

Kauzalita, determinismus, zákon a zákonitost

Presvědčení týkající se kauzálních vlastností materiálního světa patří k několika základním rozhodnutím, o který jsme se zmiňovali v úvodu této části. Je možné zaujmout buď humeovskou pozici, předpokládat, že kauzální vztahy, jsou jen produktem naší mysli, protože je nelze nijak odvodit z empirických dat. V tomto případě věda v moderním pojetí nebude možná než jako prostý popis. Druhá možnost je předpokládat objektivnost kauzálních vazeb, aniž bychom dokázali proto podat jednoznačný argument, zůstaneme, řekněme, na úrovni metafyzického předpokladu, podepřeného, když ne argumenty, tak zkušeností nikoli pouze jednotlivců, ale historickou, výsledky vědy i individuální praxí. Diskuse k tématu má pak smysl pouze na této intencionální bázi, v ostatních případech vyústí vždy v situaci, kdy proti sobě stojí dvě protikladná tvrzení bez možnosti rozhodujícího argumentu. Jak jsme uvedli na začátku, volíme druhou možnost a považujeme za užitečné to zde zopakovat, zejména proto, že je velmi rozšířený omyl v definicích kauzality a determinismu, který zcela znemožňuje pochopení toho, co se děje v současné vědě v této oblasti. Tento omyl, stručně vyjádřeno, spočívá ve ztotožňování kauzality a determinismu, v naivním předpokladu, že když má něco příčinu, je to deterministické. Úvaha pak většinou rychle pokračuje v tom, smyslu, že všechno má svou příčinu, celý vesmír a všechno na světě je tedy deterministické. Těm, kdo přísahají na etymologii a nechtějí se vzdát předurčenosti všeho, co má příčinu, můžeme nabídnout zdánlivě hru se slovy, ale v tom případě velmi užitečnou. Je možné totiž rozlišit determinovaný a deterministický.

Ale začneme postupně, od kauzality. *Kauzalitou* rozumíme vztah materiálních prvků či systémů, kdy změna stavu jednoho systému – *příčina* – nutně vyvolá změnu stavu druhého systému – *účinek*. *Elementární kauzální vztah* příčina – účinek je jistou abstrakcí, kterou v přírodě v takovéto čisté izolované podobě nenajdeme. Bližší skutečnosti je představa *zřetězení příčin a účinků*, s kterou pracuje řada filosofů od Aristotela (hierarchický model světa od první příčiny k účelu všech účelů) až třeba po mechanické materialisty, kteří od počátečních příčin přes jejich účinky chtějí vysledovat všechny stavy, jichž vesmír postupně nabývá. I toto je však do jisté míry zjednodušená představa počítající s tím, že jedna a táž příčina vždycky vyvolá tentýž účinek a nikdy tomu nebude jinak. Dalším přiblížením tedy může být kombinace těchto kauzálních řetězců v *kauzální síť*, po které se postupně šíří změny od výchozích příčin, v dalším kroku tato – zatím plošná – síť můžeme získat třetí dimenzi a rozprostřít se tak z plochy do *prostoru*, a když ještě přidáme *zpětné působení* na systémy v roli původních příčin, získáme poměrně složitý obraz kauzálních vazeb ve struktuře materiálních systémů.

Podle vzájemného vztahu příčiny a účinku je také možné rozeznávat některé typy filosofických směrů. Například pro všechny, které vidí v počátku světa nějakého demiurga je *příčina vždy něco více než účinek*, zákon ekvivalence příčiny a účinku, tedy *rovnost příčin a účinků* vyznávají všichni, kdo se hlásí k preformismu (všechno už je obsaženo v prvních příčinách a vznik není ničím jiným než rozvojem ze zárodků od počátku existujících) a nakonec emergentismus a evolucionismus (v darwinovském smyslu) obsahuje přesvědčení, že v *účinku je vždy něco nového*, co nebylo v příčině.

Dokonalou znalost výchozího stavu systému v kauzálním vztahu označujeme jako *úplnou příčinu*, která vyvolá vždy tentýž účinek. Ve skutečnosti však tato dokonalá znalost často zůstává jen ideálem a je třeba kalkulovat s *podmínkami*, které se podílejí na účinku. Podmínky samy o sobě účinek nemohou vyvolat, ale mohou ovlivnit průběh procesu nebo vůbec jeho spuštění, kterým se kauzální vztah realizuje.

