

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

V. F. Weisskopf

Hranice a meze vědy

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 36 (1991), No. 1, 1--14

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138813>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1991

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Hranice a meze vědy

V. F. Weisskopf, Cambridge (MA), USA

Victor Frederick Weisskopf se narodil 19. 9. 1908 ve Vídni. Doktorát získal v r. 1931 u Maxe Borny v Göttingenu práci z teoretické fyziky o přirozené šířce spektrálních čar. Již tehdy a také během svého působení 1934–1936 u Wolfganga Pauliho v Curychu položil jeden ze základních kamenů pozdější kvantové elektrodynamiky. Mezitím pracoval též u Wernera Heisenberga v Lipsku, Erwina Schrödingera v Berlíně, Lva Davidoviče Landaua v Charkově, Paula Diraca v Cambridgi a u Nielse Bohra v Kodani. V roce 1937 odešel do USA na Rochesterskou univerzitu a v letech 1942–1945 byl činný v Projektu Manhattan vedeném Robertem Oppenheimerem v Los Alamos. Po válce se stal profesorem teoretické fyziky na Massachusettském technologickém institutu v Cambridgi (MA). Prof. Weisskopf se často vracel do Evropy, např. v období 1960–1965 jako generální ředitel CERN – Evropské organizace pro jaderný výzkum v Ženevě. V roce 1960 byl prezidentem Americké fyzikální společnosti, 1975–1979 prezidentem Americké akademie umění a věd a je členem řady národních akademií věd včetně Akademie věd SSSR.



V. F. Weisskopf

Tento essay je zčásti založen na autorově článku s podobným názvem, který byl uveřejněn v časopise *American Scientist* 65, 405 (1977). Byl rovněž zčásti přednesen jako úvodní proslov na oslavě 200. výročí Americké akademie umění a věd v květnu 1981 Z'originálu *Frontiers and Limits of Science*, který vyšel v *Mitteilugen, Alexander von Humboldt-Stiftung*, sešit 43, březen 1984, str. 1–11, přeložil Jiří TOLAR. Uveřejňujeme s laskavým svolením autora. Obrázky jsou převzaty z originálu.

1. Co je věda?

Od počátků kultury byl člověk zvědavý na svět, ve kterém žije; neustále hledal vysvětlení své vlastní existence a existence světa — jak byl svět stvořen, jak se vyvíjel až ke vzniku života a lidstva a jak jednoho dne skončí. Nejstarší úvahy o těchto otázkách byly rozvíjeny uvnitř mytologie, náboženství a filozofie. Všechny mají jeden společný rys: směřují k úplnosti jevů, chtějí vše vysvětlit. Přejí si dostat okamžitou odpověď na otázky typu: „Proč je svět takový, jaký je? Co je život? Jak začal a jak skončí vesmír?“ a tak se dopátrat absolutní pravdy.

Před několika stoletími se lidská zvědavost obrátila jiným směrem: lidé místo aby hledali celou pravdu, začali zkoumat dobře definovatelné a jasně vydělitelné jevy. Neptali se „Co je hmota?“ nebo „Co je život?“, nýbrž „Jaké vlastnosti má hmota?“ nebo „Jak proudí krev cévami?“, nikoliv „Jak byl svět stvořen?“, ale „Jak se planety pohybují po obloze?“. Jinými slovy, od obecných otázek se přešlo ke speciálním, na něž se zdálo být snazší získat přímé a jednoznačné odpovědi.

Pak se udál velký zázrak. Omezení došlo odměny, neboť odpovědi na speciální otázky byly stále obecnější. Vzdání se bezprostředního styku s absolutní pravdou, oklika přes mnohost zkušeností, vedly k stále větší pronikavosti metod vědy i fundamentálnosti jejich poznatků. Studium pohybu planet vedlo k nebeské mechanice a k pochopení univerzálnosti gravitačního zákona. Zkoumání tepelných jevů vedlo k obecným zákonům termodynamiky. Studium stahů žabích svalů a Voltových článků vedlo k zákonům elektřiny, které se ukázaly být základem stavby hmoty. Takto byl podrobným zkoumáním vytvořen nový rámec pro chápání přírody. Ve dvacátém století se tak vytvořilo něco jako vědecký světový názor — syntéza vědeckých poznatků získaných za uplynulých pětset let.

Světový názor přírodovědy se od náboženského, mytologického či filozofického názoru odlišuje ve dvou důležitých ohledech. Za prvé přímo neobsahuje pojmy, které jsou spojeny s „lidskou duší“, jako jsou víra, bolest, smutek, štěstí, dobro a zlo, atd. Avšak obsahuje tyto pojmy nepřímě. Objevují se jako projevy jistých neurofyziologických procesů v mozku.

Za druhé, vědecké poznatky jsou „předběžné“, považují se za neúplné vjemy jako součásti širší pravdy skryté za úhrnem jevů. Tyto poznatky nejsou založeny na dogmatických principech, které nám byly odhaleny božskou inspirací nebo nějakou vnitřní jiskrou dokonalého poznání. Co považujeme za „vědeckou pravdu“, je neustále objeováno postupnými kroky, někdy většími, jindy menšími, ba někdy i kroky zpět. Některé nové poznatky se ukáží být mylnými. V minulosti se stávalo jen zřídka, že by se poznatky ukázaly být naprostým omylem; avšak některé se staly nebo stanou příliš omezenými, ne dosti obecnými, špatně pochopenými nebo těžkopádně vyjádřenými; některé se ukáží jako nevýznamné vzhledem k budoucímu hlubšímu poznání.

