postupu. Geniální abstrakce volného pádu neovlivněného třením ani jinými vlivy, mechanika abstraktního „hmotného bodu“ a systémů takových bodů, zákony rázu ideálně pružných koulí, ale dále i zákony proudění ideální kapaliny, kinetická teorie ideálních plynů, celá geometrická optika, jakož i první modely atomů mohou posloužit jako příklady.

Fascinace tím, že tak mnoho důležitých fyzikálních jevů lze popsat poměrně velmi jednoduchými matematickými vztahy, že použití matematických formalismů (např. výpočet neznámých hodnot řešením příslušných základních rovnic) dovoluje stanovit hledané hodnoty a tím, že experiment potvrzuje správnost těchto teoretických závěrů – pokud jsme schopni dostatečně se přiblížit k definovaným podmínkám – ovládla obecné povědomí (podporována zejména úspěchy aplikací během průmyslové revoluce) a vedla až k přehnanému optimismu, co se týče lidských možností popsat a předpovědět v přírodě vše přesně.

Kritické srovnání s experimentem však ukazuje, že pokud požadujeme shodu např. po velmi dlouhou dobu nebo pokud sledujeme detaily, dojdeme k určitým mezím, kdy předpovědi začnou selhávat. Může se jednat třeba i o pohyby planet ve velmi dlouhém časovém měřítku nebo o mnohonásobný ráz „pružných“ kulečnickových koulí, o proudění kapaliny při větších rychlostech, chování reálných plynů zejména při nižších teplotách, chování světla při průchodu kolem překážek srovnatelných s vlnovou délkou atd. Nakonec dojdeme k podobným omezením u zákonů všech. Skutečné předměty a děje totiž nejsou totožné s námi zavedenými abstrakcemi a dodržení základních podmínek je možné vždy jen v určitých nám experimentálně dostupných mezích.

Některé potíže tohoto druhu byly odstraněny tím, že se opustily určité zjednodušující předpoklady, o kterých víme, že v daném případě nejsou splněny, a byly odvozeny složitější vztahy. Tak např. místo stavové rovnice pro ideální plyny (o jejichž částicích se předpokládalo, že mají nulový vlastní objem a působí na sebe navzájem pouze v okamžiku rázu) byla zavedena rovnice van der Waalsova respektující vlastní objem částic plynu a kohezní tlak mezi nimi. Ale i to je pouze přiblížení, je možno použít i jiné tvary rovnice, přičemž tyto vztahy obsahují vždy empirické konstanty, které z teorie samé nevyplývají. Do hydrodynamických rovnic lze započítat vnitřní tření, v optice uvážit vlnovou povahu světla a přejít na optiku vlnovou atd. Narážíme však na další potíže podstatného

¹ Prof. RNDr. Ludmila Eckertová, CSc., bohužel zemřela v červnu 2009 a nedožila se tak zveřejnění svého článku v obnovené Školské fyzice.



rázu. Tak např. v nebeské mechanice je pro výpočet pohybu planet třeba řešit problém tří a více těles, který nelze zvládnout analyticky, ale pouze přibližně (pomocí teorie poruch). Použitím soudobé počítačové techniky je sice možno dosáhnout teoreticky libovolné přesnosti, ale principiálně už se nejedná o přesný výsledek vyplývající z jednoduše popsatelných vztahů. V jiných případech, jako je např. dlouhodobý pohyb koule na kulečnicku, vystávají problémy jiného druhu: nemůžeme totiž zcela přesně dodržet podmínky, pro něž platí teorie, a kromě toho existují další efekty, které teorie vůbec neuvažuje a které se mohou projevit právě až při velmi dlouhodobém procesu. Tak např. koule nemají zcela ideální kulový tvar, nejsou ideálně pružné, pohybují se po podložce, na níž může na různých místech působit různé valivé tření, při svém pohybu překonávají odpor vzduchu atd. Tyto faktory se prakticky neprojeví při kulečnickové hře, při níž vždy dochází (z energetických důvodů) pouze k několika málo rázům, kdyby však bylo možné realizovat třebas několik set rázů, už bychom nemohli přesně předpovědět, kde se určitá koule bude v daném okamžiku nacházet. Při proudění reálné kapaliny a v mnoha dalších případech přírodních dějů, zejména když se systém nachází v nějakých mezních podmínkách (např. velká rychlost proudění kapaliny, velké amplitudy kmitavého systému apod.) nelze už k popisu použít lineárních vztahů. Zatímco systémy lineárních diferenciálních rovnic, k nimž vedou zjednodušené fyzikální představy, mají vždy řešení (i když jeho nalezení nemusí být vždy jednoduché), systémy nelineárních rovnic nemusejí mít stacionární řešení, tomu pak odpovídá to, že v systému nastupuje deterministický chaos. Přesné předpovědi, v jakém stavu se systém bude nacházet v určitém okamžiku, jsou nemožné, budou ovšem existovat v příslušném fázovém prostoru určité meze, uvnitř kterých se systém bude s velkou pravděpodobností nalézat. Je třeba zdůraznit, že toto vše platí i v rámci klasické fyziky.

Uvažujeme-li systémy atomárních a subatomárních rozměrů, které se řídí kvantovou mechanikou, je stanovení určitých dvojic veličin (např. souřadnice částice x a příslušné složky hybnosti p_x) nadto omezeno Heisenbergovými relacemi neurčitosti a pro klasické parametry, jako je hybnost, energie apod., můžeme stanovit jen jejich pravděpodobné hodnoty. Zde nemůžeme předpovídat „přesné“ hodnoty z principiálního důvodu souvisejícího s dualismem vlna-částice. Protože však všechny fyzikální objekty jsou konec konců složeny z elementárních částic, uplatňuje se – zcela přesně vzato – i tato okolnost obecně.

Fyzikální zákony jsou tedy jednoduché a přesné pouze v omezené míře, totiž pokud nepožadujeme výsledky **příliš přesné** a předpovědi na **příliš dlouhou dobu**. To na štěstí stačí pro řešení převážné většiny úkolů denního života i běžných technických aplikací. Při bližším rozboru a vyšších požadavcích to však neplatí. A to musíme brát v úvahu zejména při řešení ontologických a filosofických otázek a poněkud to omezuje naše sebevědomí.

Vesmír, řídicí se jednoduchými zákony obsahujícími celá čísla, tak jak to bylo chápáno např. v koncepci „harmonie sfér“, je tedy takový pouze při pohledu, který nejde do přílišných podrobností. Příroda je ve své realitě složitá. Tím podivuhodnější je, že lidský intelekt je schopen takové abstrakce, která mu umožnila vyhmátnout to podstatné, vyjádřit to jednoduchými matematickými vztahy a tak umožnil lidem v přírodě se orientovat a mnohé pochopit.