Problémy s příčinností, vyjádřené v dějinách filosofie explicitně Hudem, vedly mnohé přírodovědce i filosofy ke snaze nahradit tento vztah v našich popisech funkcionalností¹. Týká se to zejména těch, kteří měli blízko k pozitivisticky orientované filosofii, neboť funkce popisuje vzájemnou současnou závislost proměnných, nikoliv však historii. Takovému popisu chybí některé nebo všechny tzv. asymetrie kauzálního vztahu, které svým způsobem odrážejí dějiny systému. Jedná se o *existenční asymetrii*, která vyjadřuje aktualitu příčiny a potencialitu účinku – neexistující nemůže být příčinou existujícího, *genetickou asymetrii*, jež je vyjádřením schopnosti vyvolávat změny, tvůrčí aktivity a *časovou asymetrii*, která zdůrazňuje skutečnost, že jakákoli přeměna (látky, energie, informace) se realizuje maximálně rychlostí světla, která je konečná, a že tedy mezi příčinou a účinkem bude vždy

¹ Nebo jiným vysvětlením. Jako příklad může posloužit Masarykova snaha využít počtu pravděpodobnosti jako alternativy kauzality. Viz Masaryk, T. G. M.: ????, Krob, J.: Masaryk a matematika XXXX

nenulový interval, jehož velikost bude záviset na vzdálenosti, ve které se kauzální vztah realizuje, a rychlosti, jakou se to děje.

Determinace je závislost systému na příčinách, tzn. vše, co má příčinu, je těmito příčinami determinováno. *Determinismus* je názor, že jsme schopni předvídat všechny účinky determinovaných systémů, budeme-li znát všechny jejich příčiny. Tedy, abychom ještě podtrhli rozdíl, kauzalita a determinace jsou *objektivní* vlastnosti materiálních struktur, determinismus je *názor, přesvědčení*, že je možné při dostatečně přesné znalosti stavu systému spočítat a předpovědět všechny jeho další stavy směrem do minulosti i budoucnosti. Rozlišení determinace a determinismu v sobě ovšem skrývá značná úskalí, jejichž základem je onto-gnoseologický problém. Obsahuje totiž představu, že můžeme uvažovat o chování systému, jak se „skutečně“ děje, nezávisle na pozorovateli (determinace), a o chování systému, jak ho můžeme spočítat (determinismus). Tímto konstatováním se ovšem vůbec nastoleného problému zbavit nemůžeme. Je totiž evidentní (třeba již jen podle letmého pohledu na oblohu a pohyb nebeských těles), že systémy se vždycky nějak chovají, a to zcela nezávisle na tom, zda pro jejich chování jsme schopni nalézt řešení v rovnicích nebo ne. Vyvstane tak před námi otázka *plné a částečné* determinovanosti systému. Plně determinovaný systém by byl takový, jehož každý stav v libovolně vzdálení budoucnosti by zcela jednoznačně závisel (bez ohledu na to, zda bychom to dokázali spočítat, nebo ne, zda by to vůbec někdo počítal) na počátečních podmínkách nebo „první příčině“ daného systému, tzn. celý řetězec příčin a následků probíhajících v systému by byl již předem dán počátečním stavem. Částečně determinovaný systém by se pak po každé změně stavu vždy nově stabilizoval a další stav by se korigoval podle změněných podmínek. „První příčina“ by se tak postupně „rozpouštěla“ v následujících generacích příčin a účinku, až by zcela ztratila vliv na další stavy systému. Rozhodnout mezi těmito možnostmi můžeme buď na základě naší filosofické (či jiné) víry, čímž se současně zbavujeme i povinnosti argumentovat, nebo na základě nějakých dat, ale v tom případě musíme provést měření (fyzika), nějakým způsobem je zpracovat (matematika) a výsledek interpretovat. Tím se ovšem dostáváme již na půdu názoru a našeho přesvědčení, tedy se vracíme k determinismu a další rozlišování determinovaného a deterministického ztrácí smysl a zůstává nám opět kauzalita a determinismus. Samotný determinismus pak v historii nabývá různých podob, jež v podstatě kopírují trasu od plné determinace vesmíru (důsledného determinismu) k indeterministickým systémům.

