



Nerozlišitelnost, opakovatelnost a jedinečnost

Ludmila Eckertová¹, †

Výrok, že každý člověk je úplně jiný a jedinci se od sebe liší už na první pohled mnoha znaky, je triviální. Platí přitom do značné míry i pro jednotlivé živočichy nebo rostliny téhož druhu, obecně jsou rozdíly tím nápadnější, čím jsou jedinci složitější a dokonalejší, čím výše stojí na žebříčku vývojové řady. Podobně je tomu i pro jednotlivé části organismů – listy rostlin, části těl živočichů atd. I neživé předměty se však od sebe liší: každý kámen, každý krystal téhož nerostu je trochu jiný, dokonce i každé zrno písku, i když zde rozdíly nemusejí být tak na první pohled patrné a projeví se třebaš teprve pod drobnohledem nebo při podrobnějším zkoumání struktury.

Jsou odlišné i předměty téhož druhu vyrobené člověkem (např. židle, boty atd.), a to i výrobky strojové, které se při zběžném pozorování zdají naprosto stejné. Rozdíly jsou v detailech, které často ani nepostřehneme, které však přece existují. Nic nelze totiž udělat dvakrát přesně stejně. Konečný tvar a kvalita systémů vždy závisí na tom, v jakých podmínkách daný systém vznikl, a tyto podmínky nejsou nikdy úplně identické.

Na druhé straně je však třeba uvážit, že přece jen existují i objekty identické a případně od sebe navzájem nerozlišitelné.

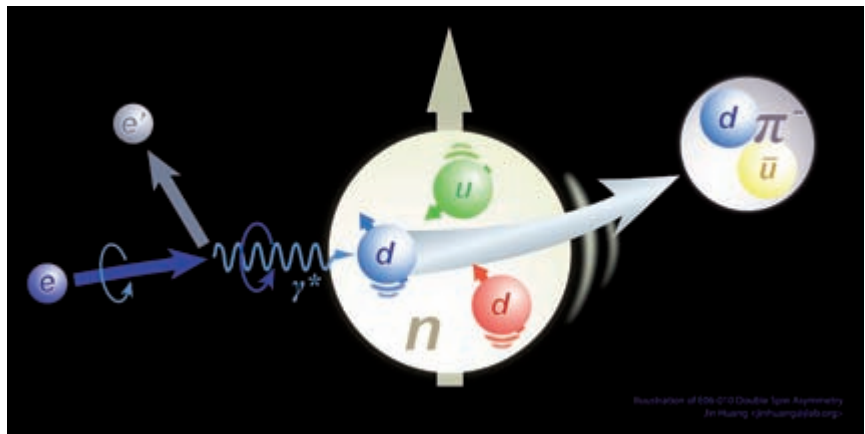
Někde by tedy měly ležet jakési hranice mezi nerozlišitelností, opakovatelností a jedinečností – „individualitou“. Kde jsou a čím jsou dány tyto hranice?

Při jejich hledání bychom mohli teoreticky postupovat oběma směry – zdola nahoru a shora dolů – a někde bychom na ně měli narazit. Prakticky je ovšem jednodušší postupovat od jednoduchého ke složitějšímu.

Při tomto postupu zdola musíme začít od základních (tj. dále nerozložitelných) součástí hmoty. Víme, že se všechna tělesa, která pozorujeme, konec konců skládají ze stabilních základních kamenů hmoty, což jsou v podstatě elektrony, protony a neutrony².

Tyto elementární částice mají určité základní vlastnosti (hmotnost, náboj atd.), které jsou u všech částic téhož druhu identické. Nemáme žádnou možnost, jak odlišit jednu částici od druhé, částice jsou „nerozlišitelné“ a je to jejich podstatná vlastnost. To respektují kvantové fyzikální statistiky, kterými se jejich systémy řídí. Je ovšem třeba uvážit, že ty „základní kameny hmoty“ nejsou vlastně přesně prostorově ohraničené objekty, jak je chápeme v naší denní zkušenosti. Za určitých okolností se výrazně projevuje jejich vlnová povaha (de Broglieův dualismus částice–vlna) a vlnová funkce, která je jim přiřazena, není prostorově ohraničená. Tato vlnová funkce je přitom podstatná pro jejich vzájemné interakce, vazby mezi nimi, a tedy pro vytváření složitějších struktur – atomů, molekul, krystalů. A jak uvedeme dále, právě tyto vazby jsou důležitým faktorem v úvahách o rozlišitelnosti a individualitě.

