

Miroslav Veverka

Evoluce svým vlastním tvůrcem

Od velkého třesku ke globální civilizaci

PROSTOR





Miroslav Veverka

Evoluce svým vlastním tvůrcem

Od velkého třesku ke globální civilizaci

PROSTOR

Miroslav Veverka

Evoluce svým vlastním tvůrcem

Od velkého třesku ke globální civilizaci



PROSTOR | PRAHA | 2013

© Miroslav Veverka, 2013
© PROSTOR, 2013
Preface © Jiří Grygar, 2013
Afterword © Miroslav Petříček, 2013

ISBN 978-80-7260-276-6

Lektorovali:
RNDr. Jiří Grygar, CSc.
Prof. RNDr. Václav Pačes, DrSc.
Prof. PhDr. Miroslav Petříček, CSc.

Obsah

Slovo úvodem (Jiří Grygar) / 9

ČÁST PRVNÍ STRATIGRAFIE

1. VRSTVY / 13

Pohled zvenčí 13 ■ Pohled zevnitř 20 ■ Vrstvy jako schody evoluce 22 ■

2. MIKROSVĚT / 25

Podivná říše neurčitosti 25 ■ Atomy a částice 28 ■ Království chemie 34 ■
Elektřina, magnetismus, záření 40 ■ Kvantová mechanika 43 ■

3. VESMÍR / 49

Velký třesk 49 ■ Rodokmen atomů 54 ■ I hvězdy mají své osudy 59 ■ Sluneční soustava 64 ■
Kosmické záhady 70 ■ Teorie relativity 74 ■ Spontánní organizace vesmíru 79 ■

4. MAKROSVĚT / 81

Klasické paradigma 81 ■ Dynamika tepla 85 ■ Prekursorzy života 89 ■ Daleko od rovnováhy 93 ■

5. ŽIVOT / 99

Vzpoura proti entropii 99 ■ Hypotetické začátky života 102 ■ „Polévka“, nebo „pizza“? 106 ■
Dochované stopy 109 ■ Život z vesmíru? 112 ■ Zrození buňky 113 ■
Biochemická továrna 117 ■ Abeceda života 123 ■ K vyšším celkům 132 ■

6. EVOLUCE / 143

Lamarck a Darwin 143 ■ Různorodost 145 ■ Geny a jejich alely 150 ■ Chromozomy 156 ■
Prostředí 159 ■ Hlavní směry adaptace 165 ■ Formativní role niky 173 ■
Genetické toky v populaci 176 ■ Evoluce chování 180 ■

7. ČLOVĚK / 185

Prostor pro člověka 185 ■ Neotenie v roli stvořitele 187 ■ Nejbližší žijící příbuzní 189 ■
Příkazy předávané geneticky 191 ■ Emoce: lepší nástupci instinktů 196 ■
Zkušenost a učení 201 ■ Societa 208 ■ Cestou k člověku rozumnému 211 ■
Kulturní evoluce 214 ■ Emoce přesto vládou 218 ■

8. CIVILIZACE / 221

Transformace přírody 221 ■ Lovci a sběrači 224 ■ Neolitická revoluce 225 ■ Urbanizace 228 ■
Průmyslová revoluce 229 ■ Sítě a toky 234 ■ Informační revoluce 237 ■

ČÁST DRUHÁ SINGULARITA

9. SINGULARITA / 241

Kosmologická singularita 241 ■ Singularita filozofická 244 ■ Profánní singularity 249 ■
Příroda počítá do tří 252 ■

ČÁST TŘETÍ DUALITA

10. PÁROVÉ PŘÍŘAZENÍ / 257

Princip páru 257 ■ Exemplifikace 262 ■ Terminologie a historie 267 ■
Každé měření je přiřazování 269 ■ Hledání pevného bodu 272 ■ Homomorfie a izomorfie 277 ■
Princip zámku a klíče 281 ■ Vlastnosti a vztahy 284 ■

11. GRADIENT A TOK / 287

Rozdíl dvou hladin 287 ■ Ilustrace 290 ■ Síla jako orientovaná energie 293 ■
Teorie spádu: dynamika 297 ■ Disipace 299 ■ Metamorfózy energie 302 ■
Přitahování a odpuzování 304 ■

12. INFORMACE / 309

Matematická teorie komunikace 309 ■ Sémantická informace 315 ■ Informační tok 320 ■
Šum a redundance 324 ■ Informace originální a replikovaná 327 ■
Paměť jako vázaná informace 328 ■ Maxwellův démon 330 ■ Protoinformace 333 ■

13. PÁROVÉ ŠTĚPENÍ A CHAOS / 339

Bifurkace 339 ■ Fluktuace 345 ■ Chaos 347 ■

ČÁST ČTVRTÁ PLURALITA

14. ŘETĚZ, SÍŤ A POLE / 357

Linearita 357 ■ Ve třech přicházejí problémy 359 ■ Řetěz 363 ■ Síť 366 ■ Množina 370 ■
Soubor 374 ■ Pole 376 ■

15. OBECNÁ TEORIE SYSTÉMŮ / 383

Trochu historie 383 ■ Systém a jeho celostnost 389 ■ Emergence 394 ■ Struktura 396 ■
Funkce 400 ■ Nika a poziční informace 402 ■ Řešení snadné a vadné: redukcionismus 411 ■

16. PROVÁZANÉ TOKY / 415

Přiřazení v pohybu 415 ■ Rytmus jako synchronizátor 418 ■ Oscilace 421 ■ Zpětná vazba 424 ■
Systém uzavřený a otevřený 430 ■ Identita 433 ■ Homeostáze 436 ■

17. SPONTÁNNÍ ORGANIZACE / 439

Samoorganizace v neživých soustavách 439 ■ Nelinearita 444 ■ Autopoiesis 449 ■
Synergie 452 ■ Odpadové toky 453 ■ Toky z jiných úrovní 456 ■
Dominance a hierarchizace 458 ■ Atraktory 462 ■ Repelory a integrita 465 ■
Imunita 468 ■ Regulace 477 ■ Intervence finality 483 ■

18. DETERMINISMUS? / 489

Lineární kauzalita 489 ■ Pravděpodobnost 492 ■ Intervence chaosu 498 ■
Kauzalita v nelinearitě 501 ■

19. VÝZVY NAŠÍ SOUČASNOSTI / 507

Moderní doba churaví 507 ■ Ekologická krize 512 ■ Globalizace 519 ■
Ekosystémy přírodní a kulturní 521 ■ Postmoderní situace 525 ■ Fluktuace nastupují 530 ■

Doslov (Miroslav Petříček) / 535

Slovníček / 537

Zdroje ilustračních vyobrazení / 571

Jmenný rejstřík / 572

Slovo úvodem

Stává se mi několikrát do roka, že ač sám nejsem ani nakladatel, ani lektor nějakého nakladatelství, obrátí se na mne buď autor s hotovým rukopisem, anebo redakce se žádostí, abych posoudil, zda se takový rukopis hodí vydat. Přirozeně jde vesměs o díla věnovaná astronomii a fyzice, anebo obecně přírodním vědám, případně filozofii. Autoři bývají jak domácí, tak také zahraniční; v takovém případě patří k mému úkolu posoudit i odbornou správnost překladu.

Jelikož to takhle chodí už dobrých třicet let, mám v hlavě mlhavé vzpomínky na více než stovku takových rukopisů, takže lze říci, že jde o statisticky významnou zkušenost. Pokud jde o zahraniční autory, kteří už prošli ohněm kritiky ve svých zemích, tak až na výjimky se jedná o pozoruhodné originály, avšak dost často o ne zcela zdařilé překlady. Navíc český čtenář je specifický a to, co zabírá zejména v anglosaském světě, nemusí oslnit u nás doma.

Daleko složitější je posoudit domácí autory, z nichž většina mi posílá své prvotiny, takže jde o jména pro mne dočista neznámá. Zde má statistika praví, že naprostou většinu těchto rukopisů nemohu doporučit k vydání. Autoři těchto spisů chybují v tom, že čtou sami pouze populárně-vědeckou literaturu na dané téma a dvakrát převažená kaše je zcela nepoživatelná. V horším případě pak tito pisatelé spletou dohromady povrchně zpracované informace z populárních knih a časopisů s vlastními volnými spekulacemi, popřípadě s citováním domácích či zahraničních pavědců, pro něž má ruština okouzlující termín „okolnaučnye prochodimcy“.

Za celou dobu se mi stalo snad jen třikrát nebo čtyřikrát, že jsem nad rukopisem nováčka užasl, jak je originální, působivý a odborně na výši. Čtenář už nejspíš tuší, že právě na takovou raritu jsem shodou okolností natrefil v případě díla pro mne zcela neznámého Miroslava Veverky. Podtitul *Od velkého třesku ke globální civilizaci* mi zněl až vyzývavě směle; cožpak se dnes v době neustálé atomizace přírodovědeckého i společenského poznávání najde jedinec, který to všechno dokáže pojednat?

Za ta léta jsem si zvykl, že spisy s podobnými ambicemi píše sestava dvaceti i více spoluautorů. Kolektivní spisy však nutně trpí tím, že každý člověk uvažuje a píše trochu jinak a není v silách žádné redakce beze svých propojit a homogenizovat různé přístupy.

Přiznám se, že jsem k Veverkovu textu přistupoval s jistou nedůvěrou. Nezačal jsem číst od začátku, ale od třetí kapitoly (Vesmír), v níž bylo pro mne nejsnazší se rychle zorientovat. Postupně jsem nestačil žasnout, jak dobře je tato část sepsána. Představoval jsem si zaujatého čtenáře, který není specialistou ani v astronomii, ba ani v přírodních vědách, a bylo mi jasné, že pokud je to čtenář zvědavý, tak ho ten text chytne.

Pak jsem zkusil druhou kapitolu (Mikrosvět), protože dnes už je zřejmé, že oba tyto extrémy – gigantický rozsáhlý vesmír a miniaturní svět částicové fyziky – jsou spolu intimně propojeny tak, že fakticky vytvářejí podivuhodně jednotný pohled na fyzikální svět. Tak jsem poznal, že autor ovládá i tuto látku stejně bravurně.

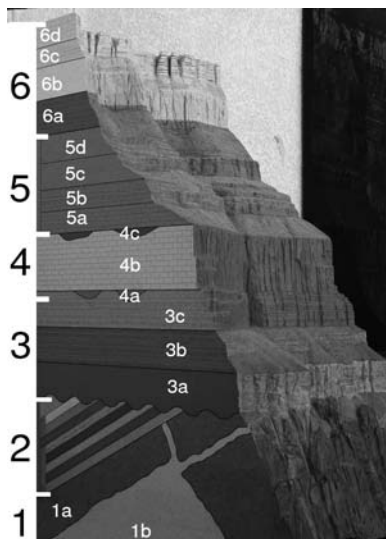
Pak už jsem začal číst rukopis tak, jak se má, tj. od úvodního pohledu zvenci až po autorův realistický náhled na módní postmodernismus v závěru knihy. Téměř neustále jsem se tak dozvídal o nových poznatcích z oborů, v nichž jsem sám naprostý laik, a tedy fakticky dokonale průměrný čtenář tohoto fascinujícího spisu. Pokud se mohu odvážit to posoudit, tak autor ve čtyřech hlavních částech svého impozantního díla (Stratigrafie, Singularita, Dualita, Pluralita) sleduje ústřední myšlenku, kterou si umínil sdělit veřejnosti, totiž že evoluce je svým vlastním tvůrcem.

Přiznám se, že po svém počátečním váhání jsem celý rukopis četl jako vzrušující detektivku s otevřeným koncem, protože netuším – a myslím, že ani sám autor –, kdo je pachatelem.

*Jiří Grygar
Praha, březen 2013*

ČÁST PRVNÍ

STRATIGRAFIE



Velký kaňon v Arizoně – ukázka geologické stratifikace

1. kapitola

VRSTVY

[Pohled zvenčí ■ Pohled zevnitř ■ Vrstvy jako schody evoluce]

Pohled zvenčí

Představme si, že se vědecká expedice ze vzdáleného kouta vesmíru vydá prozkoumat onu galaktickou oblast, kde se shodou okolností nacházíme my. Nejprve se před badateli objeví naše Mléčná dráha. Potom nazdařbůh zamíří k naší sluneční soustavě a nakonec probudí jejich zvědavost modrá třetí planeta této soustavy. Teleskopy jim přiblíží pozemské kontinenty, oceány, atmosféru. Překvapení objeví podivuhodnou „plíseň“ na povrchu Země: biocenózu, pralesy a v pralesech život – rostliny, živočichy. Po přistání se jim podaří jednoho živočicha ulovit. Zkoumají jeho orgány, končetiny, oči, uši, vnitřnosti. Provedou pitvu tkání, až se dostanou k buňkám a k makromolekulárním sloučeninám.

Rozkládají je na stále menší částěčky, na molekuly a atomy prvků, protony a neutrony, elektrony, na nejmenší jim známé elementární částice. S úžasem zjišťují, že celá tato výjimečná planeta a veškerá neuvěřitelná rozmanitost jejích životních forem se skládají z jim dobře známých základních kamenů, které se nikterak neliší od stavebních kamenů jejich domoviny a celého vesmíru.

Výprava prodělala cestu všemi úrovněmi všehomíra, od metagalaxií až po elementární částice. Tuto expedici je ovšem možno podniknout i opačným směrem: od nejjednodušších částic až po metagalaxie a celý vesmír. Lze ji ovšem provést z kterékoliv mezivrstvy směrem nahoru i dolů. Záleží jen na tom, kterou úroveň si zvolíme jako základnu svých výprav. Jedna báze je však nám lidem nejobecněji dána. Je to naše vlastní lidská existence. Odtud po celý život provádíme expedice do světa, který nás obklopuje, i do světa v nás.

Všechny struktury makrosvěta, s nimiž jsme v každodenním kontaktu, vnímáme jako banality. Nebereme ani na vědomí, jak je náš život i život vůbec závislý na záření, které přichází ze Slunce, na gravitaci, která nás váže k zemi, nebo jak je stálost našeho bytí spojena s uspořádáním atomů, z nichž se lidské tělo skládá. Přesto všechno jsou tyto struktury pamětovými konzervami, v nichž jsou skryty všechny historicky nižší a předcházející vývojové stavy. My je však vnímáme přímo, globální zkušeností, bez prožitku problémovosti.

Vrstvy, které nalézáme v uspořádání světa, nejsou žádné pomocné myšlenkové kategorie, které by měly svět učinit přehlednějším. Jsou realitou, která vznikla historickým vývojem jako hierarchizované a sobě postupně nadřazované systémy vesmírného uspořádání a postupného ukládání informace. Každá vyšší vrstva vychází z vrstvy nižší, je složitější než vrstva nižší, a počítáme-li od počátku vesmíru, má za sebou delší vývojovou dráhu. Vrstvy představují posloupnost ve smyslu časovém, evolučním i strukturálním, ovšem málokdy ve smyslu prostorovém.

Prostorově jsou vrstvy většinou promíšeny jako části slepence. Dokud Carl Linné nepoložil základy botanické a zoologické nomenklatury (1735) a Charles Darwin nepřišel s myšlenkou vývoje druhů (1859), přírodovědci se ve změti přírodních organismů nemohli orientovat. Myšlenky Linného a Darwina jsou logickým základem třídění živé přírody dodnes, neboť odpovídají vývojové logice živých organismů a jimi hierarchicky vytvářeným vrstvám.

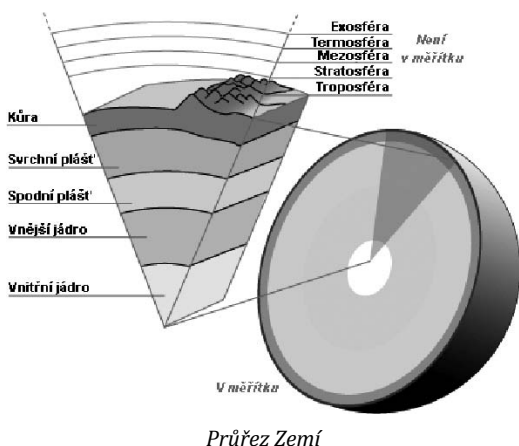
Stejným způsobem je však uspořádána i neživá příroda, svět člověka a prostor jeho myšlení.

Každá vyšší vrstva stojí na ramenou vrstvy nižší. Dosahuje výše, ale jen za podmínky soudržnosti s vrstvami, které ji nesou. V neživé přírodě se to může zdát samozřejmé, ale již v přístupu k živým formám to tak vždy nebylo a není. Pokud jde o psychiku člověka, trvá takový přístup dodnes. V běžném myšlení je psychika od své hmotné báze oddělována a je velmi často chápána jako zvláštní nehmotná substance. Třebaže dnes již zřídka bývá tato specifická vrstva označována jako „duše“, je zpravidla stále chápána jako svébytný svět abstraktních idejí, sám o sobě metafyzický, nedostupný, existující mimo čas a prostor. Přesto jsou také city

a myšlenky převážně složitými produkty oné rosolovité hmoty, kterou nosíme ve své hlavě. Nikde jinde a nezávisle na lidském mozku se takové struktury ve vesmíru nevyskytují. A to ani v knihách či v jiných záznamových médiích. Ty jsou samy o sobě jenom mrtvými artefakty, které může přeciťst a přiřadit jim význam teprve lidský mozek.

Vrstevnaté uspořádání světa, a to i na různých podúrovních, není nic nového. V geologii a v archeologii jsou stratigrafické přístupy nosným pilířem celých disciplín. Umožňují určit stáří a posloupnost jednotlivých vrstev. Podle zákona superpozice platí, že čím je vrstva vyšší, pak pokud nebyla její poloha dodatečně změněna, je to vrstva mladší, protože se vytvořila později. Sestupujeme-li na dno Velkého kaňonu v Arizoně, můžeme pozorovat různobarevné vrstvy, jak se ukládaly v průběhu věků.

Vrstvy nemusí být pouze horizontální. Atmosféra Země má kulovitý tvar. Její hranice dosahuje výšky až několika tisíc kilometrů a podle výšky, teploty, tlaku, chemického složení plynů a ionizace se člení. Asi do výše deseti kilometrů jde o troposféru, v níž se odehrává většina životních projevů. Do výšky asi padesáti kilometrů vystupuje vrstva zředěného vzduchu, označovaná jako stratosféra. Za její hranicí se vyskytuje



Průřez Zemí

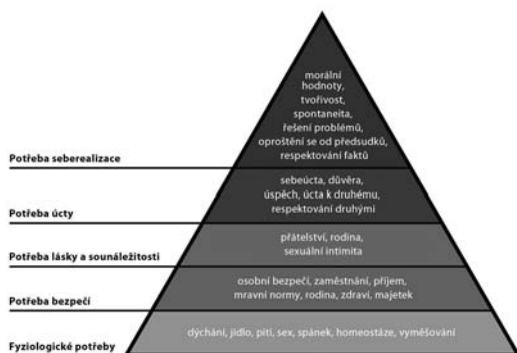
mezosféra, termosféra a zbytek je označován jako exosféra. Vrstevnatou skladbu má i pevná Země a podobá se tak svým uspořádáním slupkám cibule. Každá z těchto vrstev je charakterizována určitými fyzikálními vlastnostmi a je od vrstev sousedních oddělena plochami nespojitě změny prostředí, diskontinuitami, na nichž se skokem mění šíření zemětřesných vln. Hlavní diskontinuity (Mohorovičičova a Gutenbergova) oddělují zemskou kůru, plášť a jádro. První diskontinuita leží v hloubce 10 až 80 km a druhá asi 2900 km hluboko. Základní vrstvy Země jsou dále členěny na vrstvy nižšího řádu.

Vrstvy, kterými se zde chceme zabývat, jsou však mnohem složitější. Jsou to patra vnitřního uspořádání, vrstvy ve struktuře a v dynamice. Představa úrovní vytvářejících hierarchické uspořádání biologických forem si své pevné místo v pohledu na živou přírodu již našla. Zpravidla se v ní rozeznávají tyto vrstvy: předbuněčné formy života, jednobuněčné organismy, organismy mnohobuněčné, populace, druhy, biocenózy, ekosystémy, biosféra. Také soubory organismů, které obývají členitější porost, jsou chápány jako vrstvy. Tak se např. mluví o kořenovém, mechovém, bylinném, křovinném a stromovém patře, obecně o stratoceenóze. Stejná vrstva (stratum) zahrnuje rostlinné jedince dorůstající stejné výšky nad zemí nebo kořeny a další orgány dosahující stejné hloubky v půdě. V jednotlivých podložíích stratoceenózy žijí příznačné druhy organismů, které tím snižují mezidruhovému soutěžení a lépe využívají prostoru i potravu.

Také lidská psychika má své vrstvy. Ve dvacátých letech minulého století vytvořil rakouský psychiatr a psycholog Sigmund Freud učení o vrstevnaté struktuře osobnosti, v níž rozlišoval nevědomé „ono“ (id), vědomé „já“ (ego) a morální „nadjá“ (superego). Jeho učení značně ovlivnilo psychologické, sociologické, filozofické i umělecké myšlení celého 20. století.

Americký psycholog ruského původu Abraham Harold Maslow (1908–1970) vypracoval v roce 1943 vrstevnatou teorii lidských potřeb, známou také jako Maslowova pyramida. Nejnižší úroveň v ní tvoří základní fyziologické potřeby, jako je přijímání potravy, vyměšování, potřeba tepla, spánku, pohlavního styku. Na dalším stupni leží potřeba bezpečí a jistoty (fyzického bezpečí, zdraví, příjmu či zaměstnání). Nad ní se nachází vrstva sociálních a emočních potřeb sounáležitosti a lásky. Je to touha být milován a někam patřit; tato vrstva je saturována v partnerském vztahu, v přátelství, v rodině. Člověk je nucen nejprve

alespoň z části uspokojit potřeby v nižších vrstvách, a teprve když se tak stane, otevírá se mu vstup do vrstvy vyšší. Na čtvrtý stupeň klade Maslow potřebu úcty a sociálního uznání. Na vrcholu pyramidy jako její nejvyšší vrstva stojí potřeba seberealizace, oblast duchovních potřeb a tvůrčí činnosti, pocitu životního naplnění.



Maslowova pyramida potřeb

Každá vrstva – kromě nejhlubší dnes známé vrstvy mikrokosmu – má své podloží a každá vrstva – kromě současné nejvyšší sféry, totiž civilizace – má své nadloží. Hierarchii vrstev můžeme přirovnat k příčkám žebříku. Nižší vrstva je samozřejmě a nutně přítomna ve vrstvě vyšší, tak jako jsou například částice, atomy a buňky přítomny v našem těle. Čím je systém složitější, tím má delší historii a tím je takových vrstev více. Vrstvy odpovídají seřazeným, ověřeným a uskladeným informacím. Nejstarší vrstvy jsou nejstabilnější a obsahují jen malou míru chaosu. Čím blíže k povrchu, tím jsou vrstvy mladší, flexibilnější, labilnější a přístupnější změnám. Vrstvy představují stratifikovanou evoluci.

V běžné řeči i v odborných disciplínách jsou vrstvy nazývány různě. Tam, kde my hovoříme o vrstvách, máme na mysli stejný jev, který se v odborné řeči označuje jako „stratum“. Ve stejném smyslu se jinde hovoří o úrovních, patrech, hladinách a rovinách. Velmi často se užívá též výrazu „stupně“, případně „vývojové stupně“. V obdobném smyslu se mluví také o sférách, třídách, instancích, galeriích atd.

Podobně kolísá i klasifikace vrstev veškerého jsoucna. Francouzský matematik a filozof 17. století René Descartes rozlišoval dva světy: „res cogitans“ a „res extensa“. První je duchovní povahy a náleží k ní lidské myšlení i Boží existence. Druhá je světem na duchovnu nezávislým, má hmotnou povahu a její hlavní vlastností je prostorová rozprostraněnost. Tento protiklad dodnes žije ve vnímání subjektu a objektu, v kategoriích subjektivního a objektivního.

Další Francouz, filozof a sociolog August Comte, začátkem 19. století rozeznával dvě hlavní třídy jevů. Do třídy anorganické řadil předmět matematiky, astronomie, fyziky a chemie, do třídy organické předmět

biologie a sociologie. Každá z těchto věd je založena na těch, které ji v hierarchických stupních předcházejí, a přidává k nim nové, pro ni charakteristické rysy. Žádný jev z vyšší úrovně nelze beze zbytku redukovat na charakteristické znaky vrstvy nižší a vysvětlit jejich prostřednictvím. Chemické jevy nelze interpretovat jevy fyzikálními, sociální pohyb není možno redukovat na zákony mechaniky nebo biologie.

V prvé polovině 20. století rozpracoval německý filozof Nicolai Hartmann učení o vrstvách, které třídilo veškeré reálné bytí do čtyř rovin. Anorganická vrstva byla vytvářena fyzickými věcmi a fyzikálními procesy. Nad ní se jako druhá úroveň objevuje vrstva organická. Obě tvoří oblast lokalizovatelného časoprostorového světa. Směrem výše viděl Hartmann oblast všeho neprostorového, v němž rozeznával vrstvu duševních jevů, k nimž počítal především lidské vědomí, a vrstvu duchovní, zahrnující lidskou kulturu. Poslední dvě vrstvy vytvářely ideální neprostorový svět. V každé vyšší vrstvě se opakují kategorie vrstev nižších, ovšem vždy v omezené míře a ve formě modifikované podle povahy vrstvy vyšší. Každá vyšší úroveň je nesena vrstvami nižšími, ale je oproti nim křehčí a zranitelnější. Každou z vrstev je možno popsat pro ni příznačnými kategoriemi a všechny vrstvy společně mohou být popsány kategoriemi univerzálními. Jednota světa však nevystupuje do popředí tak výrazně, jako jeho rozmanitost a vrstevnatá členitost. Tento svět je říší vrstev.

O dvacet let mladší britský filozof rakouského původu Karl Raimund Popper omezil stratifikaci na tři vrstvy: fyzikální svět, duševní svět a svět kultury. První zahrnuje fyzikální objekty a stavy, jako anorganické jevy, biologické stavy a umělé lidské artefakty typu nástrojů, strojů, knih a dalších lidských produktů. Druhý svět obsahuje stavy vědomí, city, myšlenky, vzpomínky a produkty fantazie. Třetím světem jsou zápisy intelektuálního vědomí, jako jsou teologické, filozofické, umělecké, historické, technické a vědecké ideje a systémy. V materiální podobě jsou uchovávány v záznamech, zejména písemných. Je to svět obsažený v časopisech, knihách a knihovnách. Jeho hmotná forma patří do materiálního světa, ale obsah nikoliv. Ten je světem kultury a civilizace, jehož obsahem jsou ideje v objektivním smyslu. Nelze jej obsáhnout pouze subjektivně a psychologicky. Popperův třetí svět je zároveň lidským produktem a současně svébytnou duchovní sférou.

Popper sám zdůrazňuje, že není autorem světa tři. „Svět tři není mým vynálezem. Narazil jsem na něj poprvé u rakouského filozofa Bolzana.

Bolzano mluvil o větách o sobě a přitom měl na mysli nejen věty, které jsou napsány na papíře, ale mínil tím především obsah vět, které jsme schopni pochopit psychologickým prožitkem ze „světa dvě“. Podle Bolzana tedy máme „svět jedna“, písemné záznamy, „svět dvě“, naše prožitky při jejich čtení, a „svět tři“, totiž obsahy toho, co čteme, především obsahy vět.“ (1985)

K pražskému filozofovi a náboženskému mysliteli Bernardu Bolzanovi se Popper dostal přes německého filozofa a logika Gottloba Fregeho, žijícího na přelomu 19. a 20. století. To, čemu Popper říká „svět tři“, nazýval Frege „třetí říší“. „Jistě chápete, proč jsem ten název trochu pozměnil,“ vyjádřil se Popper na mezinárodním sympoziu ke svým osmdesátým narozeninám (1982).

Triáda „tří světů“ má ostatně ve filozofickém myšlení dávnou tradici. Řečtí filozofové rozlišovali „logos, psyché a physis“, Římané „ratio, intellectus, materia“, u Kanta se setkáváme s „Vernunft, Verstand, Außenwelt“.

Dva američtí filozofové, Paul Oppenheim a Hilary Putnam, publikovali v roce 1958 stat' „The Unity of Science as a Working Hypothesis“ (Jednota vědy jako pracovní hypotéza). V ní rozeznávají šest vrstev univerzální entity: 1. sociální skupiny; 2. živé bytosti; 3. buňky; 4. molekuly; 5. atomy; 6. elementární částice. Starší Oppenheim (1885–1977) emigroval před nacisty do Belgie a posléze do USA, mladší Putnam (1926) se stal od šedesátých let výraznou postavou americké filozofie. Autoři svou koncepci ani později blíže nerozpracovali. Tohoto tématu se ujali jiní, kteří si vysloužili označení „fyzikalisté“ nebo „redukcionisté“. Události sociálního světa se podle nich dají redukovat na fenomény psychologické, psychologické děje lze vysvětlit zákonitostmi biologickými, ty zase procesy chemickými a chemické jevy lze převést na zákonitosti fyzikální. Podle krajního redukcionismu je tedy možno veškerou složitost světa postupně zredukovat až na dynamiku elementárních částic.

Našemu pohledu je ovšem taková redukce velmi vzdálena, byť vrstevnaté uspořádání reality pokládáme za krok správným směrem. Máme opačný přístup. Informační model nezačíná u nejvyšší vrstvy a neredukuje postupně každou vrstvu na stupeň nižší. Začíná u vrstvy nejnižší a rostoucí různorodost vyšších vrstev vysvětluje vynořováním (emergencí) nových kvalit, nového uspořádání.

Z hlediska prezentovaného v této práci bychom patrně vystačili se třemi základními úrovněmi v pozorovaném světě, jak je rozeznává

Ludwig von Bertalanffy (1967): 1. neživá příroda; 2. živé systémy; 3. univerzum symbolů. V takovém nejobecnějším třídění se ovšem mnoho příznačných rozdílů stírá. Pro naše úvahy proto zavádíme sedm základních vrstev:

1. mikrosvět
2. vesmír
3. makrosvět
4. život
5. evoluce
6. člověk
7. civilizace

Pohled zevnitř

Pro každou vyšší vrstvu je příznačné, že se na její úrovni objevují nové kvalitativní zákonitosti, které nejsou beze zbytku převoditelné na zákonitosti vrstvy nižší. Své charakteristické vlastnosti mají elementární částice, atomy, molekuly, buňky, organismy, lidské skupiny a jejich světy symbolů. Tyto vlastnosti nelze odvodit z vlastností nejbližší nižší úrovně, ani je na ně redukovat. Setkáváme se zde s jevem nejčastěji označovaným jako „emergence“, totiž vynořování nových vlastností. Vyšší vrstva vzniká vždy jako řešení nakupených problémů, jako výsledné uspořádání z chaosu a napětí, kterými v určitém stadiu vývoje prochází vrstva nižší. Narůstající napětí vede buď k degradaci a destrukci vrstvy prosycené vzrůstající entropií, nebo se chaos v ní začne pořádat a vytváří novou strukturu. V té se zklidňuje a řeší chaotická dynamika nižší vrstvy. Vyšší vrstva pak ovlivňuje situaci vrstvy nižší, odčerpává z ní energii a přispívá k její stabilitě. Je to zcela zřejmé v přírodních strukturách, ale mimořádné důležitosti nabývá tento princip ve strukturách sociálních a kulturních, v nichž tímto způsobem vytváří klíč k všeobecné orientaci. Každá nová, vyšší vrstva má zprvu instrumentální a regulační význam. Rodí se z chaosu a entropie vývojově předcházející vrstvy. Je sycena jejím napětím, z něhož čerpá energii k budování vlastní struktury.

Rozdíly mezi jednotlivými vrstvami jsou dány stupněm uspořádanosti. Vyšší vrstva má nižší stupeň entropie a vyšší stupeň organizovanosti. Vztahy mezi nižší a vyšší vrstvou můžeme interpretovat také tak,

že k vyšší vrstvě patří ty informace, které jsou z hlediska vrstvy nižší nejednoznačné, nepředvídatelné, stochastické, řídí se jinými pravidly a zákony a z hlediska podloží se vymykají možnostem kontroly. Emergenci zcela nových, nepředvídatelných vlastností se pokusil vysvětlit již německý filozof 19. století Georg Friedrich Wilhelm Hegel svým učením o přechodu kvantity v kvalitu.

Nižší a vyšší vrstva vzájemně vytvářejí jakýsi „sendvič“, v němž platí určité zákonitosti. V každé vyšší vrstvě se opakují prvky vrstev nižších, přitom se tyto prvky na vyšší úrovni modifikují. Přetvářejí se podle povahy a činnosti vrstvy vyšší. Přibývá k nim vždy něco nového, co se náhle a neočekávaně vynořuje. Tímto způsobem jsou jednotlivé vrstvy od sebe zřetelně odděleny a nevytvářejí vertikální kontinuum. Život na mikroskopické úrovni byl a je nezbytným předpokladem pro vývoj makroskopických organismů. Nové druhy rostlin a zvířat pak v jejich struktuře vytvářejí nové formy mikroskopického života, které tu před nimi nikdy nebyly.

Každá vyšší vrstva svými kořínky zpětnovazebně vyvolává v nižší vrstvě struktury i formy pohybu, které by bez přítomnosti nadstavbové vrstvy nebyly myslitelné. Technika rozvíjí civilizaci a kulturu. Civilizace a kultura rozvíjejí člověka. Člověk tvoří vrchol biologické vrstvy a v jeho nervové soustavě se projevují vrcholné formy biologického pohybu – psychický život a myšlení. Život jako celek rozvinul nejsložitější biochemismus. Mimo živou hmotu tak složité biologické sloučeniny neexistují.

Celkově ovšem jsou nižší a vyšší vrstva ve vzájemném vztahu nezávisle a závisle proměnné. Změna v nižší vrstvě se nutně projeví na fungování vrstvy vyšší. Vyšší vrstva nemůže v plném rozsahu manipulovat svou nosnou bází. Tak je tomu například ve vztahu psychiky a somatiky, ve vztahu informace a jejího nosného média, ve vztahu dědičných a získaných znaků.

Vrstvy jsou zároveň vzájemnými nosiči informačních struktur i probíhajících informačních toků. Hlubší vrstva – často chápána jako „podloží“, „podhoubí“, základna, substrát – je nejen vývojově starší, strukturálně méně uspořádaná, ale také co do své obecnosti a prostorové rozšířenosti rozsáhlejší. Je společná pro větší množinu jinak vzájemně odlišných jedinců či prvků. Nižší vrstva tak vystupuje jako prostředí a nosné médium pro informační toky vyššího řádu. Klasickým a dobře pochopitelným příkladem je nosič informace – papír, magnetofonový pásek, CD, DVD.

Identita každé vrstvy je dána tím, co je z hlediska vrstev sousedních, tedy báze i nadstavby, „náhodné“, nepředvídatelné, co je produktem principu neurčitosti a emergence. Hlavním důvodem pro rozlišování vrstev je to, že v každé vrstvě platí specifické zákony, které nenalézáme ve vrstvách jiných, a to ani sousedních. V oblasti makrosvěta vystačíme se zákony klasické fyziky a chemie, které také byly z této vrstvy abstrahovány. S těmi však již neobjasníme chod mikrosvěta, kde platí především zákonitosti kvantové mechaniky, a nevystačíme s nimi ani při studiu vesmíru jako celku, při němž se neobejdeme bez obecné teorie relativity. Všechny uváděné disciplíny jsou pro danou vrstvu specifické a nelze jimi bez dalšího vysvětlit pohyb ve vrstvě jiné. Právě tak život má své odlišné zákonitosti, které jsou předmětem biologických věd. Oblast lidské mysli je studijním objektem psychologie a psychiatrie. Společnost pak iniciovala rozvoj pestrého spektra sociálních a humanitních disciplín. Vrstevnatě jsou ovšem uspořádány nejen struktury, ale vrstevnatá je rovněž dynamika látkových, energetických a informačních toků.

Vrstvy jako schody evoluce

Důležitou charakteristikou vrstev je jejich bezpodmínečná následnost. Nelze je přeskočit. Tak jako nelze vystavět druhé poschodí bez prvního, nelze si představit vyšší vrstvu bez její nižší základny. Formování vrstvy vyšší nemůže nastoupit dříve, než je zformována její nosná báze. To má velké praktické důsledky i ve společenské komunikaci a v pokusech o urychlování rozvoje. V nepřipravené situaci jsou vysílané informace nesdělitelné a nepadají na úrodnou půdu.

Princip vrstev také objasňuje proces dezintegrace a regrese struktury. Vyšší struktura může zaniknout náraz, narušením báze v některé z nižších vrstev. Všechny válečné techniky stále dokonalejšího zabíjení od sekeromlatu až k neutronové bombě jsou toho příkladem. K zániku unikátní informační struktury stačí spálení rukopisu, požár knihovny, vyhynutí kultury či biologického druhu. Jiným příkladem degradace vyšší struktury a snížení úrovně řádově o celý stupeň může být toxikomanie. Narušení somatického biochemismu vede k dezintegraci celého psychického života. Již samotné termíny „regrese“ a „degradace“ pojmově poukazují na sestup o vývojový stupínek níže. Jestliže nám zhas-

ne elektrické světlo, nezbude nám než rozsvítit petrolejovou lampu. Dojde-li nám petrolej, zapálíme svíčku. Když svíčka dohoří, musíme si naštípat dřevěné louče. Vracíme se tak nazpět po jednotlivých stupních vývoje.

Struktura vrstev je vlastně jejich paměť. V nich je akumulován doznělý informační tok. Při použití odpovídajících čtecích postupů je zápis rekonstruovatelný a rozvinutelný. To je ostatně podstata staré Hegelovy teze o jednotě logického a historického. Přírodní i společenský vývoj si přijaté informace uchovává a petrifikuje ukládáním do své strukturální paměti. Paměť Země je příroda, paměť druhu genofond, paměť národa kultura a paměť lidstva civilizace.

Uveďme znovu příklad: minerály si uchovávají v paměti stav magnetického pole v době svého vzniku. Magnetické pole Země se, jak známo, pohybuje. Částičky tekutých minerálů se v době vzniku svými magnetickými vlastnostmi orientovaly směrem k momentální poloze severního či jižního magnetického pólu. Jakmile ztuhly, tato orientace se dále měnit nemohla. Tak si minerály zapamatovaly polohu magnetických pólů v dávné minulosti. Podle toho geologové získávají informace o pohybu kontinentů a také o dřívějších polohách magnetických pólů Země.

Existují však nejen horizontálně uspořádané vrstvy, ale také jejich vertikální propojení: linie, osy, pilíře, rodokmeny, příběhy, trajektorie. Každý, i dílčí systém má svou prehistorii na nižší úrovni. Takové průřezy vrstvami tvoří individuální historii, ale také identitu dílčího systému. Identitu konkrétního člověka např. tvoří jeho tělo s odpovídajícími biologickými strukturami, ale také bezprostřední společenské prostředí, do něhož byl vržen a v němž rozvíjel a rozvíjí své aktivity. Evoluční linie vytvářejí příběhy. Svůj příběh má vesmír, Země a má jej také člověk a civilizace.

To, co vytváří vertikální řetězy a sítě, je příčné propojení vrstev. Tak jako zoom kamery nebo mikroskop mění zorné pole i měřítko, tak se linie postupně modifikuje při vertikálním průchodu vrstvami. Vstupem do další vrstvy se povaha energetických, látkových a informačních toků mění. V zorném poli se nám to potom jeví jako nepřehledná změť bez zřetelných souvislostí a pravidel. Musíme se vracet zpět od vrstvy k vrstvě, tak jako se v rodokmenu vracíme do minulosti od generace ke generaci. Je to jako při jízdě výtahem, kdy v každém patře přibíráme dalšího podivného cestujícího. Svět kolem nás je proto tak nepřehledný, že máme nakonec co činit se složitou interferencí struktur

a dynamických proudů z různých vrstev. Moderní vědecké disciplíny dosáhly a dosahují značných úspěchů, ale jedině za předpokladu, že setrvávají se svým popisem na úrovni jim přisouzené vrstvy. Při přechodu z jedné vrstvy do druhé se mohou informace ztrácet nebo měnit svůj kontext a smysl.

Vývoj v linii je jako palimpsest. Nové a nové generace přepisují svůj vlastní text přes záznamy předchůdců. Nám pak zbývá jediná současná zpráva, jejíž poselství nebývá vždy jednoznačně čitelné. Pokud nám na tom ale záleží, můžeme se s určitou námahou dopátrat rudimentů toho, co bylo předtím napsáno ve vrstvách starších, dnes již novějším textem překrytých a při letném čtení nesrozumitelných.



W. Heisenberg a N. Bohr – dva otcové kvantové mechaniky

2. kapitola

MIKROSVĚT

[Podivná říše neurčitosti ■ Atomy a částice ■ Království chemie ■
Elektřina, magnetismus, záření ■ Kvantová mechanika]

Podivná říše neurčitosti

Všechno kolem nás, co vnímáme svými smysly, bývá označováno jako makrosvět. Platí v něm zákony klasické fyziky. Je to svět našemu chápání dobře dostupný. V lidské evoluci totiž hrál prvořadou úlohu. Formoval naše vnímání, uvažování i chování. Podněcovány makrosvětem se rozvíjely lidské smysly tak, aby nám umožnily orientaci v přírodním a společenském prostředí.

Naproti tomu svět malých a nejmenších měřítek, ležící hluboko pod ním, je naším smyslům přímo nedostupný. Je to svět molekul, atomů a elementárních částic. Přesto jej lze vysvětlit a pochopit. Umožňuje to

kvantová mechanika. Tato necelých sto let stará věda je poznamenána stavem univerza, který zkoumá. Její zákony jsou v rozporu s většinou našich tradičních vědomostí o běhu věcí kolem nás. Logika lidského rozumu se vzpírá uznat, že by na úrovni atomů a v subatomárním světě mohly platit zákony tak podivné. Ale právě tato kvantová teorie je největším vědeckým i technickým objevem 20. století. Popis světa nepatrných rozměrů se velice odlišuje od chování světa všude kolem nás. Ten je globálním, výsledným chováním obrovského množství molekul, atomů a elementárních částic, ale sám se řídí odlišnými pravidly.

Pokud někdo požaduje od vědy, aby přinášela naprostou jasnost a logickou průzračnost ve výkladu jevů, bude obrazem kvantového světa zklamán. Jeho přesné matematické zákony a výpočty se zdají spočívat na obskurních teoretických a filozofických základech a na koncepčních rozporech. Přesto tento model kvantového světa funguje, činí tak perfektně a dobyl si ve vědě i v technice všeobecného uznání. Dosvědčil to množstvím technických vymožeností – od mikrovlnné trouby až po jadernou elektrárnu, od mobilního telefonu k vodíkové bombě.

Dnes vědci obecně přijímají, že hmotná tělesa jsou v podstatě složena z nevelkého počtu odlišných elementárních částic. Nesčíslné experimenty to velice dobře potvrdily a potvrzují.

Všude kolem nás – a to nejen na Zemi, ale také ve vesmíru – nacházíme hmotu ve dvou základních formách: jako látku a jako pole. Látka má částicový charakter a je tvořena soubory základních stavebních prvků – atomů, iontů, molekul i složitějších útvarů. Další formou hmoty je pole, např. pole gravitační, elektrické či magnetické, v němž se odehrávají základní interakce. Atomy, molekuly a další soustavy elementárních částic jsou udržovány v rovnováze právě interakcemi protichůdných sil. Jinak by se rozpadly na jednotlivé částice.

Obě formy hmoty mají dva společné základní parametry: setrvačnost a schopnost konat práci. Tyto vlastnosti jsou charakterizovány fyzikálními veličinami označovanými jako hmotnost a energie.

Fyzikální obraz světa se ve 20. století zcela změnil formulováním kvantové teorie. Její základy položil roku 1900 německý fyzik Max Planck svou hypotézou o nespojitém vyzařování elektromagnetické energie v množstvích, která jsou celočíselnými násobky elementárního „kvanta“. Mnohé fyzikální veličiny, o nichž se do té doby předpokládalo, že jsou donekonečna dělitelné, jako světlo, záření, energie, se ve skutečnosti mohou přenášet a měřit pouze v jednotlivých dávkách. Za své objevy

získal Planck v roce 1918 Nobelovu cenu. V Planckově díle pokračoval francouzský fyzik Louis de Broglie, který budoval především vlnovou mechaniku navazující na kvantovou teorii (Nobelova cena 1929). Za práce v oboru vlnové mechaniky získali stejnou cenu v roce 1933 rovněž rakouský fyzik Erwin Schrödinger a jeho britský kolega Paul Dirac.

Celé kolosální dílo završil v roce 1927 německý fyzik Werner Heisenberg svým známým principem neurčitosti. Také on v roce 1932 obdržel Nobelovu cenu. Z podstaty jevu, a nikoliv pro nedokonalost lidského poznání nelze v mikrosvětě předpovědět ani běh věcí příštích, ani přesně určit izolované veličiny. S čím větší přesností určíme například polohové souřadnice částice, tím větší je neurčitost její hybnosti, tedy hmotnosti, rychlosti a směru pohybu. A platí to také naopak. Podobné je to při určování energie částice a momentu času. V jedné souřadnicích vidíme elektron jako bod na určitém místě, v jiných jej pozorujeme jako vlnění, které zaujímá určitou část prostoru. K tomu přistupuje nemožnost oddělit pozorovatele a jeho nástroje od pozorovaného systému. Procesy v mikrosvětě nelze plně „objektivizovat“. Každé pozorování znamená zásah do průběhu dění a účast v něm. Pozorovatel je tak spíše účastníkem, který pro pozorovanou změnu musí určit její souřadnice a podmínky. Táže-li se na částicovou povahu elektronu, elektron odpoví jako částice, táže-li se na jeho vlnový charakter, elektron odpoví jako vlna. V mikrosvětě se změnila i klasická kauzalita a determinismus. Byly nahrazeny statistickou pravděpodobností.

Z řady dalších vědců, kteří přispěli k budování kvantové teorie, je nezbytné jmenovat alespoň německého fyzika Maxe Bornu, nositele Nobelovy ceny za fyziku z roku 1954. Naproti tomu nesmiřitelným odpůrcem kvantové mechaniky a obhájcem klasického fyzikálního determinismu zůstal až do své smrti tvůrce teorie relativity, Albert Einstein. Často bývá citován jeho výrok „Hospodin s vesmírem nehraje v kostky“.

Kvantová teorie byla dílem velmi mladých lidí. V roce 1925 bylo Werneru Heisenbergovi 24 let, Paulu Dirakovi 23 let, Enrikovi Fermimu 25



*Johnny Werbrouck:
Albert Einstein,
bronz, De Haan, Belgie, 2006*

let, Pascualu Jordanovi 23 a Wolfgangovi Paulimu 25 let. O něco starší byli pouze Erwin Schrödinger (38) a Max Born (43).

Kvantový svět je skutečně jinou říší, než na jakou jsme zvyklí ze svého makrosvěta a v jakém se pohybuje klasická fyzika. Ani prostředky našeho jazyka, naše běžné pojmy a představy, nejsou dostatečné k jeho zachycení. Adekvátně jej můžeme vyjádřit toliko prostřednictvím matematických instrumentů, aniž popisované jevy někdy můžeme spatřit nebo si je umíme názorně představit. To klade vysoké nároky i na kvalifikované fyziky. Zatímco chování elementárních částic nelze obvyklým jazykem dostatečně popsat, řeč matematiky zůstává k takovému popisu nadále zcela přiměřená. Uplatňuje se v ní zejména teorie operátorů, teorie grup, funkcionální analýza, maticová statistika a další podobné disciplíny.

Atomy a částice

Ústředním pilířem kvantové mechaniky je stavba atomu, především toho nejjednoduššího, atomu vodíku. Ten se skládá z velmi hmotného jádra tvořeného jedinou hutnou, kladně elektricky nabitou částicí – protonem. Kolem protonu se pohybuje v relativně obrovské vzdálenosti nepatrná částice záporně elektricky nabitá, označovaná jako elektron. Ten si však v kvantové mechanice nemůžeme představovat jako planetu kroužící kolem jádra – Slunce. Je to spíše neurčitý rozostřený oblak kmitající kolem atomového jádra. Lze jej považovat za pravděpodobnostní vlnu, jejíž délka je přímo úměrná její rychlosti. Neexistuje nějaká „dráha“ elektronu v běžném smyslu tohoto slova. Místo toho se používá pojem „orbital“ (orbit), což je oblast nejpravděpodobnějšího výskytu elektronu. Orbitaly atomů se nemohou vyskytovat v libovolných vzdálenostech od atomového jádra, ale toliko ve vzdálenostech přesně stanovených. Elektron může obsazovat pouze takové orbitaly, na nichž jeho moment hybnosti nabývá jedné ze stanovených přetržitých hodnot. Délka některých orbitalů je pak celočíselným násobkem vlnové délky elektronu. Dráhy, jejichž délka není celočíselným násobkem vlnové délky, se ve struktuře atomů nerealizují, „nejsou přípustné“.

Stejný elektron může přestupovat z jednoho „povoleného“ orbitalu na orbital jiný. K takovému přestupu je však zapotřebí vykonat práci, aby byla překonána přitažlivá síla, kterou působí atomové jádro na elektron. Jestliže elektron přechází z nižšího orbitalu na orbital vyšší,

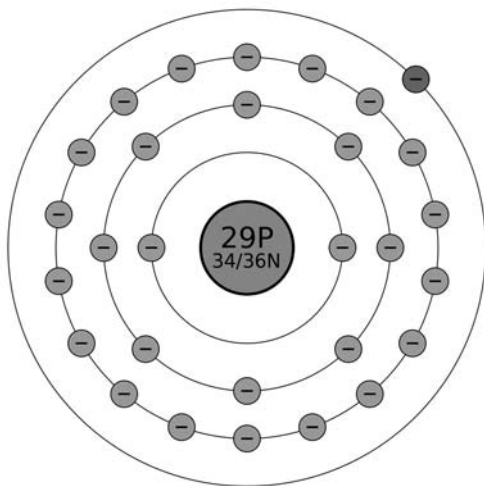
musí mu být určité kvantum energie dodáno. A naopak. Přechází-li z vyššího orbitalu na nižší, energie se uvolňuje a musí být vyzářena. Elektrony nejprve obsazují orbitály s menší energií. Při přestupu z jednoho orbitalu na orbital jiný elektron buď pohlcuje, nebo emituje světelné kvantum, označované jako foton, jehož frekvence odpovídá rozdílu energií na obou orbitalech.

Konkrétní atom je jako celek elektricky neutrální, neboť kladně nabité protony v atomovém jádře jsou neutralizovány stejným počtem záporně nabitých elektronů na orbitalech. Na celkové hmotnosti atomu mají elektrony zcela nepatrný podíl. Ale dodávají jim mechanickou pevnost a vytvářejí potřebné vazby pro tvorbu molekulárních struktur a chemických reakcí.

V jádrech atomů se mohou vyskytovat ještě další částice, které však nemají elektrický náboj. Jsou elektricky neutrální, proto se nazývají „neutrony“. Mají

téměř stejnou hmotnost jako protony. Počet protonů v jádře určuje, o jaký prvek se jedná. Počet neutronů rozhoduje o tom, jaký izotop daného prvku máme před sebou. Bylo již řečeno, že v atomu nejjednoduššího a ve vesmíru nejrozšířenějšího prvku – vodíku – obíhá kolem jednoho protonu jeden elektron. Jestliže do atomového jádra vodíku přistoupí jeden nebo dva neutrony, jedná se stále o vodík s jeho charakteristickými chemickými vlastnostmi, neboť v jádře stále zůstává jediný kladně nabitý proton. Ale po přistoupení dalších neutronů jde již o izotopy prvku, které se neliší chemickými, ale fyzikálními vlastnostmi. Atomové jádro bez neutronu a s jediným protonem představuje nejběžnější lehký vodík; vzácnější deuterium má v jádře dva nukleony, totiž jeden proton a jeden neutron, a nesmírně vzácné tritium obsahuje kromě jednoho protonu dva neutrony, tedy tři nukleony. Oba posledně jmenované izotopy jsou velmi důležité pro umělé jaderné reakce.

Pro větší názornost si představme atomové jádro jako misku, v níž



Jediný elektron ve vnější slupce atomu mědi je příčinou její dobré elektrické vodivosti

je jeden či více pomerančů, které představují kladně nabitě protony. K nim může být přidán jeden či více tenisových míčků – elektricky netečných neutronů. Ve vzdálenosti asi sto metrů až kilometr od nich spíše slyšíme než vidíme bzučet jednu, ale také několik desítek nepatrných mušek octomilek – záporně nabitých elektronů. Jejich počet musí odpovídat počtu pomerančů – kladně nabitých protonů v jádře. O tenisové míčky octomilky zájem nejeví. Hmota, z níž se náš svět skládá, je vytvářena převážně prázdným prostorem. Jaderné síly, které vzájemně poutají naše pomeranče a míčky ve společné misce, jsou obrovské. Jsou asi milionkrát silnější než síly, kterými jsou k jádru vázány elektrony. Proto také jaderný výbuch svou silou mnohonásobně převyšuje výbuch chemických sloučenin.

Z uvedeného vyplývá, že veškerá látka je tvořena třemi druhy částic – protony, elektrony a neutrony. Kromě nich je však znám velký počet dalších částic a každým rokem přibývají nové. Všechny jsou však nestabilní a záhy se rozpadají. Většina byla zjištěna v kosmickém záření, některé byly také uměle vytvořeny v obřích urychlovačích. Dnes je již tolik experimentálních poznatků o různých typech částic, že se je podařilo roztrždit do podobné klasifikace, jakou je známá Mendělejeva tabulka chemických prvků. Částice mají nejrůznější charakteristiky, hmotnost a životnost, a dělí se do různých tříd a skupin. Pro všechny je však příznačné, že kromě životnosti a hmotnosti jsou všechny jejich další vlastnosti kvantovány. Nabývají pouze takových hodnot, které jsou celistvými násobky základního kvanta dané veličiny.

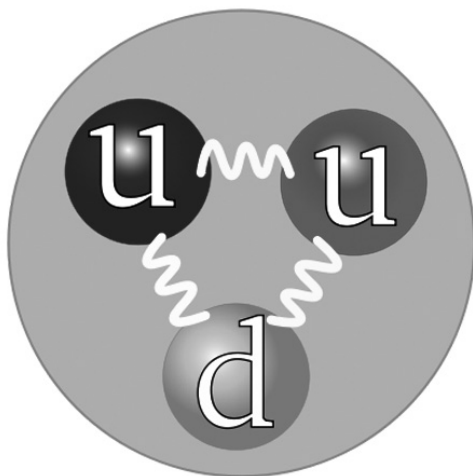
K nejdůležitějším kvantovým charakteristikám patří „spin“, který vyjadřuje počet možných orientací částice v prostoru. Spin si můžeme představit jako rotaci částic kolem své osy, podobně jako se točí dětská káča nebo vlček. Elektron se spinem $\frac{1}{2}$ nevypadá stejně po jedné otočce, ale teprve po dvou. Je to moment hybnosti částice. Poločíselný spin mají takzvané fermiony, k nimž patří zejména elektrony, protony, neutrony a neutrino. Naproti tomu částice s celočíselným spinem jsou označovány jako „bosony“. Takovými částicemi jsou zejména fotony (pro elektromagnetickou interakci), hypotetické gravitony (pro gravitaci) a gluony (pro silnou interakci působící uvnitř atomového jádra).

Není to tak dávno, co byly atomy považovány za dále nedělitelné částčky hmoty. Později převzaly tuto úlohu elementární a subatomární částice. Dnes převážná část vědecké obce uznává, že také subatomární částice – s výjimkou některých částic velice lehkých, jakou je např. fo-

ton – jsou složené elementy, sestavené z takzvaných „kvarků“. Celkem bylo zatím objeveno šest kvarků, základních stavebních kamenů elementárních částic. Také objevy kvarků provázelo udílení Nobelových cen. Americkému fyzikovi Murraymu Gell-Mannovi v roce 1969, jeho americkým kolegům Burtonu Richterovi a Samueli Tingovi v roce 1976.

V roce 2004 dostali Nobelovu cenu za poznání sil, které ovlivňují chování kvarků, tři američtí vědci: David Gross, David Politzer a Frank Wilczek. Gross začátkem sedmdesátých let 20. století uložil svému studentu Wilczekovi, aby v rámci své doktorandské práce vyvrátil některé závěry, které vyplývaly z kvantové mechaniky. Wilczek ale naopak prokázal, že závěry jsou správné, a přesvědčil o tom i Grosse. Oba pak vypracovali hypotézu o chování kvarků. Společně s dalším studentem, Davidem Politzerem, publikovali v roce 1973 výsledky svých prací. Jejich hypotéza byla počátkem nového tisíciletí potvrzena v CERN, největší světové laboratoři pro výzkum jaderných částic v Ženevě. V době publikace jejich objevu bylo Wilczekovi 22, Politzerovi 24 a Grossovi 32 let.

Interakce mezi kvarky se odehrává v atomových jádrech, uvnitř protonů a neutronů. Je označována jako silná jaderná interakce a má zvláštní charakter. Kvarky se chovají proti „zdravému rozumu“. Jakmile se k sobě přiblíží, síly mezi nimi se zmenšují. Jestliže se vzdalují, vzájemné síly rostou. Chovají se podobně, jako by byly navázány na gumovém vlákne. Částice, které tuto silnou interakci zprostředkují, byly ostatně nazvány „gluony“, podle anglického výrazu pro lepidlo. Tím má být zdůrazněno, že tyto částice drží kvarky uvnitř protonu či neutronu. Kvarky proto nemohou atomové jádro opustit. Síly mezi kvarky a gluony působí opačně než elektromagnetické síly mezi elektrickými náboji. V tom je koneckonců příčina stability našeho hmotného světa. Kvarky nemohou existovat izolovaně. Po dvojicích či trojicích jsou obsaženy ve vyšších seskupeních – hadronech. Mezi hadrony patří i protony a neutrony.



Kvarková struktura protonu

Rozměry struktur na cestě od atomů ke kvarkům se zmenšily více než desetimilionkrát. Přitom se na všech těchto úrovních potvrdily všechny zákony kvantové mechaniky, jakkoli se zdají podivné a nepochopitelné.

V důsledku své povahy nejsou kvarky za nynějších podmínek ve vesmíru schopny samostatné existence. Předpokládá se, že jako volné částice existovaly jen po zlomek sekundy po velkém třesku, při němž asi před 13,7 miliardy let vznikl dnešní vesmír. Zatímco na skladbě některých lehkých částic (elektrony, neutrino, některé mezony) se kvarky nepodílejí, svými různými kombinacemi vytvářejí těžké částice, jako jsou protony, neutrony, hyperony, některé mezony a další hadrony. Soubor šesti základních kvarků se však dá rozdělit ještě do podskupin, takže vcelku vznikne 36 stavebních kamínků, jejichž různými kombinacemi lze popsat širokou škálu dnes známých elementárních a subatomárních částic. Tak například proton je složen ze dvou kvarků *u* (*up*) a jednoho kvarku *d* (*down*), neutron ze dvou kvarků *d* a jednoho kvarku *u*.

Jaké názory na složení veškeré látky ve vesmíru převládají? Velice stručně řečeno, asi takové: Základními kameny jsou kvarky a lehké elementární částice (leptony). Kombinací kvarků vzniknou těžké elementární částice (hadrony). Z nejstabilnějších a nejběžnějších hadronů – protonů a neutronů – jsou pak vytvářena atomová jádra. Jestliže se na orbitály atomových jader přidají elektrony, vzniknou atomy a s nimi také prvky – základní nositelé chemických vlastností.

Kromě standardních představ o vesmíru a uspořádání hmoty se ovšem objevují indicie o jiných možných alternativách, které však byly v kosmické evoluci pominuty.

Paul Dirac koncem roku 1927 svými výpočty předpověděl možnou teoretickou existenci elektronu s opačným elektrickým nábojem. Za několik let nato, v roce 1932, poprvé pozoroval takovou částici v mlžné komoře při studiu kosmického záření americký experimentální fyzik Carl David Anderson. Bylo mu tehdy 27 let. Dal jí jméno pozitron. Ten má s elektronem stejný spin $\frac{1}{2}$, stejnou hmotnost, ale na rozdíl od něho má kladný elektrický náboj. V roce 1936 mu tento objev přinesl Nobelovu cenu.

Pozitron je antičástice elektronu. Při srážce elektronu s pozitronem vznikají fotony a původní částice anihilují, mizí. Při anihilaci se hmotnost obou částic přemění téměř stoprocentně v energii v podobě dvou fotonů záření gama.

Od antielektronu čili pozitronu byl již jen krůček k hypotéze, že v kvantové fyzice existuje ke každé částici její antičástice, která má stejnou hmotnost, životnost, spinové číslo, ale všechny další kvantové charakteristiky mají opačné znaménko, např. jiný elektrický náboj, baryonové číslo, leptonové číslo, magnetický moment, podivnost. Antičástice vznikají kdekoli ve vesmíru, kde dochází ke srážkám částic s velmi vysokou energií.

Podle současných představ kvantové fyziky má každá částice svou antičástici. Výjimku tvoří ty z nich, jejichž všechny aditivní kvantové charakteristiky jsou rovny nule (elektrický náboj, baryonové číslo, leptonové číslo, podivnost). Takové jsou foton nebo pion, které jsou svými vlastními antičásticemi.

Antičástice protonu, označovaná jako antiproton, byla objevena v roce 1955 na urychlovači protonů s velmi vysokou energií (až šest miliard eV) při interakci protonů s jádry mědi. Antiprotony jsou stabilní, ale mají krátkou životnost, neboť záhy anihilují s protony. Objevil je americký fyzik italského původu Emilio Gino Segré a jeho americký kolega Owen Chamberlain. Za tento objev oba získali v roce 1959 Nobelovu cenu za fyziku.

Objev další základní antičástice, antineutronu, na sebe pak nedal dlouho čekat. Již za rok po antiprotonu objevil antineutron v roce 1956 americký fyzik Bruce Cork. Antineutron má stejnou hmotnost jako neutron, ani on nemá elektrický náboj, ale je složen z antikvarků a má opačný magnetický moment.

Odtud nebylo již daleko k představě antihmoty, složené z antiprotonů, antineutronů a antielektronů, tj. z pozitronů. Antihmota se skládá pouze z antičástic. Má stejnou hmotnost a spin jako běžná hmota, podléhá rovněž gravitaci, ale má opačný elektrický náboj a všechna vnitřní kvantová čísla mají opačné znaménko než částice. V nepatrném množství je možno antihmotu vyrobit uměle. V urychlovači CERN v Ženevě se v roce 1995 podařilo vyrobit devět atomů antivodíku a podobný experiment se krátce nato zdařil také ve Fermiho laboratoři v Chicagu, kde vyrobili asi sto atomů antivodíku. V dubnu 2011 se podařilo Ženevě udržet při jednom stupni kelvina tři sta devět atomů antivodíku po dobu sedmnácti minut. V jádrech antivodíku jsou záporné antiprotony, kolem nichž obíhají kladně nabitě pozitrony.

Co nastane, když se střetne běžná hmota s antihmotou, běžná částice s antičásticí? Dojde k takzvané anihilaci, při níž původní částice zcela

zanikají. Uvolňuje se nepředstavitelné množství energie, které více než desetinásobně převyšuje množství energie produkované při výbuchu vodíkové bomby. Téměř sto procent hmotnosti se mění v energii podle známého Einsteinova vzorečku. Jaké to pokušení pro konstruktéry stále ničivějších zbraní.

Království chemie

V kvantové mechanice má výjimečné postavení atomové jádro. Jak již bylo řečeno, skládá se z protonů a neutronů. Představuje prakticky celou hmotnost atomu a je drženo pospolitě pouze jadernými přitažlivými silami, které jsou velmi mohutné a krátkodosahové. Jádra atomů jsou u většiny prvků velmi stálá. Málo stabilní jsou pouze jádra některých prvků s největším počtem protonů, především prvků člověkem uměle vytvořených. Každé atomové jádro lze charakterizovat počtem protonů a neutronů (souhrnně nazývaných nukleony), z nichž se skládá. (V případě našeho přirovnání počtem pomerančů a tenisových míčků na misce atomového jádra.) Na misce běžného uhlíku bychom například našli šest pomerančů a šest míčků.

Existují však ještě další, poněkud vzácnější jádra atomů uhlíku, kde je větší počet neutronů. Ty jsou označovány jako izotopy. Odlišný počet neutronů v jádru chemického prvku nemění chemické vlastnosti atomu, protože nemá vliv na počet elektronů, které kompenzují elektrický náboj jádra. Izotopy mají sice stejné chemické vlastnosti, ale liší se vlastnostmi fyzikálními, např. svou stálostí, hmotností, bodem tání a varu. Chemické vlastnosti atomů závisejí toliko na počtu protonů v jeho jádře a s ním souvisejícím množství elektronů na orbitalech. Neutron nemá elektrický náboj, a proto nemůže přispívat k náboji jádra. Přispívá však k jeho hmotnosti. Izotopy prvků s odlišným počtem neutronů v jádře se chemicky chovají stejně jako typický prvek. Proto se jejich vlastností využívá například v lékařské diagnostice nebo při určování fosilních a archeologických nálezů. Odlišit a izolovat se totiž dají některými vlastnostmi fyzikálními.

Izotop radia z českého Jáchymova, na němž učinili své objevy manželé Pierre Curie a Marie Curieová-Sklodowská, za které dostali v roce 1903 Nobelovu cenu, obsahoval 226 nukleonů: 88 protonů a 138 neutronů. Radium je nestabilní a štěpí se posléze na jádra radonu o 136

neutronech a 86 protonech. Radon sám o sobě je ovšem rovněž značně nestabilní.

Většina chemických prvků má atomová jádra stabilní a spontánně nepřechází z jedné konfigurace do druhé. Existují však také jádra málo stabilní, jako je tomu zejména v případě uranu. Taková jádra se samovolně rozpadají tím, že vyzařují částice, mění počet protonů v jádře, a tím zároveň chemickou povahu celého atomu. Nestabilní radioaktivní uran se tak postupně změní až ve stabilní olovo.

Samotná atomová jádra bez elektronových obalů se zpravidla vyskytují pouze při vysokých teplotách v nitru hvězd nebo uvnitř atomového výbuchu. V podmínkách našeho makrosvěta se setkáváme převážně s elektricky neutrálními atomy, u nichž počet elektronů na orbitalech odpovídá počtu protonů v atomovém jádru. Existují ovšem výjimky, například za vysokých teplot nebo ve zředěném prostředí, kdy některé elektrony z orbitalů samovolně unikají a zanechávají po sobě elektricky nabitě, ionizované atomy. Ty se běžně vyskytují ve velkých výškách nad zemí, kde tvoří elektricky vodivou atmosféru, čímž umožňují odraz elektromagnetických vln. Jsou také zcela běžnou součástí hvězdných atmosfér.

Atomy daného chemického prvku mají stejný počet protonů v atomovém jádře. Tímto tzv. protonovým číslem se také jednoznačně zařazují do definované pozice mezi ostatní prvky, počínaje nejjednodušším vodíkem s protonovým číslem jedna a konče nejtěžším prvkem, který se vyskytuje v přírodě, totiž uranem. Ten má ve svém jádře 92 protonů. Do současné doby bylo ovšem v laboratořích uměle připraveno dalších 26 prvků. Nejtěžší z nich má 118 protonů v jádře. Byl vyroben spojeným úsilím fyziků z Ústavu pro jaderný výzkum v Dubně a jejich kolegů z Národní laboratoře Lawrence Livermora v USA v roce 2008. Dostal jméno ununoctium, chem. značka Uuo. Všechny tyto takzvané transurany jsou radioaktivní. Ty nejtěžší se samovolně rozpadají prakticky okamžitě po svém vzniku a byly vyrobeny v množství jednoho či několika atomů.

Kladný elektrický náboj protonů v atomovém jádře je vyrovnáván odpovídajícím počtem záporně nabitých elektronů, které kolem jádra obíhají. Elektrony jsou vrstevnatě uspořádané do orbitalů, které kolem jádra vytvářejí slupky nikoliv nepodobné slupkám cibule. Počet elektronů, jejich rozmístění a jejich vzájemné vztahy se řídí složitými zákonitostmi kvantové mechaniky. Ty rozhodují o chemických vlastnostech

že uspořádání elektronového obalu je závislé na struktuře atomového jádra, vlastnosti prvků jsou periodicky závislé na počtu protonů v jádře. Prvky uspořádané do stejného sloupce periodické tabulky mají v nejvzdálenějším orbitalu stejný počet elektronů, a proto také mají podobné chemické vlastnosti. V každém orbitalu existuje omezený počet míst. Je-li tento počet naplněn, musí další elektron přeskočit do nejbližšího orbitalu vyššího.

Mezi elektrony mají výjimečné postavení takzvané elektrony valenční. Ty se vyskytují v orbitalech s největší energií. U některých prvků, zvaných nepřechodné, jsou umístěny pouze v poslední, od jádra nejvzdálenější elektronové slupce. U jiných prvků obsazují předposlední vrstvu nebo jinou, kvantovou mechanikou přesně definovanou slupku. Valenční elektrony mají nesmírnou důležitost při sdružování atomů do molekul. Jsou důležité i při vzniku iontů – atomů, které ztratily nebo získaly navíc jeden či více elektronů, a tím přestaly být elektricky neutrální. Atom či skupina atomů s takzvaným volným nebo nepárovým elektronem zpravidla vytváří velmi reaktivní a pro chemiky velice důležitý nestabilní meziprodukt. Jestliže dodáme dostatečně velkou energii, můžeme totiž elektron od atomu odtrhnout. Z elektricky neutrálního atomu (nebo skupiny atomů) tímto způsobem vznikne kladně nabitá částice, označovaná jako kation. Elektricky neutrální atom však může do svých neúplně obsazených orbitalů další elektrony také přijmout. Taková částice má záporný elektrický náboj a nazývá se anion. Oba tyto procesy jsou spojeny se změnou energie a s pohybem elektronů v orbitalech. V elektrickém poli putuje kation k záporné elektrodě, anion k elektrodě kladné. Společným názvem pro ně jsou již zmíněné ionty.

Částice v atomech na sebe působí především elektrickými silami, v nichž se opačné náboje přitahují a shodné náboje odpuzují. Elektrony jsou tedy přitahovány atomovým jádrem a ostatními elektrony jsou navzájem odpuzovány. To platí i pro sousední atomy. Mezi nimi tak vznikají dva různé typy vazeb. U vazby prvního druhu přechází elektron od jednoho atomu k druhému, aby tam doplnil téměř uzavřený elektronový orbital. Tímto krokem se z obou atomů stanou ionty a získají elektrický náboj. Protože náboje takových atomů mají opačné znaménko, tyto atomy se vzájemně přitahují. Chemici tento druh vazby označují jako vazbu polární neboli iontovou, protože vzniká pomocí iontů. Při vzniku kuchyňské soli se atom sodíku vzdává elektronu a chlor tento

elektron přebírá. Oba atomy se stávají ionty, tj. získávají elektrický náboj, a vzniká chlorid sodný. Právě pro tuto elektrickou přitažlivost drží molekula soli pevně pohromadě. V roztoku jsou ionty od sebe odděleny působením rozpouštědla. Iontové vazby jsou elektrostatické a uplatňují se převážně v anorganických látkách.

Pro látky organické, obsahující uhlík, je příznačná vazba kovalentní (nepolární). U této vazby obíhá elektron kolem dvou atomových jader tak, že se střídavě nachází v jednom a vzápětí v druhém atomu. Dva elektrony si rychle vyměňují dráhy mezi dvěma atomy, které tak sdílejí oba elektrony současně, a tím jsou k sobě poutány. Atomy mohou ovšem sdílet i více elektronových párů a vytvářet tak vazby vyšších stupňů. Jeden sdílený elektronový pár vytváří vazbu jednoduchou, dva páry vazbu dvojnou a tři sdílené páry trojnou. Všechny organické látky včetně lidského těla drží pohromadě převážně kovalentními vazbami.

Těmito typy chemických vazeb, mezi nimiž se vyskytují nejrůznější přechody a které jsou popisovány složitými rovnicemi kvantové mechaniky, se nakonec z necelé stovky prvků vytvářejí nejrozmantější struktury, jež jsou předmětem studia fyziky a chemie. Chemické vazby tedy vznikají vytvářením uzavřených skupinek různých atomů. Všechny chemické vlastnosti atomů a molekul jsou určovány interakcemi, a to jak elektronů mezi sebou, tak i vzájemnými interakcemi elektronů s atomovými jádry. Prostřednictvím kvantové mechaniky splynula fyzika a chemie v naprostou jednotu. Chemická vazba není nic jiného než sdružování atomů nebo iontů do větších celků, jako jsou molekuly, krystaly a další. Uvedená schopnost úzce souvisí se strukturou elektronových obalů. Takto vytvořené molekuly a další vyšší struktury jsou stabilnější než volné atomy, neboť obsahují nižší hladinu energie. Jako celek je potom molekula elektricky neutrální. Při chemických reakcích atomy nevznikají ani nezánikají, pouze se přeskupují z molekuly do molekuly.

Chemická vazba mezi atomy různých prvků je pak vysvětlována právě jako vzájemné působení mezi vnějšími elektrony v orbitalech sousedních atomů. S atomovým jádrem nemá chemická vazba bezprostředně nic společného, neboť toto se podílí na chemickém chování atomu toliko nepřímo: svým elektrickým nábojem, na němž závisí počet elektronů v elektricky neutrálním atomu. Změny chemických vazeb během chemické reakce jsou vždy spojeny s energetickými změnami. Energie potřebná k rozštěpení chemické vazby je stejná jako energie, která se při vzniku této vazby uvolňuje. Elektrony na společném orbita-

lu mají totiž nižší energii, a jsou proto stabilnější než elektrony volných, chemicky nevázaných atomů.

Naprostá většina změn, které pozorujeme kolem sebe, souvisí tak či onak s chemickými ději. Chemické reakce probíhají při přeměnách živé i neživé přírody. Přitom zanikají chemické vazby ve výchozích látkách a vznikají jiné vazby v nových produktech. Podobně jako v termodynamice se také v chemické kinetice účastní všech procesů astronomický počet částic. Veškerá rozmanitost chemických dějů spočívá na elektromagnetické interakci v elektronových orbitalech. Totéž platí o pevnosti, pružnosti a dalších fyzikálních charakteristikách pevných těles, kapalin i plynů. Na atomové a molekulární úrovni se fyzika a chemie plynule propojují.

Rovněž molekuly mohou být navzájem elektronicky provázané nebo mohou být relativně izolované. První typ spojení je příznačný pro pevné látky, v nichž jsou atomy a molekuly spoutány do pevných struktur. Proto se také použitím mechanické síly posune celé těleso. Naproti tomu látky ve skupenství kapalném mají sice molekuly natěsnány u sebe, ale chybí jim vzájemná svázanost. Proto silové působení na část kapaliny samo o sobě celým jejím objemem nepohne. Kapaliny snadno mění tvar, ale objemově jsou poměrně stálé. V plynném skupenství jsou molekuly rozptýlené v prostoru a vzájemně se příliš neovlivňují. Snadno tedy mění tvar i objem.

Pohybovou energii atomů a molekul vnímáme v makroskopickém světě jako teplo. Na tomto principu například funguje v domácnostech běžně používaná mikrovlnná trouba. Elektromagnetické vlnění o kmitočtu několika miliard kmitů za sekundu rozehřeje v potravinách molekuly vody, tuků a cukrů. Ty pak na sebe narážejí, čímž vyvolávají žádoucí teplotu. Výsledkem je, že se pokrm rychle ohřeje zevnitř, a nikoliv jen na povrchu. Protože mikrovlny působí jen na materiály, které mají dostatečně polarizované a volně pohyblivé molekuly, zůstávají porcelánový talíř nebo plastová krabice poměrně chladné.

Již kolem roku 1827 pozoroval skotský biolog Robert Brown pod mikroskopem náhodné trhavé pohyby pylových zrněk rozptýlených na vodní hladině. Čím menší byly částičky a čím byla tekutina teplejší, tím byl chaotický pohyb rychlejší. S objasněním tohoto jevu přišel až o sto let později Albert Einstein, který tento tzv. Brownův pohyb vysvětlil náhodnými srážkami rozptýlených částic s molekulami vody. Teplota je dnes chápána jako průměrná energie a rychlost neuspořádaných

pohybů a kmitů molekul, atomů a elementárních částic. Jinak řečeno je to míra chaosu v mikrosvětě. Stav, kdy mají tyto atomové struktury nejnížší energii, jakou připouštějí zákony kvantové mechaniky, je označován jako absolutní teplotní nula. Tato nejnižší možná teplota odpovídá teplotě -273,15 stupňů Celsia. Experimentálně je nedosažitelná a z látek ochlazených na blízkost absolutní nuly nelze žádným způsobem zbytek tepelné energie odčerpát.

Molekuly vytvářejí vyšší struktury, především krystaly a koloidy. Z nich se pak formují ještě vyšší celky, které již vnímáme lidskými smysly. V krystalech jsou atomy uspořádány do pravidelných trojrozměrných mřížek. V kovech se krystaly tvoří tehdy, jsou-li atomy stěsnány tak hustě, že vnější elektrony opouštějí své orbitály a mohou putovat celým kusem kovu. Ke kovovým prvkům patří více než 75 % všech prvků Mendělejevova periodického systému. Mezi kovy a nekovy však není ostrá hranice. U mnohých prvků ze střední části periodické soustavy lze nalézt některé vlastnosti jak kovů, tak nekovů. V praxi se ovšem zcela dokonalé krystalové mřížky kovů nikdy nedosáhne, ale lze ji zdokonalit takzvaným žháním, dobře známým kovářům a hutníkům. Zahříváním se atomy v mřížce chvějí, a jakmile chladnou, jejich chvění se zmenšuje a atomy se srovnávají podle svých sousedů. Tím se mřížka v kovu stává dokonalejší. Toto uspořádání se ovšem omezuje jen na určitou doménu, která nemusí být v rámci celku v rovnováze s oblastmi sousedními. Popsaným způsobem vzniká takzvaná kovová vazba, jejíž podstatou je rovněž překrývání valenčních orbitalů jako u vazby kovalentní. Ve struktuře kovu přispívá atom jedním nebo více elektrony k celkové architektuře, přičemž tyto elektrony volně protékají celou doménou, v níž všechny atomy dané látky sdílejí všechny valenční elektrony namísto toho, aby měly účast jen v jejich jednotlivých párech. Vazebné orbitály tak vytvářejí jediný elektronový pás, v němž jsou přítomné volné pohyblivé elektrony. Ty dávají látce specifické kovové vlastnosti.

Elektrina, magnetismus, záření

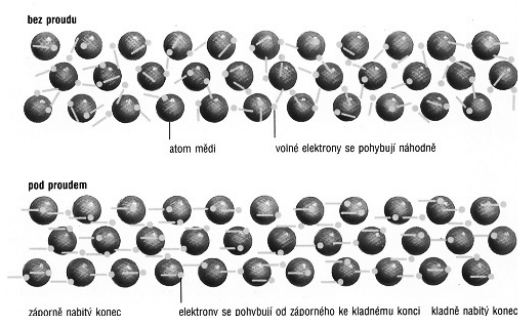
Právě tyto procesy v krystalové mřížce kovů vytvářejí vodivost pro elektrický proud. Jestliže kovový vodič připojíme k elektrickému napětí, dojde v něm k unášivému usměrněnému pohybu elektronů. Stejně jako podstatu elektrického proudu objasnila kvantová mechanika

mnoho dalších procesů probíhajících na atomární úrovni. Ty byly využity v konstrukci polovodičových diod, tranzistorů, laserů a mnoha dalších technických objevů spotřební elektroniky.

Elektrické jevy úzce souvisejí s jevy magnetickými. Protékající elektrický proud vytváří magnetické pole a změny magnetického pole naopak vyvolávají elektrický proud. Jestliže přiložíte stříčku kompasu poblíž vodiče, jímž protéká elektrický proud, stříčka se vychýlí. Elektřina a magnetismus jsou v kvantové teorii považovány za různé projevy téže elektromagnetické síly. Elektron při svém pohybu v orbitálu prochází uzavřenou křivkou, a získává tak určitý magnetický moment. V některých kovech, jako je železo a nikl, tímto způsobem vzniká spontánní magnetizace. Při krystalizaci těchto kovů se vytvářejí magnetické domény, v nichž se magnetické momenty atomů sčítají. Každá doména má pak určitý magnetický moment, ale jednotlivé domény bývají orientovány náhodně, a proto se jejich magnetický moment vzájemně vyruší. Navenek u nich žádné magnetické pole nepozorujeme. Původ magnetismu ve feromagnetických látkách tedy spočívá v otáčivém pohybu elektronů. Tyto miniaturní

atomové magnety se vlivem meziatomových sil snaží orientovat do stejného směru. Pouze u feromagnetických látek však meziatomové vzdálenosti umožňují uvedenou orientaci a vytváření domén se stejným magnetickým momentem. Doména obsahuje několik tisíc atomů, jejichž magnetické momenty jsou orientovány stejným směrem. Jestliže takovou feromagnetickou látku vložíme do magnetického pole, domény se zorientují jedním směrem a látka se zmagnetizuje. Čím více domén se souhlasně orientuje, tím je magnet silnější. Jestliže takto zmagnetizovanou látku například zahřejeme, stejnou orientaci domén narušíme, a látka magnetických vlastností pozbude.

Pohyb elektrických nábojů vytváří další důležitý jev, jímž je elektromagnetické záření. Všechny elektromagnetické vlny se šíří rychlostí světla, tedy asi 300 000 km za sekundu (299 792 km ve vakuu).



*Podstata elektriny:
uspořádáním volných elektronů
vzniká elektrický proud*

Podstatou elektromagnetického záření je šíření změn elektromagnetického pole. Jednotlivé druhy záření se navzájem odlišují především svou vlnovou délkou a kmitočtem. Elektromagnetické pole putuje trojrozměrným prostorem, podobně jako se šíří dvojrozměrné vlny po hladině rybníka, do něhož padl kámen. Všechny druhy elektromagnetického záření mají vlnový charakter a jejich společnou vlastností je přenos energie. Podle intervalů vlnových délek jsou všechny druhy záření zařazeny do elektromagnetického spektra, které vyjadřuje strukturu tohoto záření a poskytuje podobně uspokojivé a přehledné třídění, jako to na úrovni atomů činí Mendělejevova periodická soustava prvků. Každé vlnové délce odpovídá určitý kmitočet, určitá energie jednoho kvanta záření, charakteristická teplota a energie jednoho fotonu. Čím kratší je vlnová délka, tím větší bývá kmitočet záření, energie jednoho fotonu i charakteristická teplota.

Největší vlnovou délku mají rozhlasové vlny s amplitudovou modulací, s obvyklými délkami několika stovek metrů. Jsou ovšem známy také rádiové vlny s vlnovou délkou až několik set tisíc kilometrů. Televizní vlny a velmi krátké vlny rozhlasové se pohybují v pásmech desítek centimetrů až metrů. Centimetrové pásmo obsazuje mikrovlnné záření a vlny s délkou tisícín centimetru patří záření infračervenému. Většina těles při pokojové teplotě vysílá infračervené záření, které okem nevnímáme, ale které jsou schopny zaznamenávat infračervené kamery a přístroje pro noční vidění. Okem viditelné světlo ve spektru elektromagnetického záření zaujímá poměrně úzkou výseč od 740 nm (červené světlo) do 380 nanometrů (světlo fialové), což odpovídá délce asi 4000 až 8000 atomů. Ještě kratší vlnovou délku v řádu stovek atomů má ultrafialové záření. Pod hranicemi ultrafialového světla je důležitá oblast Roentgenova záření, které má vlnovou délku pouze několika atomů. Nejkratší vlnová délka o velikosti atomu či atomového jádra je vyhrazena nebezpečnému záření gama, které vzniká při radioaktivním rozpadu.

Také zdroje záření potvrzují závislost elektromagnetické radiace na strukturální stavbě hmoty. Záření gama je emitováno při reakcích elementárních částic a při přechodech v atomových jádrech. Roentgenovo záření má svůj původ v přechodech vnitřních elektronů v atomu, zatímco záření ultrafialové v přechodech elektronů vnějších. Podstatu infračerveného záření tvoří kmity molekul. Mikrovlny jsou pak vytvářeny přechody v systémech elektronových spinů. Obdobné přechody v jaderných spinech emitují rádiové a televizní vlny.

Kvantová mechanika

Pohled na záření jako na elektromagnetické vlny je pohledem klasickým. Hlubší je kvantový popis, podle něhož se elektromagnetické záření přenáší v přetržitých dávkách. Elektromagnetické vlny unášejí velké množství energie, ale tato energie je vždy nějakým násobkem konečné veličiny, která je označována jako energie jednoho fotonu. Interakce záření s atomy nebo s atomovými jádry se zpravidla účastní jediný foton, a proto dávají fyzikové přednost částicovému popisu před popisem vlnovým. Fotony mají nulovou klidovou hmotnost a nulový elektrický náboj, přesto nesou energii a hybnost. Podle principu neurčitosti ovšem platí, že se fotony v určitém ohledu chovají jako vlny. Nemají přesně dané polohy, spíše jsou jakoby rozmazány v prostoru s určitým rozložením pravděpodobnosti. Fotony v sobě spojují vlnové i částicové vlastnosti. Stejně jako gravitony nebo neutrina se vždy pohybují rychlostí světla. Není možné je přibrzdit či zpomalit a stanovit velikost jejich hmotnosti ve stavu klidu. U částic s nenulovou klidovou hmotností, jako jsou protony nebo elektrony, to možné je. Podle druhu experimentu, který s nimi provádíme, se fotony chovají buď jako částice, nebo jako vlny. Platí pro ně současně princip přetržitosti i nepřetržitosti. Záleží na souřadnicích experimentu, na vztažném rámci. Tento rozpor je označován jako korpuskulárně vlnový dualismus. Foton jako energetické kvantum záření podléhá zákonitostem kvantového světa. Nelze přesně určit jeho dráhu a místo dopadu, lze jen stanovit pravděpodobnost, s jakou se v určitých bodech prostoru vyskytuje. Je to stěží pochopitelné, ale právě tyto principy tvoří jádro kvantové mechaniky a kvantové teorie vůbec.

Foton je nejmenší kvantum elektromagnetické energie a je dále nedělitelný. Buď projde celý, nebo neprojde vůbec. Na fotony lze pohlížet rovněž jako na kvanta elektromagnetického pole, které umožňují interakci částic pomocí výměny kvant. Jako nejmenší kvanta přenášené energie nejsou ovšem fotony stejné. U různých druhů záření přenáší jeden foton různé množství energie. Rádiové vlny nesou fotony o velmi nízkých energiích. Záření gama je životu nebezpečné právě proto, že je složeno z fotonů o velmi vysoké energii. Velikost nejmenšího fotonem přenášeného kvanta je závislá na vlnové délce záření. Tento vztah je vyjádřen takzvanou Planckovou konstantou. Když elektron v atomu přejde z vyššího orbitalu na orbital nižší, uvolní se určité množství energie,

kteřé je vyzářeno v podobě fotonu. Ten může být pozorován i pouhým okem nebo může být zaznamenán fotografickou emulzí. Je to proces, při němž atomy vyzařují světlo nebo jiné formy elektromagnetického záření. Možný je ovšem i postup opačný, kdy energie fotonu může být atomem absorbována a použita k přemístění elektronu z nižších na vyšší orbitály. Přeskoky elektronů mezi orbitály také vysvětlují, proč různé atomy svítí různobarevným světlem. Energie fotonu totiž úzce souvisí s vlnovou délkou vyzářeného nebo absorbovaného světla. Proto atomy různých prvků září různým, pro ně charakteristickým světlem. Protože žádný ze dvou chemických prvků nemá shodné orbitály, je pro atom každého prvku světelné spektrum tak příznačné, že se používá k detekci prvků ve spektroskopii.

Elektromagnetické záření, zprostředkované fotony, je jenom jednou ze čtyř základních sil, které soudobá fyzika rozeznává. Kromě právě popsané síly elektromagnetické, označované také jako elektromagnetická interakce, hovoří kvantová teorie ještě o silné a slabé jaderné interakci a o interakci gravitační. Těmito čtyřmi typy silového působení vysvětluje soudobá fyzika veškeré dění ve svém oboru. Přírodní síly jsou chápány jako výsledek výměny částic mezi tělesy, která jsou v interakci. Klasické pojetí sil dnes ustupuje pojmu „interakce“. Tak elektromagnetická interakce je založena na výměně fotonů, silná jaderná interakce na výměně částic označovaných jako gluony, slabá jaderná interakce spočívá na výměně bosonů W a Z , gravitační interakce pak na výměně hypotetických gravitonů. Elektromagnetická síla působí pouze na elektricky nabitě částice, jakými jsou elektrony nebo kvarky. Na rozdíl od síly gravitační si nevšímá částic neutrálních. V porovnání s gravitací působí elektromagnetická interakce na částice s mnohem větší intenzitou. Kvantová mechanika chápe všechny interakce jako výměnu virtuálních částic.

Podle kvantové mechaniky si lze interakci představit jako vzájemnou výměnu kvant silových polí. Silné interakce tvoří podstatu jaderných sil a drží pohromadě částice v atomových jádrech. Na ještě nižší úrovni váží k sobě kvarky v elementárních částicích. Tak umožňují existenci stabilních jader atomů. Je to interakce nejsilnější, ale její působnost je omezena na nejkratší dosah. Také slabá jaderná interakce má krátký dosah a uplatňuje se pouze uvnitř atomových jader. Slabá interakce je přibližně stotisíckrát slabší než silná jaderná interakce a má ještě omezenější dosah. Vyvolává radioaktivní rozpad atomových jader i rozpad

volných neutronů, a proto je považována za sílu destruktivní. Silná jaderná interakce má naproti tomu funkci konstruktivní. Gravitační interakce je ze všech čtyř uvedených sil nejslabší. Na významu nabývá teprve v obrovských látkových komplexech, kde se nepatrné síly sčítají. Gravitace je spolu s elektromagnetismem silou dalekého a neomezeného dosahu, na rozdíl od obou zmíněných interakcí jaderných, které působí pouze na velmi krátké subatomární vzdálenosti.

Gravitace je vždy kladná, sčítá se do nekonečna a podobně jako kladná a záporná síla elektromagnetická se nedá vynulovat. Má nekonečný dosah. Je to síla univerzální, které podléhají všechny částice, ovšem úměrně své hmotnosti. Je však ze všech interakcí nejslabší a v subatomárním světě je možné její vliv zanedbat. Elektromagnetická interakce je v něm ve srovnání s gravitací neporovnatelně silnější. Proton a elektron se přitahují gravitační silou, která je asi 10^{40} násobně menší než jejich interakce elektromagnetická. Ovšem v systémech s nesmírným množstvím částic má vliv určující, a proto je tak důležitá pro uspořádání vesmíru. Pro malé rychlosti a slabá gravitační pole je popisována Newtonovým gravitačním zákonem, pro velké rychlosti a silná pole je nezbytné pro popis použít obecnou teorii relativity. Ta se ovšem bez gravitonů obejde. Gravitaci chápe jako zakřivení prostoru.

Když Heisenberg domýšlel filozofické důsledky kvantové mechaniky, upozornil, že na této úrovni již nelze jasně rozlišovat mezi silou a látkou. Každá elementární částice nejenže vyvolává síly a je jimi ovlivňována, ale sama současně reprezentuje určité silové pole. Všechny elementární částice se při srážkách s jinými částicemi o velké energii mohou přeměňovat v jiné částice nebo mohou prostě vznikat z kinetické energie a samy se mohou naopak měnit v energii, například v záření. Heisenberg to pokládá za definitivní důkaz jednoty hmoty a doklad toho, že všechny elementární částice jsou vytvářeny z téže látky, kterou lze nazvat „energií“ nebo „univerzální hmotou“. Částice jsou jen různými formami, v nichž se může hmota projevovat. Energii tak Heisenberg považuje za základní substanci, za základní materii světa. Má podstatnou vlastnost, která se pojmu substance přičítá, totiž že zůstává zachována. Energie je tím, co vyvolává pohyb. Lze ji považovat za primární příčinu všech změn a může se přeměňovat ve hmotu, teplo nebo světlo. Dvě kvanta záření, fotony, se mohou srazit, při srážce zmizet a veškerou svou energii a hybnost předat dvěma nebo několika nově vznikajícím částicím látky. Také částice látky podle Einsteinovy

speciální teorie relativity mají i v klidu určitou klidovou energii, vyjádřenou jeho slavným vzorcem $E = mc^2$. Hmotnost částic lze přímo měřit v jednotkách energie. Klidová energie E je mírou množství vnitřního pohybu, kterou částice obsahuje a kterou je možno z ní získat, například při jaderných procesech nebo při vzájemných přeměnách částic. Klidová energie se v takových případech mění v energii kinetickou, což je podstatou jaderné energetiky.

Částice se v jednom referenčním rámci jeví jako vlna, vlny se v jiném vztažném rámci chovají jako částice. Vlny se od částic liší jevem zvaným interference. Při setkání dvou vln z různých zdrojů se mohou vlny navzájem vyrušit, což u částic možné není. A naopak. Například světlo působí svým vlnovým charakterem na některé kovy tak, že vyvolává rychlou emisi elektronů, což je důležitý fotoelektrický jev, rozsáhle využívaný v technice. Ten je důkazem částicové povahy světla. Pro naše běžné chápání je to věc značně obskurní, neboť takové jevy je obtížné popsat a vysvětlit pomocí každodenně užívaných slov a pojmů. Přesto se v této oblasti mohou vědci domluvit přesně a jednoznačně. Jako prostředek racionální domluvy jim slouží nikoliv běžná řeč, ale jazyk matematiky. Vlnově-částicové dilema vyřešil v roce 1928 britský fyzik Paul Dirac, který vytvořil kvantovou teorii pole, v níž lze pomocí matematiky elegantně kombinovat vlny a částice, aniž je mezi takovým postupem sebemenší rozpor. Částice má svou hmotnost soustředěnou do jednoho bodu a ta je přesně odměřena v kvantech. Naproti tomu vlna hmotnost nemá a je rozprostřena do určitého prostoru, je v něm jakoby rozmazána pouze s určitou pravděpodobností výskytu.

Francouzský fyzik Louis de Broglie vyslovil v roce 1924 hypotézu, že všechny objekty mikrosvěta, včetně elektronů, atomů a molekul, mají vlastnosti jak částic, tak i vln. Takové vlnění je označováno jako hmotnostní de Broglieovy vlny a je projevem vlnových vlastností pohybujících se částic i těles, aniž přitom existuje zdroj, který by takové vlnění vyzařoval. De Broglie také určil jednoduchý matematický vztah mezi hybností a délkou vlny. Vlnová délka částice je nepřímo úměrná součinu rychlosti a hmotnosti tělesa, tedy její hybnosti. Konstanta úměrnosti mezi těmito veličinami je fyzikům velmi dobře známá jako Planckova konstanta. Z tohoto vztahu vyplývá, že čím má částice vyšší rychlost nebo hmotnost, tím má kratší vlnovou délku. De Broglieova hypotéza je dnes považována za ověřenou skutečnost.

Max Planck v roce 1900 prokázal, že světlo, paprsky X i další druhy

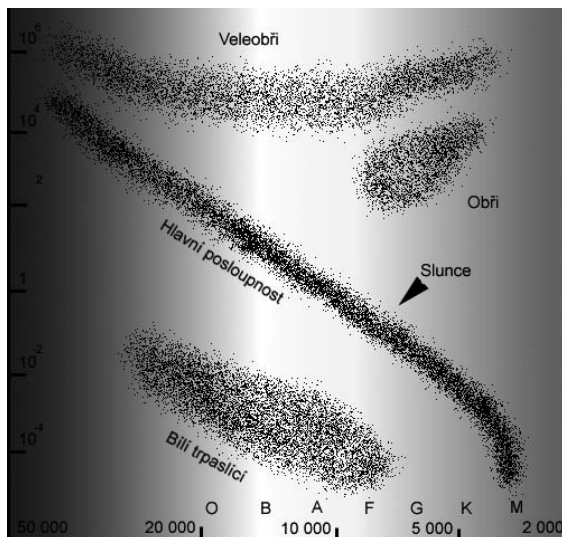
elektromagnetického záření nejsou vyzařovány spojitě ani v dávkách libovolných. Podobně jako látka, každé záření může být rozděleno pouze na konečný počet částí, které jsou dále nedělitelné. Tyto porce záření označil jako kvanta. Každá dávka záření může být jen celočíselným násobkem elementárního účinkového kvanta. Plynulé přechody mezi kvanty nejsou přípustné. Lze to přirovnat k intervalům mezi jednotlivými schody nebo mezi příčkami žebříku. Tato kvanta byla později nazvána fotony. Energii kvanta lze stanovit jako součin vlnového kmitočtu a nové základní konstanty, dnes označované Planckovým jménem. Tím Max Planck stanovil základní vztah mezi energií a kmitočtem záření a ukázal, že energie a kmitočet jsou v podstatě tytéž veličiny, pouze měřené v jiných jednotkách.

Planckovy závěry podnítily Nielse Bohra k vyslovení předpokladu, že atomy mohou mít jen diskrétní hodnoty energie a že nespojitě přechody mezi nimi, tak jak jsou vyjádřeny kupříkladu v periodické soustavě prvků, jsou spojeny s emisí nebo absorpcí diskrétních kvant energie. Přípustné jsou toliko ty orbitály, na nichž se vzájemně sladuje vlnová a částicová povaha elektronu. Elektron je stabilní pouze na takovém orbitalu, který je celistvým násobkem jeho vlnové délky. Bohr definoval orbital jako pozici ve struktuře atomu, na níž mizí rozdíl mezi elektronem jako částicí a vlnou. Veškeré dění ve světě atomů je tak určováno diskrétními stavy a nespojitými přechody, přičemž velmi důležitou úlohu zde hraje již zmíněná Planckova konstanta. Ta je dostatečně velká k tomu, aby k přechodu na novou energetickou hladinu potřeboval elektron poměrně silný impuls. V mikrosvětě není nic spojitého a plynulého, ale všechno se odehrává v odměřených dávkách. Nekonečná dělitelnost směrem dolů neplatí. Proto také „kvantový svět“ a „kvantová mechanika“.

Vrstevnaté uspořádání mikrosvěta na úrovních kvarků, elementárních částic, atomových jader, atomů s jejich slupkovitě uspořádanými orbitály, molekul a jejich chemických vazeb současně dobře ilustruje stratifikaci světa v tom nejhlubším a nejzákladnějším podloží, jak o tom byla řeč v předcházející kapitole. Svět nelze rozložit na nezávisle existující izolovaná zrnka. Elementární částice jsou jen virtuální modely, jejichž vlastnosti přesahují vně, směrem k jiným částicím. Lze je zjišťovat jedině v interakci s částicemi jinými, jenom jejich vzájemným přiřazováním. Chování částic je popisováno pravděpodobnostními modely. Pravděpodobnost se vždy odvozuje z dynamiky celku. Klasická

dynamika analyzovala části a z nich usuzovala na chování celku. Kvantová mechanika musí poznat celek, aby pochopila chování částí.

Kvantový svět je světem diskrétních veličin, charakterizovaným omezenou možností jejich současného popisu (principem neurčitosti), nutností popisu pravděpodobnostního pomocí složitého matematického aparátu. Je to svět, jehož obraz přesahuje hranice současné logiky a možnosti slovního vyjádření. Svět, který rozkolísal tradiční kategorie, jako jsou hmota, látka, energie, síla, prostor, čas, příčina a následek, objekt a subjekt. Zdá se vám to příliš bizarní a nepochopitelné? Nejste sami. Niels Bohr kdysi napsal: „Ten, kdo není kvantovou teorií šokován, ten ji nepochopil.“



Hertzsprungův-Russellův diagram – i hvězdy mají své osudy

3. kapitola

VESMÍR

[Velký třesk ■ Rodokmen atomů ■ I hvězdy mají své osudy ■
 Sluneční soustava ■ Kosmické záhady ■ Teorie relativity ■
 Spontánní uspořádání vesmíru]

Velký třesk

Naše minulost je ve hvězdách. Doslova. Nepocházíme jenom z živočišného předka, kterého máme společného se šimpanzi, orangutany, gorilami a s dalšími primáty. To je příliš nedávná historie. Vývoj člověka, právě tak jako vývoj ostatních živých tvorů má velice dlouhou evoluční linii. Přišli jsme opravdu z vesmíru. Ovšem nikoliv na létajících talířích, ale ve sprškách atomů. Každý atom uhlíku v našem těle, každý atom vápníku v našich kostech, železo našich krvinek, všechny mají svůj zrod v zaniklých hvězdách. Všechny těžší prvky vznikly jadernou syntézou

v nitru bývalých hvězd, které byly při svém zániku rozmetány do širokého kosmu a po dlouhém bloudění vytvořily porůznu shromážděné shluky a mračna. Z nich nakonec vznikla naše planeta a s ní také stavební kameny lidských těl. Mezi jiným, samozřejmě.

Nejen život, ale také vesmír jako celek má své dějiny. Má svůj okamžik zrodu, do jehož obrazu překvapivým způsobem zapadají poznatky astronomie i fyziky elementárních částic. Pro pochopení dlouhé vývojové cesty, kterou vesmír prošel od svých počátků až po zrození života na Zemi, jsou naprosto klíčové poznatky o stavbě mikrosvěta. Podobně jako mikrosvět, není ani vesmír ve svých největších proporcích nadměrně složitý. Dá se vyjádřit řečí matematiky a v porovnání s tím, co se děje v duši člověka nebo co se odehrává v lidské společnosti, v něm převažuje jednoduchost a linearita. Podobně jako při studiu mikrosvěta vznikají také při zkoumání vesmíru potíže teprve z toho, že chování prostoru a gravitačních polí, obrovské vzdálenosti, nesmírné rychlosti a povaha času se velice liší od chování objektů makrosvěta, tak jak si je lidská zkušenost osvojila v průběhu celých generací. Také vesmír jako celek má své specifické zákonitosti pohybu, které se liší jak od zákonitostí mikrosvěta, tak makrosvěta.

Vesmír zde není od věčnosti. Alespoň ten náš dnešní vesmír. Z měření, které bylo zveřejněno v roce 2003 a které pořídila kosmická sonda WMAP, vyplynulo, že vesmír vznikl asi před $13,7 \pm 0,2$ miliardy let. To je také v souladu s odhadovaným věkem nejstarších hvězd. Co bylo před oněmi necelými čtrnácti miliardami let, zůstává dosud otevřenou otázkou. Matematické modely zde selhávají a vědci nazývají onen jim nedostupný stav singularitou. Nejasnosti kolem zrození vesmíru jsou tím větší, čím více se blížíme k jeho počátku. Vesmír se mohl zrodit na konci předcházejícího období smršťování, kdy jeho hustota dosáhla velmi vysoké, ale konečné hodnoty. Ani v těchto počátcích nemohl být vesmír dokonale stejnorodý, ale vždy zde musely existovat nějaké fluktuace a neurčitosti v rozložení teploty, v charakteru, hustotě, rychlosti a polohách částic, jak to ostatně vyplývá z Heisenbergova principu neurčitosti, ovládajícího kvantovou mechaniku. Podle dnešních názorů je prapůvodním stavem vesmíru neuspořádaný pohyb, chaos. Rovnováha, stabilita, klid, to vše už je struktura a pohyb uspořádaný. Tento chaotický stav před zrodem vesmíru mohl být smrštěn do nepatrného prostoru nebo kvantového stavu, který ukrýval latentní síly a částice. Takový stav má ovšem daleko k tomu, abychom mohli tvrdit,

že vesmír mohl vzniknout „z ničeho“ nebo že začal od „geometrického bodu“.

U kolébky dnešního kosmologického paradigmatu stálo více sudiček. Ale jako první se tam objevil ruský astrofyzik a matematik Alexandr Alexandrovič Friedmann. Ten vyšel z Einsteinových rovnic obecné relativity a v roce 1922 vypracoval matematický model rozpínajícího se vesmíru. Žádného uznání svých myšlenek se však nedožil. Teprve posmrtně byl odměněn Leninovou cenou (1931).

Nezávisle na Friedmannovi a opíraje se o práce Edwina Hubblea a Vesta Sliphera publikoval v roce 1927 belgický kanovník a astronom Georges Lemaître svou představu vývoje vesmíru z „primitivního atomu“. Předpověděl, že vesmírné galaxie by se měly od nás vzdalovat čím rychleji, čím jsou vzdálenější.

Vědecká komunita však nebrala Friedmannovy ani Lemaîtreovy myšlenky vážně. Zůstalo by to tak asi i nadále, kdyby je americký astronom, bývalý právník z Missouri, výkonný sportovec a kapitán dělostřelectva Edwin Powell Hubble nepotvrdil svým pozorováním. Hubble v roce 1929 zjistil, že čím dále je od nás hvězdná galaxie, tím více jsou čáry jejího světelného spektra posunuty k červenému okraji a že rychlost, jakou se galaxie vzdaluje, je přímo úměrná její vzdálenosti. Tento takzvaný rudý posuv se stal základem pro model rozpínajícího se vesmíru. Experimentálně tak doložil představy Friedmannovy a Lemaîtreovy. Procesně genetický pohled na vesmír tak nahradil po dlouhá staletí platný substanční, nevývojový model vesmírného megasvěta. Tak se evoluční pohled, dosud panující v sociologii, psychologii, biologii, genetice a kvantovou mechanikou rozšířený i do fyziky elementárních částic a do chemie, promítl i do vnímání historie vesmíru. Nová teorie byla zprvu posměšně, potom vážně označována jako teorie „velkého třesku“ (big bang). Na počest Edwina Hubblea byl také pojmenován první vesmírný teleskop, zrcadlový dalekohled o průměru 2,4 m, vynešený v roce 1990 na oběžnou dráhu kolem Země, který značně rozšířil naše vědomosti o vzdáleném vesmíru.

Sám Hubble se neodvažoval ze svých pozorování vyvozovat obecnější kosmologické závěry. To učinili teprve americký fyzik ruského původu George Gamow, americký fyzik Steven Weinberg (Nobelova cena 1979) a celá řada dalších.

Velký třesk si ovšem nemůžeme představovat jako explozi klasické trhaviný nebo jaderné bomby, začínající v určitém místě a šířící se dál

a dál od epicentra. Nebyl to výbuch v prostoru, ale exploze prostoru. Byl to výbuch času, a nikoliv výbuch v čase. Velký třesk byl najednou všude a každá částice se doslova hnala pryč od částice sousední. K velkému třesku došlo na všech místech zárodečného vesmíru současně. Pochopení tohoto stavu nám naše dnešní chápání prostoru nebo času neusnadní. Vesmír se začal rozpínat, ale žádný vnější prázdný prostor kolem něho neexistoval. Ten teprve vznikl současně s velkým třeskem. Prostor se rodil jako energetické pole rozpínajícího se vesmíru.

Současná astrofyzika a kosmologie stojí v rozpacích nad tím, co se dělo v takzvaném Planckově čase, totiž v době od nuly do 10^{-43} sekundy. Z výpočtů však zcela přesvědčivě vyplývá, že od Planckova času se vesmír neustále rozpíná. Teorii velkého třesku podpořili také radio-astronomové, jejichž měření bylo rušeno šumem, který neustále přicházel ze všech směrů ve vesmíru a žádným způsobem se nedal odstranit. Šum byl nazván zbytkovým (reliktním) zářením a za objev tohoto fosilního pozůstatku vesmírného porodu obdrželi v roce 1978 američtí fyzikové Arno Penzias a Robert Wilson Nobelovu cenu za fyziku. Udělení Nobelovy ceny znamenalo předěl, od té doby bere hlavní proud vědy velký třesk smrtelně vážně.

Všechny časové údaje, které jsou ve spojitosti s velkým třeskem a jeho historií uváděny, musíme ovšem chápat obrazně. Lineární představa času je velmi ošidné měřítko v limitních oblastech obecné teorie relativity a v blízkosti kosmologické singularity. Přiměřenějším kritériem pro chronologii vesmíru se zdá být jeho teplota jako míra celkové entropie.

V realitě se čas, či lépe řečeno časoprostor rodil souběžně s velkým třeskem a všechny časové údaje jsou zpětnou lineární extrapolací pozdějších časových intervalů. Nejlepším časovým měřítkem tak zůstává teplota raného vesmíru měřená v kelvinech [K], základních fyzikálních jednotkách termodynamické teploty. Již v minulé kapitole bylo řečeno, že teplota je mírou chaosu částic, atomů a molekul. Na počátku velkého třesku byl tento chaos maximální a postupně se snižoval. Kosmické hodiny namísto tikání chladnou. Klesající teplota raného vesmíru odpovídá klesajícímu stupni chaosu a zvyšující se úrovni spontánní organizace vesmíru. Na charakteristické teplotě byl dokonce závislý i vznik různých druhů elementárních částic. Velkým třeskem začalo nejen rozpínání vesmíru, ale také jeho ochlazování, na což se často zapomíná.

Rozpínání vesmíru si nemůžeme představovat jako rozpínání mikroskopických a makroskopických objektů a jako rozměrové zvětšová-

ní předmětů kolem nás i nás samotných. V takovém případě bychom ostatně nemohli rozpínání ani zjistit, protože bychom neměli možnost srovnání. Nerozpínají se ani jednotlivé galaxie. Zvětšují se toliko vzdálenosti mezi nimi a jejich skupinami. Zrychlující se rozpínání vesmíru spočívá v rozpínání prostoru mezi galaxiemi. Přitom nemůžeme konkrétně najít žádné místo ve vesmíru, na které bychom mohli prstem ukázat a říci, že to je střed takového rozpínání. Jedna galaxie se vzdaluje od druhé, a to v celém prostoru vesmíru. Dnes se velké ostrovy hvězd označované jako hvězdné galaxie od sebe vzdalují rychlostmi, které se blíží rychlosti světla. Když se vracíme nazpět časem a tento proces lineárně extrapolujeme, docházíme ke stavu, kdy vše, co je v dnešních galaxiích, muselo být tak těsně namačkáno, že ani galaxie, ani hvězdy, ba ani jednotlivé atomy či jejich jádra nemohly jednotlivě existovat. Čím více se navracíme časem zpět, tím více roste chaotický pohyb atomů, jejich jader i elementárních částic a nepředstavitelnou měrou roste i celková teplota jako míra tohoto chaotického pohybu. Teplota vesmíru, který byl na hranicích singularity, byla asi 10^{32} kelvinů.

Vesmír byl tak vyplněn chaotickou směsicí částic a záření, v níž se každá částice prudce srážela s částicemi okolními. Jde ovšem pouze o hypotézy, protože teploty předpokládané ve zlomcích sekundy od zrodu vesmíru jsou tak vysoké, že zatím nemohou být v dostatečném rozsahu experimentálně vytvořeny a studovány na Zemi. Teprve po uplynutí první mikrosekundy se podařilo rychlost, s níž se částice srážely, vyvolat v pozemských urychlovačích. V roce 2005 byly oznámeny výsledky pokusů, které probíhaly v Brookhavenu ve státě New York na zařízení označovaném jako RHIC. Je to podzemní, do kruhu uzavřený tunel, 3,8 km dlouhý. Jádra zlata byla proti sobě hnána téměř rychlostí světla a za sekundu proletěla urychlovačem 80 000krát. Na zlomek sekundy se podařilo získat nové skupenství hmoty, označované jako kvark-gluonové plazma. Tato směs volných kvarků a gluonů dosahovala teploty více než bilion stupňů Celsia, a převyšovala tedy teplotu ve středu Slunce 150 000krát. Směs se rychle rozpínala a její teplota i tlak klesaly. Dosud volné kvarky a gluony se za takových podmínek opět vázaly do protonů a neutronů.

Období velmi raného vesmíru, zejména do první setiny sekundy, je důležité především proto, že se v jeho chápání prolíná teorie elementárních částic s kosmologickými problémy. Vznik elementárních částic je úzce spojen se zrodem vesmíru a naopak. V první setině sekundy

byl vesmír tvořen volnými, chaoticky se pohybujícími elementárními částicemi. V tomto časovém úseku měly částice tak vysokou teplotu, jinými slovy obsahovaly takovou míru energie a rychlosti, že je žádná elektromagnetická či jaderná síla nemohly udržet pohromadě. Teprve jak se teplota postupně snižovala, začaly se částice shlukovat. Na úrovni celkové teploty, míry energie a rychlosti, obecně řečeno na stupni míry celkového chaosu, závisel tedy vznik jednotlivých druhů částic, které se dodnes ve vesmíru vyskytují.

Rodokmen atomů

Ve velmi raném vesmíru tvořilo hlavní složku světlo a záření vůbec. Z reliktního záření vyplývá, že na jeden proton či neutron tehdy připadalo 100 milionů až 20 miliard fotonů, elektronů nebo neutrin. K přelomu došlo asi při teplotě 3000 K, což je hranice mezi obdobím převládajícího záření a dnešním obdobím převládající látky. Většina tehdejší volné energie se uložila především do protonů a neutronů, souhrnně označovaných jako nukleony, tedy jaderné částice. Tenkrát byl vesmír asi tisíckrát menší než je dnes. Každá částice může vznikat ze záření pouze za určité teploty, která má přesně definovanou matematickou hodnotu, ověřitelnou v urychlovačích. Ta se označuje jako prahová teplota. Elementární částice, ale také atomy a molekuly mají podobný evoluční rodokmen, jaký je znám z vývoje rostlinných a živočišných druhů.

V něm se rozeznává zpravidla pět fází vývoje: 1. kvarková éra; 2. hadronová éra; 3. leptonová éra; 4. éra záření; 5. éra látky. Každá z těchto fází je charakterizována odpovídající teplotou, hustotou a časovým „okénkem“. Čím blíže k okamžiku velkého třesku, tím je vyšší teplota i hustota a časový interval je kratší.

Největší vzdálenost, kam si současná kosmologie troufá nahlédnout, je první mikrosekunda po velkém třesku. Tehdy byl vesmír tak žhavý a hustý, že nejmenší částice hmoty, kvarky a gluony, byly zcela volné a prudce se srážely se všemi částicemi v okolí. Jak již řečeno, tento stav hmoty je označován jako kvark-gluonové plazma. Mělo povahu kapaliny a bylo více než bilion stupňů Celsia horké. Každá částice se s vysokou energií srážela s částicemi jinými a vesmírná „kvarková polévka“ byla chaosem kvarků, gluonů, fotonů, elektronů, neutrin, dalších částic a jejich antičástic.

Ve kvarkové éře se formovaly nejen některé nejjednodušší částice, ale diferencovaly se především samy fyzikální síly. Všechny dnes známé formy základních fyzikálních interakcí (gravitace, silná či slabá jaderná interakce, elektromagnetická síla) tvořily na počátku jakousi výchozí, nediferencovanou supersílu, z níž se teprve postupem času vynořovaly dnes známé formy fyzikálních interakcí. Nejprve se od ostatních nediferencovaných sil oddělila gravitace, a to v čase asi 10^{-43} sekundy. Vznik silné jaderné interakce se datuje do času 10^{-33} sekundy po velkém třesku a oddělení slabé jaderné a elektromagnetické síly se předpokládá v čase 10^{-10} sekundy. V tomto čase se také kvarky začaly stabilně formovat do protonů a neutronů a vývoj vstoupil do hadronové éry. Až do tohoto okamžiku neprobíhala ani tak evoluce látky, jako především zrod základních fyzikálních sil.

Teorie, které se snaží popsat vznik fyzikálních interakcí, nebylo dosud možné v pozemských laboratořích ověřit. Proto mají zatím charakter hypotéz. Označují se jako teorie GUT (Grand Unified Theories – teorie velkého sjednocení).

Čas 10^{-43} sekundy, kdy došlo k oddělení gravitace od ostatních zatím nediferencovaných sil, je označován jako Planckův čas. Do té doby byl ve vesmíru jediný typ interakce, univerzální pro všechny tehdy existující elementární částice. Po tomto okamžiku už zde místo jediné univerzální síly byly dvě: gravitační interakce a síla zbývající, zatím nediferencovaná, která se později vyvinula v silnou a slabou jadernou sílu a v sílu elektromagnetickou.

V Planckově čase byl pohyb kvarků a dalších částic tak bouřlivý, že žádná silná, slabá, elektromagnetická ani gravitační síla je nemohly udržet pohromadě. Ovšem s tím, jak se chaotický pohyb postupně zmenšoval a vesmír začal chladnout, částice se mohly shlukovat a přiřazovat a interakce mezi nimi se mohly specifikovat. Na výši celkové teploty je proto závislý i druh částic, které při takové „prahové teplotě“ mohly vzniknout. V raném vesmíru bylo mnoho takových částic, jejichž prahová hodnota je vyšší než 10^{11} K. Kromě kvarků, antikvarků a gluonů to jsou především elektrony a jejich antičástice – pozitrony, a částice s nulovou klidovou hmotností, jako jsou fotony, neutrina a antineutrino.

Po dalším ochlazení již začala působit silná jaderná interakce mezi kvarky, ty se začínaly sdružovat po dvou či po třech, vytvářely se z nich protony a neutrony i další, vzácnější jaderné částice, všechny označo-

vané jako hadrony. Proto se také mluví o hadronové éře. Při poklesu teploty asi na 10^{13} K se intenzita chaotických interakcí snížila natolik, že kvarky se již jako samostatné částice nedokázaly udržet. Vždy ze tří kvarků se začaly vytvářet stabilnější struktury, především protony a neutrony. Z antikvarků se tvořily antiprotony a antineutrony. V důsledku počátečních fluktuací se v celém vesmíru nahromadilo nepatrně více kvarků než antikvarků a více neutronů než antineutronů. Proto bylo v další vývojové fázi také nepatrně více protonů než antiprotonů a více neutronů než jejich antičástic. Na 100 000 001 protonů připadalo 100 000 000 antiprotonů. Nejinak tomu bylo s neutrony a jejich antičásticemi. Po vzájemném spárování vždy jeden proton či neutron přebýval. Fluktuace v četnosti kvarků a antikvarků tak pokračovala v asymetrii mezi protony a jejich antičásticemi, tak jako mezi neutrony a antineutrony. Asymetrii mezi částicemi a antičásticemi lze pozorovat i v laboratorních podmínkách. Tato fluktuace měla nedozírný význam. Rozhodla o vzniku hmoty v té podobě, jak ji všude ve vesmíru známe. Jiné alternativy byly tehdy odmítnuty.

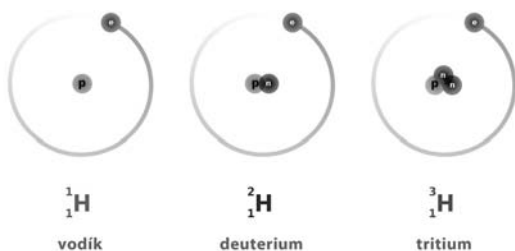
Jakmile teplota poklesla na 10 bilionů kelvinů (10^{13} K), protony párově anihilovaly s antiprotony za vzniku nesmírného množství energie v podobě fotonů. Podobně tomu bylo s anihilací neutronů a jejich antičástic. Přežily jen ty osiřelé protony a neutrony, na které již jejich antičástice nezbyly.

Do teploty asi pěti miliard kelvinů ($5 \cdot 10^9$ K) prošel raný vesmír fází, která je označována jako éra leptonová. Pro ni je charakteristická aktivita lehkých částic (leptonů). Nejrychlejší a nejpočetnější z nich byly opačně nabitě lehké částice typu elektron – pozitron. Připomeňme si, že elektron je lehká záporně nabitá částice, která tvoří vnější slupky všech atomů a molekul a která způsobuje průtok elektrického proudu. Pozitron je lehká částice o stejné hmotnosti jako elektron, ale má opačný, kladný elektrický náboj. Je tedy antičásticí elektronu. V dnešním světě jsou pozitrony velice vzácné. Vyskytují se v některých typech radioaktivního rozpadu, v kosmickém záření, při výbuchu supernov a lze je též vyrobit v urychlovačích. V raném vesmíru však byl počet elektronů a pozitronů vyrovnaný. Kromě elektronů a pozitronů existovaly v raném vesmíru lehké částice – neutrina. Jsou to nejzáhadnější částice plně překvapení, s téměř nulovou klidovou hmotností a s nulovým elektrickým nábojem. Neutrina reagují tak slabě, že v našich tělech vůbec nezanechávají stopy, třebaže jimi každou sekundu prochází asi

10^{12} neutrín, pocházejících ze Slunce. Spolu s nimi byl vesmír vyplněn fotony všeho druhu, tedy světlem a dalším zářením různého kmitočtu. Všechny tyto částice – elektrony, pozitrony, neutrína a fotony – v prvních fázích vývoje vesmíru neustále vznikaly a vzápětí opět zanikaly. Kosmologie hovoří o procesech kreace a anihilace.

Tento chaotický zrod a zánik lehkých částic se v leptonové éře změnil. Elektrony a pozitrony začaly při teplotě 5.10^9 K vzájemně anihilovat. Měnily se na záření gama, které se na dlouhou dobu stalo hlavní složkou této vývojové fáze vesmíru. Podnětem k anihilaci byla klesající teplota, při níž se elektrony a pozitrony vzájemně ničily rychleji, než stačilo vznikat z fotonů záření. Průměrná hustota hmoty v této fázi poklesla asi na hustotu dnešního stříbra. Záření mělo tehdy ve vesmíru hlavní slovo. Proto je tato vývojová fáze kosmu označována jako éra záření.

Vlivem neustále klesající teploty vesmíru se začaly spojovat protony s neutrony a vytvářely jádra deuteria, těžkého vodíku, jež se, jak bylo řečeno v předcházející kapitole, skládají z jednoho kladně nabitého protonu a z jednoho elektricky neutrálního neutronu. Deuterium se při teplotách nižších než 1 miliarda kelvinů nerozpadá. Intenzivní náhodné srážky deuteria s okolními protony či neutrony vedly ke vzniku ještě těžších jader – především velmi těžkého vodíku (tritia), obsahujícího dva neutrony a jeden proton – nebo jader lehkého helia (tralphia) se dvěma protony a jedním neutronem. Tato složitější jádra, stejně jako jádra deuteria jsou však dosti nestálá a snadno se znovu rozpadají na protony a neutrony. Nejvyšší stabilitu v této fázi projevují jádra normálního helia, složená ze dvou protonů a dvou neutronů.



Atomové schéma izotopů vodíku

Ta vznikají srážkou tritia či tralphia s dalším nukleonem. V počátečních fázích atomová jádra vznikat nemohla, protože každý pokus o spojení protonu a neutronu končil nezdarem. Za vysokých teplot je následné srážky s částicemi od sebe opět odtrhly.

Při teplotě miliardy kelvinů, která je dnes dosahována uvnitř nejžhavějších hvězd, nemají už protony a neutrony dostatek energie, aby

mohly uniknout přitažlivosti silné jaderné interakce. Jádra lehkých prvků, helia a vodíku, si tedy ve své struktuře uchovávají vzpomínku na svou prahovou teplotu a na vývojovou fázi vesmíru, která je zrodila. Vesmír byl na konci této fáze tvořen jaderným materiálem, v němž bylo asi 73 % jader vodíku (převážně deuteria), 23 % jader helia a přibližně stejné množství elektronů. Zbytek tvořila jádra lithia a berylia. Jádra těžších prvků se v této fázi vytvořit nemohla, neboť za daných vysokých teplot by nebyla stabilní.

Zrodem normálního helia o dvou protonech a dvou neutronech se završuje vesmírná etapa nukleosyntézy. Hustota vesmíru v této fázi odpovídala přibližně hustotě dnešní vody. Výsledkem této syntetické fáze byl nejen čtvrtinový podíl jader helia na veškeré látce ve vesmíru, ale také vysoké zastoupení jader vodíku. Na syntetizovaná jádra a na volné protony a neutrony připadal ovšem obrovský počet fotonů, jak to vyplývá ze změřené teploty současného reliktního záření.

V období mezi $5 \cdot 10^9$ K a 3000 K měla ještě většina energie ve vesmíru formu záření, a nikoliv látky. Na každý stavební kámen atomu připadalo asi 10 miliard fotonů. Tak jak se protony a neutrony postupně sdružovaly a kombinovaly do jader lehkých prvků, přecházel vesmír z fáze převažujícího záření do fáze převládající látky. Za hranici mezi érou záření a dnešní érou látky je považována vesmírná teplota 4 000 kelvinů. Od té doby se látka ve vesmíru vyvíjí odděleně od elektromagnetického záření, protože ke srážkám částic s fotony téměř přestalo docházet. Vesmír se stával pro záření průhledným a rozsvítil se.

Až do té doby se látka ve vesmíru vyskytovala ve skupenství plazmatu, plného volných elektronů a iontů. Ve stavu plazmatu byl kosmos neprůhledný, neboť elektromagnetické záření včetně světla nemůže plazmatem pronikat příliš daleko, aniž dochází k interakcím. Od té doby, co se zrodily elektricky neutrální atomy, ovlivňuje světlo chování látky jen velmi málo. V éře látky začalo docházet k rekombinaci atomových jader s elektrony a k vytváření atomů, struktur nám známých ze školy. Volné elektrony se přiřazovaly k volným atomovým jádrům a vytvářely atomy vodíku a helia. Teprve v této éře mohla slabá síla překonávat tlak látky a záření a elektrony se mohly zachycovat na orbitalech kolem atomových jader. V té době uplynulo od velkého třesku v našich dnešních mírách více než 300 000 let. Vymizel převažující tlak záření a ke slovu se dostávaly gravitační síly. Pod jejich vlivem se látka začala formovat do shluků a mračen, z nichž později vznikaly hvězdy a galaxie.

Pro posloupnost jednotlivých fází kosmogeneze byla určujícím faktorem klesající teplota od doby velkého třesku. Bylo tomu podobně, jako když z ochlazeného mračka začne pršet nebo když při poklesu teploty pod nulu se voda z kapalného skupenství začne měnit v led. Docházelo k náhlým fázovým přechodům, po nichž vesmír dočasně „zamrzl“. Jeho vývoj neprobíhal rovnoměrně, ale v náhlých skocích. Z počáteční singularity vesmír explodoval nadsvětelnou rychlostí. Tento okamžik exponenciálního „nafouknutí“ označují kosmologové jako inflační rozpínání a kladou je mezi 10^{32} K až 10^{27} K. Po exponenciální fázi se začal vesmír ochlazovat a rozpínání se zpomalilo na současnou rychlost. Ovšem před sebou měl kosmos ještě řadu dalších fázových přechodů, z nich jsme se zmínili především o kvarkové éře, hadronové éře, leptonové éře, éře záření a éře látky.

Po období dlouhých latencí (stází), kdy docházelo jen k plynulému chladnutí a rozpínání, přicházely krátké a bouřlivé okamžiky, v nichž se realizovaly zásadní změny. Vynořovaly se nové a nové vlastnosti hmoty, které s dřívější vývojovou fází spojeny nebyly. Je to zákonitost, s níž se budeme znovu a znovu setkávat na dalších stupních evoluce.

I hvězdy mají své osudy

Nejstarší hvězdy vznikaly z velkých protogalaktických oblaků z kondenzovaného plynu. V mračnecích vodíku a helia se pod tlakem záření objevovaly fluktuace, nestabilní ostrůvky rozdílně zhuštěné látky. Působením gravitace se nakupená hmota smršťovala a zahřívala. Posléze dosáhlo těleso takové hmotnosti, že gravitací způsobený tlak v jeho středu rozpůl termionukleární reakci. Mezihvězdná hmota, z níž se první hvězdy zformovaly, obsahovala především vodík a helium s malou příměsí deuteria a lithia. Vodík nemůže vzniknout ve hvězdách. Je to primární palivo, které dodává hvězdám zdroj energie a je podmínkou jejich vzniku a existence. Nejstarší hvězdy obsahují dodnes okolo 23 % helia, právě takové množství, které bylo ve vesmíru před vznikem hvězd.

V průběhu jaderné reakce uvnitř hvězd se atomy vodíku spojují a vytvářejí atomy helia. Vodík je palivem, helium popelem, alespoň v této první fázi. Přbytek energie, vyprodukovaný termionukleární reakcí, je z povrchu hvězdy vyzařován jako teplo a světlo. Vnitřní tlak, vznikající jadernou syntézou, vyrovnává působení gravitačních sil a zabraňuje

gravitačnímu kolapsu hvězdy. Stabilitu hvězdy udržuje zpětná vazba: kdykoliv gravitační síla stoupne, zvýší se tlak uvnitř hvězdy a jaderné reakce začnou probíhat bouřlivěji. Produkované teplo a světlo vytlačují látku ze středu hvězdy. Vnitřní rovnováha hvězdy je tak obnovena a udržována. Život hvězdy probíhá mezi termojadernou výhní a gravitací.

Rychlost jaderné reakce v nitru hvězd závisí na jejich velikosti. Hvězdy mnohokrát hmotnější než Slunce spotřebovávají vodík mnohonásobně rychleji, a jsou proto jasnější. Musejí čelit gravitačnímu kolapsu bouřlivější termonukleární syntézou. Hvězdy, které využívají přeměny vodíku na helium, jsou velmi stabilní a dlouhověké. Nazývají se hvězdy hlavní posloupnosti. Helium je ještě stabilnější než vodík a jeho jádra vyhledávají stav s nejvyšší možnou stabilitou.

Při stoupajících teplotách v nitru hvězd dochází ke slučování dalších jader. Těžší heliová jádra, vzniklá přeměnou vodíku, klesají vlivem gravitace do nitra hvězdy, kde se dále zahřívají. Při teplotách přesahujících 100 milionů kelvinů se stanou nukleárním palivem druhé generace. Dochází k takzvané Salpeterově reakci, při níž se tři jádra helia (o dvou protonech) navzájem spojují v jedno jádro uhlíku o šesti protonech. Tato jaderná reakce, která probíhá v nitru hvězd, je zdrojem prakticky veškerého uhlíku ve vesmíru, klíčového biologického prvku. Většina uhlíku vznikla jadernou syntézou v poměrně malých hvězdách – pouze několikrát větších než Slunce – s krátkou životností.

Tím však jaderná alchymie nekončí. Kromě uhlíku vzniká podobným procesem i kyslík, prvek s osmi protony v jádře. Čtvrté heliové jádro se spojí s již vzniklým uhlíkem a vytvoří se jádro kyslíku. Protože kyslíková jádra jsou těžší než jádra ostatních prvků ve žhnoucí hvězdě, klesají do jejího středu a vytvářejí tam nejtěžší pecku. Při teplotě téměř jedné miliardy kelvinů se začne termonukleární reakcí měnit uhlík na kyslík. Když palivo v jádře takové hvězdy vyhořelo, podobá se hvězda obrovské cibuli složené z kyslíkového středu, střední uhlíkové vrstvy a z povrchové vrstvy helia a vodíku. Přetavováním helia na uhlík a kyslík se však už tolik energie nezíská a dohořívající hvězda se dostane do krizového stavu. Takový osud čeká i naše Slunce.

Další osudy hvězd tohoto typu závisí na jejich hmotnosti. Hvězdy řádově velikosti Slunce se začnou rozpínat v důsledku stále stoupajícího vnitřního tlaku. Jak hvězda roste, její povrch se stále více ochlazuje. Taková chladná obrovská hvězda se v astronomii označuje jako „červený obr“. Červeným obrem se podle předpovědi astronomů má na

přechodnou dobu stát i Slunce. Za největšího rozpětí při pohledu ze Země zaplní polovinu oblohy. Vnější vrstvy Slunce pohltní Merkur i Venuši a veškerý život na Zemi bude dávno minulostí.

Červený obr se posléze ochladí tak silně, že se hvězda začne opět smršťovat. Vnitřní teplota však už nedosáhne takové výše, aby znovu zapálila termonukleární oheň z těžších prvků. Výsledkem tohoto procesu bude hvězda asi o průměru naší Země, označovaná jako „bílý trpaslík“. Bílí trpaslíci jsou přestárlé hvězdy a představují nejobvyklejší stadium hvězdného vývoje. Mívají v průměru několik tisíc kilometrů a jejich hustota je fantastická. Předchozí ionizace hvězdného plazmatu zbavila atomy iontových obalů. Pod nesmírným tlakem se atomová jádra mohou navzájem dotýkat. Pro názornost se můžeme vrátit k našemu podobenství misky s pomeranči a tenisovými míčky, kolem níž ve vzdálenosti stovek metrů bzučí banánové mušky – elektrony. Představme si, kolik našich „misek“ – natěsnaných protonů a neutronů – by se vešlo do prostoru mezi jádrem a drahami „mušek“, které v panice odletěly. Hmotnost uvnitř bílých trpaslíků činí několik tisíc tun na krychlový centimetr. Bílí trpaslíci vysílají záření díky nahromaděnému teplu, a nikoliv v důsledku termonukleární reakce. Nadále však setrvávají jako potenciální termonukleární bomby, neboť si uchovávají nevyhořelé termonukleární palivo. To může explodovat teprve po přísunu dodatečné hmoty z druhé hvězdy binárního systému.

Veliké hvězdy, o více než osminásobné hmotnosti Slunce, mají trochu odlišnou životní dráhu. Při pokračujícím gravitačním smršťování a dalším vzestupu teplot začne probíhat termonukleární reakce uhlíku a kyslíku, které se mění na ještě těžší prvky: neon, hořčík, křemík a síru. Obdobné procesy v těch největších hvězdách končí tvorbou argonu, vápníku, titanu, vanadu, chromu, manganu, kobaltu, niklu a železa. Také tyto prvky jsou uvnitř hvězdy uspořádány podle své hmotnosti jako slupky cibule. Jádro takové „cibule“ je železné, protože slučováním atomů železa, ani jejich rozbitím již nelze získat žádnou energii. Železo je konečným „popelem“ termojaderných syntéz. energii lze získat slučováním lehčích jader až po železo nebo rozbíjením těžších jader až k železu. Železo má ze všech prvků vůbec nejpevněji vázané jádro.

Konec je dramatický. S vyhasínáním jaderných reakcí se hvězda začne pod tlakem gravitace smršťovat. Jádro hvězdy imploduje a oproti normální látce zhuští svou hmotnost více než biliardkrát (10^{15}). Potlačená energie hvězdy se uvolní obrovskou kosmickou explozí, označovanou

jako výbuch supernovy. Výbuch odmrští do vesmíru všechny vnější vrstvy umírající hvězdy se všemi produkty termonukleárních reakcí až po železo. Obrovská energie, která se při tom uvolní, svou září překoná záření celé galaxie. Supernova vyzáří za několik dní tolik energie, kolik Slunce za miliardu let. Za posledních tisíc let zaznamenali astronomové výbuchy supernov v letech 1006, 1054, 1572, 1604 a 1987. explozi v roce 1572 zaznamenal tehdy čtyřiaadvacetiletý dánský astronom Tycho de Brahe. Poslední opravdu jasný výbuch supernovy se udál v Magellanově mračnu v blízkosti naší Mléčné dráhy a moderními prostředky byl dobře zdokumentován. Kdo by chtěl zaznamenat výbuch supernovy v naší Mléčné dráze, musel by čekat několik století. Kdo by však měl možnost sledovat tisíce galaxií, spatřil by několik desítek supernov za jediný rok. Existují tedy dva typy explodujících supernov. Zatímco první vzniká termonukleární explozí bílých trpaslíků, druhá je výsledkem gravitačního zhroucení masivní hvězdy.

Ve výhni exploze supernov vznikají některé těžší prvky, než je železo – zlato, olovo, thorium nebo uran. Proto se těžké prvky v přírodě vyskytují jen ve stopovém množství. Existují ovšem ještě další způsoby, jak vznikají vzácnější prvky. Baryum a vizmut se například rodí zachycováním neutronů v červených obrech. Lithium, berylium a bor jsou v celém vesmíru vzácnými prvky. Byly přeskočeny, když hvězdy prováděly syntézu uhlíku. Ale později se rodily rozpadem těžších prvků.

Expandující supernova zcela nezaniká. Zbude z ní rychle rotující malé těleso o průměru pouhých 20 až 100 km, které se skládá převážně z neutronů, a proto je označováno jako „neutronová hvězda“. Hustota látky v něm dosahuje stovek milionů tun na jeden krychlový milimetr, ještě mnohem více než u bílého trpaslíka. Zatímco v bílých trpaslících jsou nakupena atomová jádra, v neutronových hvězdách se na sebe tísní volné neutrony z atomových jader, promísené s volnými protony a elektrony. Pokud gravitační smršťování původně obrovských hvězd pokračuje dále, dojde ke gravitačnímu kolapsu tělesa, které se mění v „černou díru“. Naproti tomu u hvězd s menší hmotností se smršťování zastaví dříve. V nitru hvězdy se stabilizuje takzvaný degenerovaný elektronový plyn, složený z izolovaných atomových jader a elektronů. Zrodí se nám již známý bílý trpaslík s povrchovou teplotou okolo 10 000 K. Dalším chladnutím dospěje vývoj do konečného stadia, k prakticky neviditelnému černému trpaslíku.

Popsané hvězdy první generace jsou vlastně dílnami na jadernou

syntézu těžších prvků. Velký třesk zrodil v podstatě jen vodík a helium. Teprve výbuchy supernov obohatily vesmírný prostor o další prvky Mendělejevovy soustavy. Vytvářejí se nová galaktická mračna, v nichž se kromě plynu objevuje i hvězdný prach a kompaktní hmota. Z takových oblaků se potom formují hvězdy druhé a třetí generace, které již obsahují větší procento těžších prvků. Také naše Slunce a celá sluneční soustava vznikly z hmoty, která byla chemicky obohacena předcházejícími generacemi hvězd. Výbuchy supernov jsou hlavním, ale nikoliv jediným zdrojem těžších prvků ve vesmíru. Dalším zdrojem může být jejich unikání v podobě „hvězdného větru“.

Odkud berou astronomové s takovou určitostí údaje o složení hvězd? Ještě před 200 lety August Comte vyjádřil skeptický názor, že se nám chemické složení hvězd nikdy nepodaří zjistit. Ale nevyplácí se být prorokem. Spektrální analýza záření hvězd nám s velkou spolehlivostí určí složení atomů, z nichž se konkrétní hvězda skládá.

Až dosud jsme hovořili o tak hmotných vesmírných tělesech, která jsou vzhledem ke své velikosti schopna zažehnout termonukleární reakci a změnit se ve hvězdy. Ale jaký je osud těles menších, která nedocílí potřebné teploty, jaká je uvnitř vodíkové bomby? Takové útvary slabě žhnou v pásmu infračerveného spektra a říká se jim „hnědí trpaslíci“. Jejich povrchová teplota bývá 500 až 700 °C. Ještě menší kosmická tělesa řadí astronomové k planetám. Ve sluneční soustavě je to Jupiter, ale mimo sluneční soustavu jsou také známa chladná tělesa až desetkrát hmotnější než Jupiter.

Hvězdy mají tendenci navzájem se sdružovat. Více než polovina hvězd, které v noci vidíte na obloze, jsou ve skutečnosti dvojhvězdy, které krouží kolem sebe. Také „nova“ (na rozdíl od supernovy) bývá nejčastěji dvojhvězda, která se náhle jasně rozzářila. Jedním jejím členem je bílý trpaslík, který odčerpává ze své doprovázející družky palivo tak dlouho, až stoupající tlak a teplota zažehne termonukleární reakci. Nova se jasně rozzáří a celý cyklus se může vícekrát opakovat.

Všechny hvězdy, které vidíme prostým okem na severní i jižní obloze, patří do jediné obrovské vesmírné soustavy označované jako Mléčná dráha – naše galaxie. Obsahuje asi 200 miliard hvězd a vznikla rotací kulovité hvězdokupy. Jak se rotace zvyšovala, galaxie se smršťovala, až vytvořila plochý disk se spirálovými rameny, která vybíhají ze středu soustavy. Je tak obrovský, že Slunce jej od svého vzniku oběhlo teprve osmnáctkrát, ačkoliv se řítí kolem jeho centra rychlostí kolem 200 km

za sekundu. Celá soustava rotuje kolem předpokládané obří černé díry. Rotace udržuje stabilitu galaxie. Jinak by se vlivem gravitace zhroutila do svého středu a změnila se v černou díru.

Galaxií je ve vesmíru nepředstavitelné množství. Bez dalekohledu však můžeme ze Země zahlédnout pouze tři. Na severní obloze Velkou spirální galaxii v Andromedě (M31) a dvě galaxie na obloze jižní – Velké a Malé Magellanovo mračno. Našemu oku se ovšem jeví jako malé obláčky. Stovky, až tisíce galaxií se shlukují do útvarů zvaných kupy galaxií a ty pak vytvářejí supergalaxie. O jejich objev se zasloužil Hubbleův vesmírný teleskop, který zjistil množství galaxií tam, kde pozemské dalekohledy ukazovaly jen vesmírnou prázdnotu. Počet zachycených galaxií se počítá na desítky miliard a v každé z nich se předpokládá průměrně sto miliard hvězd.

Také jednotlivé druhy hvězd mají svou taxonomii, podobně jako rostliny, živočichové či prvky Mendělejevovy tabulky. Řád do zdánlivého chaosu vnesl v roce 1905 dánský chemik Ejnar Hertzsprung. Tehdy mu bylo 32 let. Napadlo ho roztrždit hvězdy podle svítivosti a povrchové teploty. Na vodorovnou osu vynesl povrchovou teplotu hvězdy, na svislou její zářivý výkon porovnaný se svítivostí Slunce. Vyšel mu jednoduchý, ale přesvědčivý diagram. Hertzsprung publikoval svůj objev v málo čteném časopise, a proto článek zapadl. Teprve po osmi letech jeho diagram potvrdil, rozvedl a upřesnil americký astronom Henry Russell. Dnes se tento nejvýznamnější astronomický diagram nazývá Hertzsprungův-Russellův diagram.

Naprostá většina hvězd se v něm vyvíjí po hlavní křivce, což je úhlopříčka směřující z levého horního rohu do pravého rohu dolního. Počáteční hmotnost hvězdy je základním parametrem, který určuje její polohu na hlavní posloupnosti. Naše Slunce se nachází asi v polovině této diagonály. Nad hlavní posloupností leží přibližně vodorovná větev veleobrů, pod ní ostrůvek obrů a pod hlavní posloupností se nachází ostrov bílých trpaslíků.

Sluneční soustava

Vraťme se nyní k naší sluneční soustavě. Tu lze dnes zařadit do vývojového sledu, který sahá zpět až k velkému třesku. Důkazy, které byly pro toto tvrzení předloženy, jsou stejně přesvědčivé jako důkazy, které

snegli geologové a paleontologové k historii Země. Samo Slunce se zrodilo z nehmotnější části zárodečného mračka a obsahuje 99,866 % celkové hmotnosti sluneční soustavy. Tvoří ho především vodík. Z každého tisíce atomů připadá na Slunci 920 atomů na vodík, 79 na helium a pouze jediný atom na všechny zbývající prvky. Slunce se totiž zrodilo až ve druhé nebo třetí generaci z otáčející se mlhoviny, která obsahovala zbytky předcházejících supernov, vyvržené do vesmíru. Z malé části této rotující mlhoviny vznikly planety včetně Země. Přestože jsou těžší prvky ve sluneční soustavě zastoupeny pouze určitým procentem, ve vesmírném měřítku je to zastoupení vysoké. Dokládá to, že materiál, z něhož naše sluneční soustava vznikla, byl termonukleárně přetvořen v nitru některé či některých obrovských hvězd. Stopová přítomnost prvků těžších než železo je důsledkem toho, že takové prvky vznikají jen v krátkých časových intervalech během výbuchu supernovy či při jiných extrémních vesmírných procesech.

Sluneční soustavu tvoří kromě Slunce všechna tělesa v jeho gravitačním poli. Je to osm planet včetně Země, měsíce těchto planet, dále to jsou asteroidy, komety, meteory, prachové a plynové částice meziplanetární látky. Dodnes padá ročně na zemský povrch 40 tisíc tun meteorického prachu. Sluneční soustava vznikla z rozsáhlého společného mračka tvořeného shluky prachových a plynných částic. Oblak měl nízkou teplotu, asi 10 K. Částice se působením gravitace smršťovaly a zhušťovaly, ohřívaly a postupně se roztáčely stále vyšší rychlostí. Původní chaotické mračno se vlivem odstředivé síly měnilo v pravidelný rotující disk, v jehož centru vzniklo nehmotnější těleso soustavy – Slunce. Tam, kde přitažlivá síla Slunce byla vyrovnávána odstředivou energií drobných prachových částic, začaly se vytvářet kameny a balvany. Ty na sebe působily gravitační silou, přitahovaly rozptýlený prach a postupně tak vznikaly zárodky planet, které měly zprvu rozměry 5 až 10 km a jsou označovány jako planetesimály I. generace. Jejich srážkami pak za několik desítek tisíc let vznikaly planetesimály II. generace, tělesa o průměru 500 až 800 km. Taková tělesa byla již schopna přitahovat rozptýlený plyn z okolí a vytvářet zárodky atmosféry. Původní atmosféru o výšce několika tisíc kilometrů si uchovaly jen velmi hmotné planety, jako je Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Venuše, Země a Mars si zejména sopečnou činností vytvořily atmosféru novou.

Původní atmosféra Země se od té dnešní velmi lišila. Neobsahovala kyslík, ale bylo tam dostatek jiných, pro nás dost jedovatých plynů.

Vyskytoval se v ní sirovodík, oxid uhličitý, dusík a vodní páry. Planetesimály přitahované Zemí při svých srážkách uvolňovaly obrovské množství energie. Tak se teplota Země stále zvyšovala a její růst urychloval i rozpad radioaktivních prvků. Když teplota jejího povrchu dosáhla asi 1300 °C, začala Země pomalu chladnout. Proces chladnutí pokračuje dodnes.

Po velkých tělesech, jako jsou planety, zbylo velké množství rozdrobené hmoty, od kamínků až po stakilometrové balvany. Ty spolu s meteority a kometami vytvářejí dopravní systém v naší sluneční soustavě. Nejbližší Slunci obíhá tato vesmírná suť v pásu asteroidů, rozlehlém pásu mezi drahami Marsu a Jupitera. Asteroidy nebyly nikdy oběžnicí, která by se rozpadla na kusy. Jde spíše o planetu, která se nedokázala vytvořit vlivem gravitační síly blízkého Jupitera. Některé dráhy asteroidů jsou značně chaotické a nelze vyloučit, že se mohou dostat do blízkosti Země. Jde o slepence kamení a ledu, o vzorek materiálu, z něhož sluneční soustava vznikala. Jak se tyto balvany přiblíží k Slunci, začne se led vypařovat a vytvářet plynnou atmosféru. Ta se jeví na obloze jako kometa.

Uvnitř sluneční soustavy a na její periferii jsou však ještě další obrovské zdroje planetek, kometárních jader a menších meteorů. Je to Kuiperův pás (Kuiper Belt) a Oortův oblak (Oort Cloud). Komety se již od pravěku těšily velkému zájmu astrologů a astronomů. Třebaže jejich přesné chemické složení není dosud známo, obsahují mnoho lehkých prvků, jako jsou vodík, uhlík, dusík a kyslík. Objevují se v nich také látky organické – sloučeniny uhlíku. Rozložení hmoty v gravitační sféře Slunce je tedy značně složitě.

Kuiperův pás byl pojmenován po americkém astronomovi nizozemského původu Gerardovi Peteru Kuiperovi, který v roce 1951 vyslovil hypotézu o původu některých komet z oblasti za drahou Neptuna, ve vzdálenosti asi 40 až 1000 astronomických jednotek AU (1 AU = střední vzdálenost Země od Slunce). Podobnou hypotézu však již v roce 1940 představil skotský astronom Kenneth Edgeworth, takže někdy bývá tato oblast označována jako Edgeworthův-Kuiperův pás. Je to domov menších vesmírných těles uspořádaný do diskovitěho tvaru. Odhaduje se, že je v něm kolem 50 000 objektů větších než 100 km v průměru. Do Kuiperova pásu byla v roce 2006 zařazena i dřívější planeta Pluto. Co do hmotnosti těles a jejich počtu Kuiperův pás převyšuje pásmo asteroidů řádem několika stovek. Čas od času gravitační působení Neptuna a dalších velkých planet vypudí z Kuiperova pásu některé těleso a to se stává kometou o krátké periodě. Nejznámější z nich je Halleyova kometa

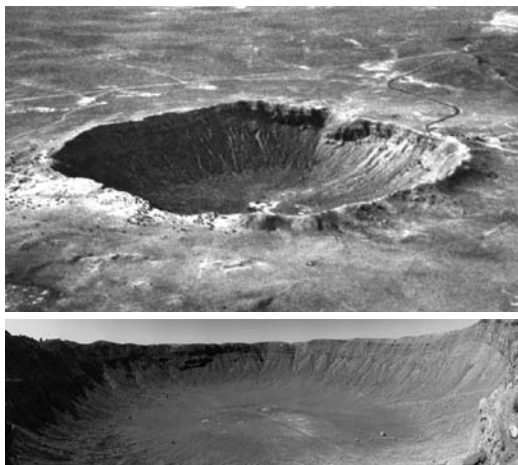
s oběžnou drahou 76 let. V lidské historii byla pozorována již třicetkrát. Nejblíže byla v roce 1910, kdy Země prošla jejím ohonem. Naposledy ji bylo možno spatřit v roce 1986, příští návštěvu čekáme v roce 2061. Je pozorovatelná pouhým okem.

Kromě pásma asteroidů a Kuiperova pásu je zdrojem komet ještě Oortův oblak (zvaný také Oortovo mračno). Tam je domov komet s dlouhou periodou oběhu kolem Slunce. Takové hypotetické pozadí sluneční soustavy předpokládal již v roce 1932 estonský astronom Ernst Öpik. Nezávisle na něm přišel se stejnou myšlenkou v roce 1950 dánský astronom Jan Hendrik Oort, proto můžeme zaznamenat i název „Öpikův-Oortův oblak“. Tato sférická oblast ve tvaru koule se nachází za Kuiperovým pásem na vnější hranici sluneční soustavy do vzdálenosti až 200 000 AU od Slunce. V něm se hypoteticky nachází nepředstavitelné množství dlouhoperiodických kometárních jader (snad až 100 bilionů). Jde o pozůstatek vnější části zárodečného disku, z něhož sluneční soustava vznikala. Je v něm téměř tolik hmoty jako ve všech planetách sluneční soustavy dohromady. Toto mračno je zásobárnou mrazivých komet s velmi malými rozměry (průměr okolo 10 kilometrů) a s velmi nízkou teplotou asi $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vlivem gravitačních poruch nebo vzájemných srážek se některé z kometárních jader či planetek mohou dostat do blízkosti Země, a dokonce se s ní srazit. Astrofyzikové předpokládají, že objekty Oortova oblaku jsou zmrzlé plyny, ale objev objektu 1996 PW naznačil, že to mohou být i kamenné útvary. Poslední astronomická pozorování hypotézu Oortova oblaku potvrzují: v roce 2000 byl zaznamenán objekt CR₁₀₅ o průměru 265 kilometrů, v roce 2003 objekt „Sedna“ (VB₁₂) s průměrem asi 1200 až 1800 kilometrů.

Oortův oblak je pokládán za největší rudiment původního protoplanetárního disku, z něhož vzniklo Slunce. Jeho vnější část je pouze volně poutána gravitací solárního systému, a je proto citlivá na vliv okolních hvězd a galaktických sil.

Země tedy dnes má tři zdroje vesmírných setkání: návštěvníky z pásma asteroidů, komety z Kuiperova pásu a vetřelce z Oortova mračna. Stopy jejich návštěv lze dodnes pozorovat na Měsíci i na Marsu. A to ponecháváme stranou dosud dostatečně nezdokumentované návštěvy z mezihvězdného prostoru.

Třebaže na Zemi byly pozůstatky takových srážek geologickými procesy zahlazeny, zůstalo po nich přece jen několik přesvědčivých stop v minulosti. Snad nejznámější je dobře zachovaný a snadno přístupný



*Meteor Crater v Arizoně je dobře zachovaný
a snadno dostupný*

Meteor Crater v Arizoně. Před 49 500 lety jej vytvořil miliony tun vážící meteorit z niklu a železa. Kráter je hluboký jako šedesátipodlažní budova a v průměru má 1300 metrů. Geologové znají nejméně 160 takových kráterů. Někdy jde jen o jámy 100 metrů široké s původním meteoritem na dně, jindy o krátery s průměrem několika set kilometrů.

K velkým vesmírným katastrofám došlo na Zemi zřejmě před 390, 248 a 65 miliony let. Dopad

asteroidu, dislokovaný do oblasti Karibského zálivu se středem pod dnešní mexickou vesnicí Puerto Čikčulub (Chicxulub) a pobřeží Yucatanu, měl velmi pravděpodobně za následek vymření více než poloviny veškerých živočichů včetně dinosaurů. Za rozhodující důkaz jsou považovány výsledky vrtů u východního pobřeží Floridy, kde byly odebrány vzorky usazenin na místě dopadu obřího meteoritu a byl tam objeven obrovský kráter, který tehdy meteorit vyhloubil. Vnitřní kráter byl široký asi 180 kilometrů, jeho vnější lem měl průměr asi 300 km, asteroid měřil zhruba 10 kilometrů a dopadl na Zemi rychlostí několika tisíc kilometrů za sekundu. Zvířený prach na několik let zahalil a ochladil planetu, zmizelo mnoho rostlin a přeživší zvířata umírala hladu.

Přestože byl 1100 metrů hluboký kráter překryt třetihorními usazeninami, prozradily jej gravitační anomálie, odchylky lokálního gravitačního pole a geologické podloží změněné stlačením hornin v takové míře, jaká neodpovídá přirozeným geologickým procesům. Po celém obvodu Mexického zálivu našli geologové stopy obrovské vlny tsunami v podobě chaoticky rozložených usazenin z uvedeného období. Na Haiti, v Mexiku a v Severní Americe se vyskytují tektity vzniklé vyvržením roztaveného kamene, datované do stejné doby. Jedna z dalších indicií svědčí o tom, že četnost vymírání byla tím menší, čím byla vzdálenost od kráteru větší. Za další důkaz jsou pokládány hojné nálezy tenké vrstvičky sedimentů s bohatým obsahem iridia z rozhraní křídý a třetihor. Iridium je v pozemských horninách přítomno pouze ve stopovém množství, zatímco

v meteoritech je běžným prvkem a vyskytuje se tam ve 30 000násobném množství než v zemské kůře. Obdobné je to s výskytem osmia, dalšího na Zemi vzácného prvku. Během žhavého období Země iridium, osmium, platina a další vzácné a těžké prvky klesaly hluboko do zemského jádra. Zvýšené koncentrace iridia a osmia byly nalezeny nejen v kritické oblasti kolem čikčulubského kráteru, ale také v mnoha horninách z této doby na nejružnějších místech světa – zejména v Itálii, Dánsku, Tunisku, Brazílii, na Novém Zélandu i na dně oceánů. Vápence z období křídý jsou tam odděleny asi centimetrovou vrstvičkou červených minerálů.

Zhruba ze stejné doby pochází řada dalších kráterů. Je to především kráter Boltyš, ležící asi padesát km od ukrajinského města Kirovograd. Je 24 km široký, jeho střed vyčnívá 550 m nad okolní terén a jeho stáří se odhaduje na $65,17 \pm 0,64$ milionu let. Podmořský kráter Silverpit o průměru 20 km byl objeven v Severním moři 140 km od pobřeží Velké Británie. Vytvořila ho před 60 až 65 miliony let planetka o průměru 200 až 500 metrů. Dalšími zaznamenanými krátery z tohoto období jsou 10 km široký Eagle Butte kráter poblíž Alerty v Kanadě a kráter Vista Alegre v brazilském státě Paraná, o průměru 9,5 km. Tyto skutečnosti zavdaly podnět k domněnce, že před 65 miliony let byla naše Země zasažena celým rojem velkých meteoritů.

Zhruba stejně velké vesmírné těleso jako v Yucatanu, o průměru 7 až 13 kilometrů, napáchalo patrně ještě více škody již před 248 miliony let. Náraz vedl k oživení sopečné činnosti, láva spálila rozsáhlá území, atmosféra se zaplnila popelem a prachem. Zeměkoule se ponořila na staletí do zimy a tmy.

O realitě obrovských bludných balvanů ve sluneční soustavě se mohly přesvědčit i dnes žijící generace v roce 1994, kdy málo kompaktní jádro komety Shoemaker-Levy 9 dopadlo na planetu Jupiter. Objekt o původní velikosti asi 4,5 km se působením gravitace Jupitera rozpadl na šňůru jedenadvaceti úlomků, jejichž srážky s planetou ve dnech 16. – 22. 7. 1994 byly vzrušenými astronomy dobře zdokumentovány. Ve svých dalekohledech mohli tyto impakty pozorovat také amatérští hvězdáři. Jupiter je naším andělem strážným. Svou gravitací, která asi tisíckrát převyšuje gravitaci Země, vychytává mnoho bludných balvanů, které by jinak směřovaly do nitra sluneční soustavy.

Pocitu ohrožení z vesmíru nás snad mohou zbavit odhady odborníků, kteří vypočítali, že pravděpodobné střetnutí Země s vesmírným tělesem v řádu desítek metrů lze očekávat jednou za 300 let, v řádu

kolem 500 metrů jednou za deset tisíc let, o průměru 2 km jednou za milion let a balvany široké 10 km, typu onoho z Yucatanu, jednou za sto milionů let. S rostoucími rozměry vesmírného tělesa pravděpodobnost srážky klesá. Dopad podobného objektu, jaký vytvořil čikčulubský kráter, astronomové pro 21. století téměř s jistotou vyloučili.

Kosmické záhady

Astronomové objevili ve vesmíru ještě další objekty, které nelze jednoznačně zařadit mezi hvězdy. Jsou to především takzvané „černé díry“. Výjimečně se může stát, že nesmírně hmotná hvězda po vyhoření jaderného paliva neexploduje, protože tomu brání obrovská gravitační síla superhustého jádra. Namísto exploze se taková hvězda zhroutí dovnitř, do záhadného objektu označovaného jako „černá díra“. Hrst její hmoty by vážila více než celá zeměkoule. Kdyby se naše Slunce změnilo v černou díru, neměřilo by v průměru více než šest kilometrů. Některé gigantické černé díry v jádrech galaxií svými rozměry dosahují průměru naší Mléčné dráhy. Černé díry jsou příkladem toho, jak věda může teorii rozvinout do značných podrobností dříve, než byly přepokládány jevy empiricky prokázány. Jejich existence byla předpovězena na základě Einsteinovy obecné teorie relativity. K jejich empirickému prokázání pomohl Hubbleův teleskop. Jako černé jsou tyto objekty označovány proto, že nevysílají žádné elektromagnetické záření, a nelze je tedy přímo pozorovat. Dírami jsou pak nazývány z toho důvodu, že jsou bezedné a nenaplnitelné. Mohou pohlcovat další a další hmotu, aniž někdy budou nasycené. Gravitace černé díry je tak obrovská, že by úniková rychlost z jejího gravitačního pole musela přesáhnout rychlost světla. Největší exempláře jsou proto ve středu galaxií. Existence černých děr se předpokládá také v jádrech kvazarů jako zdroj jejich obrovské energie. V černých dírách dosáhla gravitace triumfu nad všemi ostatními fyzikálními silami. Je v nich deformován prostor a čas a mohou být modelovány pouze složitými matematickými postupy, které se opírají o Einsteinovu obecnou teorii relativity. Tím se černá díra trochu podobá stavu singularity ve vesmíru před velkým třeskem.

Gigantická černá díra o hmotnosti několika milionů Sluncí se podle dnešních poznatků nachází i v centru naší galaxie – Mléčné dráhy. Poblíž galaktického jádra obíhají totiž hvězdy mnohonásobně rychleji než

v jiných částech galaxie a potom na jistém místě mizí. Astronomové usuzují, že byly vtaženy do černé díry.

Dalšími záhadnými objekty ve vesmíru jsou „kvazistelární radiové zdroje“ (Quasistellar Radio Source), stručně označované jako „kvazary“. Přestože jsou od nás extrémně vzdálené a objevují se na samém okraji pozorovatelného vesmíru, jsou snadno sledovatelné i středně velkými teleskopy. Kvazary jsou nejen nejvzdálenější, ale také nejstarší pozorovatelné objekty na obloze. Vychází z nich silné radiové záření v pásmu metrových vln, které představuje mnohonásobně více energie než celá naše galaxie. Bylo již objeveno asi osm tisíc kvazarů, z nichž zatím nejvzdálenější byl zjištěn v roce 2000 ve vzdálenosti 13 miliard světelných let. Svými rozměry odpovídají kvazary asi velikosti celé naší sluneční soustavy, ale vydávají desetitisíckrát více energie než celá Mléčná dráha. Zřídlem tak obrovské energie nemůže být žádná termonukleární reakce. Musí to být zdroj, který dosahuje zatím nejvyšší účinnosti přeměny energie, jaký lze dnes ve vesmíru pozorovat. Převažují názory, že tímto zdrojem jsou masivní „černé díry“ v jádrech kvazarů.

O další sérii záhad ve vesmíru se postaraly neutronové hvězdy. Připomeňme, že zatímco v bílých trpaslících se na sebe tísní atomová jádra, v neutronových hvězdách jsou nakupeny izolované neutrony s příměsí volných protonů a elektronů. Některé neutronové hvězdy mají obrovské magnetické pole, několikatisícinásobně silnější než běžné neutronové hvězdy a několikmiliardkrát intenzivnější, než je magnetické pole Země. Takové vesmírné objekty se nazývají „magnetary“. Kdyby magnetar SGR 1806-20, objevený satelitem NASA X-Ray Explorer, ležel ve vzdálenosti Měsíce, svým magnetickým polem by na Zemi zastavil jedoucí lokomotivu.

Jiné neutronové hvězdy se rychle otáčejí a vysílají pravidelné impulzy elektromagnetického záření, odtud jejich název pulzary. Kmitočet blikání sahá od několika tisícín sekundy až po několik sekund a je pro každý pulzar charakteristický. Zcela kuriózní jsou pulzary tvořené dvěma neutronovými hvězdami nebo neutronovou hvězdou a bílým trpaslíkem, které kolem sebe vzájemně rotují, nebo dokonce vytvářené neutronovou hvězdou a černou dírou.

Jiné podivné objekty nestelární povahy jsou vesmírné „tmavé hvězdy“, objevené teprve koncem minulého století. Pohybují se kolem naší galaxie a jsou nazývány MACHO (Massiv Compact Halo Object). Jde o chladné nebo pouze slabě zářící hvězdy, velikostí něco mezi Jupiterem

a zhruba třetinou našeho Slunce. Na jejich existenci upozornil fakt, že pohyb hvězd v naší i v jiných galaxiích jeví určité nepravidelnosti, přisuzované gravitaci neznámých těles. Podle nejnovějších poznatků se kolem naší galaxie a zřejmě i kolem galaxií dalších pohybují právě tyto tmavé hvězdy. Většina hmoty naší galaxie je patrně temná. Byly vysloveny hypotézy o tom, že dokonce celý vesmír by z větší části mohl být složen právě z takových nezářících objektů.

Tím však nejsou záhady vesmíru ani zdaleka vyčerpány. Pozornost vědců stále více přitahuje problém takzvané „temné“ (někdy také „skryté“) hmoty a „temné“ energie. Zatímco klasické atomy ve hvězdách, mlhovinách a v oblacích mezihvězdného plynu a prachu se na celkové hmotnosti a energii vesmíru podílejí pouhými čtyřmi procenty, skrytá hmota činí asi 23 procent hmotnosti vesmíru a na temnou energii připadá zbytek, tj. asi 73 procent.

Hypotéza o existenci temné hmoty ve vesmíru byla vyslovena již ve třicátých letech minulého století, ale první krůčky poznání jejích vlastností byly učiněny teprve v devadesátých letech. Počátkem 21. století bylo doloženo, že ohyb světelných paprsků v oblasti nově objevených takzvaných gravitačních čoček lze nejlépe vysvětlit právě působením temné hmoty. O povaze temné hmoty toho vědí astronomové velmi málo, neboť ji nemohou přímo pozorovat. Nepodobá se žádné formě hmoty, kterou lze studovat v laboratoři. Nemůžeme ji vidět, ale na její přítomnost lze usuzovat z rozboru hvězdných drah. Galaxie zcela nesporně musejí obsahovat mnohem více hmoty, než lze pozorovat v jejich hvězdách, hvězdokupách, mlhovinách a v mezihvězdném prachu a plynu. Vyplývá to z povahy jejich rotačních křivek. Podle současných poznatků astronomie jsou galaxie, a dokonce i celé jejich kupy navzájem vázány přitažlivostí, která je pětinasobně až desetinásobně větší, než by odpovídalo hmotnosti viditelných hvězd. Kdyby tomu tak nebylo, tyto hvězdné útvary by se rozpadly. Temná hmota je přítomna i v mezigalaktickém prostoru.

Začíná se prosazovat názor, že temná hmota není tvořena běžnými atomy. Částice nebo jejich shluky, které skrytou hmotu vytvářejí, nemají elektrický náboj, a proto zatím unikaly pozornosti. Pronikají jakýmkoliv materiálem, a přitom nevyvolávají žádnou interakci. To je další potíže, která ztěžuje jejich identifikaci. Žádné částice, které by mohly temnou hmotu tvořit, nebyly zatím v laboratořích pozorovány.

Ještě tajuplnější je temná energie. Současné výzkumy napovídají,

že i nejdokonalejší myslitelné vakuum je vyplněno neznámou energií, která urychluje rozpínání vesmíru. V soudobé astronomii jsou temná hmota a temná energie problémem číslo jedna, neboť vědce znepokojuje fakt, že 90 procent vesmíru jim dosud zůstává utajeno. Temná hmota a temná energie jsou patrně archaické stopy, které se dochovaly z raného dětství vesmíru.

Dalším důkazem existence temné hmoty jsou objevy supergalaxií. Velká supergalaxie v souhvězdí Persea a Pegasa je delší než miliardu světelných let. Ani další objev z devadesátých let minulého století nedokáže soudobé teorie vysvětlit. Supergalaxii nazývanou Velká zed' tvoří shluk asi 27 000 galaxií a hvězd. Má délku asi 500 a průměr přibližně 290 milionů světelných let. Její existence je považována za další důkaz toho, že existuje skrytá hmota, která nezáří, ale projevuje se pouze svou gravitací.

Jinou vesmírnou záhadou skrývající poselství o zrodu vesmíru jsou patrně zdroje kosmického záření. Protože vesmírný prostor je vyplněn navzájem se chaoticky prostupujícími elektromagnetickými poli, částice kosmického záření opisují složité křivky a na Zemi dopadají ze zcela jiných směrů, než odkud byly vyzářeny. Polohu jejich zdrojů ani vzdálenost tedy nelze určit. Přitom nejde o záření v pravém slova smyslu, ale o proud vysoce energetických a většinou elektricky nabitých částic, jako jsou protony a jádra atomů těžších prvků. Některé z nich mají až miliardkrát vyšší energii, než jakou lze na Zemi dosáhnout v těch největších urychlovačích. Zatímco ty dodávají částicím energii jen málo přesahující 10^{12} elektronvoltage, z vesmíru jednou za rok přilétají částice nesoucí energii až 10^{21} eV.

Velice důležitým zářením, které již je dosti prozkoumáno, je reliktní záření, označované také jako kosmické mikrovlnné pozadí. Pochází z doby, kdy vesmír zprůhledněl. Je nezávislé na směru, jinými slovy je téměř dokonale izotropní. Má teplotu 2,726 K (což odpovídá -270,274 °C, ale ve všech směrech není stejně teplé, byť rozdíly činí pouhé stotisíciny stupně. Tyto nepatrné fluktuace jsou ve shodě s předpokládaným zhuštěním materiálu, z něhož měly vznikat zárodky galaxií. Považuje se za jeden z nejdůležitějších důkazů velkého třesku a rozpínání vesmíru. Přesně podle výpočtů je toto kosmické záření mírně polarizováno, protože fotony kmitají přednostně v jedné orientaci, jak v roce 2002 prokázal mezinárodní tým pod vedením Johna Carlstroma.

Aby překvapením nebyl konec, mění se i vědecké názory na podstatu

vakua. Vesmírné vakuum není prázdnotou a nicotou v běžném slova smyslu. Dnes se má za to, že je základním zdrojem veškeré energie i látky ve vesmíru. Stejně jako absolutní nekonečno také absolutní nicota existuje jenom v lidských představách. Fyzikální vakuum je rovněž stav hmoty, a dokonce stav s vysokou hustotou energie a záporným tlakem. Rozdíl mezi prázdňným prostorem a polem mizí.

Teorie relativity

Ve vzdáleném vesmíru se vynořují nejen zcela neobvyklé objekty, ale platí tam také úplně jiné fyzikální zákonitosti. Zásluhy o zcela nový pohled na fyziku vesmíru patří šestadvacetiletému prozatímnímu technickému znalci třetí třídy na patentovém úřadě v Bernu. Ve chvílích, kdy dokončil psaní posudků na perpetua mobile, přemýšlel o uspořádání vesmíru. V roce 1905 přišel Albert Einstein se speciální teorií

relativity a v roce 1916 dokončil svou obecnou teorií relativity. V protikladu k tehdejšímu stacionárnímu popisu fyzikálních jevů ve vesmíru přinesl nový pohled na prostor a čas, které zkoumal ve vzájemné závislosti a proměnnosti. Ze stejného úhlu přistoupil o něco později také ke gravitaci. Stal se v roce 1921 nositelem Nobelovy ceny za fyziku. Není bez zajímavosti, že to nebylo za převratnou teorii relativity, ale za práci v oboru kvantové mechaniky. Teorie relativity byla tehdy pro vědeckou komunitu ještě příliš velkým soustem.

Ani Einsteinovy objevy ovšem nespadly z nebe. Konečná rychlost světla byla zasvěcencům známa již přes dvě stě let. Vypočetl ji dánský astronom a fyzik

The image shows a handwritten manuscript on graph paper, likely a reproduction of Albert Einstein's 1905 paper. The text is in German and includes the following sections and equations:

- Grundannahmen** (Basic Assumptions):

$$g_{11} dx^2 + \dots + g_{44} dt^2 = ds^2 \quad \text{immer positiv für Partikel.}$$

$$\frac{ds}{dt} = c \text{ für Licht.}$$
- Bewegungsgleichungen** (Equations of Motion):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{x}} \right) = \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad \text{für } \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{x}} \right) = - \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = g_{11} \dot{x} + g_{12} \dot{y} + \dots + g_{14} \dot{t}$$

$$\frac{d}{dt} \left(g_{11} \dot{x} + g_{12} \dot{y} + \dots + g_{14} \dot{t} \right) = 0$$
- Tensor der Bewegung von Massen** (Tensor of Motion of Masses):

$$T_{ik} = g_{ik} \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds}$$
- Tensor der Bewegungsgröße Energie** (Tensor of Energy-Momentum):

$$T_{ik} = \frac{1}{c} \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds}$$
- Prinzip der Relativität** (Principle of Relativity):

$$\sum_{ik} \frac{\partial}{\partial x_i} (g_{ik} T_{ik}) = \frac{1}{c} \sum_{ik} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \right) = 0$$
- Satz von der Relativität** (Theorem of Relativity):

$$\sum_{ik} \frac{\partial}{\partial x_i} (g_{ik} T_{ik}) = \frac{1}{c} \sum_{ik} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \right) = 0$$
- Prinzip der Relativität** (Principle of Relativity):

$$\sum_{ik} \frac{\partial}{\partial x_i} (g_{ik} T_{ik}) = \frac{1}{c} \sum_{ik} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \right) = 0$$

Poznámky A. Einsteina k obecné teorii relativity

Olaf Rømer na základě svého pozorování nepravidelností v zatmění Jupiterova měsíce Io v roce 1676. Zaznamenal, že se časový interval mezi zákryty tohoto měsíce zkracuje, když se Země a Jupiter přibližují, a naopak, že se čas prodlužuje, když se obě planety od sebe vzdalují. Z průměrného rozdílu 996 sekund vypočetl rychlost světla a již tehdy usoudil, že jde o rychlost konečnou. Německý filozof maďarského původu Melchior Palágyi v roce 1901 zveřejnil v Lipsku svou práci *Neue Theorie des Raumes und der Zeit* (Nová teorie času a prostoru), je proto považován za filozofického předchůdce teorie relativity. Einsteinovou zásluhou ovšem zůstává, že našel odvahu na mezní rychlosti světla vybudovat souřadnice vesmíru. Učinil totéž, co Kolumbus s pověstným vejcem.

Jak se to ve vědě nezřídka stává, také teorie relativity přicházela na svět koevolucí. Kromě Alberta Einsteina na ní pracovali dva velcí fyzikové té doby, Holanďan Hendrik Antoon Lorentz (Nobelova cena 1902) a Francouz Henri Poincaré. Řadu postřehů teorie relativity (kontrakce délek ve směru pohybu těles, dilatace času, závislost hmotnosti na rychlosti, čas jako čtvrtý rozměr a další pojmy speciální teorie relativity) učinili Lorentz i Poincaré již před Einsteinem nebo paralelně s ním. Začátek 20. století byl prostě teorií relativity těhotný.

Revoluční význam Einsteinova přístupu spočíval v tom, že učinil krok za hranice newtonovské fyziky a začal uvažovat o prostoru, času a gravitaci jako o vzájemně propojených a závislých veličinách. Pro blízký vesmír ovšem postuláty Newtonovy teorie docela dobře vyhovují. Teorie relativity dochází svého uplatnění teprve při velmi vysokých rychlostech blízkých rychlosti světla nebo v přítomnosti silných gravitačních polí. Proto je to teorie spojená s výzkumem vzdáleného kosmu a vesmíru jako celku.

Speciální teorie relativity říká především to, že rychlost světla ve vakuu je konstantní a je nezávislá na pohybu světelného zdroje. Světlo se šíří stejně rychle ve všech směrech, nezávisle na rychlosti zdroje i pozorovatele. Mezní rychlost samozřejmě neplatí jenom pro světlo viditelné, ale také pro veškeré elektromagnetické záření, a dokonce i pro gravitační vlny. Je to univerzální vesmírná konstanta. To zdánlivě odporuje zdravému rozumu. Představte si, že by vám někdo tvrdil, že rychlost lahve shozené z mostu je stejná jako rychlost lahve vyhozené z okna rychlíku nebo vypadlé z letadla. Pro rychlost světla však platí jiné zákony. Ať se jeden pozorovatel či zdroj vzhledem k druhému

pohybuje jakkoliv, rychlost světla v jejich vztažných soustavách má stejnou hodnotu. Einstein dokázal, že tento jev je vysvětlitelný jen za předpokladu, že opustíme představu univerzálního času. Žádné těleso nemůže dosáhnout světelné rychlosti, protože bychom mu k tomu museli dodat nekonečné množství energie a jeho hmotnost by pak dosáhla nekonečné hodnoty. Tak se to alespoň podává z Einsteinova pojetí vesmíru. Podle teorie relativity se tedy všechna tělesa mohou pohybovat toliko podsvětelnými rychlostmi.

Tento poznatek má řadu důsledků. Při rychlostech blížících se rychlosti světla je současnost relativní, dochází k dilataci, k „prodloužení“ času, ke zkracování délek, mění se i hmotnost těles. Předměty pohybující se rychlostí blízkou rychlosti světla se stojícímu pozorovateli jeví jako zkrácené ve směru svého pohybu. Významným důsledkem byla ekvivalence hmotnosti a energie. Každý druh energie přináší i hmotnost, a přispívá tak k setrvačnosti tělesa. Energie přestává být od hmotnosti izolována a řídí se společným zákonem zachování energie a hmotnosti. Na rozdíl od newtonovského pojetí neexistuje čas sám o sobě a neexistuje ani „prázdný“ prostor bez těles a energetických polí. Je to konec představ o vesmíru jako o krabici, ve které tikají hodiny. Z něčeho, co bylo na vesmíru nezávislé, se stalo něco, co je vesmírem formováno. V době vzniku teorie relativity byl postulát o ekvivalenci hmotnosti a energie převratnou myšlenkou. V éře kvantové mechaniky však bylo velmi přesvědčivě prokázáno na mnoha experimentech, jak elementární částice vznikají z kinetické energie a jak opět mizí tím, že se změní v záření.

Dalším důležitým postulátem, který vzešel ze speciální teorie relativity, byly výsledky matematických operací, které ukázaly, že s prostorem a časem nelze operovat izolovaně, ale že obě veličiny musí být považovány za korelovaný celek. Jakmile se změní veličina časová, v závislosti na tom se mění veličina prostorová a naopak. Mluvit o prostoru a pomlčet o časové dimenzi je v teorii relativity nepřípustné. Stejně jako naopak. Na rozdíl od newtonovské koncepce neplyne čas všude stejným tempem. Prostředí takto přiřazených fyzikálních veličin je označováno jako „časoprostor“ (někdy také „prostorčas“). Jeho architektura je určována rozvržením hmoty. Samotná gravitace v newtonovském pojetí se z Einsteinova modelu vytratila. Klasický čas a prostor jsou jen různé pohledy na jediný časoprostor.

Časoprostor, vytvořený speciální teorií relativity, však zůstával ve

své době nadále neutrálním prostředím, v němž se pohybují objekty a odehrávají se energetické procesy. Tato představa vzala zaslouhu v roce 1915. Einstein využil tehdy již existující neeuklidovské geometrie a formuloval svou obecnou teorii relativity jazykem geometrie. Musel použít velmi složité matematické postupy, především takzvaný tenzorový počet. Obecná teorie relativity je oproti speciální teorii mnohem složitější. V jejím světle přestal být časoprostor neutrální veličinou. Energetické pole či pohybující se hmotný objekt vlastnosti časoprostoru podstatně ovlivňují. V matematické formulaci se tato provázanost vyjadřuje geometrickým pojmem „zakřivení časoprostoru“. A naopak struktura časoprostoru má vliv na pohyb těles a na silová pole. Události ve vesmíru tedy spoluurčují časoprostor a samy jsou proměnami časoprostoru modifikovány. Einstein předložil elegantní soubor rovnic, které matematicky formulují tyto vzájemné souvislosti mezi základními kategoriemi vesmíru a jsou označovány jako rovnice pole. Obecná teorie relativity zůstává i po téměř stu letech nejlepší teorií gravitace. Ani speciální teorie relativity svou platnost neztratila, ale zařadila se jako limitní případ obecné teorie gravitace. Obě teorie jsou ovšem teoriemi klasického typu. Není v nich místo pro princip neurčitosti ani pro hypotetické gravitony. Proto je někteří vědci nepovažují za konečné řešení vesmírných záhad.

Zakřivení časoprostoru nesmíme ovšem chápat doslova. Jde pouze o názorné zpřístupnění nelineárního matematického postulátu, který lze jen obtížně přiblížit myšlení nematematiků. Z obecné teorie relativity vyplývá, že časoprostor je zakřiven tím více, čím je blíže silným gravitačním polím. Důsledně domyšleno: v takovém matematickém modelu mizí stará dobrá gravitace a znovu se objevuje v podobě geometrie časoprostoru. Přestala být pouhou silou. Země by se sama ráda pohybovala v přímce, zakřivení časoprostoru vyvolané Sluncem ji však nutí kroužit dokola. Kolem Slunce je časoprostor zakřiven více než kolem Země, protože hmotnost Slunce je větší. Zatímco ve speciální teorii relativity měl časoprostor klasické euklidovské dimenze, obecná teorie relativity přenesla chápání časoprostoru do nelineární geometrie neeuklidovského typu. Základní myšlenkou obecné teorie relativity tedy je, že gravitace je důsledkem nelinearity časoprostorového kontinua.

Zdá se vám, že to přesahuje rozměry vašeho chápání? Nic si z toho nedělejte, ani v tomto bodě nejste sami. Britský astronom Arthur

Stanley Eddington, který již v roce 1919 svým pozorováním ověřil závěry obecné teorie relativity a má zásluhy o uvedení Einsteinových myšlenek do vědeckého světa mimo Německo, poskytl následující interview jakémusi časopisu: „Sire, je pravda to, co jste kdysi řekl, že na světě existují jenom tři lidé, kteří rozumějí obecné teorii relativity?“ tázal se redaktor. Eddington dlouho mlčel. „Nu tak, sire, neostýchejte se.“ – „Já jenom přemýšlím, kdo je ten třetí,“ odpověděl Eddington.

To je samozřejmě jenom dobrý žert. Teorie relativity se dnes přednáší na vysokých školách, je to zkušební předmět a lze z ní také propadnout.

Ze všeho, co bylo řečeno, vyplývá, že obecná teorie relativity má hlavní význam ve velkých měřítkách vesmíru, při rychlostech blízkých se rychlosti světla, při nadgalaktických vzdálenostech a při silných gravitačních polích. Všude tam, kde newtonovská fyzika selhává. Bez teorie relativity by se stěží podařilo pochopit podstatu kvazarů, pulzarů, reliktního záření, rentgenového záření i záření gama ve vesmíru a dalších vysokoenergetických kosmických jevů.

V optice teorie relativity se propojily prostor, čas a hmota. Z toho také vyplývá, že čas v blízkosti vysoce hmotných těles plyne pomaleji. Naše tradiční představa času se tím zásadně změnila. Čas přestává být obecnou neutrální kategorií, v níž vnímáme svět a která je na událostech nezávislá. Stal se veličinou, která je při vysokých rychlostech a v přítomnosti silných gravitačních polí spolupřetvářena. V blízkosti vysoce hmotných těles probíhá čas pomaleji, a to tím pomaleji, čím je gravitační pole silnější. Tento fakt byl od vzniku teorie relativity již mnohokrát prokázán a je označován jako gravitační dilatace času. Jedním z dokladů toho, jak silná gravitace „ohýbá“ prostor a prodlužuje čas, je rentgenové záření, přicházející od prudce zahřátého plynu, který je vtahován do černé díry. Největší exempláře černých děr, ukryté v centru galaxií, mají hmotnost odpovídající miliardám hvězd, a rentgenové záření přicházející z jejich blízkosti obdivuhodným způsobem potvrzuje Einsteinovu teorii. Tyto rentgenové zdroje jsou tisíckrát teplejší než povrch běžné hvězdy a na mapách hvězdné oblohy to jsou nejžhavější a nejenergičtější objekty vůbec.

Spontánní organizace vesmíru

Základní pořádkající silou ve vesmíru je gravitace, jejíž podstata je stále ještě obestřena rouškou záhad. Současná věda předpokládá, že nositeli gravitace jsou gravitační vlny podobné povahy, jakou mají vlny kmitajícího elektromagnetického pole. Hypotetické gravitony, které by měly být nosiči této gravitační komunikace, podobně jako jsou fotony takovými nosiči v poli elektromagnetickém, však dosud objeveny nebyly. Vysvětluje se to tím, že gravitační záření se zrodilo velmi brzy po velkém třesku, při teplotách asi 10^{32} K. Takovým teplotám se ovšem v pozemských laboratorních podmínkách nelze ani vzdáleně přiblížit a teorii tak ověřit. Principiální význam gravitace je v tom, že vnáší řád do prapůvodního stavu vesmíru, do jeho neuspořádaného pohybu, do vesmírného chaosu. Gravitace je patrně obdobná tomu, co v systémech vyššího řádu rozumíme pod pojmem informace, a zastupuje ji ve světě kosmické látky. Je to elementární forma interakce mezi všemi hmotnými tělesy. Gravitační síly mezi nimi tvoří univerzální formu komunikace. Uspořádání hvězd a ostatních objektů ve vesmíru můžeme potom chápat jako zapsanou paměť proběhlých informačních (rozuměj: gravitačních) procesů. Jestliže mikrosvět ovládají slabé a silné jaderné síly spolu se silou elektromagnetickou, pak suverénním vládcem vesmíru je síla gravitační.

Přes veškerou bohatost a různorodost vesmíru v něm můžeme přece jen vystopovat důležitou vývojovou linii. Na jejím vrcholu jsme my a naše civilizace. Tato linie je lemována zajímavou, ale pro budoucí vývoj ne vždy podstatnou směsicí struktur a procesů. Je to podobné jako v královských a šlechtických rodokmenech. Odumřelé větve a vedlejší linie nejsou ani výsadou genealogie, ani rodokmenu rostlinných a živočišných druhů. Takové odbočky a slepé větve jsou i v neživé přírodě. Standardní jádro atomu lze vytvořit ze dvou či tří kvarků. Zbývající čtyři známé kvarky a jejich modifikace jsou do jisté míry luxusem přírody. Podobný stav je i mezi lehkými částicemi. Pro vznik běžné látky by vedle atomového jádra postačil elektron a elektronové neutrino. Zbývající lehké částice jsou opět přepychem. Z několika stovek dnes známých elementárních a subatomárních částic tak příroda k tvorbě atomů použila v podstatě tři hlavní stavební kameny: protony, neutrony a elektrony. Z 92 prvků vyskytujících se v přírodě vybrala ke stavbě organismů necelou desítku organogenních prvků. Nejinak je tomu

v rodokmenech hvězd. Jen některé z nich produkují stavební kameny potřebné k dalšímu vývoji a ke složitějšímu uspořádání světa. Zbytek je luxus výběru a hledání cesty. Nadbytečnost, duplicita, multiplicita. To, co náhle přebývá poté, kdy vývoj našel nové prostory a další cestu. Tu nalézá snižováním různorodosti, zvyšováním určitosti, výběrem a volbou.

Z předpokládané počáteční rovnováhy mezi částicemi a antičásticemi příroda ty druhé zcela odmítla. Kromě stopového množství těch, které se fyzikům podaří vyrobit na velkých urychlovačích, a těch, které vznikají při vysokoenergetických srážkách částic, bychom antičástice v naší galaxii a patrně i v celém dnešním vesmíru hledali marně. Podobné je to s hypotetickými antikvarky.

V raném vesmíru byl hojný výskyt pozitronů, kladně nabitých částic o stejné hmotnosti, jako má elektron. Dnes se s pozitrony můžeme setkat jen v laboratoři, při jistých typech radioaktivního rozpadu a při některých výjimečných kosmických procesech, jako je výbuch supernovy. Ale při stavbě složitějších vesmírných struktur se příroda pozitronům vyhnula. Zato soudobá medicína jich využívá v pozitronové emisní tomografii (PET), důležité a nenahraditelné diagnostické metodě.

Také koloběh hmoty ve vesmíru má své slepé uličky. Jestliže hvězda zkolabuje v neutronovou hvězdu nebo v černou díru, s námahou vytvořený materiál je z dalšího koloběhu vesmírné hmoty vyřazen. Je to podobné jako se zánikem živočišného druhu. Kdyby v přírodě vládla cílevědomá účelnost nebo záměr „Velkého designéra“ či „Velkého ladiče“, byla by taková slepá strategie neskutečným mrháním časem, silami i prostředky.

Jestliže zaženete dostatečně velké hejno myší do sebesložitějšího bludiště, dříve nebo později nejméně jedna z nich nalezne cestu ven. Většina se ovšem zabydlí či zahyne ve slepých uličkách.



*B. P. Bělousov a A. M. Žabotinskij – objevitelé „chemických hodin“,
které byly nazvány jejich jmény*

4. kapitola

MAKROSVĚT

[Klasické paradigma ■ Dynamika tepla ■
Prekursori života ■ Daleko od rovnováhy]

Klasické paradigma

Po výletu do hlubin vesmíru a po bloudění světem elementárních částic jsme konečně zase doma – v uchopitelném světě lidských měřítek. Ten odpovídá naší každodenní zkušenosti a platí v něm Newtonova mechanika. Je to náš intuitivní svět. Setkáváme se v něm s objekty a jevy, které můžeme přímo pozorovat okem, mikroskopem, dalekohledem. Nepřihlížíme v něm k mikrostruktuře látek a zanedbáváme vliv kosmických těles na pozemské jevy. Makrosvět tvoří rozhraní mezi mikrosvětem a vesmírem. Je to mezivrstva, v níž se prostory mikrosvěta a vesmíru vzájemně dotýkají a pronikají. Odpovídá obecným

zákonitostem mezivrstvy, že právě na rozhraní dvou odlišných systémů dochází k nejživějšímu vývoji. Právě tam bývá nejčilejší komunikace, výměna látky, energie, informace.

Makrosvět Země v průběhu evoluce určoval zaměřenost našeho vnímání okolního světa i proces zpracování počítků. To ovšem začalo již u nejjednodušších živočichů. Kdyby Země byla trvale zahalena hustými mračky, nepochybně by se sluch a čich vyvinuly v daleko významnější smysly a význam zraku by ustoupil. Kdyby Země měla jinou gravitaci, oceány jinou salinitu, den a noc jinou periodicitu, vypadal by člověk a jeho životní rytmus také jinak. Mezivrstva relativně nízkooenergetického prostředí, jakou je náš makrosvět, se stala kolébkou a nutným předpokladem pro zrod a přežití živých organismů. Je to svět klasické mechaniky a fyziky, svět fascinujících, přímočaře působících přírodních zákonů, svět empirických věd. To, co není přímo dostupné našemu vnímání a co se v průběhu evoluce na jeho formování nepodílelo, chápeme s mnohem většími obtížemi. Platí to jak pro kvantový mikrokosmos, tak pro komplikovaný svět společenské dynamiky. Makrosvět je naším domovem, z něhož podnikáme expedice do vesmíru i do mikrosvěta. Naše smyslové poznání je limitováno rozměry a vlastnostmi lidských bytostí.

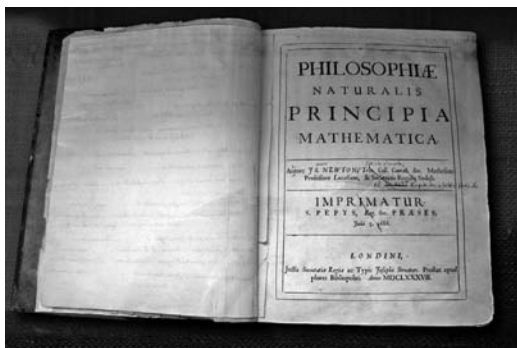
Otcem klasické mechaniky je anglický fyzik, matematik a astronom Isaac Newton. Jeho stěžejní dílo *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Matematické základy přírodní filozofie) vyšlo v roce 1687. V tomto díle provedl Newton matematickou syntézu dědictví Koperníka, Keplera, Bacona, Galilea a Descarta. Sám o tom později v jednom dopise napsal: „Pokud jsem viděl dál, je to jen tím, že stojím na ramenou obrů.“

V tomto díle Newton formuloval svou gravitační teorii, opírající se o zákon, že dvě hmotná tělesa se přitahují silou, která je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti. Tento zákon má v přírodě univerzální platnost a vztahuje se jak na pohyb nebeských těles, tak na předměty padající k zemi. Formuloval zde také tři základní poučky, později nazývané Newtonovy zákony: zákon setrvačnosti, zákon zrychlení a zákon vzájemného působení, označovaný také jako zákon akce a reakce. Pomocí těchto tří jednoduchých zákonů a zákona gravitačního položil Newton základy novodobé vědy.

Jeho dílo mělo nesmírný vliv na celý vývoj přírodovědy v následu-

jících dvou stoletích. V něm Newton podal uzavřený systém axiomů a definic, které lze elegantně vyjádřit určitým počtem matematických rovnic. Tím bylo zaručeno, že uvnitř systému nemohou vznikat rozpor. Tato Newtonova vize byla mimořádně plodná a byla považována za definitivní obraz fyzikálního světa až do počátků kvantové mechaniky a teorie relativity.

V Newtonově matematickém světě do sebe všechny události zapadají jako kolečka obrovského hodinového stroje. Byl to striktně deterministický obraz fyzikálního světa. Celá budoucnost fyzikálních dějů, ale také jejich minulost byly určeny Newtonovými rovnicemi a zadanými počátečními podmínkami. Ty by-



Geniální dílo Isaaka Newtona změnilo pohled na uspořádání světa

ly volitelné a byly považovány za první příčinu. Avšak stanovením počátečních podmínek jakákoliv libovůle končila. Dále celý mechanismus probíhal přísně deterministicky. Newtonovská mechanika v principu umožňovala určit celé minulé i budoucí chování soustavy ze znalosti poloh a rychlostí hmotných bodů v počátečních podmínkách. V každém okamžiku zná každý hmotný bod vše, co bude potřebovat v budoucnosti, tj. rychlost i umístění v prostoru. Každý takový přítomný stav v sobě obsahuje úplnou definici všech možných stavů, a to nejen v budoucnosti, ale také v minulosti. Pro náhodu, neurčitost, chaos, vynořování nových vlastností není v takovém modelu místo. Tento přístup musíme ovšem chápat jako matematickou idealizaci fyzikálních procesů. Všechny reálné děje v přírodě jsou ve skutečnosti nevratné.

Všechno by bylo dodnes v pořádku, kdyby bylo zdůrazněno, že taková lineární a deterministická představa světa musí být chápána pouze jako mapa, podle níž se máme orientovat v daleko složitějším světě skutečném. Mapu a krajinu nelze ztotožňovat. Kdo se takové chyby dopouští, nevidí či nechce v reálném světě vidět nic z toho, co nemá zakresleno ve své mapě.

Newtonovo paradigma popisuje svět, v němž platí jednoznačné deterministické zákonitosti, a to oběma směry – jak do budoucnosti, tak do minulosti. Čas v nich nehraje podstatnou roli. Rovnice klasické

mechaniky považují všechny časové stavy za rovnocenné. V průběhu Newtonova času nic nového k přírodní skutečnosti nemůže přistoupit a do jeho trajektorií nevkládá vývoj žádnou novou zkušenost. To, co nově vzniká, bylo již v zárodečné podobě obsaženo v oněch počátečních podmínkách, z nichž se to odvíjí. Za předpokladu, že bychom byli schopni přesně a úplně změřit počáteční podmínky, mohli bychom nejen předpovídat budoucnost, ale také zpětně rekonstruovat minulost. Tato mechanistická a deterministická vize světa po dvě stě let hluboce ovlivňovala vědecké myšlení a přispěla k technickému i kulturnímu rozvoji společnosti.

Newtonovská mechanika se osvědčila nejen při popisu mechanických procesů, ale také elastických kmitů těles a pohybu kapalin. Počítá se k ní také statika, akustika, aerodynamika, hydrodynamika a rovněž astronomie, pokud zůstává u studia nebeských objektů v pohybu.

Klasická mechanika a teorie relativity se nevylučují. Ve fyzikálním makrosvětě při definovaných podmínkách a rámcových souřadnicích i dnes platí Newtonovy zákony. Ve vzdáleném vesmíru při rychlostech blízkých rychlosti světla se však dostává ke slovu teorie relativity. Na půdě makrosvěta teorie speciální relativity klasickou mechaniku nenahrazuje, pouze ji reprodukuje. S větší přesností a odlišností ji interpreтуje teprve při vysokých rychlostech. Ani Einsteinova obecná teorie relativity neznamená, že Newtonova gravitační teorie je „vyvrácena“. Pro oblast makrosvěta je klasická teorie gravitace plně zachována. Pokud se rovnice obecné teorie relativity aplikují ve světě malých hmotností, výsledky jsou i zde stejné jako z Newtonových rovnic. Tak zůstává newtonovská mechanika jádrem klasické fyziky v oblasti deterministických, statických a vratných fyzikálních trajektorií.

Euforie tryskající z tohoto poznání, ověřeného úspěchy a rozvojem techniky v 18. a 19. století, byla tak obrovská, že se newtonovská mechanika na dlouhou dobu stala vědeckým paradigmatem, základním postojem ke světu vůbec. V matematické linearitě byla objevena řeč, v níž Stvořitel napsal svět. Jestliže někde výpočty a předpovědi nevycházely, mělo to čistě subjektivní příčiny. Nebylo to dáno povahou přírodních zákonů. Projevovala se v tom pouze naše neschopnost dostatečně rozpoznat, přesně změřit a popsat počáteční podmínky. Požadované výchozí soubory dat byly na naše možnosti příliš rozsáhlé, příliš minuciózní a příliš proměnlivé, než abychom je v úplné sestavě mohli vložit do osvědčených rovnic. Superinteligentní bytost by to dokázala.

Směle vyjádřil tuto ideu francouzský matematik, fyzik a filozof Pierre Simon de Laplace ve slavné pasáži svého *Essai philosophique sur les probabilités* (Filozofický esej o pravděpodobnosti) z roku 1814: „Pro mysl, které by v daném okamžiku byly známy všechny síly, jež v přírodě působí, a poloha všech částí, z nichž se svět skládá, a pokud by taková mysl svou kapacitou mohla všechny tyto údaje zpracovat, pak by pro ni bylo možné v jediné rovnici obsáhnout pohyby největších těles vesmíru i nejmenších atomů, veškerá neurčitost by před ní zmizela a se stejnou jistotou by hleděla do budoucnosti i do minulosti.“

Představa takové absolutní a nekonečné inteligence byla označována jako „Laplaceův démon“. Jakmile však přišel na svět, začal démon řídit po svém. Popíral lidskou vůli a svobodu, své věrné zaváděl do náruče fatalismu. Náboženství, morálka, politika a právo jsou z tohoto pohledu nevědecké bludy. Démon znemožňoval svobodně si vytvořit jakýkoliv autonomní životní postoj. Tím se zkompromitoval nejen v humanisticky orientovaných kruzích. Naivní, prostomyslný a vulgární, to byly ty nejběžnější přídomky, jimiž bylo řádění Laplaceova démona zažehnáváno.

Dynamika tepla

První trhliny v Newtonově systému se objevily začátkem 19. století s příchodem nauky o teple. Francouzský fyzik a matematik Jean Baptiste Fourier ve svém spise *Theorie analytique de la chaleur* (Analytická teorie tepla), vydaném roku 1822, podal brilantní matematický popis šíření tepla jako nevratného procesu. Teplo se šíří jen jedním směrem, zatímco rovnice klasické mechaniky pohlížely na minulost a budoucnost jako na rovnocenné stavy.

Přestože v reálném světě jsou všechny procesy nevratné, klasická mechanika slavila úspěchy tím, že fyzikální procesy chápala jako vratné, tedy na čase nezávislé. Šipka času v nich směřuje vpřed i vzad. Kyvadlo se vychýlí doleva, vrátí se doprava a celý proces se opakuje donekonečna. Právě tak Země se každým rokem vrací o slunovratu na stejné místo. Alespoň v Newtonových rovnicích. Vznikající nauka o teple však objevila další kategorii fyzikálních procesů, které se řídí zákonitostmi nevratnými. Uplatňuje se v nich směr času. Aniž ubrala na platnosti klasické mechanice, stala se tato dynamická disciplína od poloviny 19. století dominantní oblastí fyziky. Statický přístup klasické