Typickým případem důsledného determinismu je *mechanický determinismus*, vycházející z úspěchů klasické fyziky a představy vesmíru jako – sice velkého a složitého, ale přece jen – mechanismu, který je beze zbytku, přinejmenším principiálně, kvantifikovatelný a pokud by tak existovala bytost s dostatečně mohutnou výpočetní kapacitou, mohla by spočítat všechny minulé a budoucí stavy tohoto mechanismu. Budoucnost a minulost vesmíru by pro tuto bytost nebyl již žádným tajemstvím. Tato představa deterministického vesmíru, reprezentovaná nejčastěji S. Laplacem, ze světa zcela vylučuje náhodu, resp. pokládá ji za pouze subjektivní fakt, za naši neznalost příčin. Stačí poznat příčiny a náhody zmizí ze světa.

První trhlinu tento obraz dostává na přelomu 19. a 20. století, kdy H. Poincaré rozlišil stabilní a nestabilní systémy, zavedl označení *dynamického neintegrovatelného systému* a ukázal, že většina dynamických systémů je tohoto typu. Zjednodušeně řečeno integrovatelnost systému znamená, že v dynamickém systému, který je vždy plně charakterizovatelný kinetickou energií (která je závislá pouze na rychlosti těles systému) a potenciální energií (vzájemná poloha těles, jejich interakce), se najdou takové transformace, které umožní zobrazení, při němž je možno eliminovat potenciální energii a zanedbat tak vzájemné interakce a proto je možné poměrně snadno nalézt trajektorii těles, tedy určit budoucí stavy systému. Poincaré ukazuje, že takové proměnné nelze nalézt a že dynamické systémy jsou neintegrovatelné.² Znamená to, že i v oblasti klasické fyziky se objevuje potíž s determinismem. Dlouho byl tento problém chápán jenom jako matematický a čekalo se, že se zlepšením aparátu se vyřeší i záležitost takovýchto systémů. Zanedbávání trvalo až do druhé poloviny 20. století, kdy se stále častěji začalo mluvit o chaotických systémech, které tuto otázku obnovily.

Mezitím se ale objevují další problémy. Mechanický determinismus zcela v duchu klasické fyziky nijak neproblematizuje možnost získání informací o stavu systému, protože předpokládá okamžité působení na dálku. Laplaceův počtářský démon může tedy být vybaven informacemi z libovolně vzdálené minulosti, může si ji ostatně vypočítat, stejně jako budoucnost, ze znalosti aktuálního stavu systémů libovolně vzdálených prostorově. Démonovu pohodu ale kazí teorie relativity, která přichází

² I. Prigogine: La fin des certitudes, Paris 1998, p. 45.

s tím, že rychlost světla, která je konečná, je maximální možnou rychlostí, která je v našem vesmíru dosažitelná. Žádný signál se nemůže šířit rychleji a my se tak ocitáme uzavřeni v oblasti tzv. horizontu částic nebo – chceme-li klást důraz a vzájemné působení – v oblasti kauzálního horizontu.³ K. Popper se snaží využít světelného kužele – jak se jmenuje oblast vesmíru vymezená kauzálním horizontem a přístupná našemu pozorování – jako argumentu k popření determinismu⁴. Domníváme se, že to není argument dostatečný, je dobrý pouze pro vyvrácení právě mechanického determinismu, tedy té podoby, která předpokládá možnost spočítat beze zbytku minulost i budoucnost vesmíru. To jistě – při platnosti teorie relativity – možné není, ale důsledkem je pouze jisté zmírnění deterministického názoru. V relativistickém vesmíru opravdu Laplaceův démon nemá šanci získat okamžitě všechny údaje o vzdálených systémech, musí na ně čekat, a to tím déle, čím jsou tyto systémy vzdálenější, mezitím se ovšem vesmír mění, horizont překračují stále nové události, které je třeba vzít v úvahu a výpočet minulosti a budoucnosti vesmíru se tak stává neuskutečnitelným v konečné době. Naše uzavření do světelného kužele ale není argumentem pro umírněnější formu determinismu, která rezignuje na výpočet budoucnosti celého vesmíru, ale mluví pouze o systémech, které se vyskytují v našem horizontu. A zde i Einstein stojí na pozicích determinismu v již historickém sporu na toto téma v souvislosti s kvantovou mechanikou.