Spojováním uvedených elementárních částic vznikají atomy (protony a neutrony vytvářejí jejich



Obr. 1 – neutron, elektron, mezon, kvarky (ilustrační kresba)³

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

² Volné neutrony se sice rozpadají s poločasem 11,5 minut, ale jakožto součásti atomových jader jsou stabilní (ovšem s výjimkou jader vyznačujících se radioaktivitou β , v nichž se neutron rozpadá na proton, elektron a antineutrino, to však pro tyto naše úvahy není důležité). Podle současných představ se nukleony – tj. protony a neutrony – sice „skládají“ z kvarků, ale tuto strukturu nemůžeme nijak ovlivnit a kvarky samostatně zřejmě nemohou existovat.

³ Ilustrace k článku Quarks make their world turn; viz <http://sites.duke.edu/dukeresearch/2012/02/03/quarks-make-their-world-turn/>



jádra, elektrony obal). Ty už jsou považovány z fyzikálního hlediska za částice rozlišitelné, řídí se klasickou Maxwellovou–Boltzmannovou statistikou. Jejich rozlišení je totiž možné: některé z nich si můžeme jakoby „pозnamenat“, a tím je od ostatních odlišit. Některým atomům daného druhu lze dodat energii, a tím je převést do vzbuzených stavů, tj. vybudit buď elektrony jejich elektronového obalu nebo jejich jádro na vyšší energetické hladiny a vytvořit tak skupiny, které se od sebe odlišují právě charakterem a stupněm svého vybuzení. Je to možné proto, že atomy už mají určitou vnitřní strukturu, kterou jsme schopni ovlivnit. Uvnitř každé takové skupiny jsou však všechny atomy stejné, jsou identické – opakovatelné. Ukazuje se ovšem, že vybuzené stavy nejsou stabilní, po určité (obyčejně velmi krátké) době se samovolně zbavují své „přebytečné“ energie a přecházejí do základního – stabilního stavu. Zde se tedy nejedná o skutečné, plnohodnotné odlišení jednotlivých objektů, od každé skupiny může existovat velký počet identických jedinců. Někde tady tedy leží hranice mezi nerozlišitelností a opakovatelností.

Přírozeně, čím je atom složitější, čím větší počet částic obsahuje, tím je možných odlišných stavů více. Možnost odlišení je spojena s vnitřní strukturou objektu, s počtem různých možných vnitřních vazeb. Když roste počet částic (součástí) systému n , roste počet možných vazeb mezi nimi daleko rychleji, jak nám ukazuje kombinatorika (vzorce pro různé možnosti kombinací – s různým počtem vazeb, s opakováním a bez něho atd. – obsahují většinou symbol $n!$ – n faktoriál – definovaný jako $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$, který s hodnotou n velmi rychle roste. Např. pro $n = 5$ je $n! = 120$, pro $n = 10$ je už $n! = 3\,628\,800$, a pro $n = 20$ – což je pro počet částic v nějakém složitějším systému ještě velmi malé číslo – je $n!$ řádově již 10^{19} , tj. číslo, kde za jedničkou následuje 19 nul).