2. Deset stupňů vývoje vědeckého světového názoru

Předložme výběr hlavních bodů dnešního vědeckého světového názoru. Můžeme v něm rozlišit 10 stupňů:

1. Sjednocení nebeské a pozemské mechaniky
2. Existence různých druhů atomů
3. Teplo je projevem náhodného pohybu atomů
4. Elektřina, magnetismus a optika mají společnou podstatu: elektromagnetické pole
5. Vývoj biologických druhů
6. Teorie relativity
7. Kvantová teorie
8. Molekulární biologie
9. Kvantový žebřík
10. Vesmír

První stupeň znamenal konec kdysi rozšířeného přesvědčení, že na nebesích platí jiné zákony než na Zemi. Druhý stupeň, dosažený koncem 18. století, spočíval v poznání, že nesmírná rozmanitost různých forem hmoty je výsledkem kombinací pouze 92 druhů atomů. Třetí stupeň je jedním z mála případů v historii fyziky, kdy se důležitý pojem ukázal být zcela nesprávným; jednalo se o představu, že teplo je substancí (zvanou „flogiston“) odlišnou od obyčejné hmoty. Čtvrtý stupeň představoval jeden z velkých triumfů fyziky 19. století, když se zdánlivě tak nepodobné jevy jako elektřina, magnetismus a světlo ukázaly být projevy téhož fyzikálního působení. Pátý stupeň – Darwinova vývojová teorie – vysvětluje, jak účelné a cílevědomé chování vzniká ve světě ovládaném zákony, které tuto vlastnost postrádají. Přejdeme nyní k objevům dvacátého století. Z Einsteinovy teorie relativity vyplývá jednota času a prostoru, hmotnosti a energie, setrvačnosti a gravitace. Einsteinovy myšlenky by bylo vhodnější nazvat „absolutní teorie“, neboť dovolují formulaci přírodních zákonů nezávisle na vztažné soustavě, absolutně.

Sedmý stupeň je nejrevolučnější. Kvantová mechanika vedla k poznání, že v atomární oblasti existují meze použitelnosti „klasických pojmů“, jako jsou poloha, energie, rychlost, hybnost. Tyto meze jsou určeny slavným Heisenbergovým principem neurčitosti. Tento princip stojí jako mezník ukazující, kam až lze použít klasické pojmy. Za touto mezí nacházíme specifické „kvantové stavy“, které již nelze popsat klasickou soustavou pojmů. Právě kvantové stavy jsou základem dnešního chápání charakteru atomárních soustav – zvláště jejich stability a specifčnosti, jež jsou význačnými rysy prostředí, v němž žijeme. Princip neurčitosti vysvětluje, proč si atomy a molekuly udržují svou totožnost, svůj tvar a strukturu přes všechny srážky a poruchy, proč zlato je zlatem, kdekoliv ho najdeme, a konečně, proč na jaře rozkvetou vždy stejné květiny. Heisenbergův princip by proto měl být nazván „principem určitosti“; umožňuje totiž, aby atomární kvantové stavy vykazovaly zcela určité specifické vlastnosti. Toto pojmenování spolu s názvem „absolutní teorie“ by bylo mohlo předejít mnoha filozofickým sporům a nedorozuměním.

Osmý stupeň, molekulární biologie, odhalila molekulární procesy, které jsou základem vývoje a reprodukce živých organismů. Tato oblast prožívá v dnešní době bouřlivý rozvoj. Výchozí myšlenkou je zjištění, že makromolekula DNK (desoxiribonukleová kyselina, pozn. překl.) obsahuje kód pro tvorbu bílkovin, látek udržujících životní procesy. Ještě jsme daleko od dokonalé znalosti funkce a vývoje živých organismů,

avšak tento obor se neustále rozvíjí; téměř každý měsíc se dozvídáme o nových objevech v chemii života.

Devátý bod, kvantový žebřík, se týká hierarchie materiálních soustav objevované od 30. let. Je typickým důsledkem kvantové mechaniky: vztahu mezi rozměry a energií. Poněkud zjednodušeně můžeme říci: čím je soustava menší, tím větší je prahová energie od nejnižšího kvantového stavu k nejbližšímu vyššímu, tj. energie nutná k aktivaci soustavy. Chceme-li například změnit vnitřní kvantový stav atomového jádra, musíme použít mnohem větší energie, než je potřeba ke změně stavu atomu. Teprve po vynálezu cyklotronu a jiných urychlovačů, které mohou částicím dodat energii miliónů elektronvoltů ($1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ je energie, kterou získá elektron při urychlení napětím 1 voltu; pozn. překl.), bylo možné aktivovat jaderné procesy. Byla objevena nová oblast jevů: transmutace jader, radioaktivita, štěpení, fúze atd. Tato oblast se neprojevuje v prostředí, které neposkytuje potřebnou energii – jako na Zemi, pokud člověk nepřekoná danou mez. Je však aktivní uvnitř hvězd, kde je dost vysoká teplota, aby překonala jadernou prahovou energii a zahájila jaderné reakce. Právě tyto reakce poskytují výkon potřebný k udržení svitu hvězd. Máme zde novou přírodní sílu – jadernou; je fyzikálním působením, které udržuje protony a neutrony pohromadě uvnitř jádra. Když byly postaveny ještě výkonnější urychlovače na miliardy elektronvoltů, došlo k objevu další oblasti jevů – další příčky na kvantovém žebříku. Zjistilo se, že proton a neutron jsou také složenými soustavami; zdá se, že jejich konstituentami jsou „kvarky“ držené pohromadě novým typem síly s nepříliš vhodným názvem „silná síla“. Možná se ukáže, že již zmíněná jaderná síla mezi neutrony a protony je vlastně slabou výslednicí těchto „silných sil“, podobně jako chemické síly držící pohromadě atomy v molekulách a pevných látkách jsou slabou výslednicí elektrických sil, kterými jsou elektrony pevně vázány v atomech.



Obr. 1. WERNER HEISENBERG (1901 až 1975), nositel Nobelovy ceny za fyziku z r. 1932; president Humboldtovy nadace 1953–1975.



Obr. 2. KURT GÖDEL (1906–1978), logik a matematik (vlevo), s ALBERTEM EINSTEINEM (1879–1955), nositelem Nobelovy ceny za fyziku r. 1921.