Kvantová mechanika (Heisenbergův princip neurčitosti) znamená další zpochybnění determinismu, a to i v jeho umírněné podobě. Rozbílí totiž představu klasické fyziky, že je možné zaujmout stanovisko pozorovatele systému, který měří potřebné údaje, aniž by tím samotný systém ovlivnil. Princip neurčitosti⁵ ve svých důsledcích znamená, že není možné získat současně s dostatečnou přesností všechny rozhodující informace (typicky energii a polohu částice, ale nemusí se to týkat vždy pouze těchto údajů) o kvantovém systému. I když kvantová mechanika značně nabourala deterministické představy a pro mnohé znamenala definitivní rozchod s matematickým předvídaním budoucnosti a byla pochopena i jako potvrzení svobody i ze strany fyziky, stále zůstávala početná skupina vědců a filosofů, kteří společně s Einsteinem věřili, že „bůh nehraje kostky“. Byli přesvědčeni, a někteří stále ještě jsou, že nemožnost získat současně potřebné údaje o systému je pouze technický problém nebo je to otázka vlastností skutečnosti, které nám zatím unikají a že situace se s pokrokem techniky a fyziky zlepší a determinismus zůstane zachován a svět nebude ovládat náhoda, z které by se stal v indeterministickém pojetí některých interpretací kvantové mechaniky objektivní fakt. Avšak veškeré experimenty, které dosud byly provedeny s cílem rozhodnout tuto situaci, včetně pokusů, které byly inspirovány myšlenkovými experimenty významných zastánců determinismu, ukázaly, že s největší pravděpodobností nejde o technický problém, ale že samotná skutečnost je taková. A tak nám zde znovu splývají pojmy determinovaný a deterministický a zdá se, že systémy skutečně nejsou jednou provždy předurčeny „první příčinou“. Nicméně obhájci determinismu stále ještě mohou argumentovat nejasností přechodu ze světa subatomárních částic do našeho makrosvěta a spoléhat na to, že právě někde zde se jednou objeví záchrana deterministického světa.

Tato naděje se však začíná pomalu vytrácet s ohledem na práce, které vůbec nepotřebují argumentovat kvantovou mechanikou a principem neurčitosti, dokonce nevyžadují ani relativistickou fyziku, ale vycházejí ze samotného nitra klasické fyziky, a to z dynamiky v podobě, jak ji zažilo na samém konci 19. století. Jak jsme již uvedli, jako první na problém upozornil H. Poincaré, přičemž se dlouho mělo za to, že je to jen technická nedostatečnost, ale od poloviny 20. století se postupně formulují teorie, které ukazují, že i dynamické nestabilní systémy, jak je Poincaré vymežil, vykazují stejné nedeterministické chování jako třeba systémy kvantové.

Pravděpodobnostní popis, charakteristický pro chaotické (a kvantové) systémy se ovšem do vědy dostává mnohem dříve, a to v souvislosti s termodynamickou teorií v druhé polovině 19. století. Byl použitelný všude tam, kde se pracovalo se systémy o velmi velkém počtu prvků takže nebylo možné (a v důsledcích jak se ukázalo ani nutné) brát v úvahu přesné charakteristiky každého z nich, ale pro určení chování systému s dostatečnou mírou pravděpodobnosti stačilo znát jejich pravděpodobné rozložení. Protože se však předpokládalo, že by stačilo mít dostatečnou kapacitu na zachycení všech údajů o všech

³ K problematice horizontů viz část této práce Mezi ontologií a gnoseologií.