Spojením atomů (molekul) stejného druhu, vázaných určitými vzájemnými vazbami, vzniká krystal. Zdálo by se, že dva tvarově a rozměrově stejné krystaly téže látky jsou nerozlišitelné. To by však platilo pouze tehdy, kdyby oba měly naprosto dokonalou strukturu. Reálné krystaly, např. vznikající tažením z taveniny, ovšem vždy obsahují poruchy (dislokace, vakance atd.) a vzhledem k počtu atomů, které tvoří makroskopický krystal (řádově asi 10^{23} cm^{-3}) je možností různého počtu a rozmístění poruch vazeb mezi nimi nesmírně mnoho a dva identické krystaly tedy prakticky neexistují. Jejich rozdíly se ovšem mohou projevit až při bližším zkoumání (např. mikroskopem, difrakcí rentgenových paprsků apod.). Vznik rozdílů je důsledkem detailních podmínek při vzniku krystalu (i když se při tažení krystalů, např. křemíku, všechny parametry pečlivě sledují a udržují, nepatrné rozdíly přece existují). Velmi nápadným příkladem této skutečnosti jsou třeba sněhové vločky, skládající se z jednoduchých molekul vody a krystalizující v šesterečné soustavě. Každá vločka je však jiná, protože se při jejím vzniku při



Obr. 2 – Sněhová vločka (ilustrační snímek)⁴

pádu v atmosféře uplatní konkrétní podmínky (průběh teploty, složení atmosféry, rychlost pohybu atd.) a prakticky nekonečně velký počet jejich možných kombinací.

Efekty vazeb se mohou výrazně projevit u složitých molekul, protože počet součástí (atomů) molekuly se mění od dvou pro nejjednodušší molekuly až po miliony i více u makromolekul. Zde pak kromě toho nejen enormně roste počet vazeb, ale mohou se uplatnit i různé druhy těchto vazeb (jednoduché, dvojně, trojně, kovalentní, iontové atd.), a jejich kombinace, takže ze

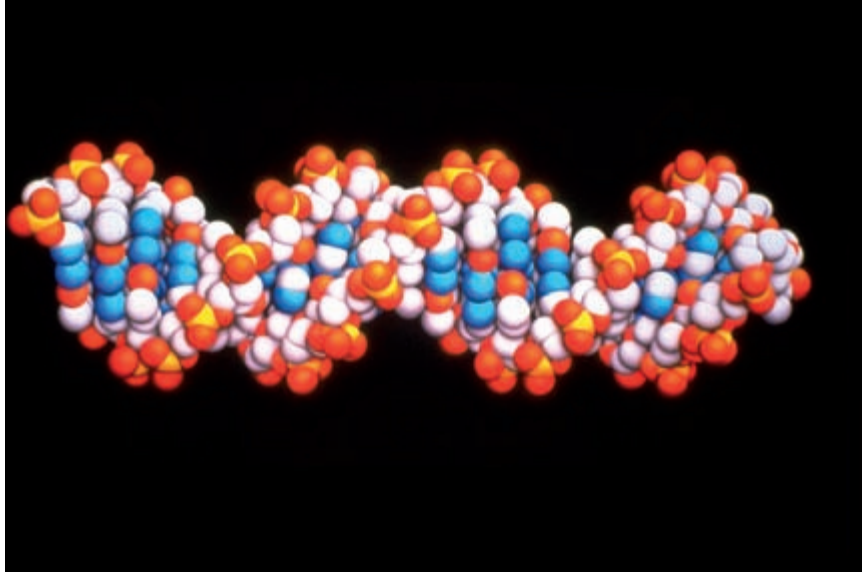
⁴ Ilustrace k článku Sněhové vločky; viz <http://cheerinka32.blog.cz/1112/snehove-vlocky>



stejného počtu atomů daných druhů mohou vzniknout tisíce různých chemických látek, lišících se podstatně svými vlastnostmi. Uvnitř každého z těchto druhů nemají ovšem jednotlivé molekuly charakter rozlišitelných individuí, jsou identické – opakovatelné, pokud si je opět zvláště neoznačíme, přičemž zde je možností takového označení více, např. se některý atom nebo atomy mohou nahradit příslušným radioaktivním izotopem. (Toho se využívá např. při sledování pohybu určité látky v živém organismu.) Ovšem při přechodu k obřím molekulám, jako je molekula DNA (obsahující řádově 10^9 vazeb), je počet možných kombinací nepředstavitelně velké číslo: molekuly DNA vyskytující se v určitém jedinci se liší od molekul ve všech ostatních jedincích. Tato molekula – byť sama při své funkci zajišťuje svou mnohonásobnou replikaci (tedy vznik identických molekul), zaručuje, že jedinec, jehož je součástí, je neopakovatelným individuem. Je tedy zřejmě primárním zdrojem odlišností mezi jedinci (každý jedinec má „svou“ DNA, zatímco většina ostatních molekul je v různých jedincích stejná – od molekul vody až po některé bílkoviny, enzymy atd.).

