

Trnavská univerzita v Trnave  
Pedagogická fakulta

# FYZIKA A SÚČASNÁ SPOLOČNOSŤ

Július Krempaský - Žaneta Gerhátová



Trnava 2014

## Trnavská univerzita v Trnave – Pedagogická fakulta



**Recenzenti:** doc. RNDr. Anna. Danihelová, PhD.

doc. RNDr. Peter Čerňanský, PhD.

© prof. RNDr. Július Krempaský, DrSc., PaedDr. Žaneta Gerhátová, PhD., 2014

© Pedagogická Fakulta Trnavskej univerzity v Trnave, 2014

ISBN 978-80-8082-761-8

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	4
<b>2 Miesto fyziky v systéme vied a jej význam pre rozvoj spoločnosti</b>	6
2.1 Strom vedy	7
2.2 Význam fyziky pre rozvoj spoločnosti	10
<b>3 Stručná história fyziky</b>	15
3.1 Staroveká a stredoveká fyzika	16
3.2 Zrod kvantitatívnej fyziky	17
3.3 Zrod kvantovej fyziky	18
3.4 Zrod relativistickej fyziky	19
3.5 Súčasná fyzika	20
3.6 Počiatky fyziky na Slovensku	22
<b>4 Fyzika vesmíru</b>	23
4.1 Hubblovo rozpínanie vesmíru	23
4.2 Reliktové žiarenie	24
4.3 Chemické zloženie vesmíru	24
<b>5 Fyzika vývoja</b>	30
5.1 Elementárna teória vývoja	30
5.2 Laser	34
5.3 Vznik časových oscilácií	36
5.4 Vznik priestorových štruktúr	38
5.5 Iné príklady prírodných štruktúr	41
<b>6 Fyzika a elektronika</b>	43
6.1 Stručná história rozvoja elektroniky	43
6.2 Najmodernejšie trendy v elektronike	46
<b>7 Fyzika a energia</b>	49
7.1 Slniečna energia	51
7.2 Veterná energia	56
7.3 Vodná energia	58
7.4 Energia z biomasy	60
7.5 Geotermálna energia	61
7.6 Vodíkové - H hospodárstvo	63
7.7 Štiepenie jadra atómu	68
7.8 Termojadrová syntéza	69

7.9 Anihilácia .....	70
<b>8 Fyzika materiálov .....</b>	<b>73</b>
8.1 Historický prierez vývoja úžitkových materiálov .....	73
8.2 Súčasnosť v oblasti materiálov .....	75
8.3 Vedecké prístupy k materiálovede .....	77
8.4 Klasické a súčasné technológie .....	78
8.5 „Exotické“ aplikácie materiálov .....	81
<b>9 Fyzika v biológii a v medicíne .....</b>	<b>84</b>
9.1 Vznik uhlíka a kyslíka .....	84
9.2 Vznik anorganických a organických látok .....	85
9.3 Autokatalýza .....	86
9.4 Selekcia .....	87
9.5 Fyzika v medicíne .....	89
<b>10 Fyzika v ekológii .....</b>	<b>93</b>
10.1 Entropia .....	93
10.2 Interakcia ekologických systémov .....	95
<b>11 Fyzika v ekonómii a sociológii .....</b>	<b>100</b>
11.1 Unimodálne systémy .....	100
11.2 Unimodálne systémy s manažmentom .....	103
11.3 Modelovanie niektorých sociálnych procesov .....	106
<b>12 Fyzika vo filozofii a teológii .....</b>	<b>110</b>
12.1 Kritériá „dobrej teórie“ .....	111
12.2 Teória strún .....	112
12.3 Štandardný model .....	113
12.4 Antropický princíp .....	114
12.5 Tmavá hmota a tmavá energia .....	115
<b>Záver .....</b>	<b>117</b>

# 1 Úvod

Žijeme v období nesmierne intenzívneho rozvoja ľudskej aktivity v oblasti vedy a techniky, čo prináša exponenciálny nárast poznatkov a informácií, s ktorými sa musí oboznámiť mládež, aby bola schopná ich akceptovať a zabezpečiť v tejto oblasti ďalší progres. Tieto požiadavky kladú enormné nároky na školstvo, ktoré má za úlohu tieto povinnosti zvládnuť. Nosným činiteľom v tejto aktivite je osobnosť učiteľa, preto celkom logicky a zákonite si treba klásť otázku, čím a ako by mal byť vyzbrojený učiteľ, aby v tejto práci úspešne obstál. Ak sa obmedzíme na oblasť techniky, potom sa pýtame najmä na profil učiteľa vyučujúceho prírodné vedy a špeciálne fyziku.

Je samozrejmé, že fundamentálne otázky, na ktoré musí mať každý učiteľ jasnú odpoveď, sú otázky, čo učiť a ako učiť. Vzhľadom na to, že povinnosťou učiteľa je aj formovať a profilovať svojich žiakov pre ich prácu v dospelom veku, je nutné, aby moderný učiteľ mal aj určitý nadhľad na problematiku, ktorú vyučuje a aby poznal aj hlavné trendy rozvoja príslušnej prírodovednej disciplíny. To ho uspôsobí na to, aby vedel korektne a vecne reagovať na zvedavé otázky svojich žiakov. Tieto fakty nás viedli k tomu, aby sme obsah predkladanej publikácie rozviedli do niekoľkých kapitol, v ktorých sa budeme detailne venovať analýze uvedených faktorov determinujúcich učiteľa prírodných vied pre začínajúce tretie tisícročie.

Enormné kvantum starých aj nových poznatkov v oblasti prírodných vied nás núti zamýšľať sa nad tým, ako upraviť vyučovanie tak, aby sa v čo najkratšom čase mohlo poskytnúť čo najviac poznatkov. V tejto súvislosti sa veľmi intenzívne skloňuje tzv. integrované vyučovanie. Doteraz sa však pod integráciou vyučovania chápala skôr „horizontálna integrácia“, ktorá si všímala najmä oblasti, v ktorých sa vyučovanie prírodných vied vzájomne prekrývalo. Ukázalo sa však, že podstatne efektívnejšie sa nám javí „vertikálna integrácia“, ktorá vychádza z už dobre rozpracovaného a experimentálne i teoreticky potvrdeného štandardného modelu vzniku a vývoja vesmíru. Aj preto sa budeme v tejto publikácii pomerne dosť podrobne venovať problémom vzniku a vývoja nášho vesmíru a pokúsime sa v rámci možnosti objasniť aj základy evolúcie, ktorá je zodpovedná za nesmiernu diverzifikáciu našej reality.

Hlavným poslaním tejto publikácie bude však prezentovanie faktov, ktorými sa demonštruje dominantná úloha fyziky vo vývoji ľudskej spoločnosti. Možno konštatovať, že vyspelosť a ekonomicky štandard každej krajiny má priamu súvislosť s tým, do akej miery sa v nej podporovali snahy o rozvoj fyzikálneho poznania, ktoré je základom každého progresu v technike. Pravdou je však aj to, že nielen pre techniku je potrebný primeraný rozvoj fyziky

– jej výsledky majú často fundamentálny význam aj pre rozvoj nielen všetkých ostatných prírodných vied, ale aj pre rozvoj všetkých humánnych vied vrátane filozofie, ba aj teológie. Tieto konštatovania budú v tejto publikácii potvrdzované celým radom aplikácií fyzikálnych postupov i konkrétnych zaradení do všetkých sfér ľudskej aktivity. Malo by to viesť aj k určitej zmene názorov na potrebu či ignorovanie rozvoja fyziky a jej vyučovania na všetkých stupňoch škôl. V praxi totiž so znepokojením sledujeme postupné obmedzovanie rozsahu vyučovania fyziky ako integrujúcej vedy. Ak sa tieto trendy zavčas neobmedzia, môže sa to veľmi negatívne prejavíť na prosperite celej spoločnosti.

## 2 Miesto fyziky v systéme vied a jej význam pre rozvoj spoločnosti

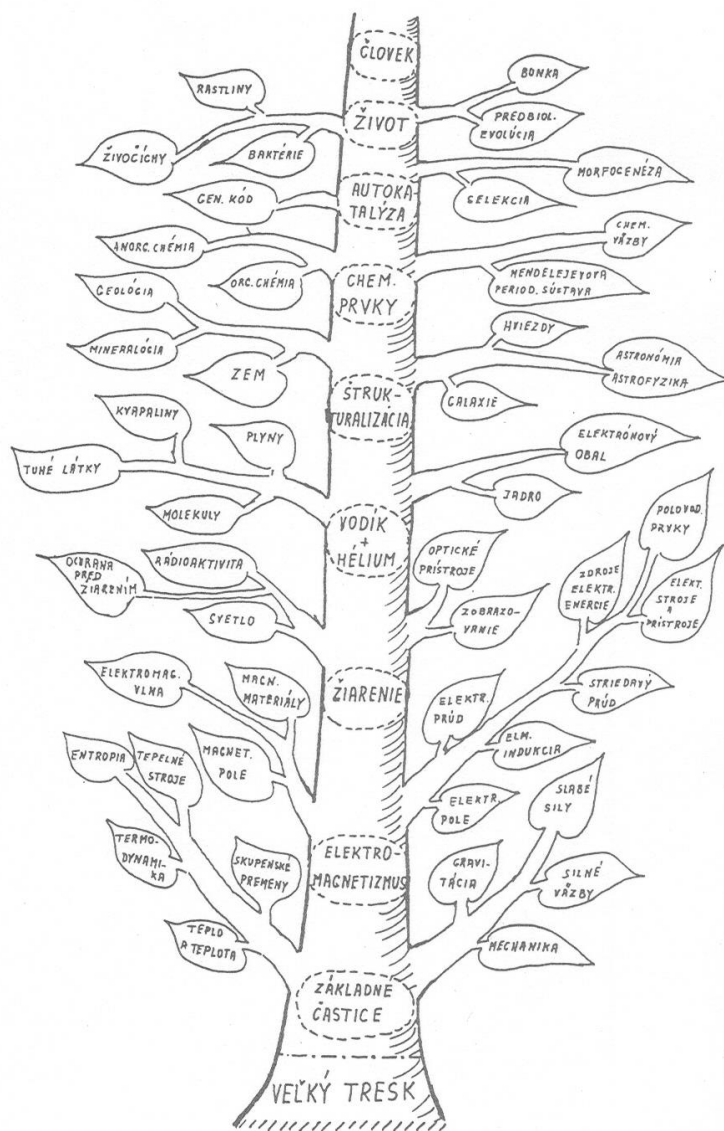
Je jasné, že nespochybniteľným sprievodným fenoménom existencie človečenstva a jeho vývoja je existencia vedy. Aj keď problém exaktnej definície vedy nie je vôbec jednoduchý, faktom je, že každý aj priemerne vzdelaný človek vie, o čom je reč, keď sa v nej objaví slovo „veda“. Veľmi jednoducho povedané, je to súbor poznatkov o svete v nás i mimo nás, ktorých cieľom nie je len existujúce fenomény opísať, ale podľa možnosti ich aj vysvetliť a uspôbiť na praktické využitie. Keďže obsah vedy je nesmierne široký, aktuálnou v histórii sa stala aj jej kategorizácia do jednotlivých užších oblastí. Tak sa postupne vyprofilovali najprv prírodné a humánne vedy a neskôr v rámci nich aj špeciálne vedy, ktoré nadobudli špecifické pomenovania a tvoria systém vied tak, ako ho poznáme v súčasnosti.

Dôležitým poznatkom v oblasti kategorizácie vied je to, že sa na ich systém pozeráme „horizontálne“ a nie „vertikálne“. Registrujeme ich ako objekty jestvujúce autonómne vedľa seba a prakticky si nevšímame problém ich genézy. Tým sa automaticky pozbavujeme možnosti skúmania ich vzájomného prepojenia a podmienenosti, unikajú nám informácie o vzájomnom prekrývaní, ba až zbytočných duplicít a čo je najdôležitejšie, strácajú sa nám možnosti vzájomnej výpomoci jednotlivých vied. Veľmi často sme svedkami toho, ako sa pracovníci niektorých vied úmorne trápia s riešením problémov, ktoré sa už v rámci iných vedeckých disciplín dávno osvetlili.

Môžeme si teda položiť zmysluplnú otázku, či by nebolo progresívnejšie prejsť od horizontálneho pohľadu na systém vied na vertikálny pohľad, ktorý by realisticky objasňoval ich genézu. O čo sa pri takomto pohľade oprieť? Odpoveď už v súčasnosti veľmi dobre poznáme. Vedci už vypracovali a dôkladne preskúmali i zdôvodnili tzv. štandardný model vzniku a vývoja vesmíru, ktorý veľmi presne určuje genézu jednotlivých konkrétnych vied. Tak sa zrodila idea tzv. stromu vied, ktorá predstavuje najlepšiu bázu pre usporiadanie všetkých vied do jedného vnútorne konzistentného celku. Obraz takého stromu vied vidíme na obr. 2.1. Ním sa teraz budeme trochu podrobnejšie zaoberať.

## 2.1 Strom vedy

Konštrukcia fiktívneho „stromu vied“ vyplynie z poznania histórie nášho sveta. Začiatkový bod v súčasnosti už všeobecne akceptovaného scenára vzniku a vývoja vesmíru je známy Veľký tresk (Big bang), ktorý sa odohral pred 13 miliardami a 680 miliónmi rokov. Znamenal začiatok rozpínania vesmíru a tvorbu základných častíc látky (protónov, neutrónov a elektrónov).



Obr. 2.1 Strom vedy

Jednou z teórií, ako to bolo možné vysvetliť, je predpoklad, že tu pravdepodobne išlo o tzv. I. vesmírny fázový prechod pripomínajúci tuhnutie z podchladeného stavu kvapaliny.

Prakticky súčasne s Veľkým treskom sa vo vesmíre objavila gravitácia. Vidíme, že všetky tieto aktivity a fenomény patria do fyziky a na ich opis sú potrebné kapitoly z mechaniky, náuky o teple a teplote, gravitácie a fázových (skupenských) premien. Keďže



zkrátka po vyčlenení gravitácie zo zjednotenej prainterakcie sa na vesmírnej scéne objavila aj tzv. silná interakcia (väzba medzi ťažkými základnými časticami), patrí sem aj odsek o väzbách udržujúcich pohromade jadrá atómov.

Potom sa (v čase asi  $10^{-10}$  s po Veľkom tresku osamostatnila aj elektromagnetická interakcia, ktorá dala vznik elektrine a magnetizmu a podmienila organizáciu celého mikrosveta. Na jej opis ešte stále postačí samotná fyzika, a to prostredníctvom kapitol týkajúcich sa elektrostatiky, elektrokinetiky, elektromagnetickej indukcie, magnetizmu a možnosti využitia týchto javov.

Po niekoľkých minútach od Veľkého tresku, keď sa stihli vytvoriť okrem jadier vodíka ešte aj jadrá hélia, sa vo vesmíre na niekoľko stotisíc rokov udomácnilo žiarenie. Jeho pozostatky sa objavili ako tzv. reliktové žiarenie (v r. 1965.) To generuje na našom hypotetickom strome vedy kapitoly o svetle, rádioaktívnom žiarení a o všetkom, čo súvisí s optikou. Počas prvého milióna rokov postačovala pre opis všetkých javov a fenoménov vo vtedajšom vesmíre fyzika a nebol dôvod pre vznik iných prírodných vied.

Situácia sa rapídne zmenila po uplynutí asi 380.000 rokov, keď sa uskutočnila tzv. vesmírna rekombinácia. Kladne elektricky nabité jadrá vodíka a hélia si pritiahli záporné elektróny a vznikli prvé dva chemické prvky, a to neutrálny vodík a neutrálne hélium. Tu už malo zmysel zaoberať sa elektrónovým obalom atómov a v tom treba vidieť prazáčiatky nového odvetvia prírodovedy – chémie. Tá sa naplno mohla rozvinúť až potom, keď sa z „prapolievky“ pozostávajúcej zo žiarenia a voľne sa pohybujúcich atómov vodíka a hélia začali vytvárať galaxie a v rámci nich aj hviezdy, v ktorých sa doslova „uvarili“ aj ostatné známe chemické prvky. Tieto prvky sa (po vyčerpaní paliva) po výbuchu hviezd dostali aj do medzihviezdného priestoru. Keď sa z tohto „prachu“ vytvorili nové hviezdy, čiže slnká a popri nich aj planéty, vytvorili sa reálne podmienky pre chemické reakcie. Tak sa chemická realita obohatila najprv o anorganickú, neskôr aj o organickú chémiu a napokon aj o biochémiu. V týchto etapách sa teda začali prirodzene generovať (samozrejme len na našom hypotetickom strome vedy) ďalšie samostatné prírodné vedy, a to už spomínaná chémia, ale aj astronómia, astrofyzika, geológia, mineralógia a ďalšie prírodné vedy.

Skomplexnenie „chemickej reality“ vygenerovalo ďalší, dovtedy vo vesmíre neznámy fenomén, a to tzv. autokatalýzu. Jej objav znamenal začiatok dlhých a zložitých procesov súvisiacich s oživovaním mŕtvej hmoty. Tu sme teda v začiatkoch biológie, ktorá sa neskôr rozdelila na botaniku, zoológiu a náuku o človeku. Tým sa zavšíl strom prírodných vied – nad ním sa už začali generovať vedy súvisiace s intelektom, ale to je už oblasť ležiaca mimo prírodovedy.

Tak sme sa „vyšplhali“ na hypotetický strom vedy a spoznali, že tento strom má jasne definované korene, stabilný kmeň, z ktorého ako logické a časovo korelované vyrastali vedy reprezentujúce kapitoly z jednotlivých prírodných vied. Tento strom nám poskytuje nielen odpovede na otázky „čo“, ale aj na otázky „prečo“. Jednotlivé prírodné vedy sú tu prirodzene zoradené do určitej vertikálnej (nie horizontálnej) škály, z ktorej bezprostredne vidieť, čo bolo skôr a čo neskôr, ako dôsledok a z ktorej zreteľne vyplývajú aj vzájomné podmienenosti a prepojenia. Tieto závery môžu byť veľmi užitočné pri skúmaní problému efektívneho vyučovania prírodovedy.

Príroda vo svojej evolúcii vyprodukovala mnoho zaujímavých fenoménov, avšak zďaleka nevyužila všetky možnosti, ktoré tieto fenomény poskytovali. Keď sa však vo vesmíre objavil mysliaci tvor – človek – svojim umom nielenže objavil základné prírodné zákony, ktorými sa vesmír riadi, ale postupne ich začal aj využívať vo svoj prospech. Položil tak základy nespočetným aplikáciám týchto zákonov, ktoré súhrnným názvom označujeme „technika“. V tomto zmysle technika je aplikácia prírodných zákonov v oblasti praxe.

V oblasti fyziky človek najviac zužitkoval vo svojej praktickej činnosti elektromagnetickú interakciu. Postavil ju do svojich služieb tak v oblasti makroenergetiky, ako aj v oblasti mikroelektroniky. Skonstruoval dômyselné stroje na výrobu elektrickej energie, pričom ako primárnu silu do týchto zariadení zapriahol to, čo ponúka sama príroda: vodu, vietor, uhlie, jadrové procesy a i. V oblasti mikroelektroniky sa človek diametrálne odklonil od prírody. Zatiaľ čo príroda realizuje svoju „elektroniku“ v biologických materiáloch, človek využíva na tento účel anorganické materiály (najmä polovodiče) a možno konštatovať, že vo viacerých technických ukazovateľoch prírodu aj značne prekonal. Týka sa to najmä rýchlosti spracovania informácií, kde to predstavuje aj niekoľko rádov. Napriek tomu sa budúcnosť mikroelektroniky bude asi viac orientovať na bioelektroniku, pretože tam sú ešte určité rezervy, napr. v hospodárnosti.

Človek prekonal prírodu aj v tom, že vynašiel celú plejádu nových materiálov a nových technológií, ktoré mu umožňujú sprogresívniť výrobu a používať materiály s lepšími technickými vlastnosťami.

V oblasti chémie sama príroda pripravila veľké množstvo látok, z ktorých mnohé človek hojne využíva, ale rozvoj poznania v chémii viedol k tomu, že človek si aj sám začal vyrábať látky, ktoré príroda nepozná a ktoré sa ukázali ako veľmi užitočné pre jeho praktický život. Z nich možno spomenúť napr. plasty, syntetické vlákna, liečivá, pesticídy, prípadne aj pomocné či náhradné potraviny a mnohé iné látky.

## 2.2 Význam fyziky pre rozvoj spoločnosti

Fyzika je rozhodujúcim faktorom rozvoja i stability súčasnej spoločnosti a v podstate determinuje aj jej osud do budúcnosti. Vychádza sa z toho, že rozhodujúci krok k naštartovaniu nebývalého rozkvetu ľudskej spoločnosti sa odohral pred vyše 300 rokmi, keď sa zásluhou fyziky a fyzikov začala formulovať a rozvíjať kvantitatívna prírodná veda, ktorá bazírovala na objavených a matematicky formulovateľných univerzálnych prírodných zákonoch a podmienila ich využívanie v praxi. Všetky spoločenské zoskupenia, ktoré zachytili tento trend – či už hneď na začiatku alebo sa k nemu pripojili neskôr – dosiahli vysoký stupeň ekonomického štandardu a zabezpečili si aj primerané podmienky na jeho udržanie. Iné zoskupenia, ktoré tento moderný a progresívny trend ignorovali, dostali sa do pozície charakterizované závislosťou od toho, čo im najvyspelejšie krajiny poskytnú a dovoľia. Vyvíjajú enormné úsilie o dosiahnutie ich úrovne rozvoja, ale tento proces je nesmierne náročný v tom, že výskum – opäť najmä vďaka fyzike – nezastaviteľne napreduje a prináša nové poznatky vo sférach, ktoré sú pre menej vyspelé krajiny už prakticky nedostupné. Aj naďalej bude preto platiť, že dominanciu vo svete si aj v budúcnosti udržia tie krajiny, ktoré investovali a stále dostatočne investujú do rozvoja fyziky.

Fyzika sa síce pestovala už aj v staroveku, ale nemala veľký dosah na prax, pretože jej chýbalo poznanie základných „pák“, ktoré zabezpečujú dynamiku v našom vesmíre. Paradoxne štart k poznaniu tohto kľúčového problému znamenala výzva generovaná v podstate na pôde teológie. Ľudia sa v spomínanom čase, pred vyše 300 rokmi, v podstate viac zamýšľali nad riešením filozofického problému, akými prostriedkami riadi Boh dynamiku všetkých objektov v našom vesmíre. V tejto súvislosti bol známy fyzik I. Newton priamo vyzvaný anglickou vládou, aby vyriešil problém pohybov nebeských telies. Newton tento problém vyriešil tak geniálne, že o jeho správnosti už nemohli byť ani najmenšie pochybnosti. Podľa neho Boh riadi dynamiku všetkých objektov vo vesmíre prostredníctvom univerzálnych zákonov, ktoré na počiatku sám do hmoty vložil. On sám objavil dva z nich: zákon sily a gravitačný zákon a tieto dva zákony úplne postačujú na to, aby sa pochopila dynamika pohybu telies „na Zemi i na nebesiach“, takže o Newtonovi sa niekedy právom hovorí, že spojil „nebesia so zemou“. Odvtedy už neboli potrebné nespočetné tabuľky a záznamy o pohybe vesmírnych objektov a ich dráhy sa dali spoľahlivo vypočítať na základe uvedených dvoch zákonov, a to aj použitím prevratnej matematickej metodiky, ktorú sám Newton (a nezávisle od neho aj G. W. Leibniz) objavil.

Tak sa zrodila v histórii prvá ozajstná kvantifikácia v prírodných vedách, ktorá bola založená na objektívne jestvujúcej kauzalite panujúcej v našom materiálnom svete. Tento

proces začal síce Newtonom, ale zďaleka ním neskončil. Jeho nasledovníci, zo začiatku hlavne v nábožensky profilovaných inštitúciách, objavili aj celý rad ďalších prírodných zákonov, takže postupne sa ľudstvo dozvedelo, čo určuje dynamiku megasveta, makrosveta i mikrosveta. Poznanie týchto fundamentálnych zákonov umožnilo ľudstvu hľadať aj ich pragmatické aplikácie, a tak sa začala rozmáhať aj oblasť, ktorú – ako sme už uviedli – označujeme názvom *technika*. Tá je vo svojej podstate rozvinutou aplikáciou fyziky. Práve jej rozvoj priniesol ľudstvu nebývalý ekonomický štandard, ale súčasne aj umožnil tvorbu prostriedkov na jeho ochranu - výrobu vysoko účinných zbraní. To všetko umožnilo krajinám, ktoré do procesu rozvoja fyziky investovali nemalé prostriedky, získať vo svete aj politickú dominanciu. Nebudeme preto ďaleko od pravdy, ak budeme konštatovať, že aj politická situácia v našom svete je závislá od toho, ako intenzívne sa na tom - ktorom mieste v našom svete rozvíjala fyzika.

Naznačili sme už, že dobiehanie vyspelých štátov zaostalejšími nebude vôbec jednoduché a ľahké, pretože výskum v najvyspelejších krajinách sa vôbec nezastavil. Práve naopak, jeho intenzita ešte narastá a presúva sa do (zatiaľ) najnižších úrovní skúmania hmoty, čiže na úroveň atómov, molekúl a elementárnych častíc. Takýto výskum však už vyžaduje také vysoké finančné náklady, na aké si menšie krajiny nemôžu ani len pomyslieť. Zdá sa preto, že rozdiel medzi najvyspelejšími a tými ostatnými krajinami sa perspektívne nebude znižovať, ale naopak ešte viac prehĺbovať. Iste je zaujímavá otázka, čo môžeme od výskumu v oblasti fyziky v budúcnosti ešte očakávať? Dotkneme sa predovšetkým troch významných oblastí, a to oblasti komunikácií a automatizácie, oblasti energie a oblasti materiálov.

Súčasná staršia generácia zažila už tri etapy rozvoja komunikačných a automatizačných technológií: elektroniku, mikroelektroniku a v súčasnosti už aj nanoelektroniku. Prvá z nich pracovala s prvkami o dimenziách rádu 1 cm, druhá s rozmermi rádu desaťtisíciny cm a tretia sa už pohybuje v dimenziách rádu 1 desaťmilióntina cm. S tým súvisela aj postupná takmer neuveriteľná miniaturizácia. To čo sa voľakedy dalo uložiť do prvých počítačov zaberajúcich často aj celé jedno poschodie vo veľkej budove, v súčasnosti sa zmestí do objemu jednej zápalkovej škatuľky. Ale tým sa proces miniaturizácie ešte zďaleka nekončí. Čaká nás ešte etapa, v ktorej sa budú využívať nielen vlastnosti malých komplexov molekúl či atómov, ale aj vlastnosti sólových elementárnych častíc, napr. tzv. spin. Z kvantovej fyziky je známe, že keď sa častica môže nachádzať v dvoch dobre definovaných stavoch (napr. spin „hore“ a spin „dole“), potom sa môže vyskytovať aj v stavoch, ktoré sú určené ľubovoľnou lineárnou kombináciou týchto stavov (samozrejme v určitom definovanom intervale) a takých je prakticky nespočetne mnoho. Ide

len o to, aby sme ich mohli reálne detegovať. Na tom sa v súčasnosti už usilovne pracuje a reálne výstupy na tomto poli sa očakávajú najmä v generácii nových, tzv. kvantových, počítačov. Podľa známeho amerického prognostika Kurzweila s tým súvisiaca miniaturizácia môže vyústiť do situácie, že v jednom malom osobnom počítači sa budú môcť v budúcnosti uložiť všetky informácie, ktoré celé ľudstvo doteraz vyprodukovalo. Čo to však bude znamenať pre ľudstvo a najmä pre jeho vzájomnú internú komunikáciu, to si v súčasnosti nevieme ani len predstaviť.

Progres v miniaturizácii sa bezpochyby prejaví aj v nových dokonale sofistikovaných zbraniach. V tejto súvislosti sa už celkom zreteľne začína hovoriť aj o naplnení odvekej túžby človeka, a to túžby po zneviditeľnení. Riešenie tohto problému spočíva vo výrobe látok, ktoré sú schopné pretransformovať častice svetla (fotóny) na tzv. plazmóny, čím sa môže zlikvidovať odozva látok na ich osvetlenie. Fantasticky vyznieva aj aktivita vedcov presunúť ťažisko výroby miniatúrnych zariadení na živé mikrosystémy, čiže na vírusy. Táto tzv. virálna nanoelektronika sa už v súčasnosti aplikuje pri výrobe elektrických nanovodičov, nanobaterií a materiálov pre displeje.

Napriek všetkým pesimistickým úvahám o zhoršujúcej sa situácii v zásobe energiou sa vďaka fyzike črtajú celkom sľubné perspektívy. Je známe, že najefektívnejším a aj relatívne najčistejším ekologickým zdrojom energie by mohli byť termojadrové elektrárne, ktoré spaľujú vodík na hélium. Aj keď problém takého získavania energie je v podstate už dávno vyriešený, uvedeniu do praxe prekážajú ešte niektoré nevyriešené technické problémy. V súčasnosti prebieha riešenie veľkého v podstate európskeho projektu na spustenie prvej termojadrovej elektrárne - vedci a technici dúfajú, že bude úspešné.

Treba ešte pripomenúť, že vyspelý svet už pomýšľa na reálne využitie najefektívnejšieho zdroja energie vôbec, a to na tzv. anihiláciu častíc a antičastíc. Antičastice sa od normálnych častíc líšia len svojim elektrickým nábojom. Zatiaľ čo napr. elektróny majú záporný elektrický náboj, ich partneri v oblasti antičastíc (pozitróny) majú tento náboj kladný. V súlade so slávnym Einsteinovým vzťahom  $E = mc^2$  sa pri ich vzájomnom kontakte celá ich pokojová hmotnosť mení na energiu a to s nesmiernou efektívnosťou. Anihilácia jedného kilogramu látky s antilátkou by vydala toľko energie, koľko je celoročná spotreba elektrickej energie na Slovensku. Problém je len v tom, že v našom vesmíre sa antičastice ako voľný zdroj nikde nenachádzajú a pre potreby výroby energie by ich bolo potrebné v laboratóriách vyrobiť. To síce už vieme, ale len s nesmierne malým výťažkom, takže na tento zdroj energie si zrejme ešte budeme musieť (možno aj veľmi dlho) počkať.

Vodík sa stáva pre nás veľkou nádejou nielen v súvislosti s progresívnymi elektrárnami, ale ešte viac v súvislosti s pohonmi. Zatiaľ sa svet v tejto oblasti trápi s ropou,

ktorá stojí nemálo prostriedkov a navyše jej zásoby sa nezadržateľne znižujú. Keby sa našla náhrada za to, dostupná aj chudobnejším krajinám, vyriešilo by sa mnoho problémov, ktoré trápia ľudstvo. Reálnou sa v tomto smere javí vízia tzv. „H“ hospodárstva, čiže vodíkové hospodárstvo. Nejde pritom len o využitie vodíka pri horení s kyslíkom, ale viac o čisto fyzikálny mechanizmus, pri ktorom sa vodík prechodom cez vhodné polymérne materiály zbavuje svojich elektrónov, tie sa odvádzajú do elektrických motorov umiestnených priamo v kolesách mobilných prostriedkov a zvyšok – protóny, sa odvádzajú do prostredia s kyslíkom, v ktorom vytvárajú vodu a tá predstavuje jediný (čistý) odpad. Všetky technické problémy súvisiace s touto transformáciou vodíka sú už vyriešené, ba automobily tohto typu sa už aj vyrábajú. Problémom je to, že čistý vodík treba z čohosi vyrobiť (do úvahy prichádza voda, zemný plyn a pod.) a treba ho vedieť v pohyblivých prostriedkoch a v dostatočnom množstve aj uskladniť. (Na dráhu 300 míľ sa udáva spotreba asi 6 kg.) Do úvahy prichádza skvapalnenie (k čomu treba nízke teploty), stlačenie pod vysokým tlakom (k čomu treba vysokopevné materiály) a najnovšie sa uvažuje o tzv. uhlíkových nanorúrkach, ktoré ho jednoducho absorbujú až do hustôt porovnateľných so skvapalneným vodíkom. Treba ešte dodať, že pre masové rozšírenie tohto spôsobu pohonov bude potrebné vybudovať patričnú infraštruktúru. Napriek všetkým sprievodným problémom sa ukazuje, že éra „H“ hospodárstva sa naplno rozvinie do 15 – 20 rokov.

Nemálo pozitívneho sľubuje fyzika v budúcnosti aj v oblasti nových materiálov. To, že sa fyzika už aj v súčasnosti dokáže orientovať v materiáloch na molekulárnej, ba až atomárnej úrovni, jej umožňuje produkovať často špeciálne materiály pre praktické aplikácie takmer vo všetkých oblastiach ľudskej aktivity, a to takmer na želanie. Nejde pritom len o také tradičné oblasti, akými sú strojárstvo a stavebníctvo, ale zaujímavými odberateľmi sa už stávajú aj biológia a medicína. Už v súčasnosti nie je problém vyrobiť superpevné keramiky, materiály s extrémne nízkym oterom, materiály s prakticky spojitou zmenou ich elektrickej vodivosti od supravodičov až po takmer dokonalé izolanty, supravodiče, nielen pre supernízke teploty, ale prakticky už aj pre izbové teploty, ohybné či dokonca tekuté magnety, dokonale náhrady pre ľudské orgány atď. V tomto smere sú možnosti do budúcnosti takmer nevyčerpatel'né.

Záverom tejto kapitoly by sme mohli konštatovať, že fyziku je možné nielen logicky zaradiť do systému vied, ale uviesť aj presvedčivé argumenty v prospech tvrdenia, že táto veda je pre spoločnosť nesmierne dôležitá a že úroveň jej rozvinutia v danom regióne v podstate determinuje aj jeho ekonomickú úroveň. Všeobecné trendy smerujúce k obmedzovaniu jej participácie na procese rozvoja všeobecného vzdelania sú preto vyslovene škodlivé a kontraproduktívne.

**Literatúra:**

- [1] Krempaský, J. a kol. *Učiteľ prírodných vied pre tretie tisícročie*. TYPI Univ. Tyrnaviensis a VEDA SAV, Bratislava, 2011.
- [2] Holec, S. a kol. *Prírodné vedy v živote*. FPV UMB. Banská Bystrica, 1998.
- [3] Krempaský, J. *Význam fyziky pre súčasnú spoločnosť*. *Jemná mechanika*. 10 (2007), 297 – 299.

### 3 Stručná história fyziky

Názov *fyzika* pochádza z gréckeho slova „*fisis*“, čo značí prírodu, takže by vlastne mala predstavovať náuku o prírode. Treba však konštatovať, že ako samostatná a presnejšie špecifikovaná veda sa táto vedecká disciplína vyformovala v podstate až v stredoveku. Na úsvite vznikania vedy bol obsah terajšej fyziky zahrnutý pod všeobecnejším názvom *prírodné vedy* či *filozofia* a explicitné pomenovanie pod názvom *metafyzika* ju možno nájsť v podstate až u Aristotela. V stredoveku sa fyzika najzreteľnejšie predstavovala v rámci astronómie a hlavne v rámci matematiky, ktorá sa usilovala kvantifikovať niektoré reálne poznatky ľudstva o prírode súvisiace hlavne s bojom o prežitie. Je preto celkom logické, že prazáčianky fyziky treba hľadať napríklad v starom Egypte, kde dominujúcim fenoménom boli pravidelné záplavy rieky Nílu, v starom Grécku a starom Ríme, kde sa prvé fyzikálne znalosti začali uplatňovať v námorníctve a vo vojenstve ako aj v arabskom svete a v Číne, kde sa intenzívne rozvíjalo poľnohospodárstvo a obchod.

O prazáčiakoch rozvoja fyzikálnych poznatkov v starom svete bolo napísaných už pomerne dosť poučnej literatúry. V našom regióne možno odporučiť najmä publikáciu J. Foltu a L. Nového *Dejiny prírodných vied v dátach*, z ktorej aj my v ďalšom texte preberieme niekoľko zaujímavých informácií.

Na rozdiel od doterajších spôsobov klasifikácie fyzikálnych poznatkov pokúsime sa rozdeliť históriu fyziky na epochy, v ktorých dominovali nejaké výnimočné charakteristiky. Udalosti pred našim letopočtom budeme označovať pred Kr. (pred Kristom) a následné udalosti po Kr. (po Kristu). Aj keď niektoré významné staré objavy ľudstva patria do kategórie fyzikálnych fenoménov, spomenieme ich len ako určité výnimočné udalosti, ktoré posunuli ľudskú spoločnosť dopredu. Sú to predovšetkým začiatky hrnčiarstva (asi 8. tisícročie pred Kr.), začiatky hutníctva a sklárstva (asi 4. tisícročie pred Kr.), objav železa v Egypte (okolo roku 2.800 pred Kr.), objav bronzu, čo je asi 90 % medi a 10 % cínu (okolo roku 2.200 pred Kr.), objav papiera v Číne (okolo roku 1.200 pred Kr.), objav hodvábu v Číne (okolo roku 800 pred Kr.), objav emailových obkladov v Asýrii (okolo roku 1.700 pred Kr.), objav magnetizmu v Grécku (okolo roku 1.600 pred Kr.), objav optických vlastností šošoviek v Grécku (okolo roku 1.400 pred Kr.), objav porcelánu v Číne (okolo roku 1.300 pred Kr.), objav základných surovín na výrobu strelného prachu v Číne (okolo roku 1.100 pred Kr.) a pod.

Po uvedených útržkovitých informáciách môžeme teraz prejsť k systematickejšiemu opisu histórie fyziky, ktorú si rozdelíme na niekoľko vyhranených etáp.



### 3.1 Staroveká a stredoveká fyzika

So začiatkami seriózneho logicko-fyzikálneho myslenia sa môžeme stretnúť v prácach význačných gréckych učencov v 6. st. pred Kr. Boli to predovšetkým Anaximenes, Anaximandros, Anaxagoras a Thales z Miletu, ktorí sa pokúšali o materialistický výklad pozorovaných fyzikálnych fenoménov. Približne o 100 rokov neskôr sa objavili pozoruhodné myšlienky o „atomistickej“ štruktúre našej reality v prácach Demokrita. Z tých čias pochádza pomenovanie „atóm“ ako symbol čohosi, čo je ďalej už nedeliteľné. Muselo však uplynúť až takmer dva a pol tisíc rokov, kým sa týmto pozoruhodným postrehom dostalo spoľahlivého potvrdenia.

O ďalších 100 rokov sa na vedecko-fyzikálnom poli objavil ďalší génus vedy menom Aristoteles, ktorý už pracoval s takými pojmami, akými sú napr. kinetická energia, zvuk, osmóza a pod. Niektoré jeho úvahy a závery týkajúce sa mechaniky sa však ukázali ako chybné, ale to sa zistilo po vyše dvoch tisíc rokoch.

V Grécku pôsobil aj ďalší známy fyzik Archimedes zo Syrakúz (okolo \* 287 – † 212 pred Kr.), ktorý sa do fyziky zapísal najmä svojim slávnym zákonom o nadľahčovaní telies v kvapalinách. Do fyziky zaviedol aj také vážne pojmy, ako sú napr. pojem ťažiska, hmotnosti, momentu sily a na základe svojich znalostí o statike vynášiel kladkostroj a rad ďalších významných strojov.

Ďalší z významných učencov tohto obdobia – Klaudios Ptolemaios sa do histórie fyziky nezmazateľne zapísal tým, že sformuloval základy tzv. geocentrického systému sveta, podľa ktorého jeho stredom je Zem a okolo nej obieha Slnko. Táto predstava pretrvala až do čias Koperníka (16. st. po Kr.).