⁴ K. Popper: *L'univers irrésolu ...* česky

⁵ Každé částici o hmotnosti m , pohybující se rychlostí v , odpovídá určitá vlnová délka λ a platí vztah $\lambda = h/m \cdot v$, kde h je Planckova konstanta nejmenšího účinkového kvanta. Pro kuličku o hmotnosti 1g pohybující se rychlostí 1cm/s⁻¹ je λ 10⁻²⁷cm, tedy veličina zcela zanedbatelná. Pro elektron je však $\lambda = 1$ cm, což značně převyšuje rozměry samotného elektronu. Malá vlnová délka umožňuje přesnější lokalizaci, částice má však vysokou energii pohybovou, když ji snížíme, vzroste vlnová délka a nejsme schopni ji určit prostorově.

prvcích, aby mohl být pravděpodobnostní popis nahrazen jednoznačným (dynamickým), tento *stochastický chaos* nijak nenarušoval víru v determinismus. Náhodné chování takového systému je ovlivněno vnějšími podmínkami na rozdíl od *dynamického chaosu*, kde nepředvídatelné chování je způsobeno neodhadnutelností počátečních podmínek⁶. Nemožnost určit počáteční podmínky s dostatečnou přesností má více důvodů, pro ilustraci můžeme uvést jeden spočívající v jedné odlišnosti matematických a fyzikálních veličin. Matematické veličiny můžeme teoreticky znát s nekonečnou přesností, kdežto fyzikální, které získáváme měřením, budou vždy jen přibližné. A tak i takový učebnicový příklad klasické mechaniky jako pohyb kulečnickové koule po ploše hracího stolu, přestává být deterministickým systémem. Předpověď trajektorii koule znamená dostatečně přesně změřit její počáteční stav (hmotnost, rychlost) a zde se objeví problém. Měření nám dá výsledek s jistým přiblížením a byť nepatrná odlišnost může po několika stavech tohoto systému mít za následek zcela odlišnou trajektorii než byla ta vypočítaná. A aby nezůstalo místo pro pochyby, objevují se systémy, kde ani nekonečná přesnost při stanovení počátečních podmínek není dostačující pro deterministický popis a známé jsou nakonec i matematické řady, které vykazují chaotické chování.

A tak, podobně jako tomu bylo s klasickou a relativistickou fyzikou, kdy klasická zůstávala dobrým nástrojem pro popis těles makrosvětla pohybujících se nízkými rychlostmi a stala se speciálním případem fyziky relativistické, nyní vše postupně nasvědčuje tomu, že se historie zopakuje s novými aktéry a deterministický popis zůstane vyhrazen poměrně úzkému okruhu jednoduchých systémů a stane se speciálním případem obecnějšího popisu, který bude pravděpodobnostní. V této souvislosti I. Prigogine, velký zastánce nedeterministických systémů, s oblibou cituje jednoho z předních odborníků na klasickou dynamiku J. Lighthilla: „Chceme se omluvit, že jsme zavedli vzdělanou veřejnost na scestí pomocí rozšíření představy o determinismu systému splňujícího Newtonovy pohybové zákony. Tyto představy se po roce 1960 ukázaly jako nekorektní.“⁷ Prigogine dokonce v této souvislosti neváhá mluvit o revoluci ve vědě srovnatelné s tou, kterou způsobila teorie relativity či kvantová mechanika.

Celý problém bychom také mohli popsat v intencích střetu pojmů bytí a dění. Klasická fyzika a determinismus jsou úzce spjaty s filosofiemi, které bychom pro stručnost mohli označit jako filosofie bytí, tj. hledající substance, bytí společné všemu a vždy. Změna, pohyb a vývoj jsou pro ně většinou jen projevem něčeho fundamentálního a trvalého. V této atmosféře se také objevuje pojem stav systému. V podstatě se tím vyjadřuje přesvědčení, že můžeme udělat jakýsi časový stříh v němž je systém zastaven, a že z tohoto „stop stavu“ můžeme s libovolnou přesností přečíst potřebné charakteristiky a získat tak informace o stavu systému, které nám mohou sloužit k dalším predikcím, přičemž tato představa dále pokračuje v tom smyslu, že jeden ukončený stav má pokračování v dalším, který lze opět popsat samostatným souborem proměnných a že se takto ve vývoji systému vlastně zřetězují jednotlivé atomizované stavy, jakési mikroelementy bytí. Snadno se přitom zapomíná, že toto „zastavení systému“ je pouhou abstrakcí, že ve skutečnosti se systém dále kontinuálně děje. To, co my považujeme za informace o atomizovaném stavu systému, mohou být údaje ve skutečnosti „rozmazané“ v určitém intervalu systému, v několika stavech plynule v sebe přecházejících a námi získané informace nebudou libovolně přesné, ale jen přibližné. Budeme-li však pracovat s představou dění, bude stále evidentní, že atomizovaný, diskrétní stav systému je pouze naší abstrakcí, která nám nedovoluje jiný než pravděpodobný popis právě proto, že neposkytuje informace o dění, ale o stavu.