U takových molekul je tedy v tomto smyslu třeba hledat předěl mezi opakovatelností a jedinečností – individualitou.

Je otázkou, nakolik jsou např. viry, které jsou též v podstatě makromolekuly, individua v tomto smyslu. Spíše ne, struktura virů určitého typu je totiž identická. Ale to, jak snadno v nich dochází k mutacím, tj. k samovolné změně v jejich struktuře a tedy i v jejich vlastnostech, ukazuje, jak snadno se



Obr. 3 – Struktura molekuly DNA (ilustrační snímek)⁵

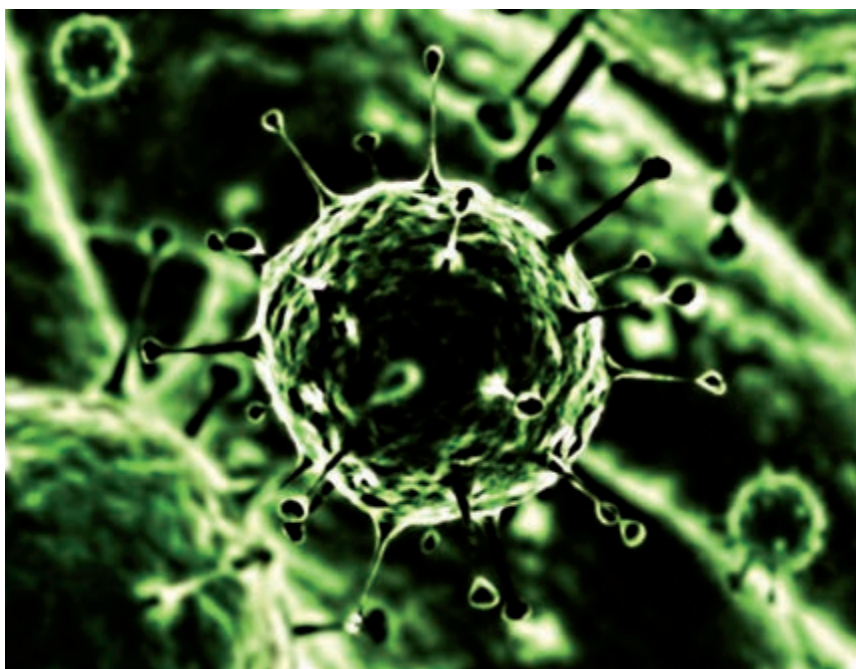
jeden „jedinec“ mění v jedince jiného, vyznačujícího se jinými vlastnostmi (právě tato variabilita virů způsobuje velké problémy při boji proti virovým chorobám). Jedná se tedy asi o jakýsi přechodový typ.

Rozlišitelnost tedy je založena na vnitřní struktuře, na vztazích a na počtu jejich možných kombinací, který velmi rychle roste s počtem elementů skládajících daný systém.

Když však srovnáme rozdílnost třeba s krystalů nebo pískových zrn s rozdílností jedinců nějakého živého organismu nebo dokonce s rozdílností lidských bytostí, vidíme mezi nimi podstatnou odlišnost: V prvním případě se rozdíly projevují v jednoduchých fyzikálních vlastnostech: velikosti, tvaru, pevnosti apod., příp. v chemickém složení, které lze příslušnou analýzou poměrně snadno specifikovat. Přestože každý krystal je neopakovatelný a např. v přírodě se vyskytující krystaly ohraněné přirozenými krystalovými plochami jsou většinou i na první pohled různé, můžeme často s různými „individui“ nakládat v podstatě stejně (viz např. použití poměrně dokonalých vypěstovaných monokrystalů křemíku v mikroelektronice), jejich „individualita“ se prakticky neprojevuje. Zcela jinak je tomu u živých organismů.