Vnitřní dynamika protonů a neutronů se projevuje v existenci řady vzbuzených stavů protonu a neutronu, v nových formách radioaktivity, v nových typech částic (mezonů) s krátkou dobou života a v bohaté produkci antihmoty. Antihmota je formou hmoty, které pozůstává z antičástic, jež mají proti obyčejným částicím opačné náboje. Antihmota může vznikat spolu s hmotou, když je k dispozici dostatečná energie — podle Einsteina je energie E obsažená v kousku hmoty o hmotnosti m rovna $E = mc^2$, kde c je rychlost světla. Při srážce hmoty a antihmoty dochází naopak k jejich přeměně na jinou formu hmoty, např. na elektromagnetické záření.

Ve vesmíru se energie potřebná k aktivaci procesů v této extrémní oblasti vyskytuje jen zřídka. Nedochozí k nim proto ani uvnitř obyčejných hvězd. Určitou roli mohou pravděpodobně hrát uvnitř některých neobvykle horkých hvězd a v prvních okamžicích velkého třesku.

Nevíme, zda je tato příčka kvantového žebříčku poslední; není vyloučeno, že existují vyšší příčky. Kvarky, jichž známe již pět typů, by mohly být složenými soustavami s ještě vyšší prahovou energií; může existovat i vnitřní pohyb uvnitř elektronu, který se neprojevuje při dnes dosažitelných energiích.

Došli jsme tak k poslednímu stupni v našem výkladu vědeckého světového názoru, k vesmíru. V tomto století se naše znalosti o povaze vesmíru jako celku rozšířily četnými objevy. Jedním z nich byl objev neustálého rozpínání světa ve velkém měřítku; tento fakt vedl k závěru, že existoval počátek, kdy hmota byla extrémně horká a silně stlačená. Snad nejpodivnějším objevem bylo pozorování slabého záření, které zřejmě vyplňuje celý vesmír. Toto tzv. reliktní záření, stále ještě kmitající prostorem, má všechny vlastnosti optického echa onoho dávného počátku.

O prvotním třesku je rozšířeno určité nedorozumění: nebyl to totiž lokalizovaný jev, který začal v jistém bodě prostoru a pak se rozšířil do zbytku vesmíru. Počáteční stav extrémní koncentrace a teploty existoval všude v celém prostoru. Rozpínání, jež následovalo, je třeba spíše považovat za snižování koncentrace nebo tlaku ve všech bodech prostoru.

Jiné objevy odhalily v hlubinách kosmu hvězdy nebo hvězdné útvary velice zvláštní povahy. „Neutronové hvězdy“ pravděpodobně obsahují hmotu 10^{15} krát hustší než obyčejná hmota; „kvasary“ se zdají být galaxiemi vyzařujícími miliardkrát více energie než normální galaxie; „černé díry“ jsou podle všeho extrémně hustými koncentracemi hmoty, kolem nichž je prostor do té míry zakřiven, že hmota i světlo se mohou dostat jen dovnitř, nikoli však ven. Přestože tyto objekty jsou tak neobvyčejné, můžeme je pravděpodobně pochopit na základě svých dnešních znalostí o vlastnostech hmoty a vesmíru.

Za nečekané potvrzení hypotézy, že svět měl počátek před více než deseti miliardami let, lze považovat objev optického echa prvotního třesku. Možná to byl „nový začátek“, neboť zatím nemůžeme vyloučit, že po rozpínání následuje stlačování, které končí horkou koncentrací hmoty a které by pak opět bylo počátkem nového rozpínání, přičemž by se tento cyklus neustále opakoval. Uznání takového počátku je vyvrcholením vývoje, který přinesl do fyzikálních věd historické hledisko. S výjimkou geologie byly fyzikální vědy po dlouhé období ahistorické, hmota byla zkoumána ve svém současném stavu a její dějiny se teprve nedávno staly důležitým předmětem výzkumu.

Naše dnešní představy o vývoji hmoty úzce souvisejí s hierarchií materiálních soustav představujících příčky kvantového žebříku. Žebřík sahá od obyčejné látky k molekulám a atomům, pak k jádrům a k jejich součástem a dnes – nakonec – ke kvarkům. Vývoj vesmíru probíhal po kvantovém žebříku opačným směrem. Postupoval od elementárního ke složenému, od jednoduššího k složitějšímu.

„Prvotní třesk“ nastal v daleké minulosti, vytvořil elementární částice hmoty v horkém stavu vysoké koncentrace a energie; vznikly kvarky a elektrony; později, v procesu rozpínání a ochlazování, se kvarky spojovaly v protony a neutrony; tyto částice a elektrony se pak kombinovaly v atomy vodíku a hélia; gravitační shlukování atomů vedlo ke vzniku hvězd a galaxií; uvnitř hvězd se vytvořily atomy složitější než vodík a hélium. Kolem některých hvězd obíhaly planety, na nichž se vytvořily nerosty, kovy a kondenzované látky všech možných druhů. Pod příznivým vlivem blízké hvězdy – slunce – se na povrchu některých planet spojily molekuly v makromolekuly; některé z makromolekul byly schopny samoreprodukce; to vedlo k vývoji buněk, mnohobuněčných organismů a konečně i cítících bytostí.

Mnoho kroků v této historii je ještě zahaleno závojem neznalosti a dohadů, jako prvotní produkce kvarků a elektronů po „primárním třesku“, nebo podrobný průběh vývoje života na naší planetě. Tento vývoj světa od „prvotního třesku“ po současný vesmír je řadou postupných kroků od jednoduchého k složitému, od neuspořádaného k organizovanému, od horkého beztvareho plynu elementárních částic k chladnějším strukturovaným atomům a molekulám a dále k ještě strukturovanějším kapalinám a pevným látkám a konečně k velmi složitým samoreprodukujícím se živým organismům.

Uvedený vývoj není rozhodně v rozporu s druhým principem termodynamiky vyžadujícím stálý pokles uspořádanosti. Růst uspořádanosti a struktury v omezených oblastech vesmíru je totiž více než vyrovnáván stálým tokem zářivé energie do prázdna během procesu ochlazování. V hlubinách kosmu představuje disipace tohoto záření mnohem větší neuspořádání ve smyslu druhého principu než pořádek dosažený tam, kde hmota utvořila živé nebo neživé organizované struktury.

3. Dvě hranice vědy

Přírodověda se rozvíjí na dvou frontách. První můžeme nazvat vnitřní hranice. Je to zkoumání důsledků interakcí mezi atomy. Podstata těchto interakcí je v zásadě známa: jde o elektrické vzájemné působení mezi atomovými jádry a elektrony, řízené kvantovou mechanikou. Avšak důsledky jsou tak mnohostranné a komplexní, že jejich zkoumání od počátku bylo a je předmětem stále se rozšiřující výzkumné fronty.

Pro složitost světa atomů existují přesvědčivé důvody. Atomová struktura připouští nesmírné množství kombinací a rekombinací atomů vytvářením nesčetných specifických struktur a superstruktur. Tato kombinační schopnost má svůj původ ve zvláštních prostorových formách kvantových stavů elektronů, jež dovolují kombinovat a spojovat atomární jednotky nesčetnými způsoby.

Projevy atomových kombinací sahají od dobře známých vlastností krystalů, kovů, kapalin a plynů k novým jevům, které nastávají jen za zvláštních podmínek jako supra-

vodivost kovů a supratekutost kapalin při velmi nízkých teplotách, nebo jevy ve zvláštním skupenství hmoty zvaném „plazma“, jež vzniká při velmi vysokých teplotách nebo velmi nízkých tlacích. Fyzika povrchových tenkých vrstev také patří do této kategorie. Na této hranici, která zahrnuje větší část moderní fyziky a chemie, se objevuje, objasňuje a využívá stále více jevů a vlastností látek.

Dnes do této kategorie patří i značná část biologie. Stabilita DNK je založena na kvantových stavech jejích součástí. Mechanismy dědičnosti, růstu živých struktur a vývoje různých druhů jsou tak v zásadě určovány zákony, které řídí vztahy mezi atomy a molekulami.

Veškeré jevy mající původ v interakci atomů jsou založeny na kvantové mechanice pohybu elektronů pod vlivem elektrických sil. Nemáme důvodu o tom pochybovat. To však je jen vyslovení principu. Abychom prostudovali rozsáhlý soubor těchto jevů, musíme na každém kroku zavádět speciální pojmy jako teplota, entropie, chemická vazba, vazkost, gel a mnoho jiných. Přístupy a způsoby se velmi vzdalují od pojmů odhalených v základních principech, zvláště když se blížíme živému světu. Mluvíme o genech, bílkovinách, enzymech, hormonech atd. Když se dostáváme ke zkoumání mozku a jeho činností, pojmy a terminologie jsou ještě mnohem dále od základních struktur elektronových kvantových stavů.

Ještě mnoho musíme poznat, abychom získali správné představy o komplexních a složitých jevech světa atomů, molekul, kapalin, pevných látek, plazmatu, molekulárních řetězců a živých objektů. Narážíme zde na problémy vztahů mezi různými seskupeními atomů nebo molekul, uspořádanými či neuspořádanými, způsobů přechodu od jedné struktury ke druhé. Skutečné porozumění vede k rozlišení mezi podstatným a okrajovým. Teprve až dosáhneme takového chápání – když budeme schopni oddělit významné od nevýznamného – nebudou se nám již jevy zdát složité, ale intelektuálně průzračné.

Přejdeme nyní k druhé hranici přírodovědy, kterou můžeme nazvat *vnější* hranicí. Týká se vyšších příček kvantového žebříku, probádání těch oblastí přírody, které leží za dnes známými principy. Dobře víme, že atomární oblast je založena na známých elektrických silách mezi elektrony a atomovými jádry. Avšak síly mezi protony a neutrony, síly mezi kvarky a síly způsobující radioaktivní rozpad, nejsou ještě uspokojivě prozkoumány. To jsou hranice jaderné fyziky, fyziky částic, některých částí astronomie a kosmologie. Ve všech těchto oblastech se setkáváme s ne-pozemskými jevy, jež jsou aktivovány výměnami mnohem vyšších energií, než jaké se vyskytují na Zemi. Bylo třeba divů technického důmyslu, aby tyto mimozemské podmínky byly na Zemi vyvolány, nebo aby se podařilo je zjistit ve vesmíru za pomoci radioteleskopů, detektorů rentgenového záření nebo jiných přístrojů nesmírně rozšiřujících lidské smyslové orgány. Ve velmi malých i ve velmi velkých rozměrech je objevenán celý nový svět nečekaných jevů: v projevech dynamiky těch velice krátce žijících kombinací kvarků i v nesmírných dálavách vesmíru.

Objevy na vnější hranici mají pro nás význam nejen proto, že odhalují zcela nové typy přírodního dění, nýbrž i proto, že mohou vést k hlubšímu porozumění našemu vlastnímu pozemskému světu. Například zatím nemáme žádnou ideu o tom, proč elektrický náboj elektronu má zcela určitou hodnotu, přesně opačnou náboji protonu. Tato hodnota je rozhodujícím činitelem řídícím chování atomárního světa. Kdyby byl mnohem větší nebo mnohem menší, náš svět by vypadal a choval by se úplně jinak. Dále nevíme vůbec

nic o důvodu, proč je hmotnost elektronu asi 2000krát menší než hmotnosti protonu a neutronu. Atomová jádra jsou proto mnohem hmotnější než elektrony. Čím je hmotnost menší, tím jsou kvantové stavy rozmazanější. Proto atomová jádra zauímají v molekulách zcela určité polohy, kdežto kvantové stavy elektronů jsou rozprostřeny v mezerách mezi nimi. Jádra proto uvnitř molekul tvoří kostru, tedy to, co můžeme nazvat „molekulární architekturou“. Taková typická prostorová uspořádání atomů v molekulách jsou základem mnoha nám blízkých dějů. Jedním příkladem je spirálová struktura molekuly NDK – spirály života. Hlubší důvody pro onen rozhodující poměr hmotností snad někdy budou objeveny na této vnější hranici fyziky částic. Dnes nejsou známy.

Stejně důležitá otázka, kterou je třeba řešit dalším studiem fundamentálních částic, se týká vztahu mezi základními silami přírody. Dnes známe čtyři síly: elektromagnetickou mezi elektricky nabitými částicemi, silnou mezi kvarky, tzv. slabou sílu zodpovědnou za radioaktivitu a gravitační sílu. Bylo prokázáno, že elektromagnetická a slabá síla, a možná i silná, spolu úzce souvisí.

4. Vnitřní meze vědy, tvořivost přírody

Existují meze síly vědeckého poznání? Existují nějaké jevy nebo zkušenosti, které nikdy nebudou přístupny vysvětlení nebo pochopení metodami vědy? Zřejmě mnoho jevů a procesů v přírodě, vně i uvnitř lidské mysli, je stále daleko od pochopení moderní vědou. Nabízí se však otázka, zda existují meze vědeckého vysvětlování, které nebudou nikdy překročeny.

Dělat předpovědi je těžké, zvláště když se týkají budoucnosti, pravil jeden dánský humorista. Nicméně bych chtěl ukázat, že takové meze vskutku existují. Jsou dva dosti rozdílné druhy mezí, vnitřní a vnější; tyto názvy vystihují vztah těchto mezí k pojmovému systému vědy.*)

Věda má tři cíle: *porozumění, vysvětlení a předpověď*. Porozumění znamená znalost obecné představy, jak k jevu dochází, jaké jsou jeho obecné příčiny a jak souvisí s jinými částmi přírody. Jeho důsledkem je „demystifikace“ té části přírody, k níž jev patří. Vysvětlení jde dále; říká nám, proč uvažovaný jev nebo proces probíhá jedním způsobem a ne jinak. Předpověď je ovšem ještě specifitější: říká nám, co se v budoucnosti přihodí přesně vymezené soustavě, když jsou splněny jisté podmínky. Existuje i taková věc jako predikce minulosti, „retrodikce“, když vyvozujeme závěry týkající se dosud neprozkoumané minulosti daného souboru objektů.

Vnitřní meze vědy se dotýkají pouze možností vysvětlovat a předpovídat. Neomezují porozumění. Důvody pro toto omezení lze zahrnout do termínu „zesilovací efekty“. Znamená to, že velmi malé příčiny někdy mají velmi velké následky. Co tím myslím, ukáže jednoduchý příklad. Sledujeme jednu molekulu v plynu, třeba ve vzduchu. Můžeme předpovědět osud molekuly v průběhu času? Velmi malé změny počátečních pod-

*) Některé z myšlenek vyjádřených v následujících odstavcích byly ovlivněny uveřejněnými i neuveřejněnými úvahami I. PRIGOGINA a P. L. MORRISONA.

mínek se rychle zesílí při každé srážce s jinými molekulami. I kdybychom velmi přesně znali její počáteční podmínky, bylo by prakticky nemožné určit její konečnou polohu. A navíc, kvantová mechanika klade principiální meze přesnosti počátečních podmínek.

Nezdá se, že bychom se tohoto omezení měli obávat. Kdo by se staral o osud jedné molekuly? Pro chování plynu není rozhodující. Zajímáme se o tlak, teplotu, fluktuace hustoty atd., což jsou všechno veličiny, které na osudu jedné molekuly nezávisí.

Podobné příklady najdeme ve vývoji hvězdných soustav. Zákony gravitace vyžadují tvorbu shluků v prvotním horkém plynu raného vesmíru. Malé fluktuace hustoty se zvětšují přitahováním sousedních molekul plynu. Velké shluky jsou ještě silnější a přitáhnou ještě více látky. Tímto zesilovacím procesem se původně homogenní plyn rozdělí na stále se zvětšující části, které se později vyvíjejí v galaxie a kupy galaxií. Nelze předpovědět přesný postup tvoření shluků, avšak dá se předvídat, že se shluky musí tvořit gravitačním zesílením malých fluktuací hustoty. Situace je zde již zajímavější: příroda tvoří nové formy, které se ze zákonů fyziky nedají předpovědět, kromě jen velmi obecných obrysů. Můžeme snad porozumět vzniku spirálních ramen galaxií a podobně, avšak nikoliv nesmírnému množství detailů, které obdivujeme, když si prohlédneme snímky galaxií. Jsou to příklady tvořivosti přírody.

Mnoho případů zesilovacích efektů poskytuje geologie. Například tvar horských pásem. Rozumíme jejich tvoření tektonickými ději v zemské kůře, ale nemůžeme vysvětlit, proč Mont Blanc má svůj dnešní tvar, ani nemůžeme předpovědět, která strana Hory svaté Heleny se propadne při příštím výbuchu a jak bude potom vypadat; to byly jiné příklady tvořivosti přírody. Musím dodat, že geologické vědy dovolují značný podíl retrodikce. Mnoho hypotéz o vývoji naší planety lze ověřit nebo vyvrátit zjišťováním údajů o minulých událostech.

Situace se stává kritičtější, když se obrátíme k biologickým procesům. Abychom rozdíl zvýraznili, uvažujme dva pokusy se svazkem rentgenových paprsků. V prvním dopadají paprsky na krystal; ve druhém na živou bakterii. Poměrně přesně lze předpovědět účinky na krystal, protože vůbec nezáleží na tom, který atom absorbuje foton rentgenového záření. Účinky na bakterii však závisí kriticky na tom, která skupina atomů v genetickém aparátu buňky je fotonem zasažena. Zde je podstatné, *kde* zásah nastal, ale to se nedá předvídat. Většina takových zásahů je ovšem škodlivá nebo nezpůsobí velkou změnu. Avšak některé z nich mohou vést k potomstvu, které se lépe vyrovná s prostředím. Jak známo, takové změny se zachovávají a pomocí procesů dělení a přirozeného výběru mohou nahradit původní bakterii. Opět zde máme případ účinného zesilovacího procesu. Ke změnám v genetickém vybavení buňky nebo živého organismu ovšem dochází z mnoha jiných příčin než jen rentgenovými paprsky, vždy však jde o nepředvídatelné molekulární procesy s makroskopickými následky, typické to příklady zesilovacích efektů.

Vysvětlení specifických cest vývoje se stává ještě obtížnějším vzhledem k ohromnému počtu možných kombinací nukleotidů, které představují genetickou informaci ve známém řetězci molekuly DNK. Je pravda, že počet životaschopných kombinací je značně menší, ale je stejně mnohem větší než počet kombinací realizovaný v přírodě. Proto nelze vysvětlit, proč se určité kombinace realizují a jiné ne, nebo předvídat budoucí vývojové změny. Vytváření skutečného biologického druhu se tak opět jeví jako nepřed-

vidatelný akt tvořivosti přírody. Obecný trend chápeme, ale neumíme vysvětlit konkrétní události. Podobně jako geologický, tak i biologický vývoj připouští jistou míru retrodikce. Četná podpůrná svědectví jsou založena na úspěšných nálezech ve zkamenělinách a na zjištění, jak se jisté typy biochemických procesů vyvíjely přirozeným výběrem.

K novému obratu evolučního efektu zesílení došlo tehdy, když se vyvinuly nervový systém a mozek. Ty představují nový způsob komunikace mezi živou bytostí a vnějším světem. Ačkoliv fenotyp je ještě dán zesílením mikroskopické struktury molekuly DNK, způsoby chování závisí též na reakci živočicha na smyslové vjemy. Zde také jde o proces zesílení; mikroskopické procesy ve smyslových orgánech totiž způsobují makroskopické děje a reakce živého organismu. Vzájemné vztahy mezi smyslovým vstupem a chováním jakožto výstupem jsou velice komplikované vzhledem k fenoménu paměti. Ten připouští nejen libovolné časové odstupy mezi příčinou a následkem, ale i proces zvaný „učení“, v němž se vztahy mezi vstupem a výstupem v průběhu života jedince stávají stále komplikovanějšími. Máme zde zesilovací systém vyššího řádu, který činí vědecká vysvětlení nebo předpovědi konkrétních událostí mnohem obtížnějšími. Prohlubování vědeckého chápání příslušných neurologických a psychologických faktorů by však mělo být možné bez omezení.

S vývojem lidského druhu se objevuje nový rys: kumulativní učení. Vede k rozvoji nových typů chování, které se zcela liší od již uvedených. Chování živočišného druhu zůstávalo po velmi mnoho generací v podstatě beze změny, přestože učení mělo jistý vliv. Smrt individua vymazala jeho naučené zkušenosti. Změny chování byly způsobovány hlavně změnami v přírodním prostředí nebo genetickými změnami. A nyní bylo možné kumulativní učení; smrt individua již nevymazávala naučené zkušenosti, protože vznikl jazyk a dokumenty. Kumulativní učení vedlo k vytváření autonomních struktur v chování druhu; nazýváme je kultury a civilizace. Rozvíjely se a upadaly, ale vyvíjely se neustále směrem k vyšší úrovni komplexnosti. Kulturní vývoj se od biologického lišil svou mnohem rychlejší časovou stupnicí. Nečekal na změny v přírodním prostředí nebo v genech. Vůdčím principem nebylo již výlučně přežití druhu, ale též přežití toho, co můžeme nazvat idejemi.

Proces zesílení dosáhl svého největšího rozmachu. Individua mají schopnost ovlivňovat běh kulturního vývoje; sama jsou výsledkem zesílení vlivů prostředí i genetických a kulturních příčin.

Potíže, na které narážíme v úsilí vysvětlit a předvídat, jsou tím větší, čím složitější útvary v hierarchii přírody uvažujeme. Vývoj hvězdných soustav nebo vlastností skal, nerostů a horských pásem jsou příklady zesílených účinků malých příčin v minulé historii těchto objektů. Na poli života najdeme zesílené účinky příčin, které působily nejen na objekt, nýbrž i na jeho předchůdce. Když do vývoje navíc vstoupí mozek, musíme přidat zesílené účinky prostředí na smyslové orgány. Konečně když dospějeme ke vzniku lidstva, stává se rozhodujícím vliv jednotlivců na běh událostí. To jsou důvody, proč značná část věd o životě a většina věd o společnosti jsou spíše deskriptivní než prediktivní. Poznání obecných trendů nebo zákonitostí to nevyklučuje, nicméně u mnoha biologických a lidských jevů jsou důležité právě specifické, nikoliv obecné rysy.

Musíme se však vyhnout jednomu nedorozumění. To, že dochází k událostem, které nelze předvídat, neznamená, že jsou porušeny přírodní zákony. Naopak, právě příčiny

a mechanismy zesílení nejsou z vědeckého hlediska žádnými „zázraky“; jsou pochopitelné, ale nepředvídatelné. Příslušné meze jsme právě proto nazvali vnitřními. Přírodní zákony skutečně vyžadují, aby za určitých podmínek – jako těch, při nichž se vyvíjí život nebo vznikají galaxie – k takovým zesilovacím efektům docházelo. Došlo-li již k zesílení mikroskopické události, řetězce následných událostí lze v mnoha případech předpovědět. Vědecký přístup má určitou prediktivní schopnost, pokud se týká důsledků nepředvídatelné události, a tato schopnost se s dalším vývojem vědy bude posilovat. Zajisté to platí v oblasti neživé i biologické; v sociální oblasti je to problematické, neboť vzájemné ovlivňování jednotlivců získává v průběhu událostí podstatný vliv.

5. Vnější meze vědy, lidská tvořivost

Vývoj kultur a civilizace způsobil u lidského druhu nový rozmach možností a tím vytvořil i novou překážku vědecké schopnosti předvídat. Všimněme si specifické formy kulturního projevu, knih a obrazů, abychom došli k několika kvantitativním závěrům. Možností zkombinovat slova v knihu nebo barevné prvky v obraz je tak nesmírně mnoho, že jejich počet značně předstihuje počet možných genových kombinací. Počet kombinací slov nebo barev, které dávají „smysl“ z jakéhokoli hlediska, je ovšem mnohem menší, ale přesto mnohem větší než počet životaschopných biologických druhů. Je zřejmé, že existující knihy a obrazy reprezentují jen zanedbatelně malou část možných. Z tohoto důvodu vědecká metoda naráží na ještě významnější omezení, když ji chceme použít na výtvořky a projevy lidského ducha. Tato omezení jsme nazvali vnějšími; jsou vnější ve vztahu k vlastnímu pojmovému systému. Existuje speciální pojem charakterizující tato omezení: pojem komplementarity.

Mezi lidskými zkušenostmi najdeme důležité a relevantní jevy, které jsou „komplementární“ vědeckému popisu. Pojem komplementarity získal zosřtený význam, když ho Niels Bohr použil k popisu situací, v nichž existuje několik vzájemně se vylučujících přístupů ke skutečnosti. Představují různé aspekty, jež se sice vzájemně vylučují, ale přispívají k našemu chápání jevů jako celku. Takové komplementární situace se vyskytují i ve fyzice; například při popisu atomu jeho kvantovým stavem na straně jedné, resp. polohou jeho součástí na straně druhé. Kvantový stav se rozplyne, když ho pozorujeme přesným přístrojem k měření polohy elektronu. Stav se opět ustaví, když atom ponecháme sobě samému a dáme mu dost času k návratu do původního stavu. Oba aspekty – kvantový stav a prostorová lokalizace – jsou navzájem komplementární; představují pojmy nezbytné k plnému poznání atomové reality.

Jak často zdůrazňoval Bohr, podobné vztahy komplementarity se najdou ve všech oblastech lidského poznání. Existují různé způsoby vnímání situace, způsoby, které zdánlivě spolu nesouvisí nebo se zdají být v protikladu, ale jsou nutné k pochopení situace v její totalitě. Na okamžik postačí prostý příklad. Beethovenovu sonátu můžeme fyzikálně analyzovat zkoumáním kmitů vzduchu; lze ji také analyzovat fyziologicky nebo psychologicky studiem procesů probíhajících v mozku posluchače. Avšak existuje ještě další přístup, který se přibližuje tomu, co považujeme za nejvýznamnější a nejpodstatnější na Beethovenově sonátě: jde o bezprostřední a přímý dojem z hudby.

Jako ilustrace komplementárních přístupů může posloužit anekdota: Felix Bloch a Werner Heisenberg na procházce po pobřeží diskutovali o fyzikálních problémech a Bloch sděloval Heisenbergovi některé nové myšlenky o jistých matematických strukturách prostoru, když Heisenberg s duchem přenášejícím se do komplementárních oblastí zkušenosti zvolal „Prostor je modrý a létají v něm ptáci!“

Následující dvojice lidských přístupů k různým oblastem zkušenosti reprezentují jiné komplementární situace: vědecký – poetický, soucit – spravedlnost, neurofyzilogie – psychologie, jednání – myšlení. Nemáme v úmyslu zdůrazňovat párový charakter komplementarity; naopak, hlavním těžištěm tohoto pojmu je existence mnoha různých přístupů.

Soudíme, že důležité součásti lidské zkušenosti nelze rozumně zhodnotit uvnitř vědeckého systému. Nemůže existovat všezahrnující vědecká definice dobra a zla, soucitu, nadšení, tragedie nebo humoru, nenávisti, lásky anebo víry, cti a ponížení, nebo pojmů jako kvalita života nebo štěstí. Jistě je možné a žádoucí analyzovat nervové a psychologické pochody, které nastávají v průběhu procesu prožívání takových myšlenek. Nové pokroky v neurofyzilogii a biochemii slibují mnohem hlubší vědecké poznání této stránky oněch lidských zkušeností. A snad i najdeme prostředky k ovlivnění, změně či vyvolání takových reakcí. Důležité aspekty těchto zkušeností však nadále zůstávají nedotčeny vědeckým přístupem. A právě tyto aspekty pro nás bývají nejvýznamnější.

Jiné přístupy k otázkám a problémům lidské zkušenosti lze najít v umění, poezii a literatuře, v hudbě a ve výrazových formách spjatých s etikou, filozofií, psychologií a rovněž s vírou, náboženstvím a mytologií. Vedou k formám lidské tvořivosti odlišným od tvořivosti, která umožňuje vědu. Protiklad mezi vědou a jinými přístupy není nutně protikladem mezi racionálním myšlením a emocionálním cítěním. Můžeme racionálně mluvit, a také to činíme, o emocionálních dojmech, o hudbě a jiných uměních, o etických



Obr. 3. FELIX BLOCH (nar. 1905), švýcarsko-americký fyzik; Nobelova cena za fyziku r. 1952 společně s E. M. PURCELLEM.



Obr. 4. MARCUS FIERZ (nar. 1912), švýcarský fyzik, profesor emeritus pro teoretickou fyziku na Vysoké škole technické v Curychu.

problémech, o cti a kvalitě života. Můžeme také emocionálně hovořit o vědeckých otázkách, o divcích přírody, o rozlehlosti prostoru a o úžasném vývoji od prvotního třesku k současnému vesmíru. Přitom každý z přístupů má svůj specifický typ vyjadřování; jeví se průzračný a přesný v rámci své vlastní vnitřní stupnice hodnot, ale křehký a neurčitý, je-li posuzován zvláštními požadavky komplementárního přístupu. Pohledy se vzájemně doplňují a musíme vzít v úvahu všechny, abychom dospěli k plnému významu našich zkušeností.