S dynamickými a stochastickými systémy úzce souvisí i pojetí *zákona* a *zákonitosti*. Přestože se mnohdy v literatuře tyto pojmy zaměňují, domníváme se, že je velmi užitečné je rozlišit, již jen s ohledem na v úvodu zmíněný onto-gnoseologický problém. Především je třeba připomenout, že zde máme na mysli výhradně přírodní zákony, někdy také označované *kauzální*, na rozdíl od zákonů právních stanovených arbitrárně. Idea přírodního zákona není samozřejmým atributem lidského myšlení. Nacházíme ji vlastně pouze v evropské filosofii a vědě, naopak je zcela cizí čínské nebo indické filosofii. V evropském myšlení je úzce spojena s myšlenkou řádu, která provází filosofii i vědu od samotných řeckých počátků po současnost. Představa řádu s sebou nese i možnost tento řád poznat a v důsledcích tak i říci, co se stane za předem stanovených podmínek. Věda, kauzalita a zákonitost tak tvoří jediný celek a právě vztah kauzality a determinismus nám může pomoci přiblížit vztah zákonitosti a zákona, který je zcela ekvivalentní. Na jedné straně stojí kauzalita a zákonitost jako to, co se ve světě děje, a na straně druhé determinismus a přírodní zákon jako náš popis tohoto dění.

⁶ P. Coveney; R. Highfield: Šíp času. Oldag 1995, s. XXX.

⁷ I. Prigogine: Temps à devenir: à propos de l'histoire du temps. Québec 1993, p. XXX.

Zákonitost je tedy způsob jakým se přírodní procesy realizují, jak probíhají, zákon je teoretická formulace této zákonitosti. Abychom z reálného přírodního děje dokázali abstrahovat zákonitost a následně ji formulovat, je třeba

- tento děj zbavit všech jeho náhodných rysů a projevů, nepodstatných vlivů okolí, aby nám zůstalo jenom to, co se děje *nutně*,
- vyjádřit jej tak, aby byl invariantní vůči časovým a prostorovým transformacím, tj. musí platit nezávisle na místě a čase, tj. jeho průběh musí být *opakovatelný*,
- vyjádřit jej tak, aby platil pro třídu prvků, nikoli jen jako ad hoc hypotéza pro individuum, musí tedy platit *obecně*. Podle míry obecnosti, je možné rozdělit zákony na *specifické*, platné v daném oboru pro daný typ organizace materiálních struktur (fyzikální, chemické, biologické...) a *univerzální*, vyjadřující souvislosti platné pro všechny systémy nebo jejich převážnou většinu (zákony zachování).

Tato kritéria zákonitosti plně vyhovují klasickému modelu vědy a zejména fyzice, ovšem v limitních případech se setkáváme s některými problémy. Například v kosmologii, která pracuje s jedinečným předmětem --- celým vesmírem --- je obtížné dostat podmínce opakovatelnosti či obecnosti, naopak ve fyzikálních zákonech těmto kritériím bezvadně vyhovujícím je zcela ignorován nevratný vývoj systémů, rozlišení minulosti a budoucnosti v nich nehraje žádnou roli (kromě rozdílného znaménka). S koncepcemi determinismu rovněž souvisí i základní typy zákonitostí. Klasická mechanika tak dala zrodit typu *dynamických zákonitostí*, podle kterých je možno spočítat ze zadaných podmínek jednoznačně stav systému i každého jeho prvku. Termodynamika (a posléze kvantová mechanika pokud jde o fyzikální vědy) začala zase pracovat se *stochastickými zákonitostmi*, které byly schopny vyjádřit souvislosti až v systémech o velmi velkém počtu prvků a pouze pro systém jako celek, nikoli pro jednotlivé prvky. Tyto zákonitosti tak nenabízely předpověď jednoznačnou, ale pravděpodobnostní. Problém s dynamickými zákonitostmi jsme nastínili výše a ještě se k nim vrátíme v jiné souvislosti.