U nich se kromě toho, co jsme již zmínili ve spojitosti s DNA, projeví jejich další, dalo by se říci „několikavrstevná“ složitost. Už i jednobuněčné organismy se skládají z velkého počtu součástí a z nich každá je přítomná sama o sobě složitým systémem, a skýtá tudíž velké možnosti variability. Kromě vazeb typu jednoduchých vazeb chemických se v nich uplatňují vazby složitější, vazby vyššího řádu, takže pro počet různých možností lze sotva rozumně udát nějaké číslo. Možnosti „individuality“ se složitostí systému nesmírně rostou. Další „vrstva“ pak na-

⁵ https://esiwebsite707.astrazeneca.biz/_mshost81109/Corporatecontent/resources/medialibrary/FullRes/Research_and_Development/53191.jpg



Obr. 4 – Virus (ilustrační snímek)⁶

stupuje, když se jedná o organismus mnohobuněčný, obsahující různé tkáně a orgány vázané dalšími procesy biochemickými, fyziologickými a elektrofyziologickými atd.

Jednotlivé podsystémy, někdy podobné těm, jaké dříve existovaly jako samostatné jednotky, se stávají součástí většího celku, který pak může vykonávat mnohem složitější funkce. To nastává, i když se buňky spojují do tkání a ty se stávají součástmi organismů. Vzdání se samostatnosti jednotlivých částí vede ke vzniku individuality dokonalejší – je to zřejmě cesta obecného vývoje.

Na vrcholu této pyramidy stojí člověk. U něho se význačně vyvinula a získala velkou důležitost další rovina – rovina duševních procesů.

Lidé se tedy od sebe navzájem podstatně liší nejen svými fyzickými, ale i svými duševními vlastnostmi. Odlišnosti zdaleka nekončí tím, že má každý „svou“ DNA. Miliony buněk různých tkání, řízené složitými biochemickými pochody, zajišťují „automaticky“ funkci našeho těla (jeho jednotlivých orgánů a jejich provázanosti), a uvolňují tak nejcennější část našeho těla, náš mozek, k tomu, aby se mohl věnovat myšlenkám i ze zcela jiných oblastí, než je pouhé zachování existence (jedince i rodu), otevírají cesty k abstraktnímu a tvůrčímu myšlení. Lidský mozek je nejsložitější útvar v nám známém vesmíru. Počty možných spojů v mozku představují číslo astronomických rozměrů, není proto divu, že za celé dějiny lidstva se nevyskytli dva identičtí jedinci a že každý člověk myslí poněkud jinak. Je v tom lidská síla i lidské prokletí. Lidé jsou ze všech „objektů“ v přírodě nejvíce vzdáleni od uniformity, opakovatelnosti a nerozlišitelnosti. Bylo by dobré, kdyby si toho byli dostatečně vědomi, vážili si toho, ctili individualitu každého jednotlivce, ale zároveň se snažili o vzájemné dorozumění a dobrovolně spojovali své fyzické i intelektuální síly k uskutečňování rozumných cílů pro dobro všech. I lidstvo je velký systém, dnes asi se 7 miliardami členů, mezi nimiž existují další složité vzájemné vazby (sociální, ekonomické, citové atd.) zarámované ještě vazbami na životní prostředí, do něhož jsou lidé pevně zakotveni. Pokud všechny tyto vazby působí harmonicky, tak jako vazby ve zdravém živém organismu, může takový systém prospívat a dále se rozvíjet. Poruší-li se důležité rovnováhy, může systém degenerovat nebo i zahynout.

Ilustrační obrázky byly k článku doplněny redakcí.

⁶ Fotografie k článku Viruses and polymyalgia rheumatica; viz <http://www.biollives.com/index.php/viruses-and-polymyalgia-rheumatica/>