Lidský duch bohužel klade uznání komplementárních stránek jistý odpor. Je zjevná silná tendence k jasným, univerzálně platným odpovědím, vylučujícím odlišné přístupy. Vědecký přístup se například často považuje za jediný seriózní a rozumný. Zdá se, že žádné pole lidské zkušenosti není v zásadě nepřístupné vědeckému studiu a chápání, i když studium myšlenkových pochodů je ještě v plenkách. Nárok vědy na úplnost v tomto smyslu je snad oprávněný. Ale „úplný“ ještě neznamená „všezahrnující“. I když docílíme vědeckého chápání myšlení a cítění, k vyjádření naší zkušenosti bude nutno použít jiných metod. Systém vědeckého myšlení může být úplný uvnitř vlastního myšlenkového světa a přesto vypouští důležité stránky zkušenosti. Skutečně, ty aspekty, které v otázkách lidského myšlení, jednání a cítění vynecháváme, jsou často ty nejvýznamnější. Některé předsudky proti vědě a technice se zakládají na polovědomém odporu proti jejich implicitnímu nároku na úplnost. Vědecký přístup není jediným legitimním a rozumným přístupem.

Kdykoliv se jeden způsob myšlení rozvine s nebývalou silou a úspěchem, jiné způsoby se neprávem opomíjejí. Pěkně to vyjádřil švýcarský fyzik a filozof Marcus Fierz: „Vědecké poznání naší doby vrhá tak oslnivé světlo na jisté stránky lidské zkušenosti, že zbytek zanechává v tím větší temnotě“.

Uvedu zajímavý příklad z éry, kdy vědecký přístup byl potlačován na úkor vládnoucího náboženského přístupu. V roce 1054, v období vrcholící náboženské víry v Evropě, se objevila supernova jasnější než kterákoli z planet. Zářila tři nebo čtyři měsíce, avšak ani jedna kronika v Evropě se o tomto jevu nezmiňuje. Výskyt hvězdy jasnější než všechny ostatní se ve středověku nepovažovalo za fakt hodný zaznamenání. Jednostranný důraz středověku na náboženství a stejně jednostranné vědeckotechnické zaměření naší doby uvolnily tvořivost nezměrné síly. Pomysleme na středověká díla umění, architektury a mravní filozofie, a také na rozvoj vědy, přírodní filozofie a techniky v naší éře. Současně však oba jednostranné přístupy vedly k vážným přehmatům, jako byla křížácká tažení a pohrdání tělesným utrpením ve středověku a dnes přehnaná starost o materiální statky.

Obvyklým jevem v historii lidstva bylo, že každé takové zaměření bylo zdeformováno a použito jako prostředek i zdůvodnění rozsáhlého vraždění a ničení. Pomysleme na moderní války a závody v jaderném vyzbrojování — a jak odpověděl papežský legát, opat Arnoud de Citeaux, na otázku, co učinit s obyvateli města Béziers, když bylo roku 1205 úspěšně dobyt: „Všechny je zabijte, Bůh si už vybere, kdo půjde do nebe a kdo do pekla!“ Je nutné zdůraznit, že věda sama má své kořeny a počátky mimo vlastní racionální oblast myšlení. Zdá se, že v podstatě platí „Gödelova věta o vědě“, která říká, že věda je možná jen v širším rámci mimovědeckých otázek a záležitostí. Matematik Gödel dokázal, že axiomatický systém nikdy nelze založit na sobě samém: abychom do-

kázali jeho nerozpornost, musíme použiť argumenty pochádzajúce z vnějšku systému. Podobne i vedecká činnosť je nutne vnořena do širšieho pole ľudskej zkušenosti. Věda by nebyla možná bez presvedčenia každého vëdce i spoločnosti jako celku, že vedecká pravda je dôležitá a podstatná. Vëdecké pozorování supernovy z roku 1054 nebylo ve středověké Evropě považováno za dôležité.

Ľudská zkušenosť zahrnuje mnohem více, než jakýkoliv daný systém myšlení může ve vlastním pojmovém rámci vyjádřit. Když stojíme před realitou přírody, našich představ a ľudských vztahů, musíme dokázat přijmout různorodé, odlišné a zdánlivě protikladné způsoby myšlení. Existuje mnoho způsobů myšlení a cítění: každý z nich obsahuje nějaký kousek toho, co lze považovat za pravdu. Věda a technika poskytují jednu z nejučinnějších nástrojů pro hlubší poznání a řešení problémů, kterým musíme čelit. Některé z těchto problémů byly fakticky způsobeny bezmyšlenkovitou aplikací právě těchto nástrojů, jako znečištění životního prostředí a – na prvním místě a především – vzrůstající a bezprostředně hrozící nebezpečí jaderné války. Avšak věda a technika jsou jen jednou z cest k realitě: jiné cesty jsou stejně potřebné, abychom pochopili plný význam své existence. Jiné cesty jsou opravdu nutné, chceme-li zabránit bezmyšlenkovitým a nelidským zneužitím výsledků vědy. Budeme potřebovat všechny přístupy, máme-li se vyrovnat s vážnými problémy lidstva, které toľika našim bližním brání, aby jejich život byl hodný žití.

Teória grafov v chémii

Vladimír Baláž, Vladimír Kvasnička a Jiří Pospíchal, Bratislava

1. Úvod

Teória grafov sa v chémii objavila ako jedna z prvých matematických disciplín. Na začiatku išlo iba o popis štruktúrnych vzorcov – kovalentné dvojelektronové väzby sa značili ako hrany a atómy ako vrcholy [1, 2]. Avšak onedlho sa objavilo i prvé nepopisné použitie teórie grafov – anglický matematik Caley r. 1874 riešil úlohu enumerácie izomérov uhľovodíkov [3, 4]. Enumeráciu molekúl rieši tiež aj jeden z najkrásnejších súčasných výsledkov matematiky – Polyova enumeračná teórema z r. 1936 [5, 6, 7]. Možno konštatovať, že výsledky aplikácie teórie grafov v chémii získané do polovice tohto storočia boli skôr zaujímavosťou ako významnými objavmi. Chémia je

RNDr. VLADIMÍR BALÁŽ, CSc. (1954), prof. ing. VLADIMÍR KVASNIČKA, DrSc. (1941) a RNDr. JIŘÍ POSPÍCHAL, CSc. (1961) sú pracovníkmi Katedry matematiky ChTF SVŠT, Radlinského 9, 812 37 Bratislava. Prof. Kvasnička je vedúci tejto katedry.