Na tomto mieste je zaujímavé konštatovať prekvapujúci poznatok. Ak v prvom tisícročí pred Kristom bolo možné zaznamenať pomerne čulý ruch na fyzikálnom poli, v nasledujúcom poldruhu tisícročí sa táto aktivita utlmila prakticky na nulu. Toto konštatovanie je zaujímavé najmä preto, že iné vedy, napr. matematika, takýto útlm vôbec nezaznamenali. Bolo to obdobie rozvíjania najmä lekárskeho a humánného vied charakterizované predovšetkým najmä aktívnou transformáciou starovekých učených spisov do európskych jazykov, čo sa odohrávalo hlavne zásluhou arabských učencov. Od 11. st. sa v tomto období začali zakladať známe európske univerzity. V oblasti samotnej fyziky možno zaznamenať len niekoľko svetlých miest. Spomenúť možno napr. osobnosť arabského fyzika Ibn al-Hajsama (Alhacena), ktorý prispel do fyziky originálnymi poznatkami v oblasti optiky. Za zmienku stoja aj dvaja alchymisti, a to Číňan Sun S'-miao, ktorý sa zaoberal najmä strelným prachom a arabský učenec Džabir Ibn Hajdn (Geber), ktorého hlavným predmetom

záujmu boli hlavne kovy. Pre nás je z tejto epochy zaujímavý rok 1467, keď v Bratislave začala svoju činnosť prvá slovenská univerzita Academia Istropolitana. Táto univerzita zanikla v roku 1490.

Vyššie skúmanú epochu fyziky symbolicky ukončíme významnou udalosťou, ktorou bolo vydanie knihy „*De revolutionibus orbium coelestium*“ autora M. Kopernika v roku 1543, čím sa ukončila takmer dvetisícročná nadvláda Ptolemaiovej geocentrickej sústavy.

### 3.2 Zrod kvantitatívnej fyziky

Na prechode od staroveku do novoveku sa vo fyzike začal pripravovať kvalitatívny zlom. Ak dovtedy sa až na nepatrné výnimky fyzika rozvíjala skôr vo verbálnej úrovni, v tomto období sa už objavovali pokusy „obliekať“ fyzikálne poznatky aj do matematického šatu. Príkladom takého prístupu boli práce vynikajúceho fyzika Galilea Galileiho, ktorý okrem toho, že horlivo obhajoval Kopernikov heliocentrický systém, v čom mu veľmi pomáhal aj ním skonštruovaný nový prístroj, a to ďalekohľad, venoval sa intenzívne aj skúmaniu mechanických problémov, konkrétne voľnému pádu. Jeho zákon objavil v roku 1604. Objavil princíp nezávislosti pohybov, ktorý sa na jeho počesť nazýva Galileiho princíp relativity.

Rozhodujúcim počinom na ceste ku kvantifikovaniu fyzikálnych poznatkov bolo vydanie knihy „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ anglickým fyzikom I. Newtonom v roku 1687. Touto knihou demonštroval zásadný fakt, že totiž celá dynamika vesmíru je ovládaná dvoma univerzálnymi a matematicky formulovateľnými zákonmi, a to zákonom sily a gravitačným zákonom. Ako sme už spomenuli v predchádzajúcej kapitole, týmto počinom Newton zjednotil teóriu všetkých pohybov „na Zemi“ i „na nebesiach“. Rovnako sme už pripomenuli, že pri riešení týchto problémov mu veľmi pomohol nový matematický aparát (tzv. diferenciálny a integrálny počet), ktorý sám – a prakticky v rovnakom čase a nezávisle od Newtona, objavil aj G. W. Leibniz. Newton v podstate ako prvý fyzik v histórii definoval aj dva najzákladnejšie fyzikálne pojmy, a to pojem priestoru a času. Definoval ich ako absolútne veličiny, čo o 300 rokov neskôr spresnil ďalší fyzikálny velikán A. Einstein.

Newtonove myšlienky začala uvádzať do života v nasledujúcich dvoch až troch storočiach celá plejáda vynikajúcich fyzikov (aj matematikov). Spomenúť možno také osobnosti, akými boli napr. L. Euler, d'Alembert, J. L. Lagrange, P. S. Laplace, J. B. Bernoulli, W. R. Hamilton a mnohí ďalší. Tí všetci uviedli fyzikálnu mechaniku do neuveriteľnej dokonalosti. Plejáda ďalších fyzikov, napr. Ch. A. Coulomb (objavil

základný zákon elektrostatiky), A. Volta (objavil zdroje elektrického napätia), M. Faraday (objavil jav elektromagnetickej indukcie), A. M. Ampér (objavil solenoid), G. S. Ohm (objavil základný vzťah medzi prúdom a napätím), P. J. Joule (stanovil vzťah pre tepelné účinky elektrického prúdu), G. Kirchhoff (stanovil zákony pre rozvetvený elektrický prúd) a mnohí ďalší sa zase zaslúžili o kvantifikované teórie elektriny a magnetizmu. Tento proces úspešne zavŕšil J. F. Maxwell sformulovaním svojich slávnych rovníc (v roku 1864), ktorými zjednotil všetky poznatky o elektrine a magnetizmu do jednotnej teórie elektromagnetizmu. Jeho prvá rovnica značí, že zdrojom elektrického poľa je elektrický náboj, druhá rovnica tvrdí, že magnetické pole nemá vlastné zdroje, tretia rovnica hovorí, že magnetické pole je generované pohybom elektrického náboja a spolu so štvrtou rovnicou potvrdzujú fakt, že zmeny v elektrickom poli generujú magnetické pole a naopak.

Uvedené skutočnosti priviedli fyzikov na konci 19. st. k presvedčeniu, že fyzika je už ukončená veda a že už nejestvuje nič, čo by sa mohlo k nej pridať. O to väčší bol potom šok, ktorý spôsobil fyzikálnej verejnosti nemecký fyzik M. Planck, ktorý dokázal, že vo fyzike je ešte nielen mnoho roboty, ale že ju v podstate treba vybudovať odznova. Tým stimuloval vo fyzike zdroj ďalšej významnej epochy, ktorá nesie názov *Kvantová fyzika*.

### 3.3 Zrod kvantovej fyziky

M. Planck prišiel v roku 1900 s myšlienkou, že energia elektromagnetického vlnenia je kvantovaná. Veľkosť príslušných kvánt udáva vzťah  $E = h\nu$ , kde  $\nu$  je frekvencia žiarenia a  $h$  sa na počesť svojho objaviteľa nazýva Planckova konštanta a má hodnotu  $6.10^{-34}$  J.s. Je zaujímavé, že sám Planck tejto svojej revolučnej myšlienky prakticky až do svojej smrti neuveril a všeobecne akceptovanou sa stala v podstate až potom, keď A. Einstein vysvetlil pomocou nej záhady okolo tzv. vonkajšieho fotoefektu. (Práve za tento počín získal Einstein svoju Nobelovu cenu.) Planckova myšlienka narušila vzácnu harmóniu v prírode, podľa ktorej majú korpuskuly len svoje korpuskulárne vlastnosti (energiu a hybnosť) a vlnenia len svoje vlnové vlastnosti (vlnovú dĺžku a frekvenciu). Podľa Planckovej myšlienky však vlnenie má popri svojich vlnových vlastnostiach aj korpuskulárne vlastnosti. Túto disharmóniu odstránil v roku 1924 Louis de Broglie rovnako šokujúcou myšlienkou, podľa ktorej majú aj korpuskuly vlnové vlastnosti. Túto hypotézu krátko po svojom objave experimentálne potvrdili C. J. Davisson a L. H. Germer.

Prekvapujúcu Planckovu ideu využil v roku 1915 fyzik Niels Bohr na vypracovanie vynikajúcej teórie vodíkového atómu, ktorá však paradoxne vygenerovala ešte viac záhad, ako samotná Planckova myšlienka. Východisko zo začarovaného kruhu našli v rokoch 1926

a 1927 prakticky súčasne dvaja slávni fyzici, a to E. Schrödinger a W. Heisenberg. Objavili rovnice, ktoré – ako sa neskôr ukázalo – predstavovali univerzálne zákony platné pre celý mikrosvet.

Postupným rozvíjaním Planckovej myšlienky sa zistilo, že nielen energia, ale v podstate aj všetky ostatné fyzikálne veličiny podliehajú záhadnému kvantovaniu a tomuto procesu dokonca neunikli aj dva najzákladnejšie fyzikálne pojmy, a to priestor a čas. Tzv. elementárna dĺžka má veľkosť približne  $10^{-33}$  cm a elementárne kvantum času obsahuje asi  $10^{-43}$  s.

### 3.4 Zrod relativistickej fyziky

Otcom relativistickej fyziky je už spomínaný jeden z najslávnejších fyzikov A. Einstein. V roku 1905 uverejnil niekoľko fundamentálnych prác, za ktoré by za každú zvlášť iní fyzici mohli obdržať Nobelove ceny. Jednou z nich bola aj práca o elektrodynamike pohybujúcich sa telies („*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*”), ktorá naštartovala myšlienku relativnosti vo fyzike a ktorou poopravil 300 rokov staré a všeobecne uznávané Newtonove predstavy o tzv. absolútnom priestore a absolútnom čase.

Keď sa na Einsteinove prínosy do fyziky dnes pozeráme z určitého nadhľadu zistíme, že mu k ním dopomohol tzv. princíp symetrie. V prípade klasickej mechaniky tento princíp hovorí, že samotný dynamický proces nemôže závisieť od toho, z akej vzťažnej sústavy ho posudzujeme. Príslušné pohybové rovnice, ktoré túto dynamiku opisujú, musia preto vyzeráť rovnako vo všetkých príslušných vzťažných sústavách. Meniť sa môžu len príslušné transformačné vzťahy pre časové a priestorové súradnice.

Keď sa obmedzíme len na sústavy nachádzajúce sa v pokoji, potom postulát symetrie vedie na Newtonove predstavy o absolútnom priestore a absolútnom čase. Keď však rozšírime analýzu aj na rovnomerne a priamočiario sa pohybujúce sústavy, Einsteinova požiadavka znamená, že všetky rovnice musia vyzeráť rovnako aj vo vzťažných sústavách pohybujúcich sa rovnomerne priamočiario. Avšak Maxwellove rovnice opisujúce javy elektromagnetizmu majú iné transformačné vlastnosti než Newtonove pohybové rovnice pri prechode od jednej vzťažnej sústavy k druhej. Ak je postulát symetrie správny, potom buď Newtonove rovnice, alebo Maxwellove rovnice nie sú správne, ale len približné. Einstein dospel k záveru, že tými správnymi sú Maxwellove rovnice. Potom príslušné transformačné vzťahy pre čas a priestorové súradnice majú tvar tzv. Lorentzových transformácií, z ktorých vyplýva, že tieto súradnice (ale napr. aj hmotnosť pohybujúcich sa objektov) závisia od rýchlosti pohybujúcej sa sústavy. Tento poznatok tvorí obsah tzv. špeciálnej teórie relativity. Keď však Einstein

aplikoval princíp symetrie aj na zrýchlene sa pohybujúce sústavy, a uvážil, že lokálne nemožno rozlíšiť gravitačnú silu od zotrvačnej sily spôsobenej zrýchleným pohybom, prišiel k záveru, že príslušné transformácie závisia aj od hmotnosti telies, v okolí ktorých sa tieto objekty pohybujú. Tak vznikla tzv. všeobecná teória relativity. V rámci nej Einstein objavil rovnice, ktoré úplne všeobecne opisujú pohyb ľubovoľného telesa v ľubovoľných podmienkach a dal do súvisu geometriu priestoročasu s rozložením a pohybom hmoty.

Podľa všeobecnej teórie relativity má každý bod priestoru svoj vlastný čas a ako určitý prekvapujúci dôsledok tohto tvrdenia možno uviesť fakt, že v časopriestore možno nájsť aj oblasti, v ktorých čas neplynie vôbec. Objekty, v okolí ktorých sa tento fenomén realizuje, sa nazývajú *čierne diery*. Sú to objekty, z ktorých tzv. úniková rýchlosť objektov sa rovná alebo je väčšia, ako je rýchlosť svetla a tú podľa výsledkov vyplývajúcich už zo špeciálnej teórie relativity nemožno prekonať. Preto z uvedených objektov nemôže do okolia uniknúť nijaký objekt a ani nijaká informácia vôbec, takže sú zvonku nepozorovateľné.

Všeobecná teória relativity tvorí v súčasnosti základ všetkých kozmologických teórií a okrem už spomínaného fenoménu týkajúceho sa čiernych dier vyprodukovala aj celý rad iných prekvapujúcich poznatkov, ktoré sa v dôkladných testoch vynikajúco potvrdili.

### 3.5 Súčasná fyzika

Zdá sa, ako keby sa sformulovaním základov kvantovej a relativistickej fyziky skončila v histórii tejto vedy éra prekvapujúcich objavov. Jeden otvorený problém však zostal doteraz nevyriešený. Jasné bolo to, že ako kvantová tak aj relativistická fyzika mali svoje autonómne teritória, ktoré sa v bežnom živote nikde neprekrývajú – kvantová fyzika platí pre mikrosvet a relativistická fyzika pre megasvet, v ktorom figurujú obrovské hmotnosti. V histórii nášho vesmíru sa však vyskytli situácie, v ktorých mali súčasne účasť obidva fenomény. Boli to okamihy vznikania nášho vesmíru a pre tieto situácie by sa žiadala teória, ktorá by obidve čiastkové teórie spojila do jedinej vnútorne konzistentnej teórie. Takáto teória má už svoje meno – nazýva sa *teória všetkého*, ale doteraz sa ju nepodarilo vypracovať. Pritom samotný počiatok nášho vesmíru je zahalený záhadami, ktorých riešenie by mohla poskytnúť práve spomínaná teória všetkého. Po počiatočných nádejných pokusoch o vypracovanie spomínanej teórie sa však objavili dokonca aj pochybnosti, či takáto teória môže vôbec existovať. Pripomeňme si len to, že nádeje sa doteraz vkladali do tzv. teórie strún či superstrún, na experimentálnom preverení ktorých sa v súčasných špičkových laboratóriách usilovne pracuje.

Určité nespochybniteľné úspechy sa zatiaľ objavujú aj v samostatných autonómnych teóriách. Spomenúť možno vypracovanie tzv. štandardného modelu vzniku a vývoja vesmíru a štandardného modelu elementárnych častíc a síl, ktoré determinujú stav vesmíru. K uvedeným problémom sa ešte neskôr vrátíme. Na tomto mieste však kvôli všeobecnej informovanosti spomenieme päť najdôležitejších problémov, ktorých riešenie zamestnáva súčasných špičkových fyzikov. Sú to:

- teória všetkého, čiže zjednotenie kvantovej a relativistickej fyziky,
- kompletizácia štandardného modelu častíc a síl,
- realistická interpretácia kvantovej fyziky,
- hodnoty hlavných fyzikálnych konštánt (tzv. antropický princíp) a
- podstata tmavej hmoty a tmavej energie.

Z objavov, ktoré pohli fyziku dopredu a ktoré pri zrovnaní s dominantnými trendmi zostali trochu ako keby v úzadí, treba spomenúť rádioaktivitu, ktorá je spojená s menami H. Becquerela (v roku 1896 objavil prirodzený rádioaktívny rozpad), W. C. Röntgena (roku 1895 objavil po ňom pomenované röntgenové žiarenie) a manželov Curieovcov (v roku 1898 objavili rádioaktívne prvky rádium a polónium). Z ostatných významnejších objavov možno spomenúť aspoň tieto:

- r. 1932 C. D. Anderson experimentálne potvrdil Diracovu predpoveď existencie antičastíc (konkrétne pozitronu),
- r. 1934 P. A. Čerenkov objavil po ňom pomenované žiarenie vznikajúce pri pohybe častíc nadsvetelnou rýchlosťou v danom reálnom prostredí,
- r. 1938 O. Hahn, L. Meitnerová a F. Strassman objavili štiepenie jadier uránu,
- r. 1949 J. Bardeen, W. B. Shockley a W. H. Brattain objavili tranzistor,
- r. 1954 N. G. Basov, A. M. Prochorov a Ch. H. Townes objavili MASER,
- r. 1965 A. A. Penzias a R.W. Wilson objavili reliktové žiarenie,
- r. 1957 J. Bardeen, L. N. Cooper a J. H. Schrieffer vypracovali teóriu supravodivosti,
- r. 1983 objavenie tzv. W bozónu v CERN-e,
- r. 2012 objavenie Higgsovho bozónu v CERN-e,
- na prelome storočí - objavenie tmavej hmoty a tmavej energie.

Ako určitý nový fenomén v modernej fyzike možno spomenúť rozpracovanie teórie chaosu a objavenie tzv. deterministického chaosu.

### 3.6 Počiatky fyziky na Slovensku

Aj keď sa náznaky rozvoja vedy aj na Slovensku sporadicky objavovali už pomerne skoro (r. 1635 - založenie Trnavskej univerzity v Trnave), osobnosti, ktoré by zviditeľnili Slovensko aj vo svete vo fyzike, bolo pomerne málo. Spomenúť možno hlavne J. M. Petzvala, ktorý pôsobil na Viedenskej univerzite a ktorý na základe vlastných výpočtov zostrojil prvý astigmatický fotografický objektív. Ďalším významným slovenským fyzikom v minulosti bol Š. A. Jedlík, ktorý nezávisle od M. Faradaya skonštruoval prototyp elektrického motora a 7 rokov pred W. Siemensom skonštruoval prototyp elektrického dynama. Známy je aj J. Murgaš, ktorý si dal patentovať vynález bezdrôtovej telegrafie. Vyznamenal sa aj A. Stodola, ktorý napísal svetoznámu publikáciu o parných a spaľovacích turbínach.

Z novších čias hodno spomenúť profesora D. Ilkoviča, ktorý svojou teoretickou prácou položil základy tzv. polarografie, za ktorú český vedec J. Heyrovský získal Nobelovu cenu. Spomínaná práca obsahuje rovnicu, ktorá sa pod názvom *Ilkovičova rovnica* cituje vo všetkých učebniciach fyzikálnej chémie.

Záverom možno len konštatovať, že v súčasnosti relatívne veľký počet slovenských fyzikov pracuje na najprestížnejších fyzikálnych výskumných pracoviskách po celom svete.

#### Literatúra:

- [1] Folta, J. a Nový, L.: *Dejiny prírodných vied v dátach*. SMENA, Bratislava 1981.
- [2] Bober, J.: *Laureáti Nobelovej ceny*. Bratislava 1971.
- [3] Bober, J.: *Malá encyklopédia bádateľov a vynálezcov*. Bratislava 1973.
- [4] *Jednota slovenských matematikov a fyzikov - Vznik, poslanie a činnosť*. JČMF a JSMF. PRAVDA, Žilina 1985.
- [5] Kraus, I.: *Dějiny evropských objevů a vynálezů*. ACADEMIA, Praha 2001.

## 4 Fyzika vesmíru

Z úvah o „*strome vedy*“ (pozri obr. 2.1) vyplýva, že fyzika je veda, ktorá je zo všetkých vied najkompetentnejšia vyjadrovať sa k problémom vesmíru, v ktorom žijeme. Na jej pôde sa vytvoril tzv. štandardný model vzniku a vývoja vesmíru, ktorý je už pomerne veľmi dobre teoreticky podložený a experimentálne preverený. Teraz si uvedieme k tejto problematike najpotrebnejšie informácie.

V posledných rokoch prekvapilo prírodovedcov zistenie, že náš vesmír sa rozpína so zrýchlením. Ako „vinník“ za tento fenomén sa identifikovala tzv. *tmavá energia* uložená vo *fyzikálnom vákuu*. Predstavuje okolo 73 % celkovej energie vesmíru a je teda dominantným činiteľom v dynamike celého vesmíru. Tento poznatok upriamil fyzikov na skúmanie nového vesmírneho objektu -fyzikálneho vákuu. Zatiaľ vieme o ňom len to, že je to reálne médium vyplnené zvláštnou energiou, ktorá na rozdiel od univerzálnej gravitačnej sily má opačný účinok – nie príťažlivý, ale odpudivý. Nepoznáme jej podstatu a pokus o výpočet jej hustoty pomocou známych fyzikálnych prostriedkov vedie zatiaľ k enormnému nesúhlasu medzi vypočítanou a nameranou hodnotou.

Pre nás môže byť uvedený poznatok zaujímavý najmä tým, že na otázku o pôvode vesmíru už vieme poskytnúť akú takú zmysluplnú odpoveď: náš vesmír vznikol obrovskou erupciou z fyzikálneho vákuu. Tento monumentálny výbuch sa nazýva *Velký tresk (Big bang)* a štúdiom správania sa látky po tomto tresku vieme dokonca aj zistiť, kedy sa to stalo. Najnovšie údaje hovoria o tom, že náš vesmír (v podobe v akej ho v súčasnosti vnímame) vznikol pred 13 miliardami a 680 miliónmi rokov. O tom, že tento počiatok sa v uvedenom čase naozaj uskutočnil, svedčia najmä tri fenomény, a to: a) Hubblovo rozpínanie, b) objav reliktového žiarenia a c) chemické zloženie nášho vesmíru.

### 4.1 Hubblovo rozpínanie vesmíru

Problém rozpínania vesmíru sa po prvý raz objavil už v Einsteinovej všeobecnej teórii relativity, ale sám Einstein ho doslova zmietol zo stola tým, že do svojich rovníc zakomponoval tzv.  $\lambda$  – člen (známy pod názvom *kozmozologická konštanta*), ktorý mu zabezpečil, že jeho rovnice potvrdili vesmír ako stacionárny útvar, čo sa v týchto časoch akceptovalo ako všeobecná pravda. Astrofyzik E. Hubble však v roku 1929 definitívne ukončil diskusie o tom, či náš vesmír je statický alebo dynamický útvar. Podľa neho sa náš vesmír rozpína a keď sa fyzici pokúšali riešiť problém, z akého počiatočného stavu sa toto



rozpínanie uskutočňuje, dospeli k záveru, že sa to začalo „singulárnym bodom“. V laickej reči to značí, že náš vesmír začal svoju existenciu z „nuly“. Náš vesmír má teda dobre definovaný počiatok a Hubblov zákon umožnil dokonca vypočítať, aj kedy sa toto rozpínanie začalo. Okolnosti tohto počiatku sú však doteraz pre nás záhadou, pretože veda za hranicou známou ako Planckova medza ( $10^{-43}$  s) stráca platnosť.

## 4.2 Reliktové žiarenie

Je známe, že pomenovanie *Big bang* vzniklo ako hanlivé označenie epizódy, ktorou sa podľa známeho fyzika F. Hoylea zabávala určitá skupina fyzikov v päťdesiatych rokoch minulého storočia. Nepriamo tým vyzval vyznávačov existencie Veľkého tresku, aby sa pokúsili dolapit' nejakého priameho svedka tejto výnimočnej udalosti. Títo fyzici mu jeho želanie v roku 1965 perfektne splnili. Stalo sa to takto:

Dvaja astrofyzici A. A. Penzias a R. W. Wilson sa zaoberali konštrukciou veľkej antény určenej na príjem hypotetických signálov od mimozemšťanov. Neboli úspešní, pretože napriek enormnému úsiliu sa im nepodarilo zbaviť svoj produkt záhadného „šumu“, ktorý zodpovedal žiareniu telesa s teplotou okolo 3 K. Keď sa raz jeden z nich telefonicky požaloval svojmu priateľovi, že nemôžu zbaviť svoju anténu „trojkelvinového“ šumu, ten na druhom konci „drôtu“ vzrušene vykrikoval, že ich pracovná skupina práve takýto šum vo vesmíre hľadá. Mal by byť priamym svedkom hypotetického Big bangu. Tak sa zrodil doteraz najvýznamnejší astrofyzikálny objav, za ktorý bola uvedeným astrofyzikom udelená Nobelova cena.

Pôvod objaveného reliktového žiarenia možno pomerne jednoducho objasniť. Je to v podstate produkt anihilácie častíc a antičastíc, ktoré sa pri výrone z fyzikálneho vákua vygenerovali. Toto žiarenie sa síce potom ešte trochu modifikovalo a my sme ho objavili v takom stave, v akom sa nachádzalo približne po 380.000 rokoch od Veľkého tresku, ale to nič nemení na fakte, že predstavuje prakticky priameho svedka udalosti znamenajúcej vznik nášho vesmíru. V súčasnosti slúži toto žiarenie ako veľmi užitočný a v podstate nenahraditeľný zdroj informácií o tom, ako to v našom vesmíre vyzeralo v jeho počiatkových štádiách.

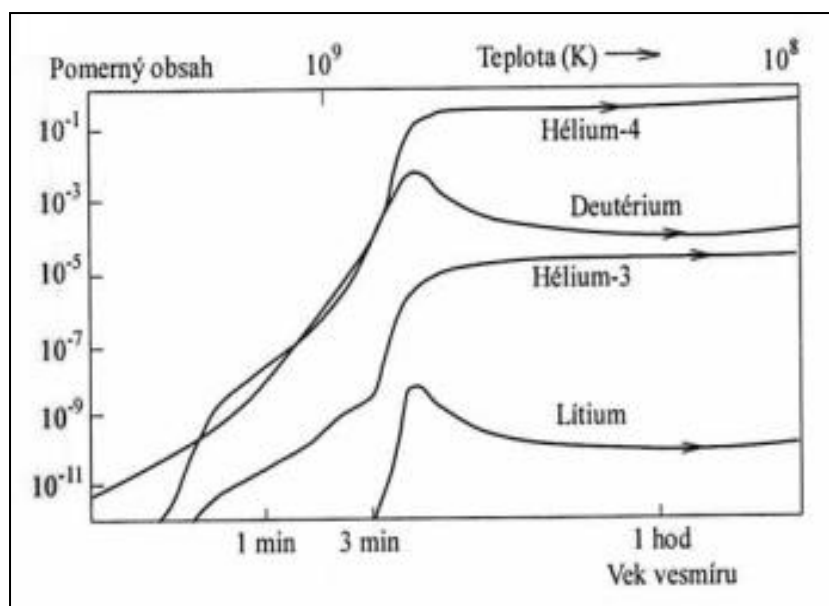
## 4.3 Chemické zloženie vesmíru

Moderné fyzikálno-chemické metódy umožňujú dostatočne presne stanoviť obsah jednotlivých chemických prvkov vo vesmíre. Výsledkom týchto aktivít bol prekvapujúci

a nečakaný záver, že v našom vesmíre je približne desaťkrát viac hélia, ako ho doteraz stihli vyrobiť všetky slnka vo svojich útrobach. Vysvetlenie tejto záhady poskytol scenár vzniku vesmíru Veľkým treskom na jeho počiatku. Opieral sa o známe procesy syntézy ľahkých prvkov z protónov a neutrónov. Výsledky príslušných analýz poskytuje obr. 4.1. Vynesené závislosti veľmi dobre súhlasia s výsledkami experimentálneho skúmania. Nijaký iný scenár týkajúci sa nášho vesmíru by nedokázal vysvetliť chemickú skladbu nášho vesmíru lepšie, ako scenár počítajúci s Veľkým treskom. Je síce pravda, že o samotnom bode vzniku nášho vesmíru nevieme povedať nič spoľahlivo doložené, avšak o zlomkoch sekundy po tomto začiatku to už neplatí. Sústreďme sa teraz na niekoľko podstatných udalostí po tomto počiatku, ktoré už máme veľmi dobre preskúmané.

#### a) Čas $10^{-35}$ s po Veľkom tresku – inflačné rozpínanie

Už vieme, že súčasnú dynamiku vesmíru zabezpečujú štyri sily: gravitačná, elektromagnetická, silná a slabá.



**Obr. 4.1** Chemické zloženie nášho vesmíru krátko po počiatku

Už veľmi dobre potvrdená teória zjednotenia posledných troch síl vedie k informácii, že v čase  $10^{-35}$  s pri strednej energii „balíčkov“ rádu  $10^{15}$  GeV boli tieto sily zjednotené do jednej „prasily“. V tomto okamihu bola teplota vesmíru približne  $10^{28}$  K. To nám umožňuje stanoviť aj priemer vtedajšieho vesmíru. Medzi teplotou a priemerom vesmíru platí totiž univerzálny vzťah:

$$R = \text{konšt.} \frac{1}{T} \quad (4.1)$$

Z neho vyplýva platnosť rovnice:

$$\frac{R_{\text{vtedy}}}{R_{\text{teraz}}} = \frac{T_{\text{teraz}}}{T_{\text{vtedy}}}. \quad (4.2)$$

Ak teda vieme, že teplota súčasného vesmíru je približne 3 K a jeho priemer asi  $10^{25}$  m, potom pre priemer vtedajšieho vesmíru vyplýva približná veľkosť

$$R_{\text{vtedy}} \approx 3 \text{ mm}. \quad (4.3)$$

Tento údaj určite šokuje laika, pretože je to pre celý vesmír nesmierne malá hodnota, ale ešte väčší šok znamenal pre teoretických fyzikov, pretože pre nich to zas bola nesmierne veľká hodnota! Prečo?

Skúmanie štruktúry vesmíru nás presvedčuje o tom, že pokiaľ ide o rozloženie hmoty v ňom, je takmer dokonale homogénny. Čo však mohlo zabezpečiť túto dokonalú homogenitu? Zrejme nejaké sily, ktoré vyvolávali premiešavanie, ktoré však podľa Einsteinovej teórie relativity sa nemôžu šíriť väčšou rýchlosťou akou je rýchlosť svetla vo vákuu. Za čas  $10^{-35}$  s však svetlo stihne prebehnúť len vzdialenosť

$$s = ct = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot 10^{-35} \text{ s} \approx 3 \cdot 10^{-27} \text{ m}. \quad (4.4)$$

Ak sa teda uvedená guľôčka mala v tom čase javiť ako dokonale homogénna, nemohla mať väčší priemer ako asi  $3 \cdot 10^{-24}$  mm! Musela byť približne o 24 rádov menšia, ako je hodnota vypočítaná na základe platného vzťahu (4.1). Ako vyriešiť túto obrovskú dilemu? Riešenie navrhol americký fyzik A. Guth. Podľa jeho návrhu mal náš vesmír pred inkriminovaným okamihom priemer  $10^{-24}$  mm, ale po ňom sa (takmer v okamihu) nafúkol do priemeru 3 mm. Táto epizóda dostala pomenovanie *inflačné rozopnutie* a akokoľvek sa nám to zdá byť nereálne, ukazuje sa, že táto idea je s najväčšou pravdepodobnosťou realistická. Aj iné pozorované vlastnosti nášho vesmíru totiž vyžadujú, aby sa v histórii skutočne vyskytla. Ide najmä o tieto javy:

- Vymiznutie tzv. Diracových monopólov a
- nárast tzv. kvantových fluktuácií do požadovaných dimenzií.

V prvom prípade ide o to, že pri uvedených teplotách sa priamo zo žiarenia mohli generovať častice s hmotnosťou o 15 rádov prevyšujúcou hmotnosť protónu. Tieto útvary dostali názov *Diracove monopóly*. Keby látka vesmíru zostala distribuovaná na také obrovské „porcie“, nemohli by vzniknúť galaxie a hviezdy „našich“ rozmerov, ktoré sú pre vznik života a existenciu človeka bezpodmienečne nutné. V histórii vesmíru sa preto musela uskutočniť udalosť, pri ktorej sa tieto monopóly rozdrobili na (potrebné) menšie útvary. A ňou s najväčšou pravdepodobnosťou bolo inflačné rozopnutie.

V druhom prípade ide o to, že naše hviezdy a galaxie vyžadujú pre svoj vznik nerovnorodosti v rozložení prahmoty o veľkosti rádu milióny a miliardy km. Keby vo vesmíre zostali len fluktuácie zodpovedajúce priemeru rádu  $10^{-24}$  mm, potom by tieto objekty v súčasnosti nemali priemery väčšie ako metre či kilometre a za takých okolností by život vo vesmíre nemohol vzniknúť. Museli sa preto na patričné veľkosti nafúknuť a to sa mohlo uskutočniť práve vďaka inflačnému rozopnutiu.

### **b) Čas $t = 3$ minúty**

Známy súčasný fyzik S. Weinberg napísal pred časom veľmi zaujímavú publikáciu s názvom *Prvé tri minúty*. Čím by mohli byť zaujímavé prvé tri minúty v existencii nášho vesmíru? Tým, že týmto časovým údajom sa prakticky ukončilo obdobie „rodenia“ sa nášho vesmíru. Za toto relatívne veľmi krátke obdobie sa stačili vo vesmíre vygenerovať všetky potrebné základné častice a z nich aj jadrá prvých chemických prvkov, a to vodíka a hélia. Potom sa už dynamika nášho vesmíru na niekoľko stotisíc rokov upokojila a prakticky nič nového sa v nasledujúcom období neuskutočnilo. Stav vesmíru sa ustálil na zložení približne 92 % jadier vodíka a asi 8 % jadier hélia, pričom nosným médium týchto častíc bolo ešte vždy veľmi silné elektromagnetické žiarenie. V čase okolo troch minút mal náš vesmír teplotu rovnú približne  $10^9$  K a jeho veľkosť sa menila v intervale od niekoľkých stotín až po desatiny svetelného roka. (Pripomeňme si, že priemer našej galaxie v súčasnosti je asi sto tisíc svetelných rokov.)

### **c) Čas $t = 380.000$ rokov**

V uvedenom čas po Veľkom tresku sa vo vesmíre začali realizovať procesy, bez ktorých by naše galaxie a hviezdy nikdy neboli vznikli. Gravitačná sila, ktorá núti hmotné častice zhľukovať sa do väčších celkov, tu síce bola od samého počiatku, avšak proti jej príťažlivým účinkom pôsobil tlak žiarenia, ktorý bol nepomerne väčší. Tento tlak však mal – na naše veľké šťastie - jeden „handicap“, a ten spočíval (a stále spočíva) v tom, že pôsobí len na elektricky nabitú telesá. Pokiaľ teda vo vesmíre existovala len látka pozostávajúca z elektricky kladne nabitých jadier vodíka a záporne elektricky nabitých elektrónov, k ich zhľukovaniu nemohlo vôbec dôjsť. Jediným riešením by mohol byť radikálny proces likvidácie týchto elektrických nábojov, a to prostredníctvom dokonalej vzájomnej kompenzácie. Takýto proces existuje a nazýva sa *rekombinácia*. S rozpínaním vesmíru jeho teplota postupne klesala a keď dosiahla úroveň okolo 3000 K, začali sa záporne elektróny

trvale spájať s kladne nabitými jadrami vodíka a hélia, čím vo vesmíre vznikol neutrálny vodík a neutrálne hélium. Na takéto útvary však už žiarenie nemá nijaký vplyv a tak už nič nebránilo tomu, aby sa uvedené častice začali navzájom spájať do *klastrov*, z ktorých sa postupne vyvinuli galaxie i hviezdy.

#### d) Čas $t = 1$ miliarda rokov

Udáva sa, že prvé galaxie či hviezdy (doteraz sa vlastne nevie, čo bolo skôr) sa v našom vesmíre objavili na sklonku prvej miliardy rokov. Na ich vzniku sa podieľalo – okrem už spomínanej gravitácie – aj viacero ďalších činiteľov, ktoré determinovali ich veľkosti. Už v roku 1900 známy astrofyzik J. Jeans vypočítal, že veľkosť ich hmotnosti určuje výraz:

$$M = K \frac{1}{m_0^2 \sqrt{n_0}}, \quad (4.5)$$

kde  $m_0$  je hmotnosť zhlukujúcich sa častíc,  $n_0$  ich koncentrácia a  $K$  je určitá konštanta. Vidíme, že vývojom sa nemohli v dôsledku jestvujúcich fyzikálnych okolností vytvárať vesmírne objekty s ľubovoľnými hmotnosťami. To sa ukázalo ako veľmi dôležitý fakt, pretože také fenomény akými sú život a človek, vyžadujú pre svoju existenciu veľmi prísne nastavené technické parametre objektov, na ktorých sa mohli objaviť. Len pri vhodných hmotnostiach sa mohli vnútri hviezd vytvoriť podmienky pre tvorbu aj všetkých ostatných chemických prvkov okrem vodíka a hélia, ktoré sú pre život potrebné. Vnútri slnka sa musela dosiahnuť teplota rádu niekoľkých miliónov kelvinov, aby mohla naštartovať tzv. termosyntéza, v procese ktorej sa vo vesmíre objavili aj také prvky, akými sú uhlík, kyslík, dusík a rozličné kovy, bez ktorých by tu život a teda ani človek vôbec nebol. Hmotnosť slnka je dôležitá aj z hľadiska dĺžky vyžarovania energie potrebnej pre vznik života. Vieme, že proces vzniku života vyžaduje na svoju realizáciu niekoľko miliárd rokov. Z toho vyplýva, že životnosť príslušného slnka musí byť aspoň rovnakého rádu. Keby naše slnko bolo len niekoľkokrát ťažšie ako naozaj je, už dávno by nesvietilo. Vieme, že už svieti približne 5 miliárd rokov a toľko má ešte aj pred sebou, takže môžeme konštatovať, že sme sa ocitli pri správnom slnku. V podobnom duchu by sme mohli pokračovať aj ďalej a s údivom by sme zistili, že nie v hocijakom vesmíre, ani v hocijakej galaxii, ani v okolí ľubovoľného slnka a na hocijakej planéte, ba dokonca ani pri hocijakom mesiaci nemožno zákonite očakávať vznik života a teda ani existenciu rozumných bytostí. O tom všetkom bude reč ešte aj neskôr. Teraz však na chvíľku odskočíme z fyzikálnej reality a pozrieme sa orientačne na biologické a aj sociálne teritórium, aby sme sa aspoň približne zorientovali v celej histórii ľudstva.

- Pred 4,5 miliardami rokov: vznik našej slnečnej sústavy.
- Pred 3,5 miliardami rokov: vznik života.
- Pred 2 miliardami rokov: povrch zemegule zaplavili tzv. kyanobaktérie produkujúce voľný kyslík, ktorý keby sa nemal čím absorbovať, život by vo svojom vývoji nemohol pokračovať. Zachránila nás „obyčajná“ hrdza. Vrstvy železa pokrývajúce povrch zemegule absorbovali voľný kyslík, menili ho na hrdzu a tým uvoľnili cestu pre ďalší rozvoj života.
- Pred 600 miliónmi rokov: naša Zem sa podobala snehovej guli.
- Pred 500 miliónmi rokov: v epoche nazývanej *kambrium* nastal enormný rozvoj živočíšnych druhov.
- Pred 65 miliónmi rokov: náhle vymreli všetky veľjaštere (pravdepodobne následkom nárazu veľkého meteoritu na zemeguľu).
- Pred viac ako 7 miliónmi rokov: žil spoločný predok troch druhov živočíchov, a to goríl, šimpanzov a hominidov. Ako prvé sa vyčlenili gorily.
- Pred 5 miliónmi rokov: osamostatnili sa šimpanzy.
- Pred asi 38.000 – 40.000 rokmi: na rozdiel od goríl a šimpanzov sa v čeladi hominidov objavila sebareflexia a s tým súvisiace prejavy duchovných aktivít.
- Pred asi 12.000 rokmi: začiatky našej civilizácie.

### **Literatúra:**

- [1] Krempaský, J.: *Evolúcia vesmíru a prírodné vedy*. SPN Bratislava, 1992.
- [2] Krempaský, J.: *Vesmírne metamorfózy*. SMENA Bratislava, 1989.
- [3] Blažek, M., Ďurček, K. a Rojka, L.: *Filozofický a fyzikálny pohľad na vesmír*. VEDA SAV Bratislava 2006.
- [4] Magdolen, D. a kol.: *Hmota – Život - Inteligencia – Vznik* . VEDA SAV. Bratislava 2008.
- [5] Ginzburg, V. L.: *Astrofyzika*. ALFA. Bratislava 1979.
- [6] Weinberg, S.: *První tři minuty*. Mladá fronta. Praha 1983.

