

Jan Fischer

## MACHŮV ATOMISMUS, OCCAMOVA BŘITVA A TEORIE FUNDAMENTÁLNÍCH ČÁSTIC A SIL

### Ernst Mach's Atomism, Occam's Razor and the Theory of Fundamental Particles and Forces

Mach's conception of atoms. Reality, or an economical description? An eternal problém across physics and its history. Distinguishing between description, "saving appearances", and explanation. Towards a unified theory of fundamental particles and forces of matter. Quarks and gluons: reality, or an economical description? Problem of infinite divisibility. Did Mach finally accept the existence of atoms?



FISCHER, Jan. Machův atomismus, Occamova  
břitva a teorie fundamentálních částic a sil.  
In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach –  
Fyzika – Filosofie – Vzdělávání*. 1. vyd. Brno:  
Masarykova univerzita, 2010, s. 173–178.  
ISBN 978-80-210-4808-9.  
DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-173.

# Machův atomismus, Occamova břitva a teorie fundamentálních částic a sil

Jan Fischer

## Úvod

V 17. století ožívá po více než dvoutisícileté přestávce myšlenka, že hmota je složena z miniaturních částic. Novověká idea atomu procházela ovšem jiným vývojem než představy filosofických škol antického Řecka. Nešlo již o pouhou spekulaci, nýbrž o zkoumání hmoty metodami rodící se fyziky a chemie a odvození experimentálně ověřitelných důsledků z atomární struktury. V roce 1738 vysvětlil D. Bernoulli (1700–1782) Boyle-Mariotteův zákon (1679) pro plyn, chápaný jako komplex drobných částic.

Ke studiu chemických reakcí se idea atomu začíná používat koncem 18. století, v době prudkého rozvoje experimentální chemie. John Dalton (1766–1844) dospěl k myšlence atomární stavby látek; v r. 1805 začal publikovat svou atomovou teorii, která umožnila počítat poměrné atomové hmotnosti sloučenin. Elektrické vlastnosti látek studuje J. J. Berzelius (1779–1848), zavádí elektrolytické metody a izoluje prvky.

Tento vývoj však zahajuje již v 17. století Francouz Pierre Gassendi (1592–1655), filosof, matematik, přírodovědec a velký zastánce atomové myšlenky [1]. Sice ještě neexperimentuje, ale přemýšlí a uvažuje. Bývá nazýván Koperníkem atomové teorie. Čte Epikúra a Démokrita, antické představy o atomu nahrazuje moderními fyzikálními vlastnostmi: hmotností, setrvačností, ustavičným pohybem. Jeho definice atomu se téměř doslova objevuje o 50 let později v Newtonově *Optice*, jeho atom přejímá i Christian Huyghens (1629–1695), který na něm buduje svou korpuskulární kinetickou teorii.

Tak už dlouho před vznikem moderní chemie existují fyzikálně čitelné představy o atomu, spíše ovšem o jeho roli než o jeho povaze. Je paradoxní, že celé 19. století, kdy chemie objevuje nové prvky, sloučeniny a reakce, v době periodické soustavy prvků a dalších objevů, základní problémy atomu (struktura, stabilita a identita, ale i filosofické otázky) nejen zůstávají nevyřešeny, ale vzniká hnutí „protiatomistů“, kteří až do počátku 20. století chápou atom jen jako pomůcku k vědeckým úvahám a k usnadnění výpočtů, ne však jako reálnou entitu, neboť reálná existence atomů, jak tvrdili, dokázána nikdy nebyla ani být nemůže.

## Poznámky k historii atomismu

Představa, že atomy jsou pouhá hypotéza, se udržela dlouho, nejdéle snad u Wilhelma Ostwalda (1853–1932), který proslul studiem syntézy, katalýzy a reakčních rychlostí, a u významného fyzika a filosofa Ernsta Macha (1838–1916). Vynikající chemik Ostwald ještě v roce 1904 vyslovil o existenci atomů vážné pochybnosti; atom považoval jen za pomůcku myšlení, chemické reakce studoval pomocí energetické bilance. Teprve koncem života tuto myšlenku opustil.

Omezený prostor mi nedovoluje obsáhnout osobnost Ernsta Macha v plné šíři. Jeho filosofické názory jsou řazeny do fenomenalismu, což je slovo odvozené z řeckých slov ΦΑΙΝΕΙΝ (jevit) a ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ (jev). Fenomenalismus je názor, že poznávat lze jen ideje a počítky, ne tedy reálné věci, přičemž slovo *poznávat* znamená u Macha někdy *zakoušet*, jindy *mít jistotu*, že, a někdy směr obojího [2]. Mach přijímal termín *něco poznávat* v obojím smyslu, i jako bezprostředně to *zakoušet*, i jako *být si tím jist*. Nezpochybňoval legitimitu (epistemologii) poznání, ale omezoval se na poznávání idejí a počítků, tedy na fenomény, jevy. Proto bývá nazýván epistemologickým fenomenalistou.

Na ideje a počítky Mach omezoval i veškerou realitu (ontologii), a proto je podle [2] filozofy označován i za ontologického fenomenalistu. Vědomí chápal Mach ne jako nějakou novou entitu nebo kvalitu, ale pouze jako zvláštní druh vztahu mezi počítky.

Chce-li někdo skloubit své úvahy v teorii, narazí na pojem *jednoduchosti*: z možných teorií by měla být vybrána ta „nejjednodušší“. Je to přirozený požadavek; přírodních zákonů by mělo být málo a měly by obsáhnout co nejširší třídu jevů. Na to upozorňují filosofové i fyzikové; ale touto zásadou se řídili už středověcí badatelé. Známa je zásada připisovaná Vilému z Occamu (kolem 1290–1349), která proslula pod názvem „Occamova břitva“:

PRINCIPIA NON SUNT MULTIPLICANDA PRAETER NECESSITATEM  
volně přeloženo: NEZVYŠUJME POČET PRINCIPŮ NAD NEZBYTNOU MÍRU  
nebo, v jiné verzi: JE MARNOSTÍ POUŽÍVAT VÍCE TAM, KDE STAČÍ MÉNĚ

Karl Popper [3] zdůrazňuje rozhodující význam pojmu jednoduchosti pro epistemologii přírodních věd, ale konstatuje, že je používán nekriticky, aniž je podána jeho definice. Následovníci Ernsta Macha, Gustava Kirchhoffa a Richarda Avenaria se pokoušeli nahradit myšlenku kauzálního výkladu myšlenkou nejjednoduššího popisu, není však definováno, co se jednoduchostí míní. Weyl zakládá jednoduchost na pravděpodobnosti. Tím se přibližuje názorům Pierra Gassendiho, který si uvědomuje, že naše vnímání nemůže vždy rozhodnout o podstatě probíhajících jevů a dosáhnout jejich plného pochopení. Z možných interpretací, které stejně dobře popisují pozorované jevy (save appearances, tedy spíše „zachraňují“ jevy), se Gassendi přimlouvá za takovou, které přísluší největší pravděpodobnost. Jak jednoduchost, tak pravděpodobnost, obě tato kritéria vědecké pravdivosti se táhnou staletími, ale jsou i závislá na době (obě se mohou měnit s tím,

jak se zdokonalují prostředky vědeckého poznání). Ani ve 20. století nejsou však filosofové vědy ve vymezení těchto pojmů jednotní. Podle Poppera poznáme jejich rozdílné významy podle opaku; u jednoduchosti může být opakem např. (1) složitost, (2) obtížnost, (3) spletnost, (4) nepěknost, neelegance apod. K této klasifikaci se Popper staví kriticky (i když mnozí fyzikové se odvolávají např. na krásu rovnice, kterou objevili). Říká, že tyto aspekty „jsou estetické nebo pragmatické povahy a nejsou pro teorii vědění zajímavé“.

Místo toho předkládá Popper vlastní pojetí pojmu jednoduchosti. Vyvozuje, že epistemologické otázky, které vznikají v souvislosti s pojmem jednoduchosti, lze všechny zodpovědět, ztotožníme-li tento pojem se stupněm **falzifikovatelnosti**. (Z nedostatku místa a času mi nezbývá než přečtení jeho koncepce vřele doporučit, viz [3].)

## Je úkolem vědy hledat pravdu, nebo „zachránit jevy“?

Když se počátkem 40. let 16. století blížilo vydání fundamentálního díla polského katolického kněze Mikuláše Koperníka *De revolutionibus orbium coelestium*, napsal luteránský teolog Andreas Osiander těsně před jeho vydáním anonymní předmluvu, kde píše, že autor nemíní prohlásit heliocentrickou soustavu za vědeckou pravdu, ale jen navrhnout jakousi matematickou fikci, za účelem usnadnění výpočtů [4]. (Je otázka, zda by byl autor se zařazením předmluvy souhlasil.)

Galileiho konflikt s církevní vrchností o 70 let později je známý, a není místo jej tu podrobně probírat. Připomeňme jen, jak se k heliocentrické hypotéze stavěli badatelé 13. a 14. století, dávno před Galileim. Hájili podobné názory jako později Galilei, a přesto nenaráželi na odpor vrchnosti. Jean Buridan (1300–1358) znal zákon setrvačnosti a hájil jej proti aristotelovské koncepci pohybu. Albert Veliký (1206–1280) radil nespoléhat na výroky vědeckých autorit a kladl důraz na experimentování. Tomáš Akvinský (1225–1274) připouštěl možnost alternativního uspořádání sluneční soustavy. Mikuláš Oresme (1325–1382) objevil zákon volného pádu a v úvahách o oběhu Země kolem Slunce předešel Koperníka. S Buridanem odmítal dvojí fyziku, sublunární a nadlunární, zákony pohybu vyvozovali z jednoho principu. Mikuláš Kusánský (1401–1464) vyvinul vlastní kosmologii, Zemi označil za jednu z hvězd [4].

Přes své „revoluční“ názory neměli velké potíže s vrchností. Měli vysoké církevní a univerzitní hodnosti, někteří byli prohlášeni za svaté. Jak to bylo možné? Mám za to, že tím, že své názory označovali ne za nesporné pravdy, ale za vědecké hypotézy (jimiž skutečně byly). Vědecké hypotézy byly už ve středověku pečlivě odlišovány od vědeckých pravd. Mezi kritéria pravdy se teprve postupně dostává otázka po souhlasu s pozorovanými jevy nebo, jak se říkalo, otázka, zda daná hypotéza „zachraňuje“ jevy (*salvare apparentia*).

Tak ani heliocentrismus dlouho nenarážel na odpor, dokud byl označován ne za vědeckou pravdu, nýbrž za domněnku, která „zachraňuje“ jevy a usnadňuje výpočty. Pokud

se týče Ptolemaiovy soustavy, podle T. S. Kuhna [4] není jasné, zda Ptolemaios byl přesvědčen o reálné existenci křišťálových sfér, sloužících k mechanickému vysvětlení epicyklových pohybů; i ty mohly být považovány za užitečné matematické fikce k výpočtům pohybů planet. O to obezřetnější byly autority v případech, kdy někdo označil něco za nespornou pravdu.

Tento problém znepokojuje i současné vědce. Jaké předchůdce měl ve starověku?

## Antika a její vztah k dnešku

I ve starověku se řeší dilema: hmotná realita, nebo smyslové vjemy? Jak poukazuje Schrödinger [5], stejný problém jako dnes byl ve starém Řecku, přes obrovský rozdíl v objemu znalostí. Parmenidés sjednotil v jedno věc, která je, a rozum: „myšlení a bytí je totéž“ „*το γαρ αυτο νοειν εστιν τε και εινα*“. Druhým extrémem je Prótágorás: „smyslové vjemy jsou jedinou realitou“ nebo jinak, „všechno je takové, jak se všem jeví“ „*παντα εινα οσα πασι φαινεται*“ [6].

Jaké jsou rysy fyzikálního myšlení tehdy a dnes? Podle E. Schrödingera to podstatné, co přinesly filosofické školy starého Řecku, je přesvědčení, že svět může být pochopen, dá-li si člověk práci jej systematicky pozorovat. **Pěstovat vědu** znamená soustavně hledat příčiny a vysvětlení, usilovat o pochopení – to vše leží v samotných základech vědy. Tu vynalezli Řekové. Kdybychom se těchto činností zřekli, museli bychom odhodit i pochopení, bez něhož je však věda nemyslitelná. Při vědecké činnosti odhalujeme vztahy mezi svými poznatky v různých, vzdálených oborech poznání a také mezi nimi a fundamentálními pojmy. Tyto vztahy jsou někdy tak neočekávané, že pro jejich odhalení se termín „pochopení“ jeví jako velmi výstižný. (Jako příklad uvádí Schrödinger mechanickou teorii tepla.)

**Stanovisko pozitivistů** (včetně Ernsta Macha) je odlišné. Podle nich věda nezná pochopení, příčiny ani vysvětlení; usiluje jen o úplný a ekonomický popis pozorovaného. Tento postoj zjevně popírá fyzikální chápání světa jako něčeho, „co může být pochopeno“. Ale pozor: není to ani návrat k předvědeckému antropomorfnímu pojetí přírodních jevů.

V tomto dilematu dospívá Schrödinger k zajímavému řešení. Z uvedených stanovisek nepřijímá žádné, ani jejich kompromis. Pozitivismus je sice jed, po jehož požití věda hyne, ale lze mu přiznat (v malém množství) užitečnou roli „léčivého protijedu“ [5] proti ukvapenosti, s jakou vědci dychtí uvěřit, že něco pochopili, zatímco pouze uchopili a popsali fakta.

Jakkoli se může zdát tento Schrödingerův závěr paradoxní, je velmi přirozený. Každý vědecký nápad, jak vysvětlit nějaký jev, nemusí být – i když souhlasí s naměřenými daty a zdá se přijatelný – ještě pravdivý. Je hypotézou, která může být vyvrácena. Toho si byla, jak jsme viděli, vědoma věda v dávné historii i nyní, a toho si byl vědom i Mach. Vždy je třeba skepse, neboť (jak jsme upozornili v odd. 3) tato hypotéza pouze „zachraňuje jevy“.

## Přijal Mach nakonec reálnost atomů? [2]

Až do r. 1950 se obecně věřilo, že Mach nikdy nezměnil své odmítání reálnosti atomů. Na zmínku o atomech vždy odpovídal: „A viděl jste nějaký?“ Tím diskuse skončila. V jednom článku S. Meyer tvrdí, že Mach reálnost atomů přijal. Krátce po vynálezu spinthariskopu ho Meyer pozval, aby sám posoudil, zda to, co uvidí, je reálné. Mach prý se podíval na stínítko, a po zapnutí spinthariskopu nepronášel žádné umíněné poznámky, nýbrž prohlásil: „Nyní věřím v existenci atomů.“ Svůj názor na svět změnil v několika minutách.

Bohuslav Brauner však vypráví: Před válkou jsem seděl s Machem v jeho zahradě ve Vídni. Řekl mi: „Atomismus je dobrá pracovní hypotéza pro studium chemie; musí být užívána s velkou péčí při studiu a práci ve vědě; je však krajně nebezpečná jako noetická teorie.“ Později jsem se ho ptal v dopise, zda považuje výsledky všech pozorování v radioaktivitě za důkaz existence atomů, a on mi odpověděl doslova: „Nečiním se proselytou svých názorů – nedělejte ze sebe proselytu atomismu.“ Své názory do smrti nikdy nezměnil.

## Závěrem

Dnes přešla role „atomů“ na kvarky a gluony, základní konstituenty hadronů. Situace s atomy v 19. století se v jistém smyslu opakuje. Že je to model užitečný k úvahám a výpočtům, o tom sotva kdo pochybuje. Hledáme kritéria, která by nám mohla říci, zda kvarky a gluony reálně existují a co to slovo fakticky znamená. Většina fyziků považuje teoretické i experimentální důkazy existence kvarků za dostatečné, ale lze si představit takové, kteří buď se chtějí bez nich obejít, nebo nepovažují tyto důkazy za dostatečné. Na to mají plné právo, jako měl právo Mach.

Od situace s atomy v 19. století je tu však důležitý rozdíl: vazbová energie kvarků v hadronu je nesrovnatelně větší než jejich klidové energie. Proto při pokusech o rozbití hadronů je produkováno nesrovnatelně víc nových částic, které před srážkou neexistovaly. Heslo „rozeber na součásti a sepiš je“ už neplatí, rozebrat hadrony nelze, a i kdyby to někdy šlo, bylo by to provázáno produkcí obrovského množství kvarků a gluonů, které ve zkoumaném hadronu původně nebyly; vznikly nárazem, jehož energie mnohonásobně převyšuje klidové energie. V takové situaci otázka složenosti přestává mít smysl. Dnes už není tak důležitá a aktuální otázka složenosti, ale otázka struktury a symetrie. Tyto pojmy patří (spolu s pojmy, jako je pole, interakce, kvantová čísla, zákony zachování a další) k těm nemnohým, které můžeme přenést do mikrokosmu. V jakém smyslu by se však dal chápat pojem složenosti uvnitř hadronu, to je předmětem diskusí.

## Seznam odkazů

- [1] M. Brdička: Koperník atomové teorie. *Čs. čas. fyz.* 42 (1992), 79–88.
- [2] J. T. Blackmore: *Ernst Mach. His work, life and influence*. University of California Press, Berkeley 1972.
- [3] K. Popper: *Logika vědeckého bádání*. OIKOYMENH, Praha 1997.
- [4] T. S. Kuhn: *The Copernican revolution*. Harvard University Press, 1999.
- [5] E. Schrödinger: *Nature and the Greeks*. Cambridge University Press, Cambridge 1954.
- [6] K. Floss: *Úvod do řecké a latinské filozofické terminologie a četby*. Univerzita Palackého, Olomouc 1992.