## 5 Fyzika vývoja

V predchádzajúcej kapitole sme sa sústredili na systematické vymenovanie a opis jednotlivých fenoménov tvoriacich históriu vesmíru. Teraz sa pokúsime odpovedať na otázku, ako sa to všetko mohlo uskutočniť. Konštatujeme, že vesmír sa kreoval evolúciou a tak sa stáva dominantnou otázkou, aké sú hybné sily evolúcie. Presvedčíme sa, že vývoj, čiže vznikanie nových kvalít, nevyžaduje (až na zvláštnosti, ktorým až doteraz ešte dobre nerozumieme) nijaké zvláštne zásahy zvonku, ale stačia na to štyri fundamentálne sily, ktoré boli do hmoty vložené, správne nastavenie veľkosti riadiacich konštánt a vhodné vonkajšie podmienky. Ako sme už niekoľkokrát uviedli, štyri fundamentálne sily sú: gravitačná, elektromagnetická, silná a slabá. Ako hlavné riadiace konštanty treba spomenúť predovšetkým gravitačnú konštantu ( $G = 6,6 \cdot 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ ), Planckovu konštantu ( $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ), rýchlosť svetla ( $c = 300.000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ ), hmotnosti elementárnych častíc, elementárny elektrický náboj ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) a niektoré ďalšie menej dôležité konštanty. Dominantnou vonkajšou podmienkou vo vesmíre je a bola jeho teplota, ktorá, ako sme už uviedli, sa s jeho rozpínaním mení podľa vzťahu:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (5.1)$$

kde  $R$  je polomer vesmíru chápaného približne ako guľový útvar.

Nové globálne kvality, ktoré vo vesmíre spontánne vznikali a stále vznikajú, sú hlavne

- a) náhle kvalitatívne zmeny celých systémov,
- b) časové oscilácie a
- c) priestorové štruktúry.

Postupne sa so všetkým podrobnejšie oboznámime. Skôr, ako to urobíme, musíme si osvojiť vhodný matematický formalizmus potrebný na ich opis. Od čias Newtona a Leibniza už vieme, že takým formalizmom je tzv. diferenciálny a integrálny počet, avšak nie všetci študenti vstupujúci na vysoké školy, sú už s ním dostatočne oboznámení, preto sa pokúsime o elementárnejší spôsob výkladu problematiky.

### 5.1 Elementárna teória vývoja

Kvalitu skúmaných objektov a systémov možno charakterizovať pomocou rozličných veličín, napr. pomocou ich veľkosti, hustoty, farby, početnosti a pod. Vhodný kvalitatívny ukazovateľ budeme všeobecne označovať písmenom  $q$ . Keďže nám pôjde prakticky vždy

o jeho zmenu, zameriame sa na stanovenie jeho prírastku, ktorý označíme symbolom  $\Delta q$ . Keďže príslušná zmena sa môže uskutočniť v rozličných časoch, dohodneme sa, že sa vo svojich úvahách zameriame vždy len na ich zmenu vzťahovanú na jednotku času, čiže na veličinu  $t$ , kde  $\Delta t$  značí časový interval. Ústrednou otázkou teórie evolúcie je potom otázka, čím je táto zmena vyvolaná a determinovaná. Táto príčina môže byť funkciou celého radu aktuálnych parametrov a označíme ju znakom  $F$ . Tak prideme k jednoduchej rovnici tvaru:

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = F, \quad (5.2)$$

ktorú všeobecne nazývame *evolučná rovnica*. Podstatné je, aby sme vedeli špecifikovať funkciu  $F$ , čiže stanoviť jej závislosť od veličín charakterizujúcich a determinujúcich podmienky definované okolím. Ako uvidíme, najvýznamnejším faktom v tejto procedúre bude zistenie, či funkcia  $F$  závisí aj od samotnej premennej  $q$ , alebo nie. Pomerne jednoducho sa nám podarí prísť k univerzálnej podmienke vzniku nových kvalít. Najprv si však musíme naznačiť, akou najjednoduchšou metódou môžeme rovnicu (5.2) preanalýzovať. V tomto smere sa nám veľmi osvedčila tzv. metóda kvalitatívnej analýzy, ktorá sa realizuje dvoma krokmi:

a) stanovenie ustálenej hodnoty premennej  $q$ . Keďže v ustálenom stave sa už táto veličina nemení, platí podmienka  $\Delta q = 0$  a z nej vyplýva, že podľa rovnice (5.2) sa aj funkcia  $F$  musí rovnať nule. Máme tak prvú rovnicu potrebnú pre kvalitatívnu analýzu. Má tvar:

$$F = 0. \quad (5.3)$$

Riešením tejto rovnice sú ustálené (stacionárne) hodnoty veličiny  $q$ , ktoré budeme označovať symbolmi  $q_s$ .

b) Druhý krok kvalitatívnej analýzy je preskúmanie „stability“ nájdených stacionárnych hodnôt premennej  $q$ . Urobíme to metódou „malej poruchy“, ktorú označíme znakom  $y$ . Porušíme stacionárny stav systému takouto malou poruchou (napríklad zásahom z okolia), takže bude platiť rovnica:

$$q = q_s + y. \quad (5.4)$$

Teraz sa budeme pýtať, ako sa bude uvedená porucha správať v nasledujúcich okamihoch? Bude spontánne narastať, alebo sa postupne utlmí? To zistíme tak, že vyjadrenie (5.4) dosadíme do rovnice (5.1), čím ju dostaneme do tvaru:

$$\frac{\Delta(q_s + y)}{\Delta t} = F(q_s + y). \quad (5.5)$$

Veličina  $\Delta q_s$  sa však rovná nule ( $q_s$  je konštanta) a pokiaľ ide o funkciu  $F(q_s + y)$ , uplatníme podmienku, že porucha  $y$  je „dostatočne“ malá veličina. (Budeme tým rozumieť to, že



porucha predstavuje len malý zlomok veličiny  $q_s$ , napr.  $0,1 q_s$ .) Ak by sa preto vo funkcii  $F(q_s + y)$  objavili aj vyššie mocniny veličiny  $y$  ako prvá (napr.  $y^2, y^3$  a pod.), potom ich všetky môžeme zanedbať (napr.  $y^2 = 0,1^2 = 0,01$ ). Takto nám z celej funkcie  $F(q_s + y)$  na pravej strane rovnice (5.5) zostane nanajvyš len člen s prvou mocninou premennej  $y$ , čiže vznikne rovnica:

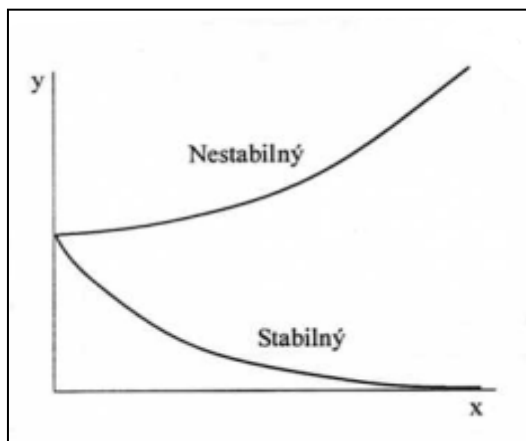
$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = py, \quad (5.6)$$

kde  $p$  je nejaká konštanta. Riešením rovnice (5.6) je však veličina:

$$\Delta y = py\Delta t. \quad (5.7)$$

Tak sme dostali veľmi názornú informáciu o spomínanom správaní sa poruchy  $y$ , ak parameter  $p$  je kladné číslo ( $p > 0$ ), potom porucha  $y$  s časom narastá a systém sa bude postupne viac a viac destabilizovať. Ak však bude platiť nerovnosť  $p < 0$ , prírastky k veľkosti poruchy  $y$  budú záporné, takže porucha sa bude postupne znižovať, až celkom zmizne a systém sa vráti do pôvodného ustáleného stavu.

To je ilustratívne znázornené na obr. 5.1. (Podľa nášho zjednodušeného výpočtu by to mali byť priamky, ale všeobecný výpočet ukazuje, že sú to exponenciály, čiže to, čo naozaj vidieť na obr. 5.1.)



**Obr. 5.1** Stabilné a nestabilné stavy

V prvom prípade hovoríme o nestabilnom riešení  $q_s$ , v druhom prípade o stabilnom riešení. Vidíme, že na to, aby sa systém kvalitatívne zmenil, je potrebné, aby parameter  $p$  mal kladnú hodnotu, v opačnom prípade sa kvalitatívna zmena neuskutoční. Naznačená procedúra sa stane podstatne prehľadnejšou, keď ju budeme aplikovať na konkrétne situácie. Pokiaľ by sa funkcia  $F$  rovnala nule, alebo by mala nejakú konštantnú hodnotu, potom je zrejmé, že nijaká reálna kvalitatívna zmena sa v systéme nemôže uskutočniť. Predpokladajme preto, že  $F$  je nejakou „lineárnou“ funkciou premennej  $q$ , čiže funkciou typu:

$$F(q) = aq + b, \quad (5.8)$$

kde  $a, b$  sú nejaké konštanty. Potom z rovnice  $F = 0$  vyplýva, že ustálenou hodnotou premennej  $q$  je hodnota  $q_s = -b/a$ . Vidíme, že tu existuje len jediná ustálená hodnota príslušnej premennej, teda v systéme sa môže realizovať len jediný ustálený stav. Z toho vyplýva, že „lineárna dynamika“ nemôže vyprodukovať nijakú kvalitatívnu zmenu systému.

Nech však funkcia  $F$  je „nelineárna“, napr. kvadratická. Pre jednoduchosť zvolíme ju v tvare:

$$F(q) = aq - bq^2, \quad (5.9)$$

kde  $a, b$  sú nejaké konštanty, ktoré okolie môže meniť. V takom prípade rovnica (5.3) je kvadratická:

$$(a - bq)q = 0 \quad (5.10)$$

a má dve riešenia:

$$q_{1s} = 0; \quad q_{2s} = a/b, \quad (5.11)$$

takže systém môže trvale existovať v dvoch ustálených stavoch. Naraz však nemôže existovať v oboch stavoch, preto si okolnosti vynúti, že sa v nich realizuje len jeden alebo druhý. Ktorý to naozaj bude? Zrejme ten, ktorý sa v daných podmienkach vyznačuje stabilitou. O tom, ktorý to bude, rozhoduje znamienko parametra  $p$ . Aké má v našom prípade vyjadrenie? Zistíme to tak, že do rovnice (5.5) dosadíme porušený stav vyjadrený vzťahom (5.4). Dostaneme rovnicu:

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = a(q_s + y) - b(q_s + y)^2 = (aq_s - bq_s^2) + (a - 2bq_s)y - by^2. \quad (5.12)$$

Výraz v zátvorke sa však rovná nule (pozri rovnicu 5.10) a člen obsahujúci  $y^2$  môžeme (s ohľadom na predchádzajúci text) zanedbať, keďže predpokladáme, že  $y$  je dostatočne malé. Tak dostaneme rovnicu, ktorú keď porovnáme so zápisom (5.6), dostaneme pre hľadaný parameter vyjadrenie:

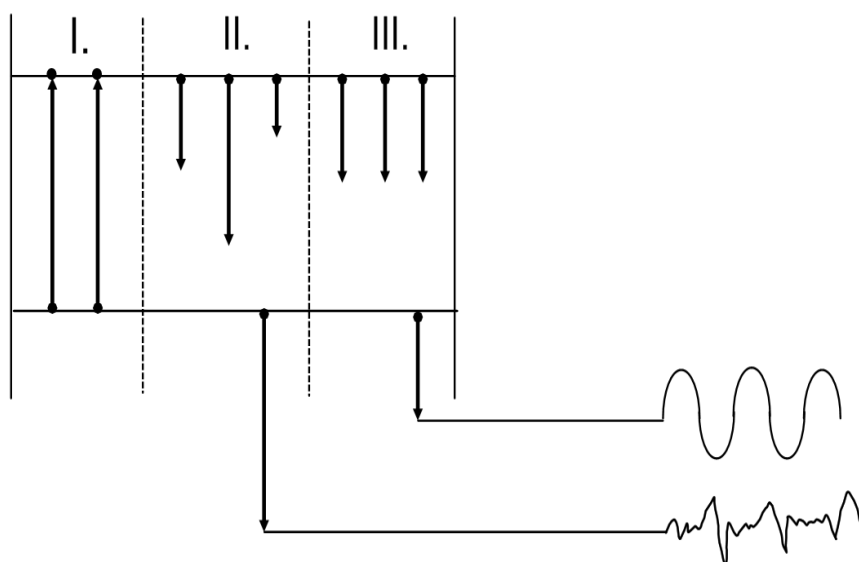
$$p = a - 2bq_s. \quad (5.13)$$

Pre prvý dovolený stav je teda  $p = a$ , v druhom prípade  $p = -a$ . Ak je preto konštanta  $a$  kladné číslo, prvé riešenie je stabilné a druhé nestabilné. Ak však prostredie zmení hodnotu tejto konštanty z kladnej na zápornú, situácia sa zmení – prvé riešenie sa stane nestabilným a systém nutne prejde do druhého stavu, ktorý je v daných podmienkach stabilný. Tak sme zistili, ako môže okolie donútiť zmenou parametra  $p$  systém, aby zmenil skokom svoju kvalitu. To je ale možné len vtedy, keď dynamika systému je nelineárna. Platí teda jednoduché pravidlo: podmienkou kvalitatívnej zmeny systému je jeho nelineárna dynamika. Teraz si naznačený formalizmus predemonštrujeme na jednom zaujímavom a prakticky významnom objekte, ktorý sa nazýva *laser*.

## 5.2 Laser

Laser je významný technický element, ktorý má v súčasnosti veľmi široké využitie. Jeho názov vznikol zo začiatkových písmen jeho anglického pomenovania: „*Light Amplification by Stimulated Electromagnetic Radiation*“, čo značí zosilňovač svetla stimulovaným elektromagnetickým žiarením. Jeho podstatným znakom nie je však zosilnenie svetla, ale fakt, že nad určitou kritickou hodnotou výkonu sa miesto zdrojom chaotickej vlny stáva generátorom tzv. koherentnej vlny, čo mu zabezpečuje spomínané široké využitie v praxi.

Najprv sa pokúsime stručne objasniť princíp jeho činnosti. Pomôže nám v tom schéma znázornená na obr. 5.2.



**Obr. 5.2** Schéma procesov v laseri

Predpokladajme, že v nejakom systéme (tuhom, kvapalnom či plynnom) sa vytvoria podmienky na umiestnenie elektrónov na dvoch energetických hladinách ( $E_1$ ,  $E_2$ ). Ak dokážeme nejakým vonkajším zdrojom prečerpávať elektróny z hladiny  $E_1$  na hladinu  $E_2$ , hovoríme o tzv. absorpcii. Následkom podnetov z vákua (prostredníctvom tzv. vákuových fluktuácií) preskakujú elektróny z týchto „excitovaných“ stavov na hladinu  $E_1$  a pri každom takomto preskoku sa uvoľní jeden fotón elektromagnetického žiarenia o veľkosti  $E_2 - E_1 = h\nu$ , kde  $h$  je Planckova konštanta a  $\nu$  frekvencia žiarenia. Keďže fluktuácie sú náhodné, aj elektromagnetická vlna, ktorá touto spontánnou emisiou vzniká, je chaotická, čiže „nekoherentná“. To je prípad obyčajného svetla.

Existuje však aj spôsob, ako donútiť elektróny, aby sa tieto preskoky uskutočňovali koordinovane. K tomu je potrebné, aby sa v dutine zariadenia nachádzalo aj určité množstvo

„koherentných“ fotónov predstavujúcich „koherentnú“ vlnu. Potom aj preskakujúce elektróny generujú rovnakú vlnu, a tým sa pôvodná vlna zosilňuje. Zvláštnosť tohto procesu v laseri je v tom, že prechod od generovania nekoherentnej vlny na koherentnú nenastáva postupne, ale skokom. A to je záhada, ktorú bolo potrebné objasniť. Pokúsime sa to urobiť na základe vedomosti, ktoré už máme z predchádzajúceho textu.

Nech koncentrácia koherentných fotónov je  $n$  a koncentrácia tých, ktoré môžu preskočiť zo stavov  $E_2$  do stavu  $E_1$  je  $n_i = n_2 - n_1$ . Prírastok koncentrácie koherentných fotónov za jednotku času je priamo úmerný počtu ich interakcií s elektrónmi  $n_i$ , čo možno vyjadriť funkciou  $a_1 n n_i$ , kde  $a$  je príslušná konštanta. Ich úbytok za jednotku času (zapríčinený vyžiarovaním, nárazom na steny dutiny a pod.) je zase priamo úmerný ich počtu, takže celkovú zmenu koncentrácie koherentných fotónov za jednotku času možno vyjadriť rovnicou:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = a_1 n n_i - b_1 n. \quad (5.14)$$

Podobnou úvahou s použitím okolností, že čerpaním sa koncentrácia  $n$  zvýši o hodnotu  $J$ , by sme prišli k rovnici:

$$\frac{\Delta n_i}{\Delta t} = J - a_2 n n_i - b_2 n_i. \quad (5.15)$$

Predpokladajme teraz, že proces zmeny koncentrácie  $n_i$  sa na okamžik zastaví. V tej chvíli je  $\Delta n_i = 0$  a z rovnice (5.15) nám vyplynie vzťah:

$$n_i = \frac{J}{a_2 n + b_2} = \frac{J}{b_2 \left(1 + \frac{a_2}{b_2} n\right)}. \quad (5.16)$$

Keď si všimneme len začiatok vzniku koherencie, potom môžeme veličinu  $n$  považovať za veľmi malú, a tak zrejme platí nerovnosť  $(a_2/b_2)n = x \ll 1$ . Máme teda do činenia s výrazom  $1/(1+x)$ , v ktorom  $x$  je omnoho menšie ako 1. Aj pomocou obyčajnej kalkulačky potom ľahko zistíme, že približne platí rovnica:  $1/(1+x) \approx 1-x$ , takže rovnicu (5.16) možno prepísať do tvaru:

$$n_i = \frac{J}{b_2} \left(1 - \frac{a_2}{b_2} n\right). \quad (5.17)$$

Po dosadení tohto vyjadrenia do rovnice (5.14) dostanem ju do tvaru:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \left(\frac{a_1 J}{b_2} - b_1\right) n - \frac{a_1 a_2 J}{b_2^2} n^2 = A n - B n^2, \quad (5.18)$$

kde  $A = a_1 J / b_2 - b_1$  a  $B = \frac{a_1 a_2 J}{b_2^2}$ .

Vidíme, že sme dospeli k presne rovnakej rovnici, akou je rovnica (4.9), stačí označiť  $A = a$  a  $B = b$ . Túto rovnicu sme však už podrobne analyzovali. Kvalitatívny skok nastáva pri podmienke  $a = 0$ , čiže v našom prípade pri podmienke:

$$\frac{a_1 J}{b_2} - b_1 = 0, \quad (5.19)$$

z ktorej vyplýva, že kritickým bodom v laseri je príkon:

$$J_{\text{KRIT}} = \frac{b_1 b_2}{a_1}. \quad (5.20)$$

Pod touto hodnotou sa laser správa ako obyčajný zdroj svetla, nad ňou sa však stáva generátorom koherentnej elektromagnetickej vlny, čo bolo potrebné dokázať.

Proces, ktorý sme práve analyzovali, sa nazýva fázový prechod. Dodajme už len, že analogické procesy sa v našom svete vyskytujú v nespočetnom množstve. Patria k nim aj napríklad bežné skupenské premeny (premena ľadu na vodu, vody na paru a pod.), premena obyčajného elektrického vodiča na tzv. supravodič, premena magnetickej látky na nemagnetickú a pod. Tými sa však už na tomto mieste nebudeme zaoberať. Pripomeňme si len, že podobnými premenami prechádzal aj celý náš vesmír a aj preto vykazuje takú obrovskú variabilitu fenoménov, akú v ňom v súčasnosti nachádzame.

### 5.3 Vznik časových oscilácií

Doteraz sme skúmali vznik nových kvalít len v takých jednoduchých systémoch, v ktorých bolo možné ich kvalitu vystihnúť len jedinou premennou. Časté sú však aj systémy, ktoré pozostávajú z dvoch, prípade aj viacerých zložiek. Poznáme napríklad systémy obsahujúce kladne i záporne elektricky nabitú časticu, v prírode sa stretávame so systémami typu dravec – korisť atď. Ľahko si dokážeme, že aj keď jednotlivé zložky majú „lineárne“ správanie, v ich vzájomne prepojenom komplexe sa môže objaviť nelinearita, a teda aj nádej na kvalitatívnu zmenu. Ukážeme si, že táto nová kvalita sa môže prejavovať aj zvláštnym spôsobom, napríklad vznikom pravidelných oscilácií.

Majme teda dvojzložkový systém opísaný dvoma evolučnými rovnicami tvaru:

$$\frac{\Delta q_1}{\Delta t} = F_1(q_1, q_2), \quad (5.21)$$

$$\frac{\Delta q_2}{\Delta t} = F_2(q_1, q_2). \quad (5.22)$$

Keď ich navzájom predelíme, dostaneme rovnicu:

$$\frac{\Delta q_1}{\Delta q_2} = \frac{F_1}{F_2}. \quad (5.23)$$

Vidíme, že aj keby funkcie  $F_1$  a  $F_2$  boli lineárne, ich podiel lineárny nie je, a teda systém ako celok má navonok nelineárne správanie. Je v nich teda potenciálna možnosť na vznik nových kvalít. Budeme si klásť otázku, aké kvality by to mohli byť.

Aplikujme formálne postup kvalitatívnej analýzy na obidve rovnice (5.21) a (5.22). Stacionárne stavy sa nájdu riešením rovníc  $F_1 = 0$  a  $F_2 = 0$ . Označme ich znakmi  $q_{1s}$  a  $q_{2s}$ . Ich stabilitu preskúmame pomocou malých porúch  $y_1$  a  $y_2$ , takže budú platiť vzťahy  $q_1 = q_{1s} + y_1$  a  $q_2 = q_{2s} + y_2$ . Ak sa oprieme o úvahy z predchádzajúcich statí, zistíme, že na pravej strane rovníc (5.21) a (5.22) zostanú len členy obsahujúce premenné  $y_1$  a  $y_2$  v prvých mocninách, takže vzniknú rovnice:

$$\frac{\Delta y_1}{\Delta t} = a_1 y_1 + a_2 y_2, \quad (5.24)$$

$$\frac{\Delta y_2}{\Delta t} = b_1 y_1 + b_2 y_2, \quad (5.25)$$

kde  $a_1, a_2, b_1, b_2$  sú príslušné konštanty. Skúsme im navrhnúť riešenia v tvare:

$$\Delta y_1 = p y_1 \Delta t, \quad (5.26)$$

$$\Delta y_2 = p y_2 \Delta t. \quad (5.27)$$

Ich dosadením do rovníc (4.24) a (4.25) dostaneme rovnice:

$$\begin{aligned} (p - a_1) y_1 - a_2 y_2 &= 0, \\ -b_1 y_1 + (p - b_2) y_2 &= 0. \end{aligned}$$

Eliminovaním jednej neznámej z jednej z týchto rovníc a dosadením do druhej rovnice dostaneme pre parameter  $p$  kvadratickú rovnicu tvaru:

$$p^2 - (a_1 + b_2)p + a_1 b_2 - a_2 b_1 = 0 \quad (5.28)$$

ktorej riešením sú dva korene:

$$p_{1,2} = \frac{1}{2} \left\{ (a_1 + b_2) \pm \sqrt{(a_1 + b_2)^2 - 4(a_1 b_2 - a_2 b_1)} \right\} \quad (5.29)$$

Vidíme, že riešením môžu byť rozličné čísla, ale medzi nimi sa celkom logicky môžu objaviť aj čísla obsahujúce odmocninu zo záporného čísla. Potom, ako vieme, budú to tzv. komplexné čísla, ktoré môžeme formálne zapísať v tvare:

$$p_{1,2} = p_0 \pm i\omega, \quad (5.30)$$

kde  $i$  je tzv. imaginárna jednotka ( $i = \sqrt{-1}$ ). Výskyt komplexného čísla v praktických výpočtoch značí, že príslušný jav nie je reálny. Tu sa však objavuje zaujímavá situácia.

Prítomnosť komplexných čísel (5.30) s obidvoma znamienkami spôsobuje, že s ohľadom na známu Eulerovu poučku a vzťah medzi komplexnými číslami a periodickými funkciami (sínus a kosínus) sa v konečnom štádiu výpočtu imaginárna jednotka vytratí a pre premennú  $y$  (v obidvoch prípadoch) sa získa vyjadrenie:

$$q = A \cos \omega t, \quad (5.31)$$

čo značí, že v systéme nastúpia časové oscilácie. To sú teda naše nové a prekvapujúce kvality. Tento výsledok sa potvrdil nielen v anorganickom svete (oscilácie mostných konštrukcií, vibrácie lietadiel a i.), ale aj v biologickom svete (srdcové oscilácie), ba aj v sociálnych systémoch (oscilácie v počtoch rysov a zajacov v kanadských prériách). Oscilácie sú základom mechanizmu „práce“ aj najzákladnejšieho procesu všetkých živých organizmov, a to procesu stravovania potravy.

## 5.4 Vznik priestorových štruktúr

Vznikanie priestorových štruktúr patrí k najvýznamnejším fenoménom v evolúcii. Bez nich by v našom vesmíre nevznikli galaxie, hviezdy, ani planéty, ani ostatné vesmírne objekty, v biologickom svete by sme nepoznali bunky ani bezpočetné orgány živých systémov a v prírode by sme nemohli pozorovať také úkazy, akými sú „baránky“ na nebi a iné zvláštnosti. Ústrednou otázkou v tejto problematike je otázka, čo je nevyhnutnou podmienkou vzniku priestorových štruktúr? Odpoveď na túto otázku našiel v roku 1952 A. Turing a bola veľmi prekvapujúca. Podľa neho je podmienkou vznikania priestorových štruktúr difúzia, čiže v podstate priestorová „chaotizácia“. Difúziou nazývame proces spontánneho prechodu častíc z miest s ich vyššou koncentráciou do miest s nižšou koncentráciou. Dôsledkom difúzie je teda homogenizácia systému, a nie jeho štrukturalizácia. Presnejšia analýza procesu vznikania štruktúr však ukázala, že tento jav je produktom dvoch „protichodných“ síl, a to jednej „ďalekodosahovej“ sily (sily poľa, vietor a pod.) a „krátkodosahovej“ sily, čiže difúzie.

Ďalekodosahovú silu vieme vyjadriť pomocou vhodnej funkcie závislej od samotného kvalitatívneho ukazovateľa ( $q$ ) a difúzny „tok“ je priamo úmerný koncentračnému spádu (teda veličine  $\Delta n / \Delta x$ , kde  $n$  je príslušná koncentrácia častíc a  $x$  priestorová súradnica). Zmena koncentrácie, ktorá týmto procesom v danom mieste vzniká, je závislá od rozdielu týchto „spádov“, čo môžeme vyjadriť výrazom:  $\frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta n}{\Delta x} \right)$ .

Príslušná evolučná rovnica by preto mohla mať tvar:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = F(n) + D \frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta n}{\Delta x} \right), \quad (5.32)$$

kde  $D$  je tzv. koeficient difúzie. O tejto rovnici dokážeme, že skutočne poskytuje šancu na vytvorenie určitej štruktúry v priestore. Skúsme tak ako doteraz aplikovať na túto rovnicu našu osvedčenú metódu kvalitatívnej analýzy. Pred vznikom štruktúry nech je koncentrácia ustálená ( $n_s$ ). Malá porucha ju pozmení na hodnotu  $n = n_s + y$ , čo po dosadení rovnice (5.32) poskytne rovnicu:

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = Ay + D \frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta y}{\Delta x} \right), \quad (5.33)$$

pričom sme zvažili, že porucha je dostatočne malá.

Pre člen  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$  použijeme doteraz používané vyjadrenie ( $py$ ) a pre výraz  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$  navrhujeme vyjadrenie  $ky$ . Výraz  $\frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta y}{\Delta x} \right)$  potom nadobudne vyjadrenie  $ky$ . Po týchto úpravách získame jednoduchú rovnicu:

$$py = Ay + k^2 Dy. \quad (5.34)$$

Ak má naozaj vzniknúť nejaká (trvalá) štruktúra, parameter  $p$  nemôže mať zápornú hodnotu. Štart vznikania štruktúry teda musí začínať u hodnoty  $p = 0$ . V takom prípade nám rovnica (5.34) poskytne rovnicu:

$$k^2 D = -A, \quad (5.35)$$

s riešením

$$k_{1,2} = \pm i \sqrt{A/D}. \quad (5.36)$$

Vidíme, že sme sa dostali do podobnej situácie ako v predchádzajúcej stati, s tým rozdielom, že zatiaľ čo v tomto predchádzajúcom prípade sa to týkalo časovej súradnice, teraz sa to vzťahuje na priestorovú súradnicu. Oscilácia vznikne teda v priestore, čiže systém sa pretransformuje z homogénneho stavu do štrukturalizovanej podoby.

Ako ilustratívny príklad na predchádzajúcu všeobecnú analýzu uvedieme proces vznikania galaxií a hviezd, ktorý predstavuje najmohutnejšiu štrukturalizáciu v histórii nášho vesmíru. Tento proces však prebieha ešte aj teraz a zrejme ešte aj bude pokračovať. Zúčastňujú sa na ňom tri dominantné procesy, a to rozpínanie vesmíru, gravitačné priťahovanie a difúzia. Keď sa uvedené procesy matematicky kvantifikujú a naformuluje sa tzv. všeobecná rovnica kontinuity (čo je v podstate zákon zachovania počtu častíc), príde sa (po viacerých zjednodušeníach) k rovnici určujúcu koncentráciu základnej „suroviny“, čiže v podstate vodíka. Má tvar:

$$\frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta n}{\Delta x} \right) = \frac{H - A}{D} n, \quad (5.37)$$

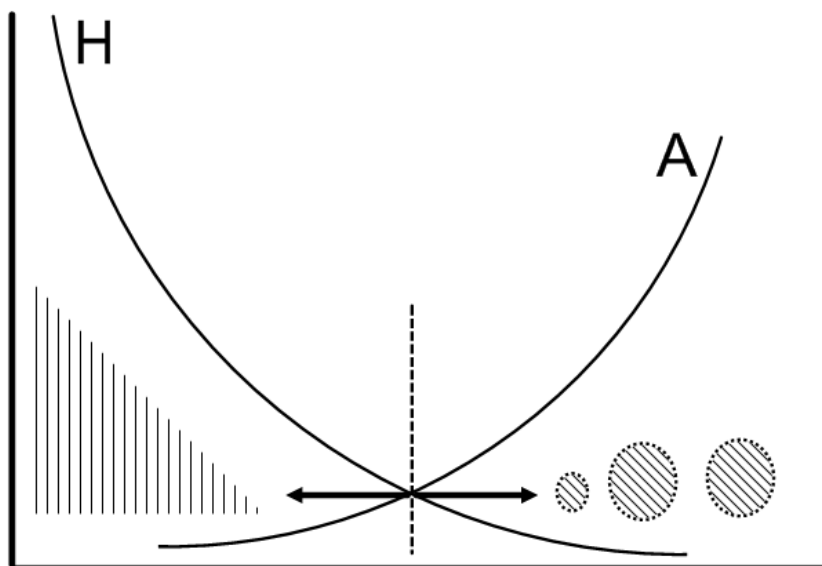


kde  $H$  je Hubblova konštanta,  $A$  konštanta (nepriamo úmerná teplote) a  $D$  koeficient difúzie. Vieme, že prevrátená hodnota Hubblovej konštanty určuje vek vesmíru, takže jej hodnota s časom klesá. Hodnota konštanty  $A$  však s časom vzrastá, pretože teplota vesmíru postupne klesá. Tieto závislosti sú schematicky znázornené na obr. 5.3.

Pokiaľ platí nerovnosť  $H > A$ , má rovnica (5.37) tvar:

$$\frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta n}{\Delta x} \right) = K_1 n; \quad K_1 = \frac{H - A}{D}, \quad (5.38)$$

kde  $K_1$  je kladná konštanta. Ak teda podobne ako v úvode tejto stati navrhujeme jej riešenie v tvare funkcie  $\frac{\Delta n}{\Delta x} = kn$ , dôjdeme k rovnici:  $k^2 n = K_1 n$ , z ktorej vyplýva riešenie  $k_{1,2} = \pm \sqrt{K_1}$ . To však značí, že koncentrácia hmoty sa v závislosti od súradnice mení podľa neperiodickej funkcie, a preto nijaká štrukturalizácia nenastane.



**Obr. 5.3** Bod zvratu od homogénneho stavu na štruktúrovaný v histórii vesmíru

Keď však platí podmienka  $A > H$ , môžeme rovnicu (5.37) napísať v tvare:

$$\frac{\Delta}{\Delta x} \left( \frac{\Delta n}{\Delta x} \right) = -K_2 n; \quad K_2 = \frac{A - H}{D}, \quad (5.39)$$

kde  $K_2$  je kladná konštanta. Potom však rovnica (5.39) s vyjadrením  $n = kx$  má tvar  $k^2 n = -K_2 n$ , takže  $k_{1,2} = \pm i \sqrt{K_2}$ . To, ako už vieme, však značí, že nastupujú štrukturalizácie, čiže (v ďalšom vývoji) tvorba vesmírnych objektov. Z obr. 5.3 vyplýva, že v histórii vesmíru sa skutočne vyskytol kritický čas, v ktorom sa on začal štrukturalizovať. Seriózna

matematická analýza ukazuje, že možno vypočítať aj hmotnosti takto vznikajúcich objektov. Týmto výpočtom sa však už nebudeme zaoberať.

## 5.5 Iné príklady prírodných štruktúr

Zatiaľ sme sa oboznámili s tromi základnými typmi nových kvalít vznikajúcich v evolúcii systémov, ale pravda je taká, že paleta novovzniknutých kvalít je podstatne širšia. Spomenieme ešte tri ďalšie typy takých kvalít, ktoré sú však na rozdiel od doteraz analyzovaných skôr negatívne ako užitočné.

### Solitárne vlny

Ešte v 19. st. bola pozorovaná a podrobne opísaná zaujímavá vlna, ktorá sa zdvihla vo vodnom kanáli následkom pohybu loďky ťahanej koňmi. Táto vlna prebehla aj kone a pohybovala sa veľkou rýchlosťou kanálom bez príznakov nejakej disperzie. Až po takmer 100 rokoch sa podarilo Korteweg de Vriesovi sformulovať hydrodynamické rovnice, z ktorých existencia takýchto „solitárnych“ vln vyplynula ako celkom samozrejмый výsledok. V súčasnosti sa s podobným fenoménom stretávame častejšie pod menom *vlna cunami*, ktorá predstavuje šírenie v podstate podmorského lokalizovaného rozruchu vyvolaného napríklad podmorským zemetrasením. Tento rozruch má na šírom mori dimenzie rádu niekoľkých metrov, ale po prebehnutí často aj značného počtu kilometrov môže pri vyústení na breh mora či oceánu dosiahnuť výšku aj niekoľko desiatok metrov a zapríčiniť nesmierné škody.

### Inhibičné vlny

Z praxe poznáme procesy, ktoré predstavujú šírenie určitého podnetu spôsobujúceho to, že prostredie za ním sa kvalitatívne líši od prostredia pred ním. Do tejto kategórie javov patrí napríklad šírenie ohňa, či šírenie rôznych epidémií, pustošenie prírody kobyolkami a pod. V súčasnosti už vieme veľmi dobre tieto procesy aj matematicky simulovať a stanoviť napríklad rýchlosť ich šírenia či štruktúru tejto „inhibície“.

### Hurikány, cyklóny, tajfúny

Na šírom mori (menej často aj na pevnine) sa dokážu sformovať vzdušné prúdy do tvaru rotujúcich mäs s nesmiernou energiou, ktoré sú schopné priniesť aj nepredstaviteľne veľkú katastrofu. Pre ich vznik je potrebné splniť viacero podmienok, napríklad voda musí mať kritickú výšku teploty, v prostredí musí panovať kritická vlhkosť a lokalita musí

umožňovať naplno sa prejaviť tzv. Coriolisovej sile, ktorá súvisí s rotáciou Zeme. Udáva sa, že mohutný hurikán predstavuje energiu rovnajúcu sa až sto násobku energie vyrobenej všetkými pozemskými elektrárnami za jeden rok.

**Literatúra:**

- [1] Krempaský, J., Horylová, R.: *Fundamentálne pojmy integrovanej prírodovedy*. MPC, Bratislava, 2004.
- [2] Krempaský, J.: *Evolúcia vesmíru a prírodné vedy*. SPN, Bratislava, 1992.
- [3] Krempaský, J.: *Integrovaná prírodoveda*. MPC, Bratislava, 1997.

## 6 Fyzika a elektronika

Pravdepodobne najrýchlejší a najprudší rozvoj zaznamenala fyzika v modernej dobe v oblasti elektroniky. Všeobecne sa pod názvom *elektronika* najčastejšie chápe práca s informáciami, a to s ich generovaním, zaznamenávaním, uchovávaním a transferom. Dominantnými parametrami fyzikálnych zariadení v tejto sfére boli a sú predovšetkým ich objemy, operačná rýchlosť, hospodárnosť a kapacita s ohľadom na evidované informácie. V súvislosti s týmito ukazovateľmi sme v relatívne krátkom časovom intervale zaznamenali prudké a doslova revolučné zmeny, ktorými sa teraz budeme podrobnejšie zaoberať.

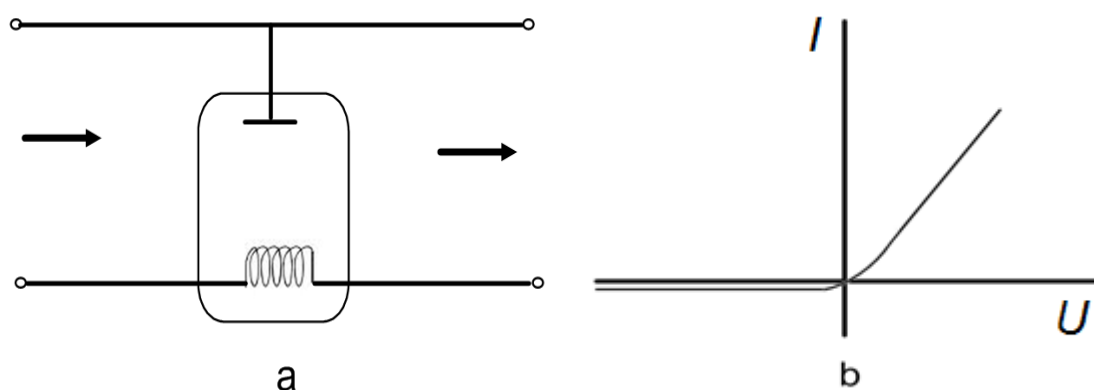
### 6.1 Stručná história rozvoja elektroniky

Staršia generácia sa ešte dobre pamätá na časy, keď sa do ťažkopádnych rádioprijímačov vkladali sklené elektrónky veľkostí poldecových pohárikov, náročné na objem i na spotrebu energie a najmä háklivé pri zaobchádzaní s nimi. Ale už aj vtedy sa objavovali pokusy o realizovanie ich funkcií v miestach na styku kovov a polovodičov. Takým boli napríklad kontakty selénu s kadmíom a medi s oxidom meďným. Podrobnejšie skúmanie týchto „prechodov“ však ukázalo, že v skutočnosti sa tu vytvárali prechody polovodičov typu P s polovodičmi typu N, čiže o tzv., PN prechody. Musíme si preto najprv vysvetliť, čo sú to polovodiče typu P a typu N.

Je známe, že transport elektrického náboja v polovodičoch sa realizuje v dvoch *sférach*, a to vo sfére tzv. voľných elektrónov (čiže tých, ktoré sa uvoľnili z väzieb) a vo sfére viazaných (čiže valenčných) elektrónov. Po uniknutí voľných elektrónov z valenčnej sféry zostali vo *valenčnom* pásme prázdne miesta, ktoré nazývame jednoducho *diery*. Z pragmatického hľadiska sa ukázalo, že je omnoho jednoduchšie miesto veľmi komplikovaného premiestňovania elektrónov vo valenčnej sfére skúmať len pohyb uvedených prázdnych miest, čiže dier, pretože tých je nepomerne menej. Ukázalo sa, že im treba prisúdiť kladný elektrický náboj a v takomto chápaní sa z nich stali voľné nosiče kladného náboja s oficiálnym názvom *diery*. Elektrická vodivosť realizovaná elektrónmi sa označuje ako N typ a vodivosť predstavovaná dierami ako P typ. PN prechod potom označuje kontakt polovodiča s prevládajúcim P typom vodivosti s polovodičom s prevládajúcim N typom. Takýto prechod možno technologicky vytvoriť aj v jedinom kúsku čistého polovodiča, čo sa ukázalo ako nesmierna technologická výhoda.

Skôr ako prejdeme k samotnému prehľadu jednotlivých vyhranených etáp elektroniky najprv si objasníme, o aké procesy a o aké súčiastky na počiatku éry elektroniky vlastne išlo. Elektronika si v podstate vyžadovala realizovať dva procesy, a to 1. proces usmernenia elektrického prúdu, čiže zabezpečenie jeho toku len jedným smerom a 2. proces zosilnenia malých napät'ových signálov, pomocou ktorých sa môžu šíriť informácie. V ranej epoche elektroniky tieto dva procesy zabezpečovali dve súčiastky: vákuová dióda a vákuová trióda.

Schému vákuovej diódy predstavuje obr. 6.1.



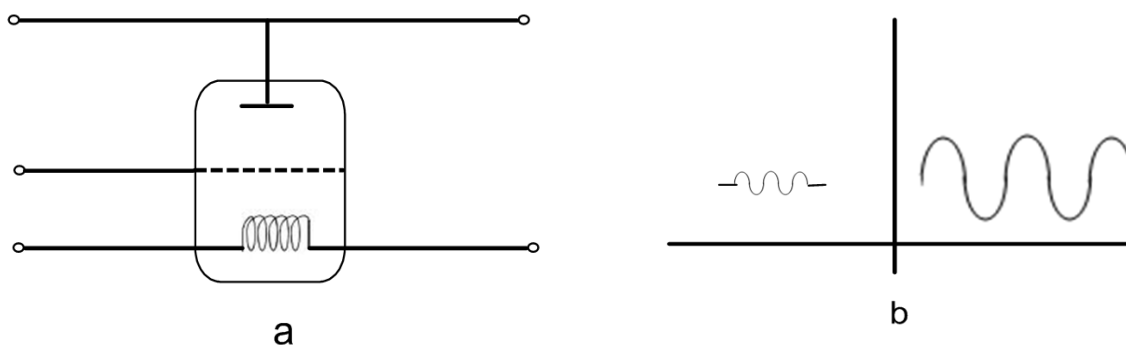
**Obr. 6.1** Schéma vákuovej diódy a závislosť prúdu od napätia, čiže VA charakteristika

Vo vyčerpanej sklenej banke sa nachádza teplotne odolný vodič (v tvare špirály), ktorý sa elektrickým prúdom zohrieva na teplotu dostatočnú na to, aby sa z jeho povrchu mohli začať emitovať elektróny. Po oboch stranách tohto vodiča sú umiestnené dve elektródy, a to kladná (anóda) a záporná (katóda), ktorou môže byť aj vyhrievaná špirála. Keď je na tieto elektródy pripojené kladné napätie, elektrické pole priťahuje emitované elektróny k anóde a diódou tečie elektrický prúd. V opačnom prípade je tento prúd obmedzovaný, prípadne až celkom zamedzený, takže závislosť diódového prúdu od pripojeného napätia, čiže tzv. VA charakteristika, má tvar krivky znázornenej na obr. 6.1b. Zreteľne vidíme, že tu jestvuje priechodný a záverný smer, čiže dióda funguje ako usmerňovač.

Na získanie zosilneného napät'ového signálu možno použiť diódu doplnenú o tretiu elektródu (obr. 6.2) umiestnenú medzi katódu a anódu. Aj malý napät'ový signál pripojený medzi ňu a katódu dokáže veľmi citlivo ovplyvniť elektrický prúd pretekajúci diódou, preto sa na výstupe z nej môže objaviť zosilnený signál (obr. 6.2 b).

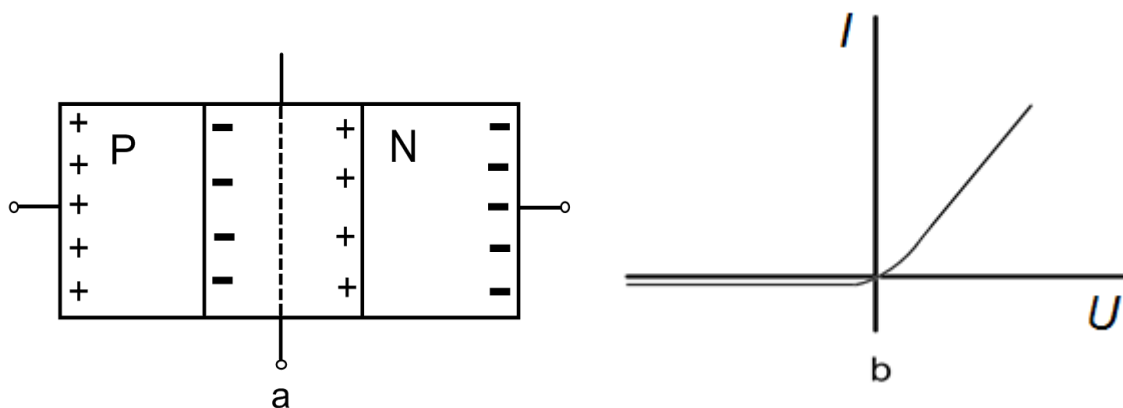
Vidíme, že realizácia dvoch základných elektronických úkonov pomocou vákuových elektrónok bolo veľmi náročné na technologické operácie a na potrebný priestor. Ukázalo sa ako veľmi žiaduce nájsť také zariadenia, ktoré by tieto úkony dokázali realizovať podstatne jednoduchšími a na potrebný priestor menej náročnými súčiastkami. Túto úlohu dokázali vo vrchovatej miere splniť polovodiče. Pokúsime sa teraz vysvetliť, ako bolo možné procesy

znázornené na obr. 6.1 pretransformovať z priestoru vákuovej diódy do malého kúska polovodiča, ktorý na to potreboval len mnohotisíc násobne menší objem a nepomerne hospodárnejšiu prevádzku.



**Obr. 6.2** Schéma vákuovej elektrónky ako zosilňovača

Schéma polovodičového PN prechodu je znázornená na obr. 6.3. Z oblasti typu P sa pri vyhotovení tejto súčiastky presunulo difúziou určité množstvo voľných dier do oblasti napravo od (pomyselného) rozhrania a naopak, z oblasti typu N zasa difúziou prešiel určitý počet voľných elektrónov do oblasti typu P. Tak sa na tomto „rozhraní“ vytvorila „dvojvrstva“ elektrického náboja vytvárajúca kontaktné elektrické pole.



**Obr. 6.3** Schéma PN prechodu (a) a príslušnej VA charakteristiky (b)

Toto pole bráni pri pripojení vonkajšieho napätia na súčiastku prechodu „majoritných“ dier z oblasti typu P a „majoritných“ elektrónov z oblasti typu N ich prechodu cez rozhranie. „Minoritné“ nosiče však tade ľahko prechádzajú, preto môžu vytvárať malý „záverný“ prúd. Pri opačnej polarite vonkajšieho napätia sa však bariéra na rozhraní vykompenzuje, takže aj majoritné nosiče môžu rozhraním nerušené prechádzať, preto PN prechodom môže pretekať aj veľký elektrický prúd. Tieto procesy názorne demonštruje aj priebeh VA charakteristiky PN prechodu zobrazený na obr. 6.3b. Vidíme, že sa tu naozaj dosiahol rovnaký výsledný

efekt, ako sme opísali v prípade vákuovej diódy, ale na podstatne menšom priestore a pri podstatne hospodárnejšej prevádzke.

V roku 1949 W. E. Shockley, J. Bardeen a W. H. Bratain vyrobili prvý tranzistor, za čo dostali Nobelovu cenu. Týmto objavom naštartovali v oblasti elektroniky nesmierny progres, ktorý sa ešte znásobil tým, že sa vyvinula tzv. integrovaná technológia, ktorá umožnila na malej ploche realizovať neskutočne veľký počet polovodičových súčiastok.

Názorným príkladom obrovského praktického významu objavu tranzistora je najmä výroba počítačov. Ak prvý počítač pozostávajúci z klasických elektrónok vyžadoval na svoje umiestnenie celé jedno poschodie veľkej budovy a na svoje napájanie potreboval prakticky celú malú elektrárňu, tak po osadení polovodičovými prvkami, postačuje na rovnaký výkon objem zápalkovej škatuľky a na napájanie postačí aj malá batéria.

Vývoj v oblasti elektroniky sa však objavom tranzistora vôbec nezastavil. Od éry mikroelektroniky, kde dominujúcimi vzdialenosťami sú mikróny, sa už prakticky prešlo na nanoelektroniku, kde túto funkciu už prevzali nanometre a v súčasnosti sme už svedkami toho, že v elektronike sa už začínajú využívať prakticky sólové elementárne častice a ich vlastnosti (predovšetkým tzv. spin).

Súborne sú predchádzajúce informácie zaznamenané v tabuľke 6.1, v ktorej sú uvedené aj numerické ukazovatele charakterizujúce technické parametre súčiastok figurujúcich v jednotlivých etapách. Vidíme, že sa tu realizovali skoky v kvalite merateľné, nie na niekoľkonásobné zvýšenie kvality, ale o ich mnohorádové sprogresívnenie. Pokiaľ ide o lineárne dimenzie, tak globálny skok za uplynulé trištvrtstoročie predstavuje minimálne 10 rádoV a pokiaľ ide o potrebné objemy na jednotlivé úkony, tak sa to už blíži k tridsiatim rádom!

Veľmi zaujímavým ukazovateľom progresu v oblasti elektroniky sa javí kapacita pamäte, čiže množstvo informácií naukladaných do jednotkového objemu. Ako veľmi pozoruhodný sa v tejto súvislosti etabloval tzv. Murphyho zákon, podľa ktorého sa kapacita pamätí zvyšuje približne dvojnásobne po každých 18 mesiacov

## **6.2 Najmodernejšie trendy v elektronike**

Súčasný progres v oblasti elektroniky možno zaregistrovať v dvoch smeroch. Prvou je oblasť technológií, v ktorej sa začínajú uplatňovať principiálne nové materiály. Spomenúť možno napríklad nové varianty materiálov na báze uhlíka. Jedná sa o uhlíkové nanorúrky, ale najmä o tzv. grafény, čo sú vlastne monoatomárne vrstvy uhlíkových atómov. Tieto materiály

sľubujú nové možnosti realizácií rozličných elementov pre elektroniku, ba dokonca už možno počuť aj hlasy, že polovodiče sú už „pasé“ a že po nich prídu na scénu grafénové prvky.

Druhou oblasťou, kde sa očakáva principiálne nový druh prínosov do elektroniky, je oblasť kvantových fenoménov vyplývajúcich z teoretických poznatkov kvantovej fyziky.

Jedným z nich je tzv. princíp superpozície aplikovaný na spinové stavy. Donedávna sme boli zvyknutí na poznatok, že spin niektorých častíc (napr. elektrónov, protónov, neutrónov), čiže akýsi ekvivalent rotačného momentu, môže byť pri meraní jeho priemetu v zvislom smere orientovaný len „hore“ alebo „dole“. Znamenalo to, že pokiaľ ide o spiny, sú k dispozícii len dva ich reálne stavy, ktoré sa môžu uplatniť napríklad v oblasti informatiky. Kvantová teória však pozná tzv. princíp superpozície, ktorý hovorí, že ak sa častica môže nachádzať v stave opísanom vlnovou funkciou  $F$  resp. v stave opísanom funkciou  $G$ , potom sú možné aj stavy opísané vlnovou funkciou:

$$\psi = aF + bG, \quad (6.1)$$

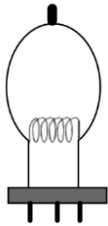
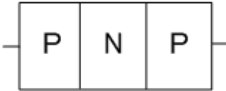
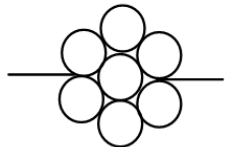
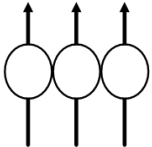
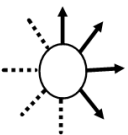
kde „ $a$ “ a „ $b$ “ sú ľubovoľné komplexné čísla medzi nulou a jednotkou spĺňajúce podmienku  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ .

Takýchto stavov je síce nespočetne mnoho, ale vieme, že pri aplikácii konkrétneho fyzikálneho poľa tieto stavy vždy „skolabujú“ buď do stavu charakterizovaného číslami  $(1, 0)$  alebo číslami  $(0, 1)$ . Až v súčasnosti sa prišlo na to, že by sa ich existencia predsa len dala nejako prakticky využiť. Ide o oblasť „kvantových“ počítačov, kde by sa tento fenomén dal využiť vo funkcii „paralelných“ počítačov a tým zefektívniť ich činnosť. Pripomeňme len, že v tom prípade sa už informácie nekvantifikujú v „bitoch“, ale v tzv. „qubitoch“. Faktom je, že na takomto využití kvantovej fyziky sa už usilovne pracuje.

Druhý kvantový fenomén sa nazýva „*entanglement*“ a možno ho preložiť ako „vnútorné prepojenie“. Ide tu o to, že už možno technologicky uspôsobiť dve elementárne častice, napríklad dva fotóny (zodpovedajúce dvom kmitaniam elektromagnetickej vlny v dvoch navzájom kolmých smeroch), ktoré sú tak vnútorne „späté“, že vždy o sebe „vedia“. Konkrétne, ak u jedného z nich zmeníme rovinu kmitov, tak druhý na to okamžite zareaguje, nech by sa nachádzal kdekoľvek vo vesmíre. Prejaví sa to v tom, že pozmení rovinu svojich kmitov tak, aby bola kolmá na rovinu kmitov svojho „partnera“. Tento fenomén má veľké šance uplatniť sa napríklad „pri bezpečnom prenášaní kódovaných správ“.



**Tabuľka 6.1** Jednotlivé vyhradené epochy elektroniky

Element	Názov	Počet atómov	Objem	Oblasť elektroniky
	Elektr. lampa	$10^{24}$	$10 \text{ cm}^3$	Elektronika ( $L \sim 1 \text{ cm}$ )
	Polovod. diódy a tranzistory	$10^{10}$	$10^{-12} \text{ cm}^3$	Mikroelektronika ( $L \sim 10^{-4} \text{ cm}$ )
	Molekulárne prvky	$10^3$	$10^{-18} \text{ cm}^3$	Nanoelektronika ( $L \sim 10^{-7} \text{ cm}$ )
 	Atomárne prvky  Elektrónové prvky	1 – 100  $\sim 1$	$10^{-21} \text{ cm}^3$  $\text{nm}^3$	Spintronika ( $L \sim 10^{-8} \text{ cm}$ )  ( $\sim 10^{-13} \text{ cm}$ ) $\Psi = a\Psi_1 + b\Psi_2$

Túto časť textu ukončíme poznámkou, že popri elektronike založenej na anorganických materiáloch sa čím ďalej tým viac dostáva do pozornosti aj bioelektronika, ktorá ako bázu využíva princípy a materiály známe z biologickej sféry. Aj keď sú už známe aj prakticky významné výstupy v tejto oblasti, zatiaľ ešte ani zďaleka nie sú schopné konkurovať obrovskému kvantu produktov získavaných na báze polovodičov, najmä kremíka. Sú to zatiaľ len pozitívne výzvy do budúcnosti.

#### Literatúra:

- [1] Krempaský, J.: *Základy fyziky a techniky polovodičov*. SVTL Bratislava 1960.
- [2] Krempaský, J.: *Otázky a odpovede z polovodičov*. ALFA, Bratislava 1973.
- [3] Časopisy: *Scientific American, Physics Today* a i.

## 7 Fyzika a energia

Medzi najfrekvencovanejšie pojmy súčasnosti určite patrí pojem **energia**. Ako prvý ho v r. 1785 použil Jean le Rond d'Alembert: „*V pohybujúcom sa telese je isté úsilie alebo energia, ktorá v telese v pokoji nie je vôbec*“.

Energia je základnou vlastnosťou všetkých telies a je mierou každého pohybu. Charakterizuje vnútorný stav hmotnej sústavy. Energia je fyzikálna veličina, ktorá má značku  $E$  a jednotku joule (J). Pre všetok život a ľudskú spoločnosť má základný význam [1]. V súvislosti s tým si ľudia môžu položiť otázku: „*Je vo svete dostatočná zásoba energie?*“ Odpoveď na ňu nám ponúka pravdepodobne najslávnejšia rovnica, ktorú poznajú aj ľudia, ktorí sa fyzikou nezaobierajú:

$$E = mc^2, \quad (7.1)$$

kde

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.2)$$

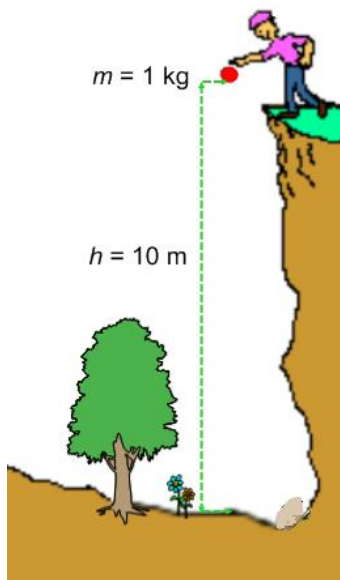
Z týchto vzťahov vyplýva, že energia môže byť uložená v pokojovej hmotnosti i v jej pohybe. Známy matematický vzťah formuloval a popísal v špeciálnej teórii relativity Albert Einstein, vyplýva z neho, že celkové množstvo energie, ktoré možno z telesa získať (ak neuvažujeme vonkajšie sily), sa rovná hmotnosti telesa vynásobenej druhou mocninou rýchlosti svetla. Einsteinov vzťah ekvivalencie hmotnosti a energie hovorí, že hmota môže byť transformovaná na energiu v určitej forme a naopak. Toto tvrdenie je pravdivé pre ľubovoľné procesy zahŕňajúce energiu, napr. pri jadrových reakciách sa uvoľňujú, alebo spotrebujú, veľké množstvá energie. Väzbové energie nukleónov v jadre sú veľmi veľké a menia sa podľa zloženia jadra. Energetické rozdiely sa prejavujú merateľným rozdielom hmotností častíc na jednej strane jadrovej reakcie a na strane druhej. Rôzne experimenty nám umožňujú zisťovať hmotnosť zodpovedajúcu energii, a tým overovať relativistické predpovede.

V roku 2005 sa v prestížnom časopise *Nature* objavil článok medzinárodného tímu vedcov, v ktorom bol dôkaz platnosti vzťahu pre ekvivalenciu hmotnosti a energie s presnosťou 0,00004 %. Výsledok 55-krát lepší než všetky dovtedajšie, dosiahli veľmi presným meraním hmotností častíc a energie vznikajúcich fotónov pri absorpcii neutrónov jadrami síry a kremíka [2].

Na základe rovnice (7.1) môžeme teda konštatovať, že v každej látke je prítomné obrovské množstvo energie. Hmotnej sústave hmotnosti 1kg zodpovedá približne

$9 \cdot 10^{16} \text{ J} \approx 10^{17} \text{ J}$  energie !!! Je to prakticky celoročná spotreba elektrickej energie na Slovensku. Problémom ale je jej čerpanie a zásoba zdrojov energie.

Človek si vymyslel rôzne spôsoby, ako získať energiu z jej zdrojov. Najbežnejším zdrojom energie je kinetická energia  $E_k$ , ktorá sa dá použiť na konanie práce. Predstavme si úlohu, ktorá je znázornená na obr. 7.1. Guľu hmotnosti 1 kg zdvihneme do výšky 10 m. Guľa má v tomto bode potenciálnu energiu  $E_p = 100 \text{ J}$  (ak  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ).



**Obr. 7.1** Guľa, ktorej  $m = 1 \text{ kg}$  je zdvihnutá do výšky  $h = 10$

Ako sme už uviedli v 1 kg látky je prítomnej  $10^{17} \text{ J}$  energie, no my sme z nej získali len 100 J. Účinnosť premeny energie v našom príklade je približne  $10^{-15} \%$ .

Účinnejšie je získať energiu spaľovaním fosílnych palív (uhlia, ropy, zemného plynu a pod.). Od čias, keď ľudia začali ako zdroj energie využívať fosílna palivá, ich spotreba neustále rastie (Tab. 7.1).

**Tabuľka 7.1** Vývoj spotreby fosílnych palív (1970 – 2015) v EJ (exajouloch) [3]

Palivo	1970 (EJ/rok)	1995 (EJ/rok)	2010 (EJ/rok)	2015 (EJ/rok)	Ročný prírastok v %	
					1970-1995	1995-2015
<b>Ropa</b>	97,8	141,1	194,8	213,4	1,5	2,1
<b>Zemný plyn</b>	36,1	77,7	129	144,7	3,1	3,2
<b>Uhlie</b>	59,7	93,1	122,7	134,7	1,8	1,9

Masívna spotreba fosílnych palív viedla tiež k niekoľkým nežiaducim javom, ako je napr. atmosférické znečistenie životného prostredia, globálne otepľovanie, zmeny klímy, úbytky ozónovej vrstvy a kyslé dažde, s ktorými ľudia v minulosti nemali skúsenosti. V roku 1970 vedecké experimenty a výskumy dokázali, že tieto javy úzko súvisia so spaľovaním fosílnych palív. Pribúdajúce obavy z rastúcich emisií skleníkových plynov a viditeľných klimatických zmien, nútia ľudí zamýšľať sa nad rozvojom čistejších a lacnejších spôsobov „výroby“ energie. Aby sa predišlo ďalším negatívnym vplyvom na životné prostredie, je potrebné výraznejšie nahradiť fosílna palivá šetrným, čistým a obnoviteľným zdrojom energie [4].

Vedci dlhodobo hľadali zdroje energie, ktorých využívanie by bolo bezpečné a neznižovalo by kvalitu nášho životného prostredia. Pri hľadaní zohľadňovali nasledujúce faktory:

- rozmanitosť rôznych zdrojov alternatívnej energie,
- dlhodobo udržateľný zdroj energie, ktorý budú môcť využívať budúce generácie,
- prijateľnú cenu nákladov pre zostrojenie a použitie,
- možnosť dodávky energie musí byť politicky spoľahlivá,
- šetrnosť zdrojov energie na životné prostredie,
- malý a stredný rozvoj miestneho priemyslu [5].

Týmto požiadavkám vyhovuje napr. slnečná energia. Tento zdroj však nie je vo svete využívaný v dostatočnej miere. Viaceré technológie využívajúce obnoviteľné zdroje energie sú založené na „neobmedzenom“ palivovom zdroji – Slnku. Navyše sú v porovnaní s technológiami, ktoré využívajú fosílna palivá čistejšie a menej riskantné. Takmer všetka energia na Zemi pochádza zo Slnka. Vo fosílnych palivách, aj v biomase je slnečná energia viazaná v organických látkach, ktoré vznikajú v zelených rastlinách po fotosyntetickej premene anorganických látok. K fotosyntéze sa využíva len cca 0,1 % dopadajúcej energie [6].

## 7.1 Slnečná energia

Slnko je plynná guľa, ktorá je tak hmotná, že obsahuje 99,86 % všetkej hmoty Slnečnej sústavy a má takú hmotnosť ako 332 950 zemegúľ. Kvôli jeho rozmerom a hmotnosti sa v Slnku vyskytuje veľký rozsah hustôt [7]. Slnko je pre život na Zemi najdôležitejšou hviezdou, pretože:

- je najpôvodnejším zdrojom takmer všetkej energie na Zemi;

- je zdrojom svetelnej energie, ktorú môžeme použiť pri priamej premene vo fotovoltických systémoch na elektrickú energiu;
- je zdrojom tepelnej energie, ktorú môžeme využiť v slnečných kolektoroch a ďalších solárnych tepelných zariadeniach;
- ohrieva zemský povrch a atmosféru, vznikajú tak vrstvy vzduchu s rôznou teplotou, hustotou a tlakom. Vyrovnaním atmosférického tlaku vzniká vietor – ďalší obnoviteľný zdroj energie;
- vďaka slnečnému teplu sa vyparuje voda a dochádza k jej neustálemu kolobehu na Zemi. Ako energiu prúdiacej vody, tak aj teplotné rozdiely povrchu a hlbiny oceánov, alebo vlnobitie generované vetrom, môžeme využiť tiež;
- Slnko a Mesiac sú zodpovedné za tzv. slapové sily, ktoré spôsobujú príliv a odliv.

Tieto pohyby vodnej hladiny tiež môžeme energeticky využiť a pod. [8]. Povrch Slnka má teplotu okolo 5 900 K. Slnko je zložené prevažne z hélia a vodíka. Dokáže premeniť 600 miliónov ton vodíka na hélium za jednu sekundu. Hmotnosť hélia, ktoré vznikne v Slnku je menšia ako hmotnosť vodíka, ktorý je vstupujúcim prvkom reakcie. Podľa Einsteinovho vzťahu (7.1) môžeme rozdiel hmotnosti prepočítať na energiu. V strede Slnka prebiehajú termonukleárne reakcie, ktoré sú zdrojom jadrovej energie. Slnko vysiela časť tejto energie vo forme rozličných druhov žiarenia (infračervené žiarenie, viditeľné svetlo, ultrafialové žiarenie a ďalšie) do kozmického priestoru. Časť slnečného žiarenia, a teda aj energia vyžarovaná Slnkom, sa dostáva k Zemi. Približne 30 % slnečného žiarenia odráža zemská atmosféra späť do vesmíru, asi 20 % atmosféra pohltí a 50 % slnečného žiarenia prenikne k zemskému povrchu. Slnečné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s vlnovými dĺžkami v rozsahu od 0,28 do 3,0  $\mu\text{m}$ . Celkovo na zemský povrch osvetlený Slnkom dopadá žiarivý výkon 180 tisíc TW ( $1,8 \cdot 10^{17}$  W) z čoho ľudstvo využíva necelú 1/14000 predstavujúcu približne 13 TW [9]. Energia, ktorá vznikla v tzv. slnečnom jadre sa najprv šíri formou žiarenia približne do dvoch tretín jeho polomeru. Hneď potom prevláda prenos slnečnej energie prúdením a nakoniec slnečná energia, ktorá sa dostala k povrchu Slnka, opúšťa slnečný povrch vo forme fotónov. Slnku každú sekundu ubudne 4,26 milióna ton hmoty, čo predstavuje uvoľnenie  $3,8 \cdot 10^{26}$  J energie. Časť energie, ktorá dopadá na zemský povrch je pri prechode atmosférou pohltená alebo odrazená. Na Zem teda dopadá menej než 1 kW energie na štvorcový meter pri jasnej oblohe, no pri zamračenej oblohe sú to len desiatky wattov. Podstatná časť slnečnej energie, ktorá dopadá na povrch atmosféry a preniká k zemskému povrchu, sa premení na teplo a uplatňuje sa v kolobehu vody v prírode (vyparovanie) [10].

Žiarenie, ktoré dopadá na zemský povrch nazývame globálnym žiarením a zahŕňa žiarenia všetkých vlnových dĺžok. Intenzita slnečného žiarenia sa zníži prechodom do atmosféry. Slnečné žiarenie, ktoré dopadne na zemský povrch sa môže premeniť na:

- tepelnú energiu, ktorá zohrieva vzduch, vodu, pôdu;
- mechanickú energiu, ktorá zapríčiňuje vznik vzdušných prúdov;
- chemickú energiu, ktorá je viazaná pomocou fotosyntézy v rastlinách, ale aj iných organizmoch [11];
- elektrickú energiu, ktorú možno získať zo slnečnej energie priamo fotovoltickou, termoelektrickou alebo termoemisnou premenou slnečného žiarenia alebo konvenčným spôsobom (nepriamo cez mechanickú energiu vetra, vody a fosílnych palív). Solárne elektrárne pracujúce na princípe priamej premeny sú lokalizované prevažne na púšťach, kde je dostatočná intenzita slnečného žiarenia, ako aj dosť miesta na inštaláciu stoviek zrkadiel [12].

Energia zo Slnka je aj základom všetkých klimatických procesov, ktoré prebiehajú v atmosfére.

Pri meraní intenzity slnečného žiarenia rozlišujeme žiarenie priame, difúzne (rozptýlené) a žiarenie, ktoré sa odráža od zemského povrchu alebo od iných objektov. Tieto zložky žiarenia vnímame voľným okom a môžeme ich využiť prostredníctvom slnečných kolektorov. Ak je obloha zamračená, je prítomná iba difúzna zložka žiarenia. Množstvo slnečnej energie dopadajúce na povrch Zeme je premennou veličinou a závisí od viacerých faktorov, ako napr. od počasia, ročného obdobia, znečistenia atmosféry, polohy Slnka na oblohe počas dňa a pod. Relatívne stálu (i keď nie celkom) hodnotu má množstvo dopadajúceho žiarenia za jednotku času na jednotku plochy kolmej na smer šírenia na vrchné vrstvy atmosféry, teda množstvo nezmenšené o absorpciu atmosférou. Tzv. solárna alebo slnečná konštanta je definovaná ako množstvo slnečnej energie, ktoré dopadne na jednotkovú plochu kolmú na smer šírenia za jednu sekundu vo vzdialenosti jednej astronomickej jednotky (1 AU), t. j. strednej vzdialenosti Zeme od Slnka. Jej hodnota je približne  $1,366 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Vedci vypočítali, že Zem prijme zo Slnka ročne také množstvo energie, ktoré by vzniklo spálením  $227 \cdot 10^{12}$  ton uhlia alebo 500 000 miliárd barelov ropy [13].

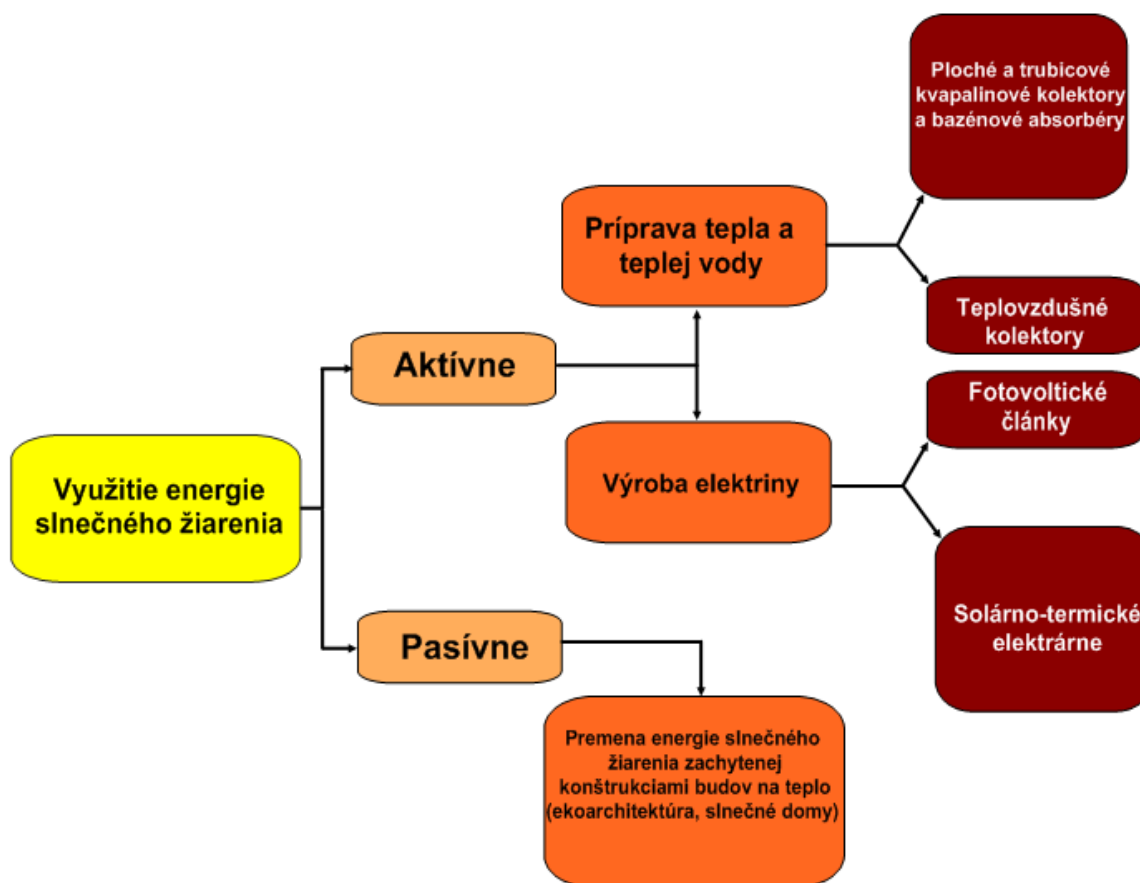
Jeden spôsob zachytávania tejto energie predstavujú solárne kolektory, ktoré pozostávajú z veľkého počtu vzájomne prepojených fotoelektrických článkov „vyrábajúcich“ elektrickú energiu. Lacnejším spôsobom zachytávania slnečnej energie je používanie zrkadiel. V Kalifornii existuje elektráreň, ktorej 1 800 zrkadiel odráža slnečné svetlo na nádrž s tekutinou umiestnenou na vrchole veže. Zohriata tekutina sa používa na výrobu pary, ktorá

otáča turbíny a elektrický generátor. Prevádzka solárnych elektrární je komplikovaná, lebo zrkadlá musia riadiť počítače, aby boli vždy nasmerované na Slnko [13].

Slnčná energia dopadajúca na Zem je podmienkou života rastlín a živočíchov, vplýva na počasie a podnebie na Zemi. Pri dopade slnečného žiarenia na listy zelených rastlín, sa uskutočňuje v ich tele biochemický proces - **fotosyntéza**, ktorý umožňuje život všetkým živým organizmom.

Vo všeobecnosti môžeme túto energiu využívať (Obr. 7.2):

- a) **aktívne** - pomocou slnečných kolektorov alebo bazénových plastových absorbérov na ohrev vody;
- b) **pasívne** - tak, že prispôbime naše bývanie slnečnému žiareniu využitím tzv. solárnej architektúry [11].



**Obr. 7.2** Možnosti využívania energie slnečného žiarenia  
(Upravený obr. zo zdroja [11])

### Výhody využívania solárnej energie:

Existuje mnoho výhod v súvislosti s využívaním solárnej energie. Jednou z výhod je, že Slnko je úplne obnoviteľný zdroj, ktorý na rozdiel od ostatných je využiteľný aj na odľahlých miestach Zeme. Medzi ďalšie výhody patrí [14]:

- nevyčerpatelnosť slnečného žiarenia, ktoré bude dopadať na Zem najbližších 5 – 8 miliárd rokov;
- neuvolňujú sa do ovzdušia nebezpečné exhaláty;
- využívanie solárnej energie neprodukuje žiadny rádioaktívny odpad;
- nezneškodňuje životné prostredie;
- pomocou solárnych zariadení sa získava ekologicky čistá energia;
- zlepšenie zdravotného stavu ľudí;
- využiteľnosť slnečnej energie je po celú dobu svitu Slnka, bez ohľadu na aktuálnu intenzitu žiarenia;
- neodoberá sa teplo pôde, neničí sa životné prostredie;
- solárne systémy nie sú hlučné pri premieňaní slnečnej energie na iný druh energie;
- minimálne prevádzkové náklady;
- jednoduchá obsluha a údržba zariadenia využívajúceho slnečnú energiu;
- životnosť solárnych systémov je pomerne vysoká, a to 15 – 20 rokov;
- do projektu výstavby domu je vhodné zahrnúť aj solárne systémy, ktoré znížia neskoršie investície pri prerábaní domu na využívanie slnečnej energie;
- návratnosť finančných prostriedkov vložených do solárnych zariadení je okolo 8 rokov;
- zvyšovanie sebestačnosti krajiny od dovozu energie z okolitých krajín;
- znižovanie prevádzkových nákladov v miestach s vysokou spotrebou teplej vody;
- na odľahlých miestach je možnosť využívania slnečnej energie ako hlavného zdroja na vykurovanie, čo nahradí 20 – 50 % spotrebovaného tepla a na prípravu teplej vody, čo nahradí 50 – 70 % spotrebovaného tepla;
- nové inšpirácie pre architektúru, dizajn a pod.

### **Nevýhody využívania solárnej energie:**

Využívanie slnečnej energie má aj svoje nevýhody [15] napr.:

- pri využívaní slnečnej energie pomocou solárnych zariadení je potrebný záložný zdroj energie (plyn, elektrická energia, pri vykurovaní tepelné čerpadlo), a to najmä v zimnom období a pre prípad dlhodobého zhoršených klimatických podmienok;
- v noci nie je možné vyrábať energiu, a preto je vhodné zabezpečiť si miesto na jej uloženie (batérie, bojler);
- striedanie ročných období, dňa a noci spôsobuje výkyvy vo výkone solárnych systémov;



- kvalita slnečnej energie je rôzna a závisí od geografických podmienok;
- slnečnú energiu nie je možno využívať ako samostatný zdroj energie;
- vysoké investičné náklady;
- dlhšia doba navrátenia investícií;
- využitie solárnych článkov na Slovensku je málo efektívne;
- ľudia sú málo informovaní o výhodách využívania slnečnej energie a majú nedostatok skúseností;
- solárne zariadenia môžu zaberat' veľa priestoru, a preto je na ich umiestnenie najvhodnejšia strecha domov a budov a pod.

## 7.2 Veterná energia

Je transformovaná energia slnečného žiarenia. Pod pojmom veterná energia rozumieme kinetickú energiu prúdiaceho vzduchu. Spôsobujú ju rozdiely tlaku v miestach s rôznou teplotou vplyvom nerovnomerného pohlcovania slnečného žiarenia zemským povrchom. V dôsledku vzniku oblastí s rozdielnymi tlakmi vzniká prúdenie, ktorého pohybovú energiu možno zužitkovať.

Ľudstvo využívalo vietor od nepamäti napr. pohon lodí – plachetnice, ako zdroj mechanickej energie vo veterných mlynoch a na pohon vodných čerpadiel. V súčasnosti sa veterná energia využíva v tzv. veterných elektrárnach.

Na premenu veternej energie na elektrickú sa využívajú spravidla veterné turbíny. Výkon vetra, ktorý možno na Zemi využiť má hodnotu približne 3 TW.

Táto energia neprodukuje žiadne odpady, neznečisťuje ovzdušie a nemá negatívny vplyv na zdravie ľudí. Vietor je ale menej predvídateľný, lebo jeho intenzita je ovplyvnená terénom. Sezónne zmeny intenzity veternej energie, preto je jej vhodné dopĺňanie so slnečnou energiou.

### **Výhody veterných elektrární:**

- Konkurencie schopnosť - veterné elektrárne sú už v súčasnej dobe na takej úrovni, že môžu konkurovať aj s takými zdrojmi elektrickej energie ako je ropa, zemný plyn alebo uhlie.
- Vietor je zadarmo na rozdiel od cien fosílnych palív, ktoré sú nestále a v poslednej dobe stále rastú. Toto je hlavný dôvod pre ľudí a spoločnosti, ktoré hľadajú bezpečnejšie formy investovania do energie.

### Veterná energia:

- je nezávislá - vietor nepozná hranice krajín, fúka aj v krajinách bez nerastného bohatstva. Môže priniesť nové pracovné miesta a podporiť ekonomiku krajiny.
- je rýchla - od počiatkových plánov až po spustenie výroby elektrickej energie často neuplynie ani 12 mesiacov. To sa nedá zrovnávať s inými elektrárnami, kde tento čas presahuje viacero rokov. Veterná turbína Vestas V90 s výkonom 3 MW je tak účinná, že za seba zaplatí viac ako 35-krát počas jej životnosti.
- je čistá – neprodukuje žiadne škodlivé látky a odpady. Neemituje skleníkové plyny. Veterné turbíny nepotrebujú na svoju prevádzku veľké množstvo vody ako napr. tepelné alebo atómové elektrárne. A ďalším úžitkom je, že až 80 % materiálu z veternej turbíny je recyklovateľného.
- predstavuje prakticky nevyčerpatel'ný obnoviteľný zdroj energie [16].

### **Nevýhody veterných elektrární:**

- Je to nestabilný zdroj energie.
- Výkony veterných elektrární nie sú také veľké.
- Vznik rušivých zvukov pri ich činnosti, ako dôsledok turbulencie vzduchu medzi listami rotora a stožiarom turbíny.
- Zaťažujú rozvodnú sieť - v čase, keď fúka silný vietor a elektrárne pracujú naplno môže nastať preťaženie elektrickej siete a spôsobiť výpadky prúdu.
- Veterné turbíny pôsobia rušivo v reliéfe krajiny (Obr. 7.3).
- Možnosť kolízií veterných elektrární s vtákmi - za rok pripadnú v priemere 1-2 smrteľné kolízie na 1 veternú elektráreň, čo je neporovnateľné s množstvom ich úhynu po zrážke s motorovými vozidlami.
- Elektrické vodiče rušia elektromagnetické žiarenie. Preto sú listy rotora z plastu a dreva.
- Problémy s dopravou - veže a lopatky dlhšie ako 45 m je problematické dopraviť.
- Náklady na dopravu môžu dosiahnuť aj 20 % z celkovej ceny.
- Problémy s inštaláciou - vysoké veterné turbíny je veľmi ťažké nainštalovať, často sú na to potrebné vysoké žeriavy.



**Obr. 7.3** Estetické narušenie krajiny inštalovaním veterných elektrární [17]

### 7.3 Vodná energia

Rovnako ako veterná energia, aj vodná energia má svoj pôvod v slnečnej energii. Práve tá spôsobuje vyparovanie vody z morí, oceánov, riek, potokov, jazier, pôdy, rastlín a tel živočíchov. Vodná para stúpa a v chladnejších vrstvách atmosféry dochádza k jej kondenzácii. Pôsobením tiažovej sily Zeme padá voda v podobe zrážok (dážď, sneh, krúpy) späť na povrch Zeme.

Človek už od pradávna využíval obrovský potenciál energie vodných tokov - kinetickú energiu prúdiacej vody, potenciálnu i tlakovú (pretlak vody voči okoliu) energiu vody. Veľké množstvo energie v sebe ukrýva:

- *vlnenie mora* – spôsobuje ho vietor, niekedy vzniká aj v ústiach veľkých riek alebo pri podmorskom zemetrasení (vlny cunami). Dĺžkový meter morskej vlny nesie pomerne značnú energiu, ktorá zodpovedá výkonu približne 80 kW. Veľkosť tejto energie je ale nestála a zmeny sú nepravidelné. Energeticky je využiteľné len pravidelné vlnenie, ale v súčasnosti sa využíva veľmi málo napr. elektráreň Kalimai v Japonsku má tvar cisternovej lode rozdelenej na systém komôr. Morské vlny stláčajú v komorách vzduch a poháňajú tak turbíny s generátormi s výkonom 200 kW [8];
- *morský príboj* – ak morské vlny narazia pri pobreží na dno, zmení sa ich výška i dĺžka. S malým úspechom sa príbojová elektráreň skúšala v Japonsku i Bretónsku;

- *morské prúdy* – sú vlastne mohutné podmorské rieky, ktoré vznikajú v dôsledku teplotných rozdielov rôznych vrstiev vody. Rozdiely hustoty vody rôznej teploty podmieňujú vznik prúdenia vody, ktoré je opäť zdrojom mechanickej energie [18];
- *pravidelne sa opakujúci príliv a odliv* (slapové javy) - prítlačivosť Mesiaca a čiastočne i Slnka spôsobuje na Zemi slapové sily, ktorým podlieha atmosféra i hladina morí. Príliv a odliv sa dvakrát denne opakujú. Na výšku prílivu má rozhodujúci vplyv tvar pobrežia. Moderná prílivová elektrárňa bola postavená v ústi rieky La Rance v Bretónsku. Príliv tu dosahuje 8,4 m a celkový inštalovaný výkon elektrárne je 240 MW. Celkovo má 24 reverzných turbín, ktoré sa otáčajú ako pri prílive, tak aj pri odlive, ale opačným smerom [8].

Hoci existuje viac možností využitia energie vody, najrozšírenejšia je výroba elektrickej energie vo vodných elektrárňach, založená na princípe premeny kinetickej energie vody dopadajúcej na turbínu na elektrickú energiu v generátore elektrického prúdu.

Na Slovensku predstavuje technicky využiteľný hydroenergetický potenciál 7361 GWh/r energie. Využívame ho v 243 vodných elektrárňach na 57,5 %. Zostáva využiť potenciál, v hodnote 2500 GWh/r. Z hľadiska environmentálnych dopadov na prostredie za ekologické sú považované len malé vodné elektrárne (MVE), t.j. s výkonom do 10 MW. Perspektívne sa do budúcnosti javí rieka Hron, kde je možnosť vybudovania 23 MVE s celkovým výkonom 35 MW a s výrobou 200 GWh/r [19].

#### **Výhody vodných elektrární:**

1. MVE sú úplne bez emisií, nerušia prostredie ani hlukom ani esteticky a pri vybudovaní kanálov alebo priepustí pre vodné živočíchy narušajú vodné prostredie len minimálne.
2. Doba návratnosti pri MVE je asi 7 – 10 rokov.
3. MVE majú oproti iným zdrojom dlhú životnosť – aj viac ako 70 rokov. Nakoľko cena elektriny má rastúci trend, pre investorov by mali byť čoraz zaujímavejšie [19].
4. Veľké vodné elektrárne (VVE) významne zvyšujú protipovodňovú bezpečnosť územia napr. vodné dielo Gabčíkovo (Obr. 7.4) ju zvýšilo na oboch stranách Dunaja.

#### **Nevýhody vodných elektrární:**

Nevýhody sa teda týkajú hlavne veľkých vodných elektrární. Na druhej strane už vybudované VVE treba využívať na 100 %, keďže ešte stále sú ekologicky prijateľnejšie ako fosílna palivá a môžu prispieť k zníženiu emisií CO<sub>2</sub>.

VVE sa nepovažujú za obnoviteľný zdroj, pretože podľa ekológov výrazne narušujú charakter prostredia, majú vplyv na mikroklimatické pomery (zrážky, veternosť), úplne

menia pôvodné vodné prostredie a výrazne aj okolité prostredie vzhľadom na ich vplyv na výšku hladiny podzemných vôd a zmenu jej prúdenia. Nehovoriac, v prípade vodných nádrží, o potrebe zatopenia územia, vyst'ahovania obyvateľov a zničenia ich pôvodného majetku, zničenia historicky významných častí územia a pod. [19].



**Obr. 7.4** Vodné dielo Gabčíkovo [20]

## **7.4 Energia z biomasy**

Radíme ju k obnoviteľným zdrojom energie. Ide o slnečnú energiu uloženú v priebehu fotosyntézy do chemických väzieb zelených rastlín. Pri spaľovaní biomasy sa uložená energia z chemických väzieb opätovne uvoľňuje.

### **Výhody biomasy:**

- Dá sa ňou pomerne jednoducho a dlhodobo energiu skladovať.
- Spaľovanie čerstvej (nefosílnej) biomasy z hľadiska emisií CO<sub>2</sub> je takmer neutrálne.
- Je to stabilný energetický zdroj s menšou závislosťou od krátkodobých výkyvov počasia a sezónnej premenlivosti klímy.
- Jej využívanie si vyžaduje relatívne nízke investičné náklady.
- Zvyšuje nezávislosť od dovozu primárnych zdrojov energie.

- Je to jediný druh obnoviteľných zdrojov energie, ktorý je závislý od dostatku suroviny na výrobu paliva, jeho stabilnej a spoľahlivej dodávky a podlieha rastu cien v závislosti od rastu dopytu po palive a tiež rastu nákladov na jeho dopravu [21] atď.

#### **Nevýhody biomasy:**

- Nízka účinnosť premeny slnečného žiarenia.
- Pri spracovaní biomasy na palivo a jeho spaľovaní na získanie tepla alebo elektriny vznikajú straty.
- Nebezpečenstvo úniku škodlivých látok pri využívaní niektorých technológií.
- Na svoj rast potrebuje pôdu, čo nie je v súvislosti s rastúcim počtom obyvateľov na Zemi zanedbateľné, pretože ľudstvo bude potrebovať pôdu na produkciu kultúrnych plodín, aby sa nasýtilo atď.

Podľa Ministerstva poľnohospodárstva SR by Slovensko mohlo v roku 2050 pokryť až 30 % celkovej spotreby energie využitím energie z biomasy. Na Slovensku je približne 300 000 ha pôdy nevhodnej na pestovanie kultúrnych plodín, pretože je devastovaná a kontaminovaná chemikáliami.

## **7.5 Geotermálna energia**

Je najstaršou energiou na našej planéte, pretože ju Zem získala pri svojom vzniku. V ostatnom období je to energia čiastočne generovaná rádioaktívnym rozpadom niektorých prvkov v zemskom telese.

Niektoré časti zemskej kôry sa vplyvom tepla vznikajúceho pri vulkanickej činnosti alebo pri rádioaktívnych premenách v ložiskách izotopov zahrievajú viac. Podľa odhadov geológov je v hĺbke 10 km pod zemským povrchom teplo  $7 \cdot 10^4$ -krát väčšie ako energia, ktorá by vznikla spálením zásob uhlia na celej Zemi. Avšak 99 % tejto energie vystupuje na zemský povrch s hustotou iba  $0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Preto je táto energia využiteľná len v miestach tzv. geotermálnej anomálie.

Rozlišujeme dva základné spôsoby využitia geotermálnej energie:

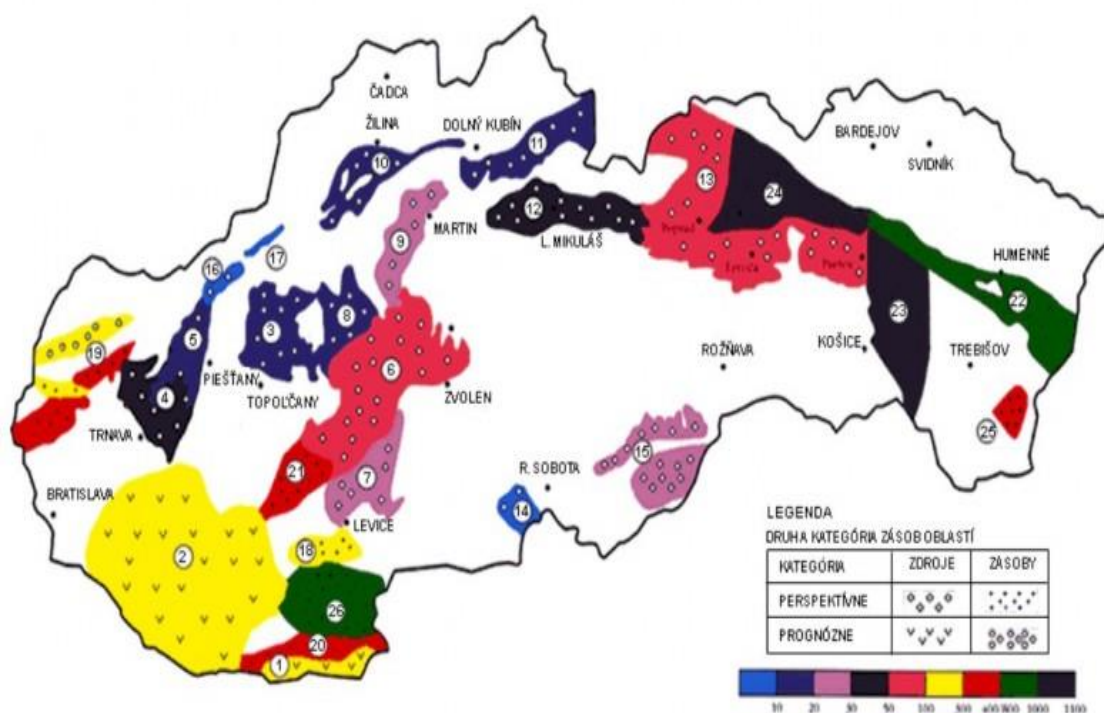
- *hlbkový spôsob* - využíva najmä vysokopotenciálové teplo Zeme;
- *povrchový spôsob* - využíva najmä nízkopotenciálové teplo Zeme pomocou tepelných čerpadiel. Tepelným čerpadlom je teplo z okolitého prostredia relatívne nízkej teploty sústredené do výmenníka, kde sa ním ohrieva úžitková voda. Prevádzka tepelného

čerpadla vyžaduje určitý príkon elektrickej energie, ktorá je však menšia, než získané teplo.

Medzi zdroje geotermálnej energie zaraďujeme:

- pole suchých pár – sondy odvádzajú paru teploty 200 °C až 250 °C pod prirodzeným tlakom až 10 MPa;
- pole mokrých pár – zdroje horúcej vody teploty 180 °C až 350 °C, kde voda vďaka vysokému tlaku nezmenila skupenstvo. Vo vode sú prítomné agresívne látky, preto sa musia potrubia a čerpadlá vyrábať z drahých legovaných ocelí a nerezú;
- pole nízkoteplotné – tvoria ho prírodné podzemné zdroje teplej vody [18].

Slovensko je krajina s nadpriemernými geotermálnymi podmienkami (Obr. 7.5).



**Obr. 7.5** Mapa Slovenska s vymedzenými hydrogeotermálnymi oblasťami [22]

Jediný problém spočíva v ekonomicky výhodnom využívaní zdrojov geotermálnej energie. Celkový tepelno-energetický potenciál geotermálnych vôd Slovenska vo všetkých perspektívnych oblastiach reprezentuje 5 538 MW. V súčasnosti sa geotermálna energia na Slovensku využíva v 35 lokalitách (napr. v Bánovciach nad Bebravou, Chalmovej, Malých Bieliciach, Podhájskej, Novákoch, Oraviciach, Senci, Bešeňovej, Čiližskej Radvani, Topoľníkoch, Tvrdošovciach, Hornej Potôni, Dunajskej Strede, Galante, Komárne, Liptovskom Trnenci, Poprade, Vrbovom, Turčianskych Tepliciach, Veľkom Mederi, Štúrove, Diakovciach, atď.) s tepelne využiteľným výkonom asi 83 MW. Tento výkon i napriek jeho

nízkej účinnosti (okolo 30 %, čo predstavuje 25 MW) ušetrí za rok pri 200 dňoch vykurovania asi 42 600 t hnedého uhlia alebo 16 mil. m<sup>3</sup> zemného plynu.

S touto skutočnosťou musíme dnes, pri intenzívnom rozvoji informačnej spoločnosti počítať, zároveň mať vízie i do budúcnosti a myslieť na generácie, ktoré prídu po nás.

#### **Výhody geotermálnej energie:**

- Cenovo stabilné vykurovanie.
- Vykurovanie nezávisí od počasia.
- Je prakticky nevyčerpatel'ná, z tohto pohľadu sa zaraďuje medzi obnoviteľné zdroje energie, hoci v skutočnosti ním nie.
- Umožňuje kombinovať výrobu elektriny a tepla pri geotermálnych zdrojoch s teplotou nad 100 °C.
- Ďalšie širokospektrálne možnosti využitia - ohrev skleníkov, potravinárska výroba – sušenie plodín, termálne a liečivé kúpele a kúpaliská atď.
- Dokáže sa premieňať na elektrickú energiu nepretržite celých 24 hodín, bez výraznejších výkyvov alebo výpadkov.
- Spoľahlivejší zdroj energie z pohľadu stability elektrickej prenosovej siete v porovnaní s veternou a slnečnou energiou.
- Je jedným z najčistejších zdrojov energie.

#### **Nevýhody geotermálnej energie:**

- Vysoké vstupné investičné náklady vzhľadom na potrebný geologický prieskum, ale aj samotné vykonanie vrtov. Vrtanie hlbšie ako 5 km je finančne veľmi náročné.
- Potreba používania výmenníkov pri využívaní horúcich prameňov z dôvodu vysokej mineralizácie našich geotermálnych vôd (odpadá pri využívaní tepla z horniny).
- Vysoká mineralizácia vody vyžaduje jej ďalšie spracovanie, pretože ju nie je možné vypúšťať do povrchových vôd. Reinjektáž do podzemia môže stabilizovať tlak v horninovom prostredí, čo je výhodou, avšak môže znížiť životnosť zdroja jeho postupným ochladzovaním kontaktom s ochladenou využitou vodou [23].

## **7.6 Vodíkové - H hospodárstvo**

Ako zdroj energie budúcnosti, predstavuje veľkú nádej vodík, v súvislosti s progresívnymi elektrárnami, ale ešte viac v súvislosti s pohonmi. Využitie vodíka ako



nosiča a zásobníka energie je princípom tzv. vodíkového – H hospodárstva, ktoré vzniklo v prvej polovici 70-tych rokov.

Vodík –  $H_2$  je zápalný plyn, bez farby a zápachu. Je prvým a najľahším prvkom periodickej sústavy prvkov – 4-krát ľahší než vzduch. V reakcii s kyslíkom ( $O_2$ ) sa pri uvoľnení energie spaľuje na vodu. Reakcia neprodukuje žiadne emisie. Z tohto pohľadu je vodík čistý a zároveň veľmi efektívny zdroj energie. Zároveň je to najbežnejší prvok vo Vesmíre, ktorý sa v prírode vyskytuje predovšetkým v zlúčeninách s inými prvkami. Najčastejšie zlúčeniny sú s uhlíkom vo forme zemného plynu a s kyslíkom vo forme vody. Výhodou je, že takmer každá krajina má dostatok vodíka viazaného v molekulách vody -  $H_2O$ , čo je vlastne oxid vodíka. Aby bolo možné vodík využiť, musí byť izolovaný. Problém spočíva práve v izolácii vodíka z jeho zlúčenín a v jeho následnom uložení. Na dráhu 300 míľ = 482,8 km treba 5 – 6 kg vodíka.

V súčasnosti existuje viacero chemických a fyzikálnych postupov, ktorými ho možno získavať:

- Rozkladom vody - účinnosť rozkladu vody elektrickým prúdom dosahuje až 90 % .
- Elektrolýzou vody, kyslých alebo zásaditých vodných roztokov elektrickým prúdom. Na získanie 1 m<sup>3</sup>  $H_2$  pomocou elektrolýzy je potrebných 4,8 kWh elektrickej energie. Nevýhodou tohto spôsobu je však malá účinnosť.
- Rozkladom vodnej pary železom.
- Štiepením uhl'ovodíkov vodnou parou.
- Rozkladom metanolu.
- Rozkladom amoniaku.
- Konverziou vodného plynu - látky získavanej splyňovaním koksu, príp. uhlia.
- Reformovaním benzínu.
- Z koksárenského plynu.
- Parciálnou oxidáciou uhl'ovodíkov.
- Modernými procesmi – elektrolýzou horúcej pary (pri teplote 900 až 1 000 °C).

Z uvedeného je zrejmé, že sa tieto procesy dajú rozdeliť podľa zdrojovej látky, ktorou sú buď fosílna palivá na báze uhl'ovodíkov alebo voda. Spoločným problémom všetkých spôsobov extrakcie vodíka je, že na uskutočnenie reakcie je potrebné dodať do systému energiu. Účinnosť výroby vodíka je v jednotlivých prípadoch rôzna. Pričom treba myslieť aj na vedľajšie produkty, ktoré pri tom vznikajú. Práve tieto skutočnosti sú pre mnohých trňom v oku.

Existuje množstvo termochemických reakcií, ktorých výsledným produktom je aj vodík. Oproti elektrolýze by tento spôsob bol vo výhode, pretože nepotrebuje priamo elektrickú energiu, ale stačí mu aj teplo, ktoré je vedľajším produktom mnohých iných procesov. Je tu tiež možnosť termického rozkladu vody, ktorý si však vyžaduje teplotu až 2200 °C a teda aj špeciálne materiály. Ďalšou, zatiaľ len laboratórnou, možnosťou je fermentatívna konverzia pomocou baktérii. Výskumníci tiež preverujú potenciál nanotechnológie či syntetickej biológie. Všetko úsilie je však márne, pokiaľ si vodík nenájde jednoduchú a rýchlu cestu k bežným ľuďom a do ich automobilov [24].

Ak by sa vodík vyrábala z nefosílnych zdrojov napr. fotovoltickými článkami, nedochádzalo by k žiadnej emisii CO<sub>2</sub> a iných tzv. skleníkových plynov. Pretože pre jeho výrobu sú potrebné len obnoviteľné suroviny (voda, slnečné žiarenie) a v hojnej miere sa vyskytujúce prvky v zemskej kôre (v prípade výroby fotovoltických článkov - kremík), vodík sa môže stať palivom budúcnosti s neobmedzenými zásobami pre celé ľudstvo [3].

Dnešná celková výroba H<sub>2</sub> však predstavuje iba 1 % spotreby energie ľudstva. Vodík ako pohonná hmota sa používa v raketovej technike, v palivových článkoch a skúšajú sa i možnosti pohonu motorových vozidiel či lietadiel. Spalné teplo vodíka je 144 000 kJ/kg a výhrevnosť je 119550 kJ/kg.

Vodík (H<sub>2</sub>) by mohol nahradiť palivá:

- a) spaľovaním s O<sub>2</sub>;
- b) prepúšťaním H<sub>2</sub> cez vhodné membrány, ktoré sú schopné odtrhávať elektrón z obalu vodíka. Elektróny idú ku kolesám, vzniká elektrický prúd a poháňajú kolesá. Zvyšok je odpad, ktorý sa spojí so vzdušnými e<sup>-</sup> a výsledkom je vznik H<sub>2</sub>O. Tieto motory pracujú s vyššou účinnosťou ako spaľovacie.

Ak chceme H<sub>2</sub> uložiť, máme niekoľko možností, ale každá z nich má svoje pre i proti:

- a) buď vodík stlačiť do bômb – nevýhodou je vznik vysokého tlaku v bombách na čo treba vysokopevné materiály,
- b) alebo ho skvapalniť – nevýhodou je, že na to sú potrebné nízke teploty,
- c) ďalšia možnosť uloženia sa črtá v spojení s uhlíkom, ktorý vytvára rôzne modifikácie a jedna z nich sú nanokryštály, ktoré sú schopné pohlcovať H<sub>2</sub> až do hustôt porovnateľných so skvapalneným vodíkom.

#### **Výhody vodíkového hospodárstva:**

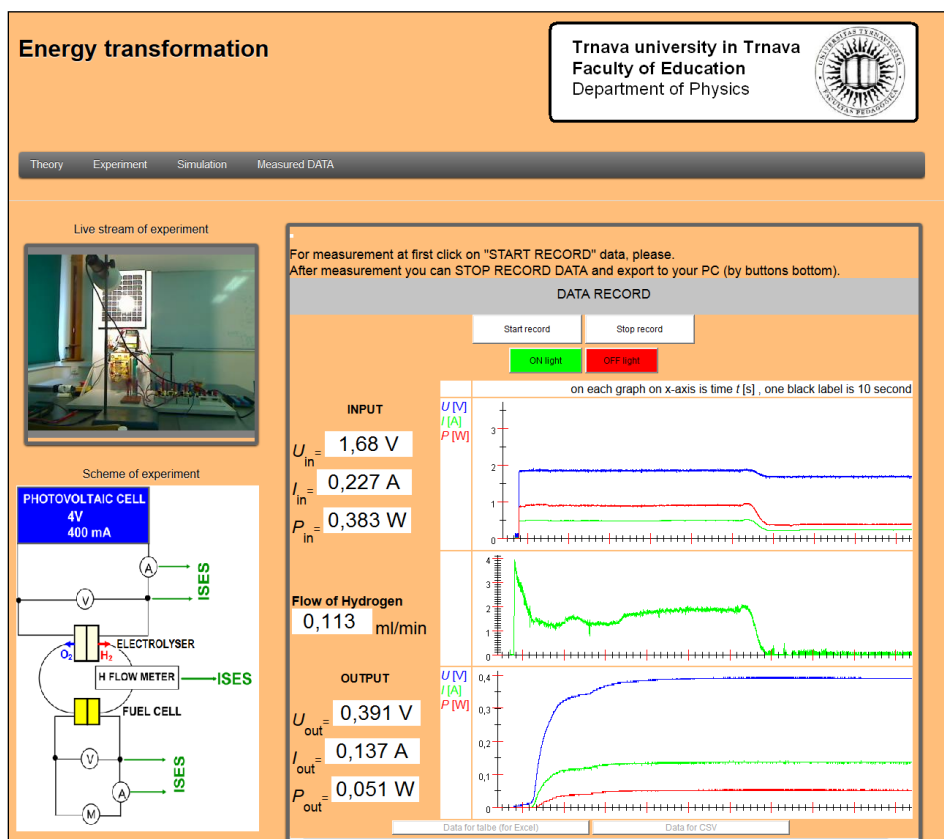
- odstránenie ekonomickej závislosti od ostatných krajín,
- pri získavaní vodíka z palivových článkov je jediným vedľajším produktom voda, čím nedochádza k znečisťovaniu životného prostredia emisiami;
- vodík nie je jedovatý plyn,

- vysoká účinnosť energetickej transformácie v dôsledku priamej premeny chemickej energie paliva na elektrickú energiu,
- vyradené palivové články nezaťažujú životné prostredie ťažkými kovmi ako klasické olovené,
- distribúcia výroby - vodík možno vyrobiť kdekoľvek, kde je k dispozícii voda a elektrická energia.

Vzhľadom na uvedené skutočnosti sme sa na Katedre fyziky Pedagogickej fakulty Trnavskej univerzity v Trnave rozhodli vytvoriť vzdialený experiment – *Premena energie žiarenia na elektrickú energiu* (Obr. 7.6 a 7.7).



**Obr. 7.6** Premena energie žiarenia na elektrickú energiu – komponenty reálneho vzdialeného experimentu [25]



**Obr. 7.7** WWW stránka reálneho vzdialeného experimentu *Premena energie žiarenia na elektrickú energiu* (dostupné na: <http://remotelab10.truni.sk/>) [26]

Do reálneho vzdialeného experimentu sme zapojili moduly ISES (Internetový školský experimentálny systém) - voltmeter a ampérmeter a na meranie množstva vodíka uvoľneného pri elektrolyze prietokomer. Všetky tieto prvky sme pripojili k počítaču. Okrem toho sme v experimente použili: solárne články, elektrolyzér, palivové články a elektromotor. Fotočlánok, elektrolyzér, palivový článok PEM a elektromotor sú v reálnom vzdialenom experimente elektricky prepojené.

Reálnym vzdialeným experimentom budeme zisťovať:

- účinnosť premeny energie slnečného žiarenia na elektrickú energiu vo fotočlánku;
- účinnosť elektrolyzy,
- účinnosť palivového článku,
- účinnosť elektromotora.

Správnym zapojením zátáže do sústavy s palivovým článkom PEM je možné merať nielen účinnosť elektrolyzy, palivového článku, ale aj celkovú účinnosť tohto systému. Ako zátáž sme zvolili elektromotor s vrtuľou, kde študent bude mať možnosť pozorovať spotrebu „vyrobenej“ elektrickej energie.

Tento vzdialený experiment sa stal súčasťou e-Laboratória fyziky, ktoré sa nachádza v priestoroch Katedry fyziky Pedagogickej fakulty Trnavskej univerzity v Trnave [27].

### **Aj vodíkové hospodárstvo má svoje nevýhody, ako napr.:**

- asi najväčší problém jeho rozvoja v súčasnosti je chýbajúca zodpovedajúca infraštruktúra,
- pre prácu s vodíkom platia rôzne technické a bezpečnostné normy,
- ak vodík uniká v uzatvorenom priestore, môže tvoriť so vzduchom výbušnú zmes,
- vysoké investičné náklady,
- zatiaľ veľmi nízka životnosť,
- s rastúcim časom prevádzky, klesá jej účinnosť,
- uloženie potrebného množstva čistého vodíka by vyžadovalo buď nepraktický vysoký tlak plynného vodíka, alebo extrémne nízku teplotu vodíka tekutého.

Firma Safe Hydrogen má v ponuke riešenie v podobe kvapalnej zmesi hydridu magnézia, ktorá by mohla mnohé z týchto ťažkostí odstrániť. Magnéziový hydrid je chemická zlúčenina, ktorá je relatívne bezpečná a je možné ju skladovať aj pri izbovej teplote. Môže byť čerpaná, prelievaná a prepravovaná ako každá iná tekutina, bez nárokov na prísne bezpečnostné opatrenia. Kvapalná zmes ako je Hydrid magnézia ( $MgH_2$ ), alebo hydrid lítia (LiH), by mohol byť dokonca použitý už v existujúcej palivovej infraštruktúre, takže by ho bolo možné tankovať aj na bežných čerpacích staniciach [28].

Odborník na palivové články Ulf Bossel tvrdí, že ekonomika založená na vodíku sa neoplatí. Argumentuje tým, že extrakcia vodíka je príliš náročná na energiu. Predpokladá sa, že sa objaví ďalšia, pokročilá nová technológia, ktorá výrobu vodíka uľahčí, viac menej stále to nebude stačiť na to, aby sa to oplátilo. Navrhuje preto „elektrónovú ekonomiku“ – zhromažďovanie elektriny z obnoviteľných zdrojov a jej následné premyslené využitie priamo samotnými spotrebiteľmi. Výsledkom jeho návrhu má byť spoločnosť, v ktorej je elektrina dominantným zdrojom energie a elektromobily sú celkom bežné [29].

Ekonom britskej University of Warwick Andrew Oswald zdôrazňuje ťažkosti v snahe dosiahnuť skutočne zelenú vodíkovú ekonomiku. Myslí si, že konverzia každého auta v USA na vodíkovú energiu by si vyžadovala vybudovanie jedného milióna veterných turbín, alebo tisícky atómových elektrární. Podľa neho, ak by sa vodík vyrábal z molekúl vody pomocou elektrickej energie, tak pri jej výrobe z fosílnych palív, by sa zvýšili emisie  $CO_2$  do ovzdušia [30].

## **7.7 Štiepenie jadra atómu**

Nukleóny (protóny a neutróny) sú v atómových jadrách viazané obrovskými

jadrovými silami. Keď “vstupujú” do jadra, musia odovzdať časť energie. Tá je taká veľká, že to spôsobuje merateľný pokles hmotnosti jadra tzv. hmotnostný úbytok, t.j. protóny a neutróny v jadre majú menšiu pokojovú hmotnosť ako vo voľnom stave. Hmotnostný úbytok závisí od protónového čísla atómu a prejavuje sa pri jadrových premenách ako energia.

Jadrové premeny môžu prebiehať ako:

- a) *rádioaktívne premeny* – samovoľné premeny, ktorým podliehajú jadrá izolovaných atómov nestabilných nuklidov;
- b) *jadrové reakcie* – vynútené premeny, ktoré nastanú len pri zrážkach jadier s inou časticou. Tento proces je schopný vygenerovať kvantum energie.

Jadrová energia je považovaná za stabilný zdroj pri výrobe elektrickej energie pri takmer nulových emisiách uhlíka. Na výrobe elektrickej energie sa v posledných rokoch podieľa v rozpätí 28 až 34 %. Výhodou jadrovej energie je aj jej schopnosť vyrobiť z relatívne malého objemu paliva obrovské množstvo energie. Jedna tona jadrového paliva vyrobí energiu zodpovedajúcu 2 – 3 miliónom ton fosílnej energie a navyše jej produkcia nie je ovplyvnená zvyšovaním ceny za emisie CO<sub>2</sub> [31].

Nevýhodou je, že pri tomto procese vznikajú rádioaktívne látky a s tým súvisiaca možnosť vzniku choroby z ožiarenia.

## 7.8 Termojadrová syntéza

Napriek pesimistickým úvahám o zhoršujúcej sa situácii v zásobovaní energiou, čaká nás v tomto smere vďaka fyzike veľmi optimistická prognóza. Je známe, že najčistejším a najefektívnejším zdrojom elektrickej energie by mohli byť tzv. termojadrové elektrárne, ktoré spaľujú vodík na hélium – termojadrová syntéza, pričom sa uvoľní viac energie ako pri štíepnych jadrových reakciách. Tento spôsob je aj bezpečnejší a mohol by pracovať v ohromných kvantách. Riešil by sa problém H hospodárstva. Na elektrolýzu vody treba elektrický prúd a ten by sa získal zo syntézy.

Hoci po fyzikálnej stránke je problém už dávno vyriešený, zavedeniu do praxe bránia niektoré nevyriešené technické problémy. Každú sekundu vybuchne na Slnku vodíková bomba, ale vzhľadom na veľkosť Slnka nespôsobí táto reakcia jeho rozmetanie. Nepodarilo sa doteraz nájsť technický spôsob, aby sa energia na Zemi generovala umiernené.

Nádej v tomto smere vzbudzujú dve nedávno zverejnené informácie v médiách. Hovoria o tom, že v Číne sa už spustila výroba elektrickej energie v prvej experimentálnej

termojadrovej elektrárni a že vyspelé štáty EÚ podpísali 8-ročný kontrakt na vývoj a postavenie takého zariadenia.

Sú to optimistické indície, podľa ktorých sa budú môcť v budúcnosti (možno už nie príliš vzdialenej) nahradiť doterajšie všeobecne nenávidené atómové elektrárne spaľujúce urán ekologicky bezpečnými a navyše podstatne efektívnejšími termojadrovými elektrárnami.

## 7.9 Anihilácia

Vyspelý svet už reálne premýšľa o využití najefektívnejšieho zdroja energie vôbec – tzv. anihilácii látky a antilátky. Antilátka sa od „normálnej“ látky líši len zámenou elektrických nábojov (páry elektrón – pozitron, protón – antiprotón a i.). Pri ich vzájomnom kontakte sa v súlade s Einsteinovou rovnicou (1), celá látka „premení“ na energiu.

Energia takto získaná z jedného kilogramu látky a antilátky by pokryla celoslovenskú spotrebu elektrickej energie na jeden rok. Voľná antilátka sa však (zrejme) nikde vo vesmíre nenachádza, no v laboratóriách ju už vyrobiť vieme. Zatiaľ však len v zanedbateľných množstvách. Je však možné, že v budúcnosti sa aj tieto technické problémy podarí úspešne zvládnuť.

### Literatúra:

- [1] Janalík, R. *Využití energetických zdrojů* [online] (dostupné na: [http://kke.zcu.cz/files/projekty/enazp/VY\\_02\\_03\\_P3.pdf](http://kke.zcu.cz/files/projekty/enazp/VY_02_03_P3.pdf), citované dňa 3.7.2013).
- [2] Kulvánek, P. *Dôkazy v prospech Einsteina*, [online] (dostupné na: <http://www.physics.sk/subory/clanky/popularne/data/Preco%20ver%C3%ADme%20te%C3%B3rii%20relativity.pdf>, citované dňa 3.7.2013).
- [3] Bedi, E. *Obnoviteľné zdroje energie – energia bez konca*, Bratislava, Fond pre alternatívne energie, 2001 [online] (dostupné na: <http://www.seps.sk/zp/fond/obnov/3.htm>, citované dňa 21.7.2013).
- [4] Olah, G. A, Goepfert A., Prakash G.K.S. *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2006, ISBN 3-527-31275-7.
- [5] Sen, Z. *Solar energy in progress and future research trends*, 2004, s.347, [online] (dostupné na internete: <[http://thaienergy.org/files/18\\_ReviewSolar.pdf](http://thaienergy.org/files/18_ReviewSolar.pdf)>, citované dňa: 12.07.2013).
- [6] Libra, M., Poulek, V. *Zdroje a využití energie ČZU v Praze*, 2007 ISBN 978-80-213 1647-8.

- [7] *Slnko – najbližšia hviezda*, dostupné na internete [online] (dostupné na internete: [http://astroportal.sk/sol\\_syst/slnko.html](http://astroportal.sk/sol_syst/slnko.html), citované dňa 20. 7. 2013).
- [8] Dufková, M., Lipavský, M. *Obnoviteľné zdroje energie - ČEZ*, a. s. 2005. s. 7 [online] (dostupné na internete: [www.cez.cz/vzdelavaciprogram](http://www.cez.cz/vzdelavaciprogram), citované dňa 20. 7. 2013).
- [9] *Slnko – bezplatná energia* [online] (dostupné na internete: <http://www.solarfocus.sk/slnko-bezplatna-energia>, citované dňa 20. 7. 2013).
- [10] Murtinger, K. a kol. *Fotovoltaika. Elektrizácia ze slunce*, Brno ERA 2007 ISBN 978-80-7366-100-7.
- [11] Iliáš, I. a kol. 2006. *Možnosti využívania slnečnej energie*. Energetické centrum Bratislava. 2006. s. 10,12,16 ISBN 80-969466-0-9. [online] (dostupné na: [http://www.slnecaenergia.sk/ECB\\_Moznosti%20vyuzivania%20slnecej%20energie.pdf](http://www.slnecaenergia.sk/ECB_Moznosti%20vyuzivania%20slnecej%20energie.pdf)), citované dňa 20. 04. 2012)
- [12] *Energia Slnka*, [online] (dostupné na: <http://physedu.science.upjs.sk/sis/fyzika/environmentalna/enslnka/index.htm>, citované dňa 20. 7. 2013).
- [13] Tölgyessy J., Lesný, J. *Svet hľadá energiu*. Bratislava: Obzor, 1. vyd. 1979
- [14] Kostovčík, I., 2005, *Solárne riešenia* [online] (dostupné na: [http://www.solarne-riesenia.sk/?category=solarna\\_energetika&sub\\_category=ekonomika](http://www.solarne-riesenia.sk/?category=solarna_energetika&sub_category=ekonomika), citované dňa 20. 7. 2013).
- [15] *Výhody a nevýhody slnečnej energie*, 2007 [online] (dostupné na: [http://www.ipofe.sk/index.php?cmd=clanky&lang=svk&kateg=22&k\\_id=56&id=6](http://www.ipofe.sk/index.php?cmd=clanky&lang=svk&kateg=22&k_id=56&id=6), citované dňa 20. 7. 2013).
- [16] Poprac, M., *Veterná energia*, [online] dostupné na internete: [http://www.zmz.sk/doc/Materialy/Letaky/veterna\\_elektraren\\_velky.pdf](http://www.zmz.sk/doc/Materialy/Letaky/veterna_elektraren_velky.pdf), citované dňa 25.7.2013).
- [17] *Estetické narušenie krajiny inštalovaním veterných elektrární – foto* [online] (dostupné na: <http://www.energie-portal.sk/Dokument/veternej-energii-slabne-ekonomicky-vietor-100468.aspx>, citované dňa 26.7.2013).
- [18] Lepil, O. a kol. *Fyzika aktuálne*. PROMETHEUS spol. s r.o., Praha. 2009 ISBN: 978-80-7196-381-3
- [19] Fedorková, B., Široký, P., *Obnoviteľné zdroje energie – hudba budúcnosti alebo reálna a potrebná alternatíva? Výhody a nevýhody ich využitia nielen na Slovensku*. 2009, [online] (dostupné na: [http://www.zmz.sk/doc/Materialy/Brozury/Brozura\\_OZE\\_SKK\\_2010.pdf](http://www.zmz.sk/doc/Materialy/Brozury/Brozura_OZE_SKK_2010.pdf), citované dňa 25.7.2013).



- [20] Štefan Puškáš/TASR, Foto: *Vodné dielo Gabčíkovo* (dostupné na: <http://www.energia.sk/tema/obnovitelne-zdroje/vodna-elektraren-gabcikovo/7730/>, citované dňa 26.7.2013).
- [21] *Energia z biomasy*, dostupné na: <http://www.priateliazeme.sk/cepa/eportal/energia-z-biomasy>, citované dňa 28.7.2013).
- [22] *Mapa Slovenska s vymedzenými hydrogeotermálnymi oblasťami* (Zdroj obrázka: <http://www.platforma.ekofond.sk/moderne-vyucovanie/teoria/56-geotermalna-energia>, citované dňa 28.7.2013).
- [23] (Geotermálna energia, dostupné na: <http://www.platforma.ekofond.sk/moderne-vyucovanie/teoria/56-geotermalna-energia>, citované dňa 27.7.2013).
- [24] Ruisl, M. *Technika: Výroba vodíka*, [online] (dostupné na: <http://autoviny.zoznam.sk/cl/100223/610695/TECHNIKA--Vyroba-vodika>, citované dňa 21.7.2013).
- [25] Tkáč, L., Foto: Premena energie žiarenia na elektrickú energiu – komponenty reálneho vzdialeného experimentu.
- [26] WWW stránka reálneho vzdialeného experimentu Premena energie žiarenia na elektrickú energiu (dostupné na: <http://remotelab10.truni.sk/>)
- [27] Tkáč, L., Schauer, F.: *Prvé Slovenské internetové vzdialené prírodovedné e-laboratórium a pohľad študentov na využívanie experimentov na hodine fyziky*. In: Poznatky modernej fyziky a ich aplikácia do vyučovania fyziky : Ružomberok, 27. - 28. január 2011, Ružomberok: VERBUM - vydavateľstvo Katolíckej univerzity v Ružomberku, 2011, s. 45-55, ISBN 978-80-8084-798-2.
- [28] Kotka, F., *Vodík sa už dá skladovať bezpečne*, 2010 [online] (dostupné na: <http://www.hybrid.cz/clanky/vodik-sa-uz-da-skladovat-bezpecne> citované dňa 21.7.2013).
- [29] Horčík, J., *Vodíková ekonomika - vyplatí se?* 2006 [online] (dostupné na: <http://www.hybrid.cz/novinky/vodikova-ekonomika-vyplati-se>, citované dňa 21.7.2013).
- [30] „Čistá ekonomika“ je mimo dosahu, [online] (dostupné na: <http://www.euractiv.sk/ekonomika-a-euro/clanok/cista-ekonomika-je-mimo-dosahu>, citované dňa 26.7.2013).
- [31] Baláž, P. *Energia a jej vplyv na hospodársky rast vo svetovej ekonomike*. Sprint 2007, s.215, ISBN 978-80-89085-87-3.

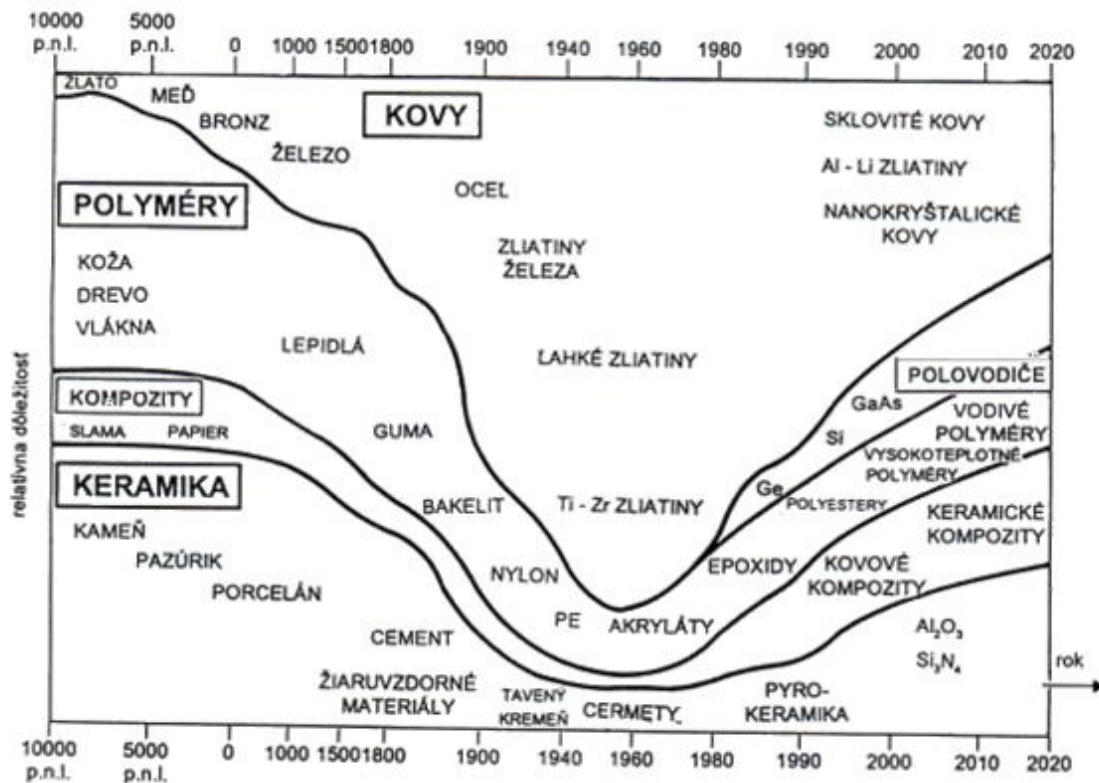
## 8 Fyzika materiálov

Jedna z oblastí, v ktorých z hľadiska ich vývoja a významu pre ľudstvo má fyzika nezastupiteľné miesto, je nepochybne oblasť materiálov. Ak pred zrodom kvantitatívnej vedy si ľudstvo na zlepšenie svojej situácie z hľadiska prežitia i z hľadiska zvýšenia svojho životného štandardu pomáhalo v podstate len materiálmi, ktoré nám príroda sama bezprostredne ponúka, v neskorších dobách i v súčasnosti, ale hlavne pokiaľ ide o budúcnosť, sa čím ďalej, tým intenzívnejšie používajú materiály, ktorých existencia a výhodné vlastnosti vyplývajú z rozvoja materiálovej vedy, ktorej bázou je hlavne fyzika. V tejto stati si najprv povšimneme, ako to s materiálmi v technickej praxi vyzeralo v dávnej i blízkej minulosti, potom upozorníme na rozvoj nových technológií v príprave nových, užitočných látok a upozorníme na nečakané nové materiály, ktoré nielenže zefektívňujú plnenie dôležitých funkcií, ale umožňujú aj konkrétnu realizáciu aplikácií, o ktorých človek donedávna ešte len sníval.

### 8.1 Historický prierez vývoja úžitkových materiálov

Ľudstvo potrebovalo pre svoje prežitie, a neskôr pre zabezpečenie vyššieho štandardu svojho života rozličné materiály. Stručný pohľad na spektrum používaných materiálov poskytuje zaujímavý poznatok: za celú desiatku tisícročí, ktorými doteraz prešiel “homo sapiens“ sa toto spektrum v globále nezmenilo. Tak ako pred 10 000 rokmi používal človek kovy, polyméry, kompozity a keramiku, to isté robí v podstate aj dnes a zrejme ani v budúcnosti sa na tom veľa nezmení. Menil sa len počet materiálov z jednotlivých skupín, ktoré boli k dispozícii a zreteľne sa menila aj dôležitosť týchto skupín. Symbolicky sa to pokúsil graficky zobrazit' M. Ashby na obrázku v časopise [1], ktorý s malou modifikáciou prezentujeme v tejto stati na obr. 8.1. Modifikácia spočíva v tom, že do výpočtu skupín v súčasnosti najviac používaných materiálov, považujeme za potrebné zaradiť polovodiče, ktoré tvoria základ celej mikroelektroniky a informatiky.

Obr. 8.1 realisticky vyjadruje skutočnosť, že pokiaľ ide o kovy, ich význam bol zo začiatku histórie ľudstva nulový, pretože jednoducho nejestvovali, po objavení bronzu a železa ich dôležitosť rapídne stúpla, až dosiahla vrchol v polovici minulého storočia a odvtedy sa ich význam opäť znižuje.



**Obr. 8.1** Historický prierez vývoja materiálov

Na túto tvrdú skutočnosť sme trochu doplatili aj my, pretože sme nekriticky precenili význam ťažkého strojárstva (metalurgie) a dnes máme problémy s odbytom.

V polovici minulého storočia bola produkcia kovových materiálov ukazovateľom vyspelosti jednotlivých krajín.

V posledných niekoľkých desiatkach rokov sa situácia radikálne zmenila. Enormne začala rásť produkcia iných materiálov, ktoré svojimi vlastnosťami boli schopné suplovať kovy. Ide najmä o keramické materiály, vysokopevné polyméry, štruktúrne kompozity a pod. O tom, že kovy stratili vedúcu pozíciu voči materiálom z ďalších skupín, t. j., kompozitom, keramike a polymérom, rozhodli dva faktory: Prvým je fakt, že tieto “náhradné” materiály sa svojimi vlastnosťami tradičným kovom nielen vyrovnali, ale ich aj prekonal. Druhým, a rozhodujúcim bol ekonomický faktor. Technológia mnohých progresívnych materiálov schopných nahradiť kovy, je z ekonomického hľadiska výhodnejšia [2].

I keď aj medzi polymérmi nachádzame látky s polovodivými vlastnosťami, predsa len polovodiče, ako základ celej súčasnej mikroelektroniky a informatiky, tvoria samostatnú a zreteľne vyprofilovanú skupinu materiálov, ktorá pred vyše polstoročím ešte vôbec nebola známa. Vzhľadom na ich stále rastúci význam je potrebné im v materiálovej klasifikácii vymedziť samostatnú priečku.

## 8.2 Súčasnosť v oblasti materiálov

Súčasnú situáciu v oblasti materiálov využívaných v inžinierskej praxi charakterizuje enormná pestrosť. Na realizáciu určitých konkrétnych zámerov existuje ponuka často celej plejády materiálov, pričom táto pestrosť má tendenciu v budúcnosti ešte ďalej rásť. Ak by sme sa predbežne zamerali najmä na elektrotechnické materiály, možno demonštrovať platnosť vyššie uvedeného tvrdenia na jednom konkrétnom príklade, a to na príklade materiálov využívaných v sensorovej technike, t. j. v oblasti snímania určitých technických parametrov ich premenou na elektromagnetické signály [3]. Tabuľka 8.1 obsahuje, bez nároku na úplnosť, v ľavej časti názov elektronického prvku, resp. okruhu materiálov používaných na konkrétne účely a v pravej časti príklady materiálov, ktoré sú ponúkané na trhu.

Až na malé výnimky, všetky v tabuľke uvedené materiály, patria do kategórie kremík. V súčasnosti sa do aplikácií tlačia polyméry, a to hlavne vďaka dobrým vlastnostiam polymérových molekúl. Môžu byť nosičmi rôznych potrebných látok (herbicídov, enzýmov, ...), ale môžu pôsobiť aj ako inhibitory korózie a oxidácie. Okrem toho ich vlastnosti sú často kompatibilné s biologickými materiálmi, takže sú vyhľadávané v medicíne ako náhrada za niektoré súčasti živého organizmu.

Polyméry sú zaujímavé aj z hľadiska prenosu elektrického náboja. Pri vhodnom dopovaní sú schopné takmer spojite prekryť celý interval elektrickej vodivosti medzi slabými vodičmi a izolantmi. Polyméry poskytujú aj netradičné metódy prípravy, napr. možno z nich vytvárať tenké vrstvy (Langmuir-Blodgettovej), ktoré nachádzajú uplatnenie najmä v mikroelektronike a sensorike. Ako materiály budúcnosti možno označiť kompozity, pretože poskytujú v podstate neobmedzené možnosti pre objavenie kombinácií s novými vlastnosťami.

V tejto súvislosti treba spomenúť neočakávaný objav – vysokoteplotné supravodiče, ako aj novú, širokú triedu látok, pre ktoré sa začína ujímať názov “inteligentné materiály“. Sú to materiály s “pamäťou“ a ich uplatnenie je najmä v robotike, ale aj v iných odvetviach ľudskej činnosti. Zdá sa, že v oblasti nových materiálov stále ešte možno očakávať prekvapenia.

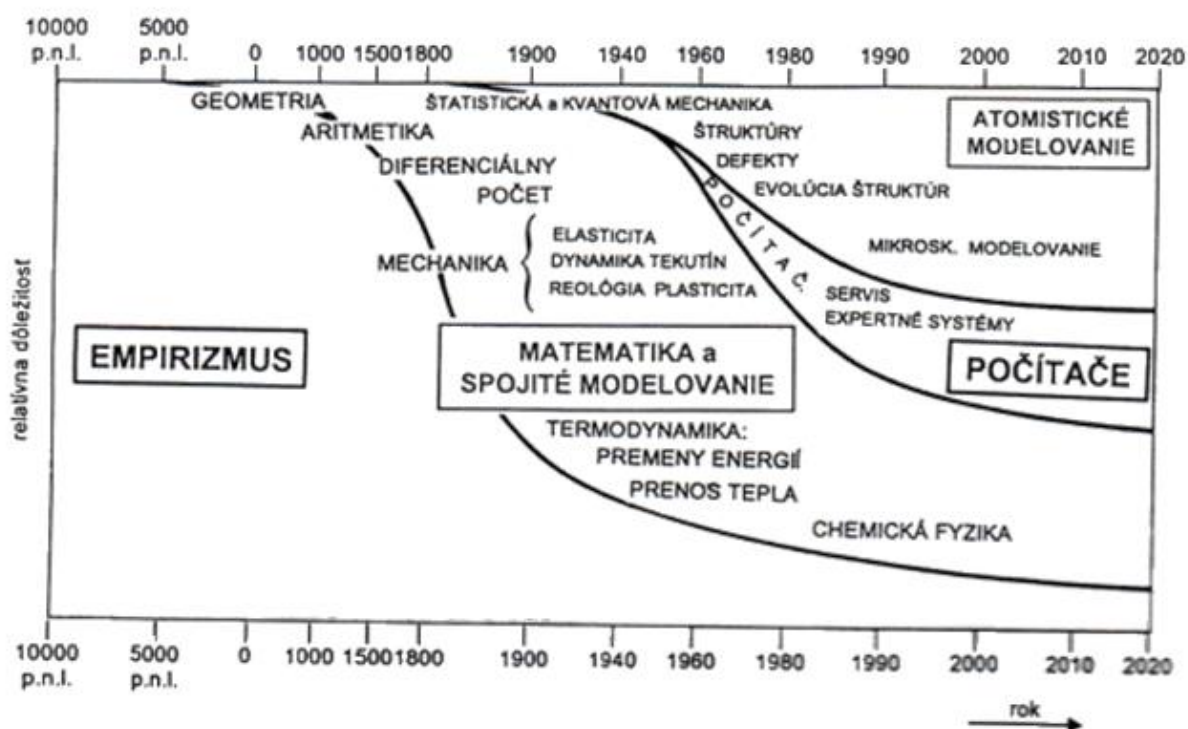
**Tabuľka 8.1** Názvy elektronických prvkov a materiálov používaných na konkrétne účely

<b>Prvky, typy látok</b>	<b>Konkrétne materiály</b>
vysokoteplotné rezistory	SiC
varistory	oxidy Ni, Co, Cu, BaTiO <sub>3</sub>
elektrické izolanty	porcelán, steatit, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
dielektriká do kondenzátorov	papier, BaTiO <sub>3</sub> , ...
nosné materiály pre mikroelektroniku	AlO, BeO, vrstvomá keramika
elektrooptické materiály	LiNbO <sub>3</sub>
elektrety	BaTiO <sub>3</sub> , Pb(Zr, Ti)O <sub>3</sub>
pyroelektriká	Sn <sub>0,5</sub> Ba <sub>0,5</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
feromagnetý, antiferomagnetý	MOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (M = Mn, Co, Ni, Zn, Ca), MnO, MnS, MnSe
amorfné kovové magnetiká	(FeCoNi) <sub>80</sub> (B,C,Si) <sub>20</sub>
ferity	(Mn,Zn)Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
vysokofrekvenčné jadrá	Y <sub>3</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub>
magnetické materiály pre záznam	Er <sub>2</sub> EuFe <sub>4</sub> Ga <sub>0,7</sub> O <sub>12</sub>
magnetický atrament	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + kvapalina
solárne články	CuInSn <sub>2</sub> , CdIn/CdS, am. Si
diódy, tranzistory, integrované obvody	Ge, Si, GaAs
IR detektory	PbS, PbSe, PbTe, InSb
lasery	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , +Cr, YAG, neodým. sklá
fotovodiče	Se, CdS, CdSe, ZnS, InP
luminofóry	ZnS, CdS, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Eu, YVO <sub>4</sub> Eu
elektroluminofóry	CdS, SiC, Ge, Si, ZnS
elektrochrómne materiály	WO <sub>2</sub> , IrO <sub>2</sub>
tuhé elektrolyty	Na v Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ca v ZrO <sub>2</sub>
dlhodobé emitéry elektrónov	BaO, LaB <sub>6</sub>
sekundárne emitéry elektrónov	MgO, Cs <sub>2</sub> O
termomateriály	Se <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> , Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>
tlakové snímače	Si
supravodiče pre Josephsonove spoje	Nb-Al
vysokoteplotné supravodiče	Y-Ba-Cu-O, Ta-Ba-Se-Cu-O

### 8.3 Vedecké prístupy k materiálove

Z hľadiska súčasného pohľadu na materiálove inžinierstvo zahŕňajúce tak otázku produkcie samotných materiálov, ako aj otázku ich aplikácií, možno rozlíšiť štyri dost' ostro vyhranené prístupy: 1. rýdzi empirizmus, 2. fenomenologická teória, 3. mikrofyzikálny prístup, 4. počítačové simulácie, či modelovanie.

Tieto štyri prístupy sú z hľadiska svojej histórie i významu znázornené na obr. 8.2 [1]. Z neho vidieť, že pomerne dlhú dobu vládla v materiálovom inžinierstve iba empiria, čo však nie je nijako prekvapujúce zistenie. Človek staval všetko na skúsenosti (svojej i svojich predkov) jednoducho preto, že žiadnej teórie nebolo.



Obr. 8.2 Vývoj prístupov v materiálovom inžinierstve

Empiricky nahromadené informácie umožnili tvorbu fenomenologických teórií, ktoré na základe chápania materiálu ako kontinua, boli schopné kvalitatívne a kvantitatívne opísať napr. procesy transportu látky, tepla, elektrického náboja, difúziu, reakčnú kinetiku, plasticitu a iné. Tieto teórie umožnili technickú revolúciu na prelome 19. a 20. storočia a ich význam ešte vzrástol, keď sa objavili počítače. Tie nielenže umožnili podstatne rýchlejšie riešenie technických problémov, ale celý proces technického rozvoja značne zefektívnil tým, že umožnili tzv. počítačové simulácie reálnych konštrukcií a procesov. Miesto náročného a drahého budovania reálnych modelov a skúšania v reálnej praxi, možno vopred pomocou

počítačovej simulácie nechať preskúšať prakticky ľubovoľný počet variantov a z nich vybrať pre konkrétnu realizáciu optimálny.

Fenomenologické teórie spolu s rozvinutou počítačovou technikou sa stali doslova motorom technického rozvoja, chýba im však jedna dôležitá schopnosť – možnosť poskytovať informácie o cestách vedúcich k zlepšeniu vlastností materiálov. Fenomenologické teórie sú v princípe opisné teórie, ktoré narábajú s určitými konštantami, avšak nepoznajú, ako tieto konštanty súvisia s mikrofyzikálnymi charakteristikami, t. j. s mriežkovými parametrami, defektmi mriežky a pod. Táto oblasť výskumu nazvaná na obr. 8.2 ako atomistické modelovanie, sa intenzívne rozvíja až v posledných desaťročiach, a to na základe kvantovej fyziky. Až aplikácia tohto prístupu do materiálového výskumu umožnila skutočne vedecky podložené predikcie, pretože tie sú založené na poznaní skutočného mechanizmu procesov determinujúcich technické parametre materiálov. Aj vďaka tomu sa v súčasnosti vyrábajú materiály s mechanickými, elektrickými, magnetickými, optickými a inými parametrami, takmer na hranici svojich fyzikálnych možností. Z obr. 8.2 vyplýva, že aj keď sa objavili atomistické prístupy, význam fenomenologických teórií sa príliš nezmenšil. Má to celkom logickú príčinu. Atomistické teórie sú príliš zložité na to, aby sa mohli bezprostredne používať v technickej praxi. Ako určitú výnimku možno spomenúť tzv. “inžinierstvo  $\Psi$  funkcie“. Je to modelovanie mikroelektronických štruktúr, vychádzajúce priamo zo znalostí kvantovo-mechanickej funkcie. Treba však poznamenať, že ani rozvoj v oblasti “kontinuálnych“ teórií neustrnul a v rámci nich sa v súčasnosti podrobne rozpracovali teórie (založené na synergetickom prístupe), ktoré majú závažné, a pre prax v oblasti aplikácie materiálov, veľmi potrebné prednosti – sú schopné predvídať náhle kvalitatívne zmeny vlastnosti materiálov (a konštrukcií), napr. stratu stability, a tým zabrániť katastrofám (je známe, že napr. v roku 1940 sa zo “synergetických“ príčin zrútil most Tacoma Narrows len 3 mesiace po svojom dokončení).

## 8.4 Klasické a súčasné technológie

Nie je príliš zaujímavé zaoberať sa podrobne klasickými technológiami, pretože sú všeobecne známe. Sú založené na chemických postupoch, ktorých cieľom je príprava vstupných zložiek, čistenie od nežiaducich látok a príprava nových látok, a na fyzikálnych postupoch, ktoré využívajú najmä zákonitosti uplatňujúce sa pri fázových premenách, tepelnom spracovaní, mechanickom formovaní a pod.

Určitým dosť prekvapujúcim obohatením technologických postupov pri výrobe materiálov bolo tzv. rýchle chladenie. Metódou rotujúceho valca možno dosiahnuť rýchlosti

ochladenia vystreknutej taveniny až na úrovni  $10^6$  K/s, čo postačuje na to, aby kovová tavenina nemohla vykryštalizovať a aby vzniknutá kovová páska mala sklovitú štruktúru. Prekvapujúcim bolo pri tom zistenie, že pásy s takouto štruktúrou majú lepšie vlastnosti ako kryštalické materiály, napr. umožňujú kombinovať pružné mechanické vlastnosti s veľmi dobrými magnetickými vlastnosťami. Ďalším pokrokom v tejto oblasti je príprava tzv. nanokryštalických materiálov.

Ako veľmi progresívnu možno označiť v súčasnosti technológiu "povrchového inžinierstva", ktorej cieľom je povrchovou úpravou zmeniť objemové vlastnosti materiálov. Táto technológia začína stierať rozdiely medzi, na začiatku spomínanými, skupinami materiálov, t. j. medzi kovmi, keramikami, kompozitmi a polymérmí. Používajú sa tu metódy vákuového naparovania, metódy epitaxie z plynnej a kvapalnej fázy a iónové bombardovanie. Týmito technológiami možno nielen uspôsobiť polovodiče na plnenie rozličných funkcií v mikroelektronike, ale napríklad zabrániť korózii, uspôsobiť povrch látok z hľadiska hydrofilicity, katalycity, tepelnej odolnosti atď. Týmito úpravami možno pripraviť vhodné materiály pre špeciálne aplikácie, napr. v raketovej technike, v lekárstve, v zamorených a chemicky agresívnych prostrediach a pod.

Pre určité konkrétne oblasti aplikácií sa vyvinuli technológie, ktoré pripravujú vzorky materiálov takmer podľa želania. Možno spomenúť metódu MBE (molekulárna lúčová epitaxia), ktorou možno pripraviť tenké vrstvy podľa zadania predlohy na skladbu a štruktúru jednotlivých vrstiev a na ich pravidelné striedania (výroba supermriežok). Možno konštatovať, že tým sa technológia materiálov dostáva k svojej prirodzenej hranici - príprave takmer po jednotlivých atómoch. Netreba pripomínať, že takáto technológia je enormne drahá.

Všeobecnou charakteristikou všetkých doterajších i súčasných technológií je to, že sú to technológie pracujúce "per partes" na základe zvonku naprogramovanej postupnosti. Ak je potrebné napríklad vyrobiť čip s  $10^6$  prvkami, potom treba zariadiť, aby sa príslušná dotácia dostala na patričné miesta, čo možno dosiahnuť zložitými operáciami využívajúcimi litografiu. Vzniká však otázka, či by nebolo možné zariadiť výrobu takýchto výrobkov tak, aby si systém sám zorganizoval potrebnú "štrukturalizáciu". Porovnaním "prírodných technológií", a to tak v živom, ako aj neživom svete, zisťujeme, že príroda to tak robí. Štrukturalizovala plynovú hmotu do galaxií, galaxie do hviezd, uskutočňuje sa štrukturalizácia piesku do dún, snehu do pravidelných závejov, dymu do chumáčov, mračien do "baránkov", farieb živočíchov do pásov a iných mozaík a samoorganizuje si aj prácu súvisiacu s takým veľkým komplexom, akým je mozog. Všetky uvedené procesy sú prakticky spontánne (bez vonkajšej organizácie). Keby sme poznali mechanizmy týchto



samoorganizujúcich sa procesov, mohli by sme sa pokúsiť preniesť tieto metódy do technológie. Možno povedať, že základné idey tohto samoorganizujúceho procesu sú nám už známe.

Spontánnny vznik štruktúr je podmienený “bojom“ dvoch činiteľov: štruktúrovaného a deštruktívneho. Prvým môžu byť ďalekodiosahové sily (gravitačné, elektromagnetické), chemizmus (najmä autokatalýza) a iné. Druhým býva spravidla difúzia, resp. jej podobný proces.

Lahko možno ukázať, že podstatne jednoduchšie možno vytvoriť podmienky pre vznik štruktúr v dvojzložkovom systéme. Nevyhnutnou podmienkou vzniku štruktúr v takýchto systémoch je dostatočná rozdielnosť difúzných koeficientov. Zdá sa preto technicky realizovateľným experiment, v ktorom by plazma zložená z dvoch druhov atómov mohla diferencovane difundovať do tuhej látky.

V prírode sa stretávame ešte s jedným veľmi zaujímavým “technologickým“ procesom, ktorý spontánne generuje zvláštne štruktúry, ktorý sa však v laboratóriách a vo výrobe doteraz nevyskytuje. Je to proces charakterizovaný chaotickou dynamikou, výsledkom ktorého sú produkty s tzv. fraktálnou štruktúrou. Sú to často perfektne usporiadané štruktúry, avšak navzájom neidentické. Typickým príkladom sú snehové vločky. Každá vločka je sama o sebe dokonalým výtvorom, ale nejstávajú ani dve vločky, ktoré by boli úplne rovnaké. Podobné “výrobky“ vznikajú napr. pri vhození kvapky neviskózne kvapaliny do viskózne (tzv. viskózne prsty), pri prudkej kryštalizácii (pri vhození kvapky olova do vody) a pod. Zatiaľ prax preferuje podľa možnosti absolútne unifikované výrobky a o výrobky fraktálneho typu nejaví záujem.

Faktom v súčasnosti už je manipulácia s jednotlivými molekulami a atómami, preto celkom logicky sa objavuje myšlienka výroby prvkov a súčiastok takýmto mechanizmom. Praktickej realizácii takejto technológie však bráni to, že proces výroby žiadaných produktov takýmto “skladaním“ atómov a molekúl by bol časovo nesmierne zdĺhavý. Jedna – jediná súčiastka by sa vyrábala niekoľko desiatok rokov. Ukazuje sa, že prekonať tento nedostatok by bolo možné dvoma spôsobmi. Prvým z nich je vyrábať produkty skladaním z hotových blokov, na druhý (takmer exotický) spôsob nás upozornili biológovia. Všimli si, že napríklad pokožka mnohých hadov pozostáva z atómov vzácnych prvkov, ktoré sa pri raste organizmov selektujú z morskej vody. Robia to vhodné nanobaktérie a vírusy, a tak sa zrodila myšlienka využiť na produkovanie vhodných súčiastok živé nanobaktérie a nanovírusy (pozri napr. článok [4]). V tejto práci sa demonštruje, že nanovírusy možno v praxi využiť na výrobu vhodných tekutých kryštálov, nanovodičov a nanoelektrod do mikrobaktérií. Tak sa začína

rodiť nová progresívna technológia s názvom “virálna nanoelektronika“. Až ďalší vývoj však môže ukázať, do akej miery môže byť takáto technológia konkurencie schopná.

## 8.5 „Exotické“ aplikácie materiálov

V poslednej dobe sa v literatúre objavili názory využitia niektorých špeciálnych materiálov na riešenie aktuálnych potrieb modernej civilizácie. Spomenúť možno napríklad takéto aplikácie:

- a) zintenzívnenie miniaturizácie s využitím spinov elementárnych častíc,
- b) využitie materiálov vyznačujúcich sa samočistiacim efektom,
- c) využitie materiálov zabezpečujúcich zneviditeľnenie objektov,
- d) využitie tzv. efektu s názvom “*entanglement*“.
- e) využitie tzv. grafénov.

**Nanoelektronika-spintronika-iontoelektronika** – doteraz sa využívali najmä v elektronike vlastnosti malých komplexov, vrstiev materiálov, maximálne komplex molekúl alebo atómov. V novej etape vývoja, ktorá nás ešte čaká, bude možné využiť aj vlastnosti jedinej sólovej elementárnej častice, napr. spin elektrónov. Z kvantovej fyziky je známe, že keď sa častica môže nachádzať v dvoch jednoznačne definovaných stavoch (spin “hore“ a spin “dole“), potom sa môže vyskytovať aj v stavoch, ktoré sú definované ľubovoľnou kombináciou týchto základných stavov, a takých je nespočetne veľa. Ide o to, aby sme ich dokázali v praxi využiť. Na tom sa už intenzívne pracuje. Ukazujúca sa nová etapa, založená na využívaní spinov (tzv. spintronika), posunie miniaturizáciu do takej úrovne, že podľa prognóz známeho manažéra Kurzweila – do súčasného malého osobného počítača sa budú môcť uložiť informácie o všetkých poznatkoch, ktoré ľudstvo doteraz dosiahlo vrátane informácií o všetkých ľuďoch na celej zemi.

**Samočistiace materiály** – samočistiaci tzv. “*lotus effect*“ je spôsobený povrchom lotosového listu, jeho extrémnou hydrofóbnosťou (odpuďzovaním vody). Či je materiál hydrofóbny alebo hydrofilný (príťažlivosť vody), závisí od uhla kontaktu medzi materiálom a povrchom vody. Mikroskopické vyvýšeniny na lotosovom liste menia jeho voskový povrch extrémne odpuďzujúcim vodu. Kvapky dažďa sa ľahko skotúľajú po povrchu, odstraňujúc akékoľvek znečistenie [5]. Výskumníci vyvinuli syntetické samočistiace materiály založené na “*lotus effect-e*“. Dá sa využiť opačná vlastnosť superhydrofilnosti na katalytické chemické reakcie. Budúce materiály môžu mať kombinované afinitné vlastnosti, ktoré bude možné meniť/prepínať dopredu a späť na riadenie toku kvapalín cez mikrofluidné komponenty. Pre hydrofilnosť vedúcu úlohu hrá titán dioxid (oxid titaničitý). Ak na titán pôsobíme

ultrafialovým svetlom, môžeme rozštiepiť vodu na kyslík a vodík. Pri zvýšenej účinnosti by sa mohol splniť dávny sen výskumníkov na získanie čistej energie. Z výskumov vyplýva, že tenký film titánu v rozsahu niekoľkých nanometrov až mikrometrov funguje účinnejšie než väčšie častice. Tenký film titánu, rádovo niekoľko nanometrov, aktivovaný ultrafialovým svetlom, má fotokatalytický efekt, schopnosť rozkladať organické zlúčeniny aj v stenách buniek baktérií na oxid uhličitý a vodu. Titán je fotokatalytický, pretože je polovodič, určitá energia je potrebná, aby sa elektrón z valenčného pásma dostal cez obsadené energetické úrovne a zakázané pásma do prázdneho vodivostného pásma, kde elektróny môžu prenášať elektrický prúd. V prípade titánu ožiareného ultrafialovým svetlom vlnovej dĺžky 388 nm nastane takáto situácia: vzniknú dva pohyblivé náboje – elektrón, ktorý je vyzdvihnutý do vodivostného pásma a na jeho mieste diera vo valenčnom pásme, správajúca sa ako kladne nabitá častica. Pokiaľ sú tieto dva náboje voľné, môžu interagovať s vodou a kyslíkom pri povrchu titánu vytvorením aniónu  $O^{2-}$  a vysokoreaktívneho hydroxylového radikálu, ktorý môže meniť organické zlúčeniny na  $CO_2$  a  $H_2$ . Okenné sklá obtiahnuté nanovrstvou titánu sú obrovským pokrokom a využívaním samočistiaceho efektu.

**Zneviditeľnenie objektov** – výskumníci objavili, že môžu optické signály vtlačiť do nepatrných káblov a použitím svetla vyprodukovať elektrónové vlny rôznej hustoty, zvané plazmóny. Elektronické obvody z plazmónov by mohli pomôcť konštruktérom počítačových integrovaných obvodov vyrobiť rýchle spoje, ktoré umožnia prenos veľkého množstva údajov cez integrovaný obvod. Komponenty z plazmónov by mohli zlepšiť rozlíšenie mikroskopov, účinnosť svetelných diód (LED) a citlivosť chemických a biologických detektorov. Niektorí výskumníci dokonca uvažujú, že plazmonické materiály by mohli meniť a ovplyvniť elektromagnetické pole okolo objektov do takej miery, že by sa stali neviditeľnými [5].

Pokiaľ ide o možnosti zneviditeľnenia objektov, vo vzdialenej budúcnosti sa rysujú ešte aj iné nečakané možnosti. Už prakticky nespochybniteľne vieme, že v medzigalaktických priestoroch, ale aj priamo v galaxiách, sa nachádza množstvo tzv. tmavej, čiže neviditeľnej hmoty. Tá pôsobí navonok len prostredníctvom gravitačných síl, ale prakticky o sebe nedáva nijako vedieť. Keby sa nám podarilo zistiť, z akých častíc pozostáva (ich pracovný názov je WIMP-y – slabo interagujúce masívne častice), potom by z nich vyrobené objekty boli prakticky neviditeľné. Takúto úlohu môže plniť plast z metamateriálu (umelo vyrobené materiály, ktoré sa v prírode nevyskytujú) so záporným indexom lomu. V takom prípade by lúče svetla jednoducho zahalene teleso "obtiekli".

Zjednodušene povedané fenomén "entanglement" zabezpečuje okamžitý prenos informácie na ľubovoľnú vzdialenosť a v ľubovoľnom čase. Prakticky sa doteraz demonštroval na príklade dvoch lineárne polarizovaných fotónov vygenerovaných z jediného

všeobecne priestorovo polarizovaného fotónu. Tieto dva fotóny predstavujú kmitanie elektromagnetickej vlny v dvoch prísne vzájomne kolmých rovinách, a ak sa vynúti zmena v podobe tejto roviny u jedného z nich, druhý na to okamžite zareaguje aj zmenou svojej polarizačnej roviny, bez ohľadu na to, ako ďaleko sa od prvého z fotónov nachádza. Tento jav má šancu sa využívať najmä v tzv. kryptografii.

Grafény sú objavom posledných niekoľkých rokov. V podstate ide o súvislé monomolekulárne vrstvy uhlíka, ktorým sa predpovedá veľká budúcnosť najmä v oblasti mikroelektroniky.

### **Literatúra:**

- [1] Asby, M., F. *Technology of the 1990 s. Advansed materials and predictive design.* trans. Sve. Lond. A 322 (1987).
- [2] Kelly, A. An out line of trends in materials science and processing. In: *Mater. Sci. and Eng.* 85 (1987).
- [3] Krempaský, J. *Súčasnosť a perspektíva materiálov a technológií* 47 (1994).
- [4] Ross, P., E. Viral Nanoelectronics. In: *Scient. Amer.* 31 (2006).
- [5] *Scientific American*, apr. 2007, [online], (dostupné na: [www.sciam.com](http://www.sciam.com), citované dňa 04.02. 2013)

## 9 Fyzika v biológii a v medicíne

Biológia sa zaoberá živými systémami. Život je zrejme to najdôležitejšie a najcennejšie, čo na našej Zemi vzniklo. Aj keď sa už problému života venovalo nesmierne veľa úsilia a napísalo o ňom nespočetné množstvo literatúry, pravdou je, že doteraz vlastne nevieme tento fenomén exaktne a vyčerpávajúco definovať. Pre biológa je fundamentálnym pojmom bunka, lenže bunka je už nesmierne komplikovaný produkt dlhého vývoja, v ktorom dominantným činiteľom bola fyzika a jej zákony. Je preto predovšetkým na fyzikoch, aby sa pokúsili objasniť etapu pred bunkovej evolúcie. Pre lepšiu prehľadnosť si ju rozdelíme na niekoľko charakteristických etáp. Sú to:

- etapa vzniku základných biologických surovín, najmä uhlíka a kyslíka,
- etapa vzniku anorganických a organických látok,
- etapa vzniku autokatalýzy,
- vznik časových oscilácií, priestorových štruktúr a selekcie a
- vznik génov.

### 9.1 Vznik uhlíka a kyslíka

Základnou surovinou všetkého živého je uhlík, preto je fundamentálne dôležité objasniť, kde a ako sa vo vesmíre objavil tento chemický prvok. Vo svojom jadre obsahuje 6 protónov a 6 neutrónov a vo svojom obale má 6 elektrónov. Keďže už vieme, že v prvotných štádiách hviezd sa v dôsledku vysokej vnútornej teploty spaľoval vodík na hélium, ktoré obsahuje v jadre 2 protóny a 2 neutróny, najjednoduchšou predstavou o vzniku jadra uhlíka by mohlo byť vzájomné spojenie troch jadier hélia do jedného celku. Celkom logicky by totiž mohla platiť schéma:



Z fyzikálnych zákonov však vyplýva, že takýto proces vzájomného stretnutia troch héliových jadier na jednom mieste a v dostatočnej časovej dĺžke má prakticky nulovú pravdepodobnosť. Logickejšou sa preto javila predstava, že sa najprv spoja dve héliové jadrá do jadra berýlia a potom sa k ním pripojí ešte jedno héliové jadro. Meranie však ukázalo, že skôr, ako sa môže k jadrú berýlia pripojiť ešte jedno jadro hélia, sa toto jadro rozpadne, preto sa musela akceptovať téza, že týmto mechanizmom sa uhlík v jadre hviezd nemôže generovať. V tejto neriešiteľnej situácii prišiel anglicky fyzik F. Hoyle s odvážnou myšlienkou, že musí existovať určitá privilegovaná energetická hladina (tzv. rezonančná

hladina), na ktorej jadro berýlia zostáva kompaktné dostatočne dlhú dobu na to, aby sa k nemu stihlo pripojiť jadro hélia, Experimentátori túto myšlienku vynikajúco potvrdili a tak už v súčasnosti vieme, ako sa vo vesmíre zrodil uhlík.

Ukázalo sa však, že tomuto mechanizmu hrozí ešte aj iné vážne nebezpečenstvo. Po prijatí ďalšieho jadra hélia sa totiž jadro uhlíka mení na jadro kyslíka podľa schémy:



Ak by aj tento proces mohol prebiehať tak spontánne, ako proces syntézy jadier uhlíka, potom by sa všetok vyrobený uhlík premenil na kyslík, a teda tak či onak by vesmír zostal bez uhlíka. Zasiahla však opäť podivná náhoda - proces premeny uhlíka na kyslík prebieha nie ako exoenergetický (pri ktorom sa energia uvoľňuje), ale ako endoenergetický, teda taký, ktorý na svoj priebeh vyžaduje prísun energie z okolia. A tak sa stalo, že pri vhodnom „nastavení“ technických parametrov prebiehajúcich procesov sa vo vesmíre vyrobilo toľko uhlíka i kyslíka, koľko „bolo treba“ na to, aby sa vo vesmíre vytvoril a trvale udržoval život.

Ostatné chemické prvky (až po železo) sa tiež tvorili vnútri hviezd, avšak prvky nad železom uzreli svetlo sveta až po kolapse hviezd, ktoré vybuchli, keď sa v ich vnútri vyčerpalo všetko palivo. Sú to známe novy či supernovy, ktoré zaznamenali už aj starí astronómovia.

## 9.2 Vznik anorganických a organických látok

Keď sa už vo vesmíre objavili chemické prvky, tie začali medzi sebou vzájomne interagovať, čím sa vytvárali anorganické látky. Vieme však, že život môže existovať len na báze organických látok, preto evolučná teória vzniku života musí objasniť, ako sa mohli z anorganických látok spontánnym vývojom vytvoriť organické látky. Dlhو vládlo presvedčenie, že všetky organické látky sú výlučne produktom len živých systémov a nemožno ich získať syntézou anorganických látok. Bariéra sa prekonala, keď sa nemeckému chemikovi F. Wöhlerovi podarilo vyrobiť z anorganických látok organickú zlúčeninu – močovinu. Tým sa však problém ešte celkom nevyriešil, pretože takáto syntéza vyžadovala špeciálnu technológiu a komplikovanú aparatúru. Tie, samozrejme v prebiotckej ére neboli k dispozícii.

Na základe už známej a dobre rozpracovanej teórie vzniku nových kvalít, tzv. synergetiky, však vieme, že k zmene kvality systému môže dôjsť vtedy, keď sa tento systém dostane do nelineárneho režimu, čiže do stavov dostatočne vzdialených od rovnováhy a keď

sa objaví vhodná porucha. Z tohto poznatku bolo možné dedukovať, že v búrlivej ére tvarovania planéty, keď sa anorganické systémy celkom prirodzene dostávali do stavov vzdialených od rovnováhy, mohlo dochádzať k zmene ich kvality, čiže aj k vzniku organických látok. Anorganické systémy, ktoré boli vtedy k dispozícii, boli najmä systémy zložené z vody, vodnej pary, amoniaku a vodíka. Príčinami, ktoré ich privádzali do stavov vzdialených od rovnováhy, mohli byť napríklad elektrické výboje, výbuchy sopiek, veľké mechanické tlaky a pod. O tom, že nejde len o planú špekuláciu, nás presvedčili experimenty amerického biológa S. L. Millera, ktorý nechal na uvedené systémy dlhodobo pôsobiť elektrické výboje. Asi po týždni zistil, že v banke, v ktorej boli skúmané látky umiestnené, sa okrem anorganických látok objavila aj desiatka rozličných organických látok (tzv. aminokyselín). To sú už vlastne zárodoky organických substancií všetkých organických substancií potrebných pre život. Príroda si teda sama svojim vývojom vygenerovala materiálnu bázu aj pre živé systémy.

### 9.3 Autokatalýza

Keď hlbšie skúmame procesy vedúce k oživeniu mŕtvej hmoty a potom procesy, ktoré život udržiavajú, zistíme, že okrem už spomínaných javov, akými sú napríklad časové či priestorové oscilácie, sa tu objavujú aj ďalšie zaujímavé fenomény. Spomenúť treba predovšetkým tzv. selekciu (už na molekulárnej úrovni) a morfogenézu, čiže vznik rozličných tvarov. Môžeme si klásť otázku, či každý z už uvedených špecifických javov má svoju vlastnú príčinu, alebo či za všetkými nemožno objaviť nejakú spoločnú príčinu, ktorá sa na rozhraní medzi živým a neživým vo vývoji prírody celkom zákonite objavila. Ukázalo sa, že pravdivá je druhá verzia. Hľadaná spoločná príčina životne dôležitých procesov sa nazýva *autokatalýza*.

Z chémie vieme, čo je to katalýza. Je to proces, ktorým sa tvorba nových produktov urýchľuje pomocou nejakej špeciálnej látky (katalyzátora), ktorá sa však v samotnom procese nespotrebuje, ani nemení. Je však teoreticky mysliteľný ešte aj iný efektívny proces urýchľujúci syntézu nových látok. Napadne nás vtedy, keď si zaznamenáme formálny prírastok počtu molekúl nového produktu za jednotku času s uvažovaním jeho tvorby a súčasne aj možného rozpadu. Príslušná rovnica má tvar:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = a - bn. \quad (9.3)$$

Katalyzátor nám zväčšuje hodnotu konštanty  $a$ , ale omnoho väčší efekt na rýchlosť syntézy by mal fakt spočívajúci v zmene znamienka (-) u konštanty  $b$  na (+). Potom by totiž platila úmernosť:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx bn, \quad (9.4)$$

čo by značilo, že tým rýchlejšie by sa produkovala nová látka, čím viac sa jej už vyrobilo. Samotná produkovaná látka by sa sama sebe stala katalyzátorom. Príslušný proces by potom bolo prirodzene nazvať autokatalýzou. Otázka len je, či sa také niečo dá naozaj aj realizovať. Je zrejmé, že „sólové“ chemické reakcie nikdy nemôžu byť autokatalytické. Syntéza vody z atómov vodíka a kyslíka predsa nemôže závisieť od toho, koľko vody sa už vyrobilo. Ukázalo sa však, že to čo nie je možné uskutočniť pomocou „sólových“ reakcií, možno docieľiť komplexom vzájomne prepojených chemických reakcií. Keď sa teda chemická realita vývojom už dostatočne skomplexnila, bolo možné celkom prirodzene očakávať aj vznik autokatalýzy, čo vlastne pripravilo most medzi neživým a živým svetom.

Dodajme len, že experimenty tieto myšlienky vynikajúco potvrdili. Výborným ilustratívnym príkladom autokatalýzy je napríklad systém rodičia – potomstvo. Čím je viac rodičov, tým početnejšie je ich potomstvo. Pomerne ľahko sa možno presvedčiť o tom, že pri vzniku časových oscilácií a priestorových štruktúr má skutočne dominantnú úlohu člen typu (9.4). Teraz sa však presvedčíme o tom, že tak je to aj v prípade selekcie už na molekulárnej úrovni.

## 9.4 Selekcia

Jednou z neobyčajne dôležitých vlastností živých systémov je selekcia. Ukážeme si teraz, že už na úrovni našich jednoduchých modelov možno túto vlastnosť matematicky veľmi dobre ozrejmiť. Uvidíme, že na tento účel nám postačí použiť najjednoduchší autokatalytický systém, pričom sa musí uvážiť skutočnosť, že z nejakej vstupnej suroviny s koncentráciou  $n_0$  sa syntetizujú zložky (budeme uvažovať iba dve) s koncentraciami  $n_1$  a  $n_2$ , čím sa koncentrácia východiskovej látky mení. Na trvale fungovanie systému sa musí zabezpečiť trvalý prísun suroviny. Intenzitu tohto prísunu označíme symbolom  $J_0$ . (Značí prírastok koncentrácie za jednotku času.) Ak ešte uvážime, že syntetizované látky sa môžu spontánne aj rozpadáť na iné látky, ktoré systém vypudzuje do okolia, ľahko zistíme, že celý uvažovaný proces možno opísať rovnicami:

$$\frac{\Delta n_1}{\Delta t} = a_1 n_0 n_1 - b_1 n_1,$$



$$\frac{\Delta n_2}{\Delta t} = a_2 n_0 n_2 - b_2 n_2, \quad (9.4)$$

$$\frac{\Delta n_0}{\Delta t} = J_0 - (a_1 n_1 + a_2 n_2) n_0.$$

Analýza riešenia ukazuje, že selekcia „nastúpi“ vždy vtedy, keď systém nejakým spôsobom obmedzíme. Zvolíme si podmienky, ktoré obmedzujú vstupný tok – nech je jeho intenzita konštantná. Stacionárne riešenia pre príslušné koncentrácie vyplývajú z rovníc:

$$(a_1 n_1 + a_2 n_2) n_0 = J_0,$$

$$(a_1 n_0 - b_1) n_1 = 0,$$

$$(a_2 n_0 - b_2) n_2 = 0.$$

Tieto rovnice možno splniť dvoma skupinami riešení:

I. skupina

$$n_{1s} = 0$$

$$n_{0s} = \frac{b_2}{a_2} \quad (9.5)$$

$$n_{2s} = \frac{J_0}{a_2 n_{0s}} = \frac{J_0}{b_2}$$

II. skupina

$$n_{2s} = 0$$

$$n_{0s} = \frac{b_1}{a_1} \quad (9.6)$$

$$n_{1s} = \frac{J_0}{a_1 n_{0s}} = \frac{J_0}{b_1}$$

Stabilitu týchto riešení preskúame metódou malých porúch, ktorú sme už viackrát použili. Ľahko zistíme, že pre I. skupinu riešení v prípade poruchy platia rovnice:

$$\frac{\Delta y_1}{\Delta t} = \left( \frac{a_1 b_2}{a_2} - b_1 \right) y_1$$

$$\frac{\Delta y_2}{\Delta t} = \left( \frac{a_2 b_2}{a_2} - b_2 \right) \left( \frac{J_0}{b_2} + y_2 \right) = 0$$

Využitím poznatku, podľa ktorého takýmto rovniciam môže vyhovieť funkcia typu  $\Delta y = p y \Delta t$ , dokážeme, že zatiaľ čo druhá porucha zostáva konštantná, parameter  $p_1$  u prvej spĺňa reláciu:

$$p_1 = b_1 \left( \frac{a_1 b_2}{a_2 b_1} - 1 \right) = b_1 (K - 1). \quad (9.7)$$

Analogicky by sme pre druhú skupinu riešení dokázali, že tu zasa prvá porucha zostáva konštantná a parameter  $p_2$  u druhej poruchy má vyjadrenie:

$$p_2 = b_2 \left( \frac{a_2 b_1}{a_1 b_2} - 1 \right) = b_2 \left( \frac{1}{K} - 1 \right). \quad (9.8)$$

Vidíme, že pri  $K < 1$  je prvý komplex riešení stabilný a druhý nestabilný, kým v druhom prípade (pri  $K > 1$ ) je to naopak. Aj keby sa z nejakých príčin pri  $K < 1$  realizoval druhý komplex riešení, pri nepatrnej poruche by sa systém destabilizoval a vznikla by situácia zodpovedajúca prvému komplexu. Dvojzložkový systém, v ktorom prebiehajú autokatalytické biomolekulárne reakcie, preferuje teda jednoznačne len jednu z dvoch možností, takže v ňom naozaj vznikla selekcia.

Podobným postupom by sme dokázali, že pri syntéze  $m$  látok zo suroviny pri podmienke  $J_0 = \text{konšt.}$ , je len jedno z  $m$  možných riešení stabilné, takže v ustálenom stave trvale produkuje len jednu z  $m$  možných látok.

V literatúre sú už pomerne dobre opísané a vysvetlené procesy morfogénny, t.j. vzniku rozličných tvarov, rozličných sfarbení a pod. Teória aj týchto javov je však už dosť zložitá, a preto sa týmto problémom už nebudeme zaoberať. Z podobných príčin vynecháme aj pojedanie týkajúce sa génov.

## 9.5 Fyzika v medicíne

Nie je potrebné zdôrazňovať, že prevažná časť experimentálnych metód v oblasti diagnostiky (a často aj terapie) pracuje na báze fyzikálnych princípov a zákonov. Fyzika sa v tejto oblasti prezentuje viac menej v pozícii nesmierne dôležitého servisu. V poslednej dobe však možno zaregistrovať aj snahy aplikovať moderné poznatky z fyziky aj v oblasti objasňovania podstaty mnohých komplikovaných fyzikálno-chemicko-biologických procesov a ochorení. Spomenúť možno napríklad imunologické procesy, choroby leukémie a AIDS, procesy prebiehajúce v mozgu a pod.

V uvedených prípadoch sa však už stretávame s procesmi a javmi, v ktorých sa zreteľne prejavuje diskretnosť systémov, keďže pozostávajú často už z pomerne veľkých biomolekúl a mikroorganizmov. Spracovanie aj týchto problémov už vyžaduje iné prístupy, než aké sme doteraz používali v prípadoch tzv. spojitého systémov. Základom analýzy sú v tomto prípade tzv. logistické evolučné rovnice, ktoré narábajú s počtami jednotlivých elementov tvoriacich systém. Teraz sa s nimi trochu bližšie oboznámime, pretože často z nich vyplývajú aj závery, ktoré sa principiálne líšia od záverov platných pre spojité systémy.

Charakteristickým znakom evolúcie diskretných systémov je to, že ich počty sa v pravidelných intervaloch skokom menia. Tento počet na  $n$ -tom kroku budeme značiť symbolom  $q_n$  a príslušný počet v  $(n + 1)$ -om kroku môžeme všeobecne vyjadriť vzťahom:

$$q_{n+1} = F(q)q_n. \quad (9.9)$$

Funkcia  $F(q)$  môže byť aj veľmi zložitá. V najjednoduchšom prípade to môže byť konštanta. Označme ju symbolom  $\lambda$ , takže platí rovnica:

$$q_{n+1} = \lambda q_n. \quad (9.10)$$

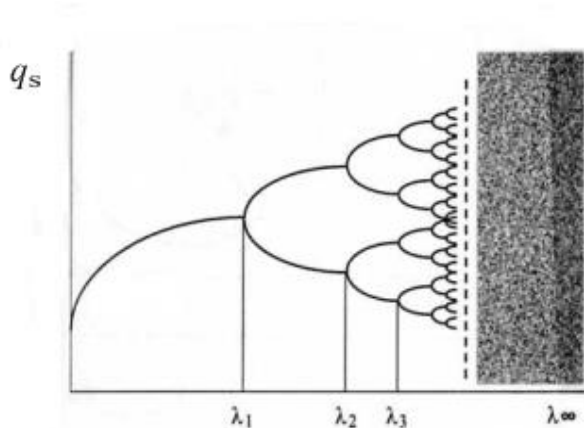
Praktickým dôsledkom platnosti tohto vzťahu je exponenciálny nárast počtu členov systému, ktorý vstúpil do histórie pod názvom Maltusov zákon. Príkladom takého procesu je známy bezhraničný nárast počtu králikov v Austrálii. Stalo sa to preto, lebo rozmnožovaniu králikov v tomto teritóriu nič nebránilo. V skutočnosti sa však omnoho častejšie vyskytujú situácie, v ktorých bezhraničnému nárastu počtu členov systému bránia objektívne okolnosti, napríklad nedostatok potravy, dravci, choroby a pod. Tento limitujúci faktor je spravidla tým väčší, čím početnejší je už systém. P. F. Verhulst navrhol simulovať ho faktorom  $(1 - aq_n)$ , takže rovnica (9.10) prejde do tvaru:

$$q_{n+1} = \lambda q_n (1 - aq_n). \quad (9.11)$$

Jej pozoruhodnou vlastnosťou je to, že prognózuje saturáciu systému a to pri počte (vyplývajúcom z podmienky  $q_{n+1} = q_n$ ):

$$q_s = \frac{1}{a} \left( 1 - \frac{1}{\lambda} \right). \quad (9.12)$$

Druhý dôsledok vyplývajúci z Verhulstovej rovnice je ešte zaujímavejší. Prišiel k nemu F. G. Feigenbaum a to tak, že preskúmal stabilitu stacionárnych stavov v závislosti od veľkosti parametra  $\lambda$ . Zistil, že stacionárne riešenie sa pri hodnote  $\lambda = 3$  stáva nestabilným a miesto neho sa ako stabilné realizujú dva nové stacionárne stavy. Ich stabilita trvá až po hodnotu  $\lambda = 1 + \sqrt{6}$  a potom nastáva ďalšie rozdeľovanie. To pokračuje až do hodnoty  $\lambda_{krit} = 3,569\dots$ , po ktorej sú už dovolené všetky možné stacionárne stavy. Keďže potom je už dovolené „všetko“, hovoríme, že systém sa vyvinul do stavu charakterizovaného režimom tzv. deterministického chaosu. Sumárne je celá situácia znázornená na obr. 9.1.



**Obr. 9.1** Scenár rozdeľovania v diskretných systémoch

Ukázalo sa, že uvedený scenár rozdvojovania stavov je veľmi všeobecný fenomén. Pozoruje sa napríklad v anorganickom svete (pri rotácii kvapalín), v evolúcii biologických systémov, v humánnej sfére (v ekonomických a spoločenských systémoch) a pod. Teraz si ukážeme, že ho možno pozorovať aj v procesoch evolúcie niektorých chorôb.

Z pozorovania vyplýva, že priebeh ochorenia leukémie a AIDS vykazuje analogické zvláštnosti. Počet voľných vírusov HIV v organizme sa náhodne mení. Choroba nepredikovateľne prepukne za prispenia tzv. oportunistickej infekcie. Je známe, že rozhodujúcu úlohu v imunitnom systéme majú špeciálne biele krvinky (tzv. T<sub>4</sub> lymfocyty), pretože tie vyvolávajú proces, ktorý vedie k rozkladu „votrelcov“ a teda k ich likvidácii. Keď sú napadnuté vírom HIV, túto schopnosť strácajú a imunitný systém postupne zlyháva.

V komplexe základných procesov figurujú tieto štyri substancie:

- a) neinfikované a neaktivované T<sub>4</sub> lymfocyty,
- b) neinfikované aktivované T<sub>4</sub> lymfocyty,
- c) infikované T<sub>4</sub> lymfocyty a
- d) voľné HIV vírusy.

Preukázalo sa, že len tieto štyri zložky by nemohli zabezpečiť scenár pozorovaný v priebehu choroby AIDS. Bolo potrebné doplniť počet aktívnych zložiek o zložku, ktorá je schopná aktivovať lymfocyty. Už sme spomenuli, že tu ide o „oportunistickú“ infekciu. Jednotlivé procesy možno simulovať pomocou rovníc, v ktorých vystupujú rozličné „rýchlostné“ konštanty. Najdôležitejšie z nich je konštanta, ktorá charakterizuje rýchlosť pribúdania infikovaných lymfocytov následkom napadnutia aktivovaných lymfocytov voľnými HIV vírusmi. Analýza spomenutých rovníc ukázala, že rast práve tejto konštanty je schopný vygenerovať scenár znázornený na obr. 9.1. Práve tento poznatok vysvetľuje niektoré zvláštnosti pozorované pri chorobe AIDS. Ak sa koncentrácia voľných HIV vírusov dostane následkom biologických „fluktuácií“ do hodnôt v dolnej časti obr. 9.1, možno očakávať uzdravenie aj bez liečenia. V opačnom prípade sa dostaví smrť. Podobný scenár sa pozoruje aj v prípade leukémie.

Neoceniteľné služby predstavuje moderná fyzika medicíny aj v tom, že pripravuje pre ňu vysoko sofistikované materiály vhodné napríklad na transplantácie. S tým sa ešte v tejto publikácii neskôr stretneme.

**Literatúra:**

- [1] Krempaský, J.: *Synergetika*. Skriptum. STU Bratislava, 1994
- [2] Krempaský, J., Horylová, R.: *Fundamentálne pojmy integrovanej prírodovedy*. MPC, Bratislava, 2004
- [3] Holec, S. a kol.: *Prírodné vedy v živote*. FPV UMG Banská Bystrica, 1998

## 10 Fyzika v ekológii

Náš svet tvoria okrem neživej prírody aj živé systémy a v rámci nich zaujímajú dominantné postavenie aj systémy zložené z inteligentných bytostí, a tak sa vynára zaujímavý problém, či existujú také univerzálne prístupy k skúmaniu reality, ktoré by rešpektovali celú jej komplexnosť. Ukazuje sa, že odpoveď na túto otázku môže byť aj pozitívna.

### 10.1 Entropia

Inteligentný pozorovateľ si vytvoril pojmový aparát, ktorý je vhodný aj na formulovanie všeobecných zákonitostí diania na všetkých úrovniach existujúcej reality. Medzi užitočné pojmy takého aparátu patrí napríklad pojem entropie. Táto zaujímavá fyzikálna veličina je totiž definovaná ako kvantitatívna miera usporiadania systému, a to v „obrátenej garde“: čím je systém usporiadanejší, tým mu prislúcha menšia hodnota entropie. Tento pojem je zmysluplný tak pre neživé, ako aj pre biologické a sociálne systémy. Je preto veľmi užitočné a potrebné venovať jej primeranú pozornosť. Od nej je totiž už len krôčik k možným aplikáciám aj na problémy etickej povahy. Ak si totiž – s ohľadom na tieto aplikácie – odmyslíme na chvíľu také aspekty, akými sú emócie a morálka, môžeme ako etické správanie označiť také aktivity, ktoré vedú k dokonalejšiemu usporiadaniu systému, a teda k poklesu jeho entropie a naopak, procesy vedúce k väčšej chaotizácii, teda k rastu jeho entropie, môžeme kvalifikovať ako neetické.

Z hľadiska cieľov tejto publikácie nie je dôležité, aby sme sa sústredili na exaktnú kvantitatívnu definíciu entropie – v prípade záujmu odkazujeme čitateľa na odbornú literatúru. V praktických aplikáciách nie je až tak dôležitá jej absolútna hodnota, ako skôr jej zmena. Podľa okolností môže mať kladnú, zápornú alebo aj nulovú hodnotu. Rýchlosť zmeny entropie nazývame produkcia entropie a značí jej zmenu za časovú jednotku. S ohľadom na hodnoty a znamienka entropických zmien je užitočné rozlišovať tri kategórie systémov:

#### a) Izolované systémy

Sú to systémy, ktoré si s okolím nevymieňajú hmotu ani energiu. Pre takéto systémy platí pre ich vývoj známy zákon rastu entropie, ktorý hovorí: v izolovaných systémoch môže spontánnymi procesmi ich entropia len rásť (prípadne sa aj nemeniť). Inými slovami: izolované systémy môžu následkom vnútorných spontánnych procesov len degradovať. (Spomeňme si v tejto súvislosti napríklad na vývoj pekne upravenej záhradky, ak sa prestaneme o ňu starať.)

## b) Otvorené systémy

Sú to systémy, ktoré si s okolím vymieňajú hmotu i energiu. Slávny fyzikálny chemik I. Prigogine o nich dokázal, že v nich môže dôjsť aj k poklesu entropie, čiže k vzniku určitej „samoorganizácie“. Keďže si však každý otvorený systém môžeme predstaviť ako systém vložený do väčšieho izolovaného systému a ako vieme, v ňom môže entropia následkom spontánnych procesov len rásť, potom je to len tak možné, že dôsledok vzniknutej samoorganizácie musí mať za následok aspoň taký vzrast entropie v okolí nášho izolovaného podsystemu, o koľko v ňom entropia poklesla. Dochádzame tak k zaujímavému tvrdeniu: **väčšia spontánna usporiadanosť = nevyhnutná devastácia okolia.**

To je nevyhnutnosť, z ktorej niet úniku. Za progres v usporiadanosti systému treba vždy zaplatiť určitou devastáciou okolia. Na tomto mieste si však možno položiť zaujímavú a zmysluplnú otázku: Čo, keď sa do tohto procesu zamieša inteligentná bytosť? Nie je v jej silách toto tvrdenie svojou rozumovou činnosťou zmeniť? Aby sme našli kompetentnú odpoveď, bude účelné definovať si ešte aj tretiu kategóriu systémov.

## c) Anorganické a biologické systémy + inteligentný činiteľ

Nie je ťažké pochopiť, že rozumný tvor môže do systému vniesť tak kladnú ako aj zápornú entropiu. Pre jej celkovú produkciu môžeme preto napísať formálnu rovnicu tvaru:

$$S = S_i + S_e, \quad (10.1)$$

kde  $S_i$  je entropia produkovaná internými (nie cielene riadenými) procesmi a  $S_e$  entropia vyprodukovaná zvonku inteligentnou činnosťou. Prvá z nich je vždy kladná, kým druhá môže byť podľa okolností kladná aj záporná. Závisí to od toho, či vonkajší inteligentný činiteľ má záujem o progres alebo diverziu systému. Otázka je, či by tá druhá (ak je negatívna) nemohla prevýšiť prvú zložku. V takom prípade by bolo možné zabrániť devastácii okolia aj pri samozdokonaľovaní systému. Odpoveď poznáme – nie je to možné! Ako argument v prospech tohto tvrdenia nám môže poslúžiť slávny problém zvaný Maxwellov démon.

Je známe, že alternatívne znenie zákona rastu entropie (niekedy nazývané aj II. termodynamická veta) je nasledovné: Teplo môže (samovoľne) prúdiť vždy len z prostredia teplejšieho do chladnejšieho a nikdy naopak. A práve toto znenie sa pokúsil známy fyzik J. C. Maxwell narušiť prostredníctvom inteligentného zásahu. Vymyslel hypotetický experiment, ktorý demonštruje spontánnu prechod tepla z chladnejšieho prostredia do teplejšieho. Aranžuje ho mýtická bytosť, ktorá dostala názov „Maxwellov démon“, svojim intelektom. Keď vidí v chladnejšom prostredí časticu pohybujúcu sa veľkou rýchlosťou (a taká sa v tomto prostredí v dôsledku štatistického rozloženia energie vždy nachádza), tak pootvorí pomyselné dvierka v deliacej stene, vpustí ju do prostredia s väčšou teplotou, čím sa v ňom teplota ešte

zvýši, zatiaľ čo teplota prostredia, z ktorej častica unikla, sa primerane zníži. Vznikol teda „protientropický“ proces. Odborne sa proti Maxwellovej konštrukcii nedalo nič namietat' a trvalo takmer 100 rokov, kým francúzsky fyzik Brillouin nenašiel jeho správne riešenie. V čom spočívalo?

Brillouin si všimol zdanlivo nepodstatnú časť relevantnej vety: „Keď démon vidí rýchlo letiacu časticu“. Ale ako vie, že letí rýchlo? Vyzbrojený súčasnou technikou by sme povedali, že použije radar. Ale to značí, že vyšle k príslušnej častici vlnu, ktorá mu po odraze od nej poskytne požadovanú informáciu. Brillouin spočítal, že tým sa do systému vnesie minimálne toľko pozitívnej entropie, o koľko by celková entropia systému následkom uvedeného procesu poklesla. Inteligentný tvor teda nemôže svojím zásahom zmeniť platnosť zákona o všeobecnom raste entropie v izolovaných systémoch.

Keďže ľudská pospolitosť sa progresu nechce vzdat', nemôže sa zabrániť tomu, aby entropické procesy negatívne neovplyvňovali životné prostredie. Nad týmto problémom sa zamýšľali nielen prírodovedci, ale aj humanisti. Napríklad známy humanista A. Schweitzer, keď si uvedomil, že prakticky každé liečenie značí vlastne devastáciu prírody (zabíjanie baktérií), prišiel k záveru, že tomu procesu sa síce zabrániť nedá, ale treba ho aplikovať len v najmenšej možnej miere. Vo fyzikálnej terminológii by sme to mohli formulovať tak, že by sme sa mali orientovať na minimalizáciu produkcie entropie.

Možno konštatovať, že sama príroda to už dávno pred nami pochopila a „zariadila“ si to tak, aby sa pri jej aktivitách naplňal tzv. Prigoginov princíp minimálnej produkcie entropie. Má nasledujúce znenie: Pri nezmenených podmienkach otvorený systém speje do stavu s minimálnou produkciou entropie. Vo vzťahu, ktorý sme uviedli vyššie, si teda príroda minimalizuje veličinu  $S$ . Poučený touto skutočnosťou by si inteligentný činiteľ mohol stanoviť ako rozumný cieľ minimalizáciu celkovej produkcie entropie. Ukázalo sa, že takýto postup je v určitých situáciách matematicky uskutočniteľný a že môže priniesť netriviálne informácie. Dokladom toho môžu byť úspešné pokusy o optimalizáciu riadenia sociálnych systémov. Týmto problémom sa však už nebudeme zaoberať a sústredíme sa na vzájomnú interakciu niektorých dôležitých ekologických systémov.

## **10.2 Interakcia ekologických systémov**

V 5. kapitole sme už spomenuli a čiastočne aj matematicky preskúmali možnosti vzniku rozličných nových kvalít vo fyzikálnych systémoch. Teraz si ukážeme, že podobné fenomény možno zaregistrovať aj v ekologických systémoch.



Najprv si všimneme systémy s tzv. antagonistickými vzťahmi. Príkladom ekologického systému tohto druhu sú napr. systémy typu dravce – korisť, veľké ryby – malé ryby, ryby – planktón a pod. Modelovanie takýchto systémov fyzikálno-matematickými metódami je zvlášť prítlačivé, pretože poskytuje výsledky, na ktoré by človek laickým uvažovaním sotva prišiel.

Označme počet dravcov ako  $N_1$ , počet obetí ako  $N_2$ . Uvážme, že dravce sa živia len obeťami, kým obeť potravou (napr. trávou), ktorej zásoba nech je v prvom priblížení neobmedzená. Keby nebolo obetí, dravce by časom vyhynuli – ich prírastok za jednotku času by bola záporná veličina úmerná ich momentálnemu počtu. Prítomnosť obetí spôsobuje, že ich časom pribúda, a to tým viac, čím viac je ich aj ich obetí. Tento prírastok je teda úmerný súčinu  $N_1N_2$ . Bilančná evolučná rovnica pre dravcov má preto tvar:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta t} = -AN_1 + BN_1N_2, \quad (10.2)$$

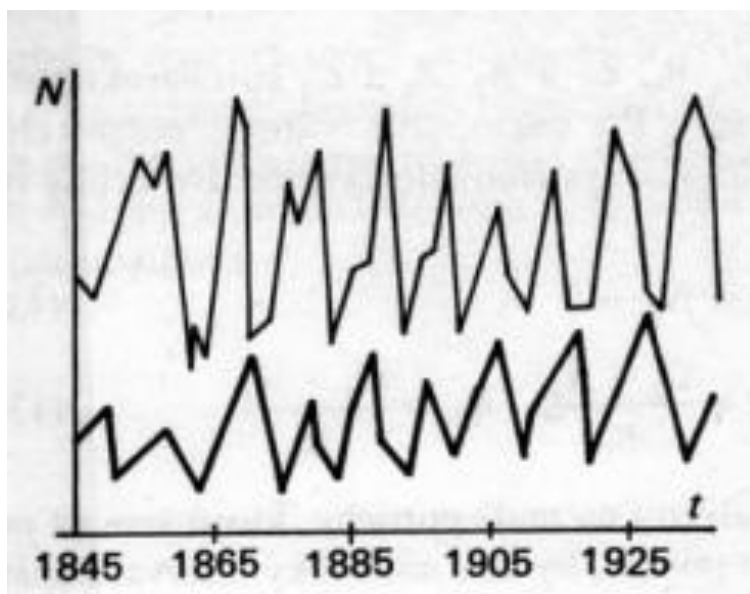
kde  $A$  a  $B$  sú určité charakteristické konštanty.

Obeť pribúdajú rozmnožovaním. Tento prírastok za jednotku času je teda priamo úmerný ich počtu. Spolunažívanie s dravcami však spôsobuje ich pokles, a to tou mierou, akou pribúda dravcov. Bilančnú rovnicu pre obeť môžeme preto napísať v tvare:

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta t} = CN_2 + BN_1N_2. \quad (10.3)$$

Vidíme, že sme dostali rovnice typu (5.21) a (5.22), ktoré sme už podrobne analyzovali a o nich dokázali, že môžu mať aj oscilatorické riešenie. Skúmaný ekologický systém sa teda môže pri ľubovoľne malej a vhodnej poruche rozkmitať tak, že počty dravcov i ich obetí v príslušnej lokalite sa budú v čase periodicky meniť. Presvedčivým potvrdením týchto záverov je v podstate náhodne objavený zápisník poľovníkov o počtoch vykúpených kožík rysov a zajacov v kanadských prériách medzi rokmi 1845 až 1935, ktoré jasne potvrdzujú uvedené konštatovania. Grafy týchto záznamov sú uvedené na obr. 10.1.

Obdobné javy sa pozorujú aj v iných ekologických systémoch, v ktorých dominujú antagonistické vzťahy, čiže vzťahy determinované faktom, že jeden zo spolu existujúcich druhov sa živí výlučne členmi systému druhého druhu, kým tento druhý druh prežíva nezávisle od členov prvého druhu. Nie je bez zaujímavosti, že podobný fenomén nachádzame aj v sociálnej sfére – ekonomika kapitalistickej spoločnosti, v ktorej vedľa seba existujú vlastníci i pracujúci, tiež vykazovala pozoruhodné oscilácie.



**Obr. 10.1** Periodicky výskyt rysov a zajacov podľa záznamov jednej kanadskej firmy [2].

Uskutočnená analýza síce jasne dokazuje, že k osciláciám v skúmaných systémoch môže naozaj dôjsť, ale realita sa môže v detailoch líšiť od vypočítaného scenára. Príčina je v tom, že rovnice, z ktorých sme vychádzali, predstavujú len simuláciu na najnižšej úrovni. Model však možno zdokonaľiť uvážením, že aj potraviny pre obete môže byť len konečne mnoho a že teda môže pri premnožení tohto druhu dôjsť k úbytku jeho počtu vďaka tzv. efektu tesnoty. Ďalej možno uvážiť fakt, že pri dostatočne veľkom zvýšení počtu obetí prírastok dravcov už nezávisí od ich počtu. Tak sa dá dosiahnuť pomerne dobrý nielen kvalitatívny, ale aj kvantitatívny súhlas vypočítaných hodnôt s nameranými. Lahko zostavíme aj rovnice modelujúce aj iné ekologické systémy, ako sú antagonistické systémy. Pozrime sa napríklad na systémy so symbiotickými vzťahmi. Tu treba zväziť, že okrem prirodzeného prírastku (úmerného počtu jedincov) a prirodzeného úbytku (uhynutím), úmerného rovnako počtu jedincov, jestvuje vzájomná „výpomoc“ prispievajúca k rozmnožovaniu jednotlivých druhov. Táto výpomoc je tým účinnejšia, čím početnejší je príslušný systém. Tak môžeme prísť k rovniciam simulujúcim evolúciu systémov so symbiózou. Majú tvar:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta t} = (A_1 + B_1 N_2) N_1 - C_1 N_1, \quad (10.4)$$

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta t} = (A_2 + B_2 N_1) N_2 - C_2 N_2, \quad (10.5)$$

kde  $A_1, B_1, C_1$  a  $A_2, B_2, C_2$  sú charakteristické konštanty.

Analýzou na malé poruchy, ktorú sme už viackrát použili, by sme našli taký interval konštánt  $A$ ,  $B$  a  $C$ , pri ktorých sú možné aj stabilné stacionárne riešenia. Pri takýchto hodnotách môže ekologický systém so symbiotickými vzťahmi existovať trvale pri stálych počtoch svojich členov. Matematicky možno dokázať, že v systémoch tohto typu nemôže dôjsť k osciláciám charakteristickým pre antagonistické systémy. O to častejšie však sa tu môže vyskytnúť premnoženie nejakého druhu.

Napokon preskúmame ešte systémy, ktoré nie sú ani v postavení dravec - korisť, ani v symbiotickom režime, ale v ktorých vzniká konkurencia následkom konzumovania rovnakej potravy (napr. trávou sa živia viaceré druhy živočíchov). Predpokladajme opäť, že máme ekologický systém zložený z dvoch druhov s počtami  $N_1$  a  $N_2$ , ktoré súčasne konzumujú dva druhy potravy. Analogickým postupom ako v predchádzajúcich prípadoch by sme sa mohli prepracovať k evolučným rovniciam v tvare:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta t} = (A_1 x + B_1 y) N_1 - C_1 N_1, \quad (10.6)$$

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta t} = (A_2 x + B_2 y) N_2 - C_2 N_2, \quad (10.7)$$

kde  $x$  a  $y$  majú význam množstva potravy na jednotku plochy. Všeobecne aj tieto premenné môžu byť zložitými funkciami počtov  $N_1$  a  $N_2$ , preto systém uvedených rovníc môže byť aj veľmi komplikovaný. Aj preto sa nebudeme zaoberať ich analýzou a uvedieme len niektoré zaujímavé výsledky. Vo všeobecnosti sa môžu vyskytnúť situácie, v ktorých jeden systém prežije a druhý vyhynie, resp. situácie, v ktorých obidva systémy môžu vedľa seba paralelne existovať v ustálených počtoch.

Sú známe mnohé ďalšie prípady modelovania ekologických systémov. V tejto sfére sa vyskytujú procesy, ktoré pripomínajú šírenie určitého vlnového rozruchu a často majú povahu ekologickej katastrofy. Možno spomenúť napríklad smutne známe vyčíňanie kobyliek, mravcov, rozličných vírusov a pod. Niekedy dokonca pozorujeme, že sa tieto katastrofy šíria do okolia v jednotlivých separovaných vlnách. Aj tieto procesy možno už veľmi úspešne modelovať fyzikálno-matematickými metódami, pretože sa už dávnejšie zistilo, že pohyb, ktorý vykonávajú vírusy, kobylky a pod., veľmi pripomínajú difúziu fyzikálnych častíc a že ich dynamika sa dá difúznymi rovnicami dobre opísať. Teoretická analýza umožňuje napríklad spoľahlivo stanoviť rýchlosť šírenia takýchto katastrof, prípadne objasniť vznik tzv. ekologických vln.

**Literatúra:**

- [1] Krempaský, J.: *Synergetika*. Skriptum. STU Bratislava, 1994
- [2] Haken, H.: *Synergetics – An Introduction*. Berlin-Heidelberg-New York. Springer V. 1978.
- [3] Krempaský, J., Horylová, R.: *Fundamentálne pojmy integrovanej prírodovedy*. MPC Bratislava 2004.

## 11 Fyzika v ekonómii a sociológii

S pokusmi o používanie kvantitatívnych metód v oblasti ekonómie a manažmentu sa v poslednej dobe stretávame veľmi často. Ide v nich predovšetkým o objasňovanie dosť záhadných ekonomických „oscilácií“, ba aj o snahy o koncipovanie samostatnej interdisciplíny s názvom *ekonofyzika*. Zvláštnu pozornosť venovala týmto trendom najmä prudko sa rozvíjajúca oblasť s názvom *synergetika*, ktorú oficiálne koncipoval H. Haken. Aj v našej literatúre sa už objavili viaceré publikácie s takýmto zameraním.

Všeobecne však možno konštatovať, že vo všetkých spomínaných prípadoch išlo vždy len o parciálne príspevky k problematike účelne vytrhnuté z nesmierne širokej oblasti „komplexných“ systémov. Doteraz tu chýbal pokus o určitý frontálny prístup ku kvantitatívnemu spracovaniu dynamiky procesov, ktoré determinujú chod vyspelej spoločnosti. Náznaky pre takýto prístup možno nájsť napríklad v publikácii M. Mitchellovej „*Complexity – A Guided Tour*“. V nej sa v podstate tiež len veľmi okrajovo definuje kategória tzv. *unimodálnych systémov*. Ukazuje sa, že takáto kategória systémov je definovaná natoľko všeobecnými charakteristikami, že okrem jednoduchých systémov z anorganického a biologického sveta v podstate zahŕňa aj všetky reálne fungujúce ekonomické a manažérske systémy. Dve takéto charakteristiky determinujú rast systémov (s ohľadom na určitý kvalitatívny ukazovateľ) a jeho útlm (v dôsledku objektívnych činiteľov). Závislosť tohto ukazovateľa od času vykazuje najprv rast a potom spomalenie a pokles, takže má jeden „hrb“ – aj preto sa niekedy tieto systémy nazývajú aj „jednohrbé“ systémy. V matematickom jazyku sa však častejšie označujú ako systémy s parabolickou časovou charakteristikou. V tomto texte ich budeme označovať ako *unimodálne systémy*.

### 11.1 Unimodálne systémy

Rast unimodálnych systémov má *autokatalytickú* povahu, čo značí, že čím väčšia je hodnota kvalitatívneho ukazovateľa, tým väčší príspevok k jeho veľkosti možno vo vývoji systému očakávať. Uviedli sme už, že ilustratívnym príkladom takého rastu sú napríklad biologické systémy – čím viac je rodičov, tým väčšie potomstvo možno očakávať. Podobný fenomén možno očakávať aj v sociálnych systémoch, napr. vo výrobných podnikoch. Tým väčší zisk v ich vývoji sa očakáva, s čím väčším kapitálom sa do podnikania vstupuje. Tento fenomén možno matematicky všeobecne simulovať rovnicou:

$$q_{n+1}^{(1)} = Fq_n^{(1)}, \quad (11.1)$$

kde  $q_n$  je veľkosť kvalitatívneho ukazovateľa v  $n$ -tom kroku evolúcie systému,  $q_{n+1}$  jeho veľkosť v  $(n + 1)$ -om kroku a  $F$  je príslušná funkcia determinujúca intenzitu rozvoja podniku. V najjednoduchšom prípade môže mať táto funkcia povahu konštanty (označme ju ako  $\lambda$ ), takže rovnicu (11.1) možno prepísať do tvaru:

$$q_{n+1}^{(1)} = \lambda q_n^{(1)}. \quad (11.2)$$

Lahko možno dokázať, že táto (logistická) rovnica matematicky kvantifikuje tzv. Maltusov zákon vývoja (geometrickým radom).

Tlmiaci účinok na vývoj systému je spravidla tiež tým väčší, čím viac sa už systém „rozrástol“. Ako sme už skôr pripomenuli, Verhulst navrhol pre matematickú simuláciu tohto procesu funkciu:

$$(1 - a q_n), \quad (11.3)$$

ktorá sa veľmi osvedčila a v ktorej  $a$  je určitá charakteristická konštantá. Keďže obidva činitele pôsobia na systém paralelne, možno obidve uvedené funkcie spojiť do jedinej výslednej funkcie a všeobecnú evolučnú rovnicu unimodálneho systému zapísať v tvare:

$$q_{n+1} = \lambda q_n (1 - a q_n). \quad (11.4)$$

Je zaujímavé, že už aj táto najjednoduchšia simulácia vývoja unimodálnych systémov ovládaná dvoma riadiacimi konštantami ( $\lambda$  a  $a$ ) poskytuje dva veľmi významné a netriviálne výstupy. Sú to:

1. vznik saturovaného stavu,
2. existencia scenára vývoja s postupným rozvojovaním ustálených stavov.

S obidvoma výsledkami sme sa už stretli. Pre istotu ich však teraz znovu pripomenieme a okomentujeme. Saturácia je definovaná podmienkou  $q_{n+1} = q_n$ . Pri jej splnení vyplýva z rovnice (11.4) vzťah pre ustálený stav kvalitatívneho ukazovateľa  $q$ . Je vyjadrený funkciou:

$$q_s = \frac{1}{a} \left( 1 - \frac{1}{\lambda} \right). \quad (11.5)$$

Táto funkcia síce určuje ustálený stav, ale to neznačí, že takýto stav je aj stabilný, čiže odolný voči malým pokusom o jeho destabilizáciu. Relatívne náročnou matematickou analýzou prideme k výsledku, že hodnota  $q$  určená funkciou (11.5) je stabilná len pre hodnoty konštanty z intervalu:

$$1 < \lambda < 3. \quad (11.6)$$

Pri hraničnej hodnote  $\lambda = 3$ , sa systém aj pri výskyte minimálnej poruchy destabilizuje a principiálnou sa stáva otázka, na aký nový stav (či nové stavy) nabehne. Z podmienky, že musí platiť aj rovnosť  $q_{n+2} = q_n$ , by sme získali zaujímavý výsledok, a to, že miesto už nestabilného stavu určeného funkciou (11.5) sa vytvoria dva nové ustálené stavy, ktoré si udržia stabilitu až do hodnoty  $\lambda = 1 + \sqrt{6}$ . Nad touto hodnotou sa už aj tieto stavy stanú nestabilnými a miesto nich sa objaví štyri nové stabilné stavy. Scenár rozdvojovania sa opakuje, až kým sa nedospeje k hodnote  $\lambda = 3,5699$ , nad ktorou sú už dovolené (samozrejme v určitom intervale) všetky možné stavy. Keďže potom už nie je možné predikovať, v ktorom z týchto stavov sa systém ocitne, hovoríme, že systém sa začal správať chaoticky. Sumárne sme tento scenár vývoja schematicky znázornili už na obr. 9.1.

M. J. Feigenbaum vo svojich prácach dokázal, že takýto scenár postupného rozdvojovania platí pre všetky unimodálne systémy bez ohľadu na to, akú funkcie simulujú progresívny a regresívny režim systému. Otázka však je, či sa takéto javy v reálnom svete skutočne aj pozorujú. Prax ukazuje, že sa to deje prakticky na všetkých úrovniach našej reality. Sú známe pokusy s rotujúcou kvapalinou, ktoré vynikajúco potvrdzujú „dvojkový“ scenár prechodu z laminárneho do turbulentného prúdenia. Vie sa už aj to, že Darwinov evolučný princíp sa zreteľne prejavuje v rozdvojovaní vyvíjajúcich sa systémov a vedci sa domnievajú, že príkladom takého scenára je aj schizofrénia. Niet pochybnosti o tom, že aj v sociálnej sfére možno tento scenár zaregistrovať. Stačí si spomenúť na to, ako sa vývojom rozdeľujú politické strany. Je preto celkom odôvodnene sa domnievať, že s podobným fenoménom sa možno stretnúť aj pri vývoji výrobných podnikov. Uvidíme, že neklamným znakom tohto úkazu je existencia tzv. prehriatej ekonomiky.

Spomínaný Feigenbaum sa však nezastavil len pri objavení postupného rozdvojovania stacionárnych stavov vo vývoji unimodálnych systémov. Našiel aj ďalšie zaujímavé zákonitosti týkajúce sa bodov príslušných zvrátov. Zistil, že tieto body determinované kritickými hodnotami riadiacej konštanty  $\lambda$  spĺňajú zaujímavý vzťah:

$$\frac{\lambda_n - \lambda_{n-1}}{\lambda_{n+1} - \lambda_n} = 4,6692 = F_0, \quad (11.7)$$

v ktorom číslo 4,6692 sa na počesť svojho objaviteľa nazýva Feigenbaumova konštanta.

Keď sa hodnota riadiacej konštanty  $\lambda$  postupne mení, systém zákonite prechádza kvalitatívnymi zmenami, pričom časové intervaly medzi nimi možno uviesť do súvislosti s uvedenou konštantou. Ak si postupné narastanie konštanty uvedieme do vzťahu s plynúcim (lokálnym) časom vyjadreným približne lineárnou závislosťou typu:

$$\lambda = Kt, \quad (11.8)$$

kde  $K$  je nejaká konštanta, môžeme vzťah (11.7) pretransformovať do relácie:

$$\Delta t_{m+1} = \frac{1}{F_0} \Delta t_m,$$

z ktorej vyplýva zaujímavý výsledok:

$$\frac{\Delta t}{\Delta t_m} \approx 0,213. \quad (11.9)$$

Ten hovorí, že každá nasledujúca kvalitatívna zmena vo vývoji unimodálnych systémov nastáva v  $F_0$ -krát zmenšenom časovom intervale. Tento jav možno dobre pozorovať aj vo vývoji charakteristických „veľkoštruktúr“ v ľudskej spoločnosti. Keď si všimneme časový sled vývojových etáp od otrokárstva cez nevoľníctvo, kapitalizmus, socializmus až po zárodok komunizmu, zistíme, že príslušné časové intervaly sa skutočne riadia pravidlom vyjadreným vzťahom (11.9).

## 11.2 Unimodálne systémy s manažmentom

Ústrednou veličinou vhodnou na charakterizovanie stavu podniku je voľný kapitál  $Q$ , t.j. suma finančných prostriedkov, ktorými disponuje majiteľ podniku pri realizovaní jeho chodu. Ak sa na podniky budeme pozeráť ako na unimodálne systémy, potom pre uvedenú veličinu môžeme použiť rovnicu (11.4), ktorú napíšeme v tvare:

$$Q_{n+1} = \lambda Q_n (1 - aQ_n). \quad (11.10)$$

Aby sme sa oslobodili od nutnosti všímať si zakaždým aj veľkosť podniku, dohodneme sa, že v ďalších úvahách budeme narábať s kapitálom prepočítaným na jednotlivca, čiže zavedieme premennú  $q = \frac{Q}{N}$ , kde  $N$  je počet všetkých členov systému.

Predelením rovnice (11.10) týmto počtom  $a$  a označením  $AN = a$ , ju dostaneme do tvaru:

$$q_{n+1} = \lambda q_n (1 - aq_n). \quad (11.11)$$

Otázkou je, ako sa táto rovnica zmení, keď do podniku zavedieme manažérske aktivity. Poučení z vplyvu vonkajšieho šumu na skúmané procesy môžeme tieto zásahy rozdeliť na dve kategórie: A) – aditívny manažment a B) – multiplikatívny manažment. Prvý typ sa prejaví v tom, že sa do systému zvonku pridá nejaký obnos kapitálu. Možno uvažovať o dvoch spôsoboch takého ovplyvňovania: (A1) – do systému sa vloží (na začiatku bilančnej etapy) konštantná suma kapitálu na každého člena (označme ju písmenom B), (A2) – do systému sa vloží na každého člena určitá časť z kapitálu  $q$ , čiže suma  $bq$ . Tak nám z rovnice (11.11) vzniknú dve rovnice tvaru:



$$q_{n+1} = \lambda q_n (1 - a q_n) + B, \quad (11.12)$$

$$q_{n+1} = \lambda q_n (1 - a q_n) + b q_n. \quad (11.13)$$

Je samozrejmé, že v praxi sa môže vyskytnúť aj množstvo iných variantov zásahu, napríklad nepravidelné dotácie s nerovnakými množstvami a pod., ale nie je nijaký problém zakomponovať tieto varianty do globálnej kalkulácie.

Multiplikatívny zásah do systému značí, že sa pomocou vloženého kapitálu usilujeme zlepšiť životaschopnosť podniku, čiže priamo ovplyvniť koeficient efektívnosti  $\lambda$ . Môže sa to uskutočniť rôznym spôsobom, napr. školením zamestnancov, optimalizáciou skladby pracovníkov, optimalizovaním riadenia a pod. V takom prípade môžeme pre tento koeficient použiť formulu:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + k q_n), \quad (11.14)$$

takže rovnica (11.11) nadobudne tvar:

$$q_{n+1} = \lambda (1 + k q_n) q_n (1 - a q_n). \quad (11.15)$$

Konštantu  $k$  možno vyjadriť ako súčin iných dvoch konštánt ( $\lambda$ ,  $\beta$ ), pričom veličina  $\beta q_n$  by potom značila časť kapitálu investovaného do zlepšenia efektivity podniku a konštantu  $\lambda$  by reprezentovala akéhosi činiteľa transformácie kapitálu priamo na hodnotu koeficienta efektívnosti podniku. Je zrejmé, že hodnotu tohto činiteľa možno stanoviť len na základe skúsenosti.

Skôr ako sa začnú skúmať vplyvy manažmentu na chod podniku je potrebné poznať jeho „status quo“, čiže stanoviť charakteristické konštanty  $\lambda$  a  $a$ . Pri tom si možno pomôcť skrátenou procedúrou „diagnózy“. Postačí nám k tomu znalosť stavu podniku na konci dvoch bilančných etáp. Ak na ich začiatku bol vstupný kapitál  $q_0$ , po prvom období  $q_1$  a na konci druhého  $q_2$ , potom zrejme platia rovnice:

$$\begin{aligned} q_0 &= 1 \\ q_1 &= \lambda_0 (1 - a) \\ q_2 &= \lambda_0 q_1 (1 - a q_1). \end{aligned} \quad (11.16)$$

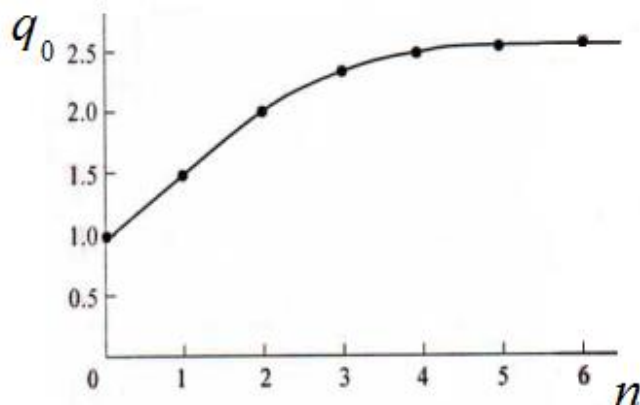
Z nich pre hľadané konštanty vyplývajú vzťahy:

$$\lambda_0 = \frac{q_1^2 - r}{q_1 - 1}, \quad (11.17)$$

$$a = \frac{q_1 - r}{q_1^2 - r}, \quad (11.18)$$

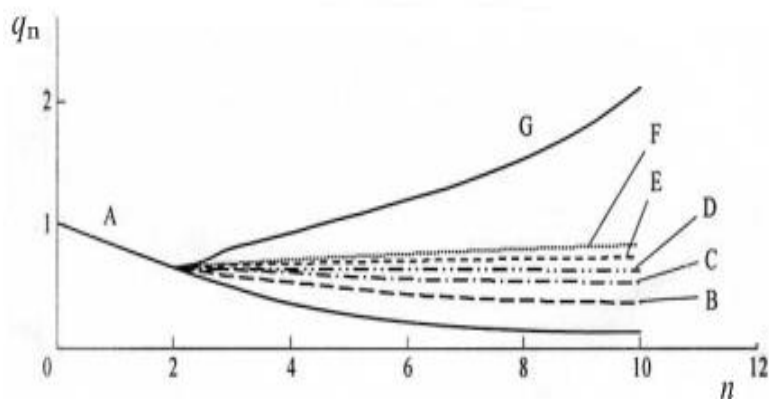
kde sme označili  $r = \frac{q_2}{q_1}$ . Na základe takto vypočítaných hodnôt riadiacich konštánt ľahko

možno získať graf vývoja podniku v prípade, že by do neho nezasahoval nijaký vonkajší činiteľ. Ako veľmi ilustratívny príklad možno uviesť scenár vývoja podniku, pre ktorý sa zistili napr. takéto údaje:  $q_0=1$ ,  $q_1=1,5$  a  $q_2=2$ . Z nich pre riadiace konštanty  $\lambda$  a  $a$  vyplývajú hodnoty:  $a = 0,18$  a  $\lambda = 1,84$ . Príslušný graf vývoja takého podniku ukazuje obr. 11.1.



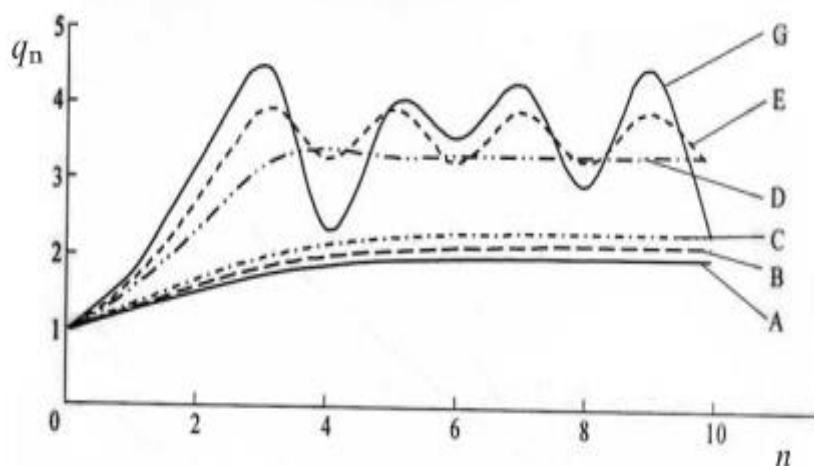
**Obr. 11.1** Vývojový graf podniku s parametrami:  $a = 0,18$  a  $\lambda = 1,84$

Po takomto „audite“ sa do kalkulácie zakomponuje zamýšľaný manažment a to v rozličnej podobe. V predchádzajúcom odseku sme si vyznačili ako zaujímavé tri spôsoby ovplyvňovania chodu podniku vyznačené reláciami (11.12), (11.13) a (11.15). Teraz si na ilustráciu uvedieme dve zaujímavé situácie. Na obr. 11.2 je znázornená situácia ako možno doviest’ krachujúci podnik do „čiernych“ čísel. Príslušné numerické parametre sú: **A:**  $k = 0,05$ , **B:**  $k = 0,075$ ; **C:**  $k = 0,1$ ; **D:**  $k = 0,2$ ; **E:**  $k = 0,3$ ; **F:**  $k = 0,4$  a **G:**  $k = 0,5$ . Jasne vidíme, že podnik možno považovať za sanovaný až v situácii, ktorú zobrazuje graf (situácia je označená písmenom **F**.)



**Obr. 11.2** Schéma záchrany krachujúceho podniku (Príslušné údaje sú uvedené v texte.)

Na obr. 11.3 zasa vidíme situáciu charakterizovanú príliš intenzívnym manažmentom. Nad určitými kritickými hodnotami manažmentských počinov sa už môže objaviť nežiaduce „rozviklanie“ režimu práce systému súvisiace s tým, že sa už dostal do blízkosti kritického bodu, v ktorom stráca stabilitu a vzniká oscilácia medzi novými dovolenými stavmi.



**Obr. 11.3** Schémy evolúcie podnikov s neprimerane intenzívnym manažmentom  
 $\lambda_0=1,5$ ;  $a = 0,2$ ;  $k = 0,05$  (graf A),  $k = 0,075$  (graf B),  $k = 0,1$  (graf C),  $k = 0,2$  (graf D),  
 $k = 0,3$  (graf E),  $k = 0,5$  (graf G)

Túto situáciu ekonómovia kvalifikujú ako „prehriatu ekonomiku“. Vidíme, že jej skutočnou príčinou je strata stability v dynamike systému.

Dodajme ešte, že uvedené postupy možno využiť aj pri riešení problémov vzájomnej kooperácie viacerých podnikov či inštitúcií.

### 11.3 Modelovanie niektorých sociálnych procesov

Keď si pozornejšie všimneme niektoré významnejšie sociálne procesy, nemôže nám uniknúť poznatok, že vykazujú až príliš nápadnú podobnosť s procesmi, ktoré poznáme z neživej a biologickej ríše. Na ilustráciu uvedieme jeden príklad. Predstavme si sociálny systém pozostávajúci z väčšieho počtu jednotlivcov prítomných na nejakom podujatí (napríklad na koncerte, na športovom podujatí, v divadle a pod.). Ten je charakterizovaný tým, že keď sa v ňom objaví nejaká nečakaná fluktuácia, napr. niekto by zrazu začal spievať, rýchlo by sa utlmila, pretože k spevu by sa nikto nepridal. Pôsobí tu známy Le Chatelierov princíp, podľa ktorého systém v rovnovážnom stave prejavuje pozoruhodnú schopnosť likvidovať pokusy o narušenie tohto stavu. Vieme prečo je to tak: príslušný stav

predstavuje stabilné riešenie dynamickej rovnice. Keď sa však spomínaná porucha objaví v sociálnom systéme vtedy, keď je on už dostatočne vzdialený od rovnováhy, celý systém sa odrazu zmení. Jednotlivci začnú zrazu robiť to, čo by za „normálnych“ okolností nikdy nerobili, napríklad podľa druhu fluktuácie by začali spievať, tancovať, ale prípadne aj demolovať nábytok. Sociálny systém teda prekonal kvalitatívnu zmenu, a to mechanizmom, ktorý sa vôbec neodlišuje od mechanizmov známych z anorganického sveta.

Podobné kvalitatívne zmeny možno pozorovať aj v iných oblastiach ľudskej aktivity, napríklad v ekonomickej (bankroty podnikov), nacionálnej (vznik štátov), kultúrnej (vznik nových umeleckých smerov), populačnej (vznik charakteristických lokalít) a pod. Netreba osobitne pripomenúť, že podobne ako v anorganickom a biologickom svete má aj chaotická dynamika svoje miesto v sociálnej sfére.

Možno si prirodzene klásť otázku, či táto podobnosť je len náhodná, alebo či má nejaké hlbšie univerzálne príčiny. Argument, že dianie v ľudskej spoločnosti je determinované slobodným konaním rozumných bytostí, by hovoril proti tejto univerzálnosti. Otázkou však je, či človek koná naozaj úplne slobodne a či jeho konanie nie je tiež čímsi všeobecnejším motivované a determinované. Keď si podrobnejšie všimneme podmienky vznikania štruktúr v anorganických systémoch, prídeme k poznatku, že to majú „na svedomí“ dva typy interakcií: krátkodosahové (väzby, difúzia a ďalekodosahové (polia, mechanické sily, vietor a pod.). Analogické typy interakcií však nachádzame aj v sociálnych systémoch. Psychika ľudí smeruje k uspokojovaniu svojich subjektívnych potrieb, resp. potrieb svojich najbližších. Tým je determinované konanie jednotlivca pri jednotlivých interakciách s ostatnými členmi sociálneho systému. Tak sa generujú krátkodosahové sociálne interakcie. Na druhej strane však existujú aj určité pravidlá (zákony, predpisy, morálka), ktoré majú charakter ďalekodosahových interakcií, pretože sa vzťahujú bez výnimky na všetkých členov sociálneho systému. Vzájomná hra týchto dvoch druhov interakcií produkuje nové kvality v sociálnych systémoch (nové štruktúry) a na ich opis možno celkom prirodzene použiť formalizmus, ktorý je adekvátny pre neživé systémy. Rozdiel oproti týmto systémom je len v tom, že sú to tzv. negradientné systémy, t.j. systémy, v ktorých interakcie nemožno dedukovať zo všeobecnejších princípov matematickými operáciami a ktorých dynamiku možno opísať len pomocou fenomenologických rovníc zostavených na základe pozorovania reálneho sveta.

Ústrednými kvantitatívnymi pojmami v dynamike sociálnych systémov sú početnosti jednotlivých zoskupení organizovaných z hľadiska určitého aspektu (politika, šport, osídlenie a pod.) a tzv. tranzitné pravdepodobnosti. Označme prvé symbolmi  $N_i^s$  a druhé symbolmi  $p_{ij}$ .

Nech početnosť  $N_i^s$  označuje počet členov  $i$ -tého zoskupenia z hľadiska  $s$ -aspektu. Tranzitnú pravdepodobnosť definujeme ako pravdepodobnosť toho, že zo skupiny  $s$  početnosťou  $N_j^s$  prejde za zvolenú časovú jednotku (mesiac, rok a pod.)  $N^s$  indivíduí do  $i$ -tej skupiny, takže je určená vzťahom:

$$p_{ij}^s = \frac{N_i^s}{N_j^s}. \quad (11.19)$$

Platí preto vzťah:

$$N_i = p_{ij}^s N_j^s. \quad (11.20)$$

Keby sme vopred poznali príslušné tranzitné pravdepodobnosti, ľahko by sme mohli zostaviť bilančnú rovnicu pre jednotlivé početnosti, ktorá by vyjadřila interskupinové interakcie. Mala by tvar:

$$\frac{\Delta N_i^s}{\Delta t} = \sum_j p_{ij}^s N_j^s - \sum_j p_{ji}^s N_i^s. \quad (11.21)$$

Vo všeobecnosti by sme mali do nej zakomponovať aj zmeny zapríčinené narodením nových členov a úmrtím, avšak keď skúmame dynamiku sociálneho systému v určitom dostatočne úzkom časovom intervale, tieto príspevky môžeme zanedbať.

Rovnica (11.21) sa zvyčajne nazýva „*master equation*“ (majstrovská rovnica) sociálnej dynamiky a pomocou nej možno aj kvantitatívne riešiť zaujímavé problémy zo sociálnej dynamiky. Len ako zaujímavosť uvedieme pokus o modelovanie správania sa dvoch konkurenčných sociálnych skupín. Členovia jednotlivých skupín majú vyhrané názory a usilujú sa presvedčovaním získať na svoju stranu prívržencov z druhého tábora. V tomto prípade nadobudnú rovnice (11.21) jednoduchý tvar:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta t} = p_{12} N_2 - p_{21} N_1, \quad (11.22)$$

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta t} = p_{21} N_1 - p_{12} N_2, \quad (11.23)$$

pričom  $N_1 + N_2 = N = \text{konšt.}$  Ak sú tranzitné pravdepodobnosti konštanty, potom stacionárny stav systému je určený vzťahom:

$$\left( \begin{array}{c} N_1 \\ N_2 \end{array} \right)_s = \frac{p_{12}}{p_{21}}. \quad (11.24)$$

Keď sú však tieto pravdepodobnosti závislé od početnosti, situácia sa kvalitatívne mení. Bližšie preskúmame zaujímavý jednoduchší prípad vytvárania verejnej mienky jednej vyhranenej skupiny obyvateľstva s počtom  $N$  jedincov, ktorý sa mení interakciou s ostatnou

početnou verejnosťou. Ak za jednotku času (napríklad za rok) prejde zo širšej verejnosti do vyhranenej skupiny  $N_0$  jedincov a pravdepodobnosť odchodu z nej je  $P$ , potom zrejme platí rovnica:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = N_0 - pN. \quad (11.25)$$

Ak sa však (napríklad následkom nejakých vnútorných rozporov) táto pravdepodobnosť zmení podľa vzťahu:

$$p = p_0 - \lambda N, \quad (11.26)$$

potom platí rovnica:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = N_0 - p_0 N + \lambda N^2. \quad (11.27)$$

V ustálenom stave má táto rovnica dve riešenia:

$$N_{1,2}^s = \frac{1}{2} \left\{ \frac{p_0}{\lambda} \pm \sqrt{\left( \frac{p_0}{\lambda} \right)^2 - 4 \frac{N_0}{\lambda}} \right\}. \quad (11.28)$$

Stabilitu týchto riešení určuje koeficient:

$$p = 2\lambda N_{1,2}^s - p_0 = \pm \lambda \sqrt{\left( \frac{p_0}{\lambda} \right)^2 - 4 \frac{N_0}{\lambda}}.$$

Vidíme, že pokiaľ je  $\lambda < 0$ , je stabilné riešenie so znamienkom (+), v opačnom prípade riešenie so znamienkom (-). Prichádzame tak k zaujímavému výsledku, podľa ktorého sa verejná mienka vyhranenej skupiny obyvateľstva môže zásluhou vonkajších okolností skokom zmeniť.

Naznačeným postupom možno riešiť aj celý rad iných problémov zo sociálnej dynamiky, napríklad migráciu obyvateľstva, simuláciu vojnových konfliktov, vznik chaosu v sociálnej dynamike a pod. V prípade záujmu o tieto riešenia treba siahnuť po odbornej literatúre.

### Literatúra:

- [1] Mitchell, M.: *Complexity – A Guided Tour*. Oxford Univ. Press, 2009
- [2] Krempaský, J.: *Fyzika a matematika ako jazyk prírody*. STU Bratislava, 2012
- [3] Krempaský, J. a kol.: *Učiteľ prírodných vied pre tretie tisícročie*. Typi Universitatis Tyrnaviensis, Trnava 2011
- [4] Haken, H.: *Synergetics – An Introduction*. Springer V., Berlin – Heidelberg 1978
- [5] Weidlich, W. and Haag, G.: *Concepts and Models of a Quantitative Sociology*. Springer V., Berlin 1983

## 12 Fyzika vo filozofii a teológii

Tým, že fyzika objavuje zákony, ktorými sa riadi dynamika celého materiálneho sveta, automaticky sa stáva zdrojom fundamentálnych poznatkov aj pre filozofiu, ba aj teológiu. V tomto zmysle sa fyzika stáva dôležitým činiteľom v oblasti tvorby svetonázorových koncepcií. Jej fundamentálne a dobre doložené univerzálne poznatky musí filozofia zobrať na vedomie a teológia sa musí usilovať zosúladiť svoje „zjavené“ pravdy s experimentálne pozorovanou realitou. Je samozrejmé, že nie všetky „zjavené“ pravdy možno konfrontovať s realitou, pretože tá vykazuje aj „duchovné“ fenomény, na ktoré fyzika nie je disponovaná, ale v oblastiach, v ktorých sa „knihy zjavenia“ a „knihy prírody“ vzájomne prekrývajú, musí jestvovať súlad medzi obidvoma „stranami“. V minulosti to tak nie vždy bolo, preto často vznikali vzájomné strety medzi vedou a vierou, ktoré mali často aj veľmi nežiaduce následky.

Aby sa už takéto epizódy nemuseli opakovať, je potrebné, aby tak filozofia ako aj teológia pozorne sledovali, aké nové významné poznatky sa na poli fyziky objavujú, preto je veľmi potrebné vedieť, čím sa moderná fyzika v súčasnosti zaoberá. Tomuto problému bude venovaný nasledujúci text.

Odpoveď na vyššie položenú otázku nie je jednoduchá a závisí najmä od toho, aký je vedecký profil jednotlivých fyzikov, ktorí sa k tomuto problému vyjadrujú. Niektorí z nich vidia tých nevyriešených problémov relatívne málo, iní ich vedia vymenovať celú škálu. Napríklad známy popularizátor fyziky F. Tipler uvádza v jednom zo svojich vedeckých pojednaní tieto tri hlavné problémy: 1. „Posledná“ štruktúra fyzikálnej reality, 2. Podstata priestoru a času a 3. Podstata hmoty. Iní známi fyzici považujú za najdôležitejšie problémy objasnenie podstaty tzv. tmavej hmoty a tmavej energie, problém vyparovania čiernych dier a problém extradimenzíí.

Podľa známeho fyzika G. Kanea je ústredným problémom modernej fyziky otázka, prečo sú v samotných základoch nášho vesmíru práve tri rodiny kvarkov a tri rodiny leptónov, keď na realizáciu nášho konkrétneho vesmíru úplne postačuje len jedna rodina kvarkov a jedna rodina leptónov. Problém určitej preferencie čísla „3“ aj v prípade iných fyzikálnych a biologických fenoménov je pre súčasných fyzikov veľkou záhadou.

Zdá sa, že najvšeobecnejšie a najúplnejšie formuluje hlavné problémy súčasnej fyziky známy fyzik L. Smolin vo svojej najnovšej publikácii „*The Troubles with Physics*“ (Ťažkosti s fyzikou). Podľa neho je ich päť a majú nasledujúce znenie:

1. Teória všetkého – zjednotenie všeobecnej teórie relativity a kvantovej fyziky.
2. Kompletizácia štandardného modelu častíc a síl.

3. Realistická interpretácia kvantovej fyziky.
4. Veľkosti základných fyzikálnych konštánt – tzv. antropický princíp.
5. Podstata tmavej hmoty a tmavej energie.

Na všetky uvedené „veľké“ problémy sa teraz pozrieme trochu podrobnejšie.

## 12.1 Kritériá „dobrej teórie“

Nie každá teória, ktorá poskytuje výsledky v súlade s pozorovaním, sa musí považovať za „dobrú teóriu“. Môže ísť o intuitívne vykonštruovaný prístup, ktorý sa pre určitý okruh problémov osvedčil, ale ktorý nevyplýva zo všeobecných a spoľahlivo overených princípov. Z tohto pohľadu rozdeľujeme teórie na fundamentálne a konštruktívne. Príkladom teórie prvého druhu môže byť heliocentrická teória, ktorá spočíva na fundamentálnom poznatku, že planéty sa otáčajú okolo Slnka a na newtonovských mechanických princípoch. Naproti tomu geocentrická teória je konštruktívna, pretože sa nezakladá na experimentálne pozorovanom fakte a kalkuluje s určitými hypotetickými „epicyklami“, ktoré reálne nejstávajú, avšak ich uváženie umožnilo objasniť niektoré aspekty pohybu planét a formulovať dokonca aj viaceré prognózy.

Fundamentálnou teóriou je Einsteinova všeobecná teória relativity, ale len čiastočne fundamentálnou je kvantová teória. Je síce založená na reálne existujúcom kvantovaní určitých fyzikálnych veličín, ale jej matematický formalizmus založený na záhadnej vlnovej funkcii je dômyselne vykonštruovaný. Aj preto sa A. Einstein až do svojej smrti nedokázal zmieriť s touto formou kvantovej fyziky a to aj napriek tomu, že je jedným z jej objaviteľov. Cieľom súčasných teoretických fyzikov je vypracovanie takej *teórie všetkého*, ktorá by mala mať punc fundamentálnosti.

Ďalšie požiadavky kladené na „dobrú teóriu“ by bolo možné formulovať takto:

1. dobrá teória nesmie byť závislá od „pozadia“ a 2. nesmie poskytovať nekonečné hodnoty pre reálne fyzikálne veličiny.

Ako „pozadie“ možno označiť časopriestor, v rámci ktorého sa uskutočňuje dynamika systémov. Ak pri konštrukcii nejakej teórie musíme vopred zdefinovať tento rámec, hovoríme, že teória závisí od pozadia. V tomto zmysle je nezávislou od pozadia Einsteinova všeobecná teória relativity, pretože tá si sama určuje aj štruktúru časopriestoru a ten späť určuje, ako sa má hmota v ňom pohybovať. Takúto vlastnosť nevykazuje nielen súčasná kvantová teória, ale ani v súčasnosti veľmi preferovaná teória strún či superstrún.



## 12.2 Teória strún

V úsilí o elimináciu „nekonečien“ z teórie sa podarilo vyšpecifikovať vhodný model fundamentálnych častíc založený na predstave o strunách. Mal by to byť útvar podobný jednorozmernej strune s dostatočne vysokým vnútorným pnutím, ktoré zabezpečuje, že pri nízkych energiách sa tento objekt vďaka nemu „zmršťuje“ v podstate na bodový útvar, ale pri vysokých energiách sa roztiahne, takže sa javí ako nebodový, čím zabraňuje vzniku nekonečien pri kalkulácii s nimi. V snahe o zakotvenie aj teórie gravitácie do hľadanej teórie všetkého, sa ako nutná požiadavka objavil aj postulát o tzv. supersymetrii nášho sveta. Je známe, že všetky častice nášho sveta možno rozdeliť do dvoch kategórií, a to do kategórie častíc, pre ktoré platí tzv. Pauliho vylučovací princíp (tzv. fermióny) a do kategórie, pre ktoré tento postulát neplatí (tzv. bozóny). Princíp supersymetrie požaduje, aby každá častica z prvej kategórie mala svojho partnera aj v druhej kategórii.

Ďalšou prekvapujúcou požiadavkou v súvislosti so zakomponovaním aj gravitácie do teórie všetkého bola požiadavka multirozmernosti nášho sveta, čo značí, že náš svet by mohol vykazovať aj viac rozmerov ako štyri (tri priestorové a jeden časový). Uvedené postuláty síce vynikajúco poslúžili fyzikom pri pokusoch o zjednotenie teórie relativity s kvantovou teóriou, ale nad týmto úspechom stále visí výkričník, ktorý formuloval už spomínaný L. Smolin: „*Zatiaľ je stav taký, že žijeme v trojrozmernom a nesupersymetrickom svete*“.

K nedostatkom uvedenej a veľmi intenzívne rozvíjanej teórii strún či superstrún možno uviesť ešte aj rad ďalších:

- ak sa na začiatku hovorilo o jedinej teórii strún, postupne sa ukázalo, že ich môže byť päť, neskôr že ich môže byť veľa, ba dokonca až nespočetne mnoho,
- teória obsahuje 18 až 20 vstupných konštánt, ktoré treba stanoviť meraním,
- teória strún v podstate nedokáže formulovať nejaký konkrétny výstup, ktorý by bolo možné experimentálne potvrdiť alebo vyvrátiť a
- strunové teórie nie sú nezávislé od pozadia.

S ohľadom na uvedené skutočnosti sa pôvodný optimizmus spojený s teóriou strún, ako s cestou vedúcou k vypracovaniu teórie všetkého, začal postupne meniť na skepsu vedúcu až k pochybnostiam, či takáto teória môže vôbec existovať.

## 12.3 Štandardný model

Možno konštatovať, že poznatky fyzikov súvisiace so skúmaním štruktúry nášho sveta, jednotlivými elementárnymi časticami a ich vzájomnou interakciou, dospeli do vytvorenia tzv. štandardného modelu, ktorý sa ukázal ako neobyčajne úspešný. Zdá sa však, že k jeho úplnej kompletizácii chýbajú ešte dva druhy častíc: 1. častice zodpovedné za existenciu hmotnosti častíc prenášajúcich tzv. slabé sily, čiže tzv. W a Z bozóny (a možno aj ostatných častíc) a 2. častice zodpovedné za existenciu tmavej hmoty. Oficiálnym pomenovaním prvých z nich je „higgson“ a skupina druhých sa zatiaľ označuje nálepkou „WIMP-y“, t.j. masívne častice slabo interagujúce s hmotou.

Higgsony by mali byť častice vytvárajúce tzv. Higgsovo pole, v ktorom by nosiče slabej sily mali získavať nenulovú pokojovú hmotnosť. K ich zavedeniu do teórie zaviedla fyzika P. Higgsova analógia s pozorovaním šírenia fotónov elektromagnetického žiarenia v supravodičoch. Po vstupe do nich sú fotóny (čímsi) brzdené a napokon úplne zastavené, takže elektromagnetické pole sa do supravodiča prakticky vôbec nedostane. Tento jav sa oficiálne nazýva Meissnerov efekt. Podobne by sa mali správať aj spomenuté W a Z bozóny pri vstupe do Higgsovho poľa. Ukázalo sa, že ak by to takto malo naozaj fungovať, potom by hypotetické higgsony museli mať hmotnosť ležiacu na hranici hmotností súčasne známych ťažkých častíc, akými sú napríklad protóny a neutróny. Preto bolo potrebné na ich „dolapenie“ postaviť obrovský urýchľovač častíc (LHC, čiže Large Hadron Collider) v CERN-e pri Ženeve. Na základe informácii z roku 2012 môžeme s veľkou pravdepodobnosťou tvrdiť, že plánované experimenty boli úspešné a že existencia higgsonov bola potvrdená.

Základnou teóriou štandardného modelu je kvantová fyzika. Táto teória je však pre všetkých fyzikov jednou veľkou záhadou, pretože (podľa R. Feynmana) jej vlastne nerozumie nikto. Na jednej strane síce perfektne opisuje všetko dianie v mikrosvete, ale na celkom logickú otázku, čím to je, v podstate nemá odpoveď. Nie je teda deterministickou teóriou, ktorá dôsledne využíva kauzálny princíp. Už v dvadsiatych rokoch minulého storočia prišiel L. de Broglie s myšlienkou o existencii akýchsi „skrytých parametrov“, ale v roku 1932 sa objavil slávny von Neumanov dôkaz, podľa ktorého nijaké skryté parametre neexistujú. V polovici minulého storočia však tento dôkaz spochybnil D. Bohm úspešným vypracovaním modelu so skrytými premennými, vychádzajúc z de Broglieho interpretácie vlnovej funkcie ako „pilotnej vlny“ reálnej častice pri jej pohybe. Skryté premenné v Bohmovom modeli však majú nelokálny charakter. V šesťdesiatych rokoch minulého storočia Bell ukázal, že možno uskutočniť experiment, pre ktorého výsledok dáva kvantová

teória iný výsledok, než akákoľvek lokálna teória so skrytými premennými. Následné experimenty potvrdili, že príroda sa správa podľa zákonov kvantovej fyziky, nie podľa zákonov teórií so skrytými premennými. Preto akákoľvek teória so skrytými premennými musí byť nelokálnou. V poslednom čase prispel novými myšlienkami do teórie so skrytými parametrami fyzik A. Valentini. S napätím sa očakáva, čo v tejto oblasti prinesie budúcnosť. V jednom sú si však fyzici istí, a to v tom, že nech sa objaví akákoľvek nová verzia kvantovej teórie, túto terajšiu bude musieť obsiahnuť v plnej šírke, pretože dokonale opisuje všetky fenomény v mikrosvete.

## 12.4 Antropický princíp

Len málokterá z filozofických koncepcií vyvolala medzi fyzikmi a vedcami vôbec taký rozruch, ako koncepcia tzv. antropického princípu. Jeho podstatu hádam najvýstižnejšie vyjadruje výrok známeho fyzika J. Wheelera: „*Nie človek je adaptovaný na vesmír, ale naopak, vesmír je adaptovaný na človeka*“. Tým sa chce naznačiť, že náš vesmír nie je jeden z mnohých možných a náhodne vybraných vesmírov, ale že sa nám javí ako nesmierne citlivo a cielene naprogramovaný tak, aby sa v ňom vývojom postupne mohol objaviť život a človek. Úžas vzbudzuje najmä poznatok, že keby sa ktorýkoľvek zo základných riadiacich parametrov nášho vesmíru zmenil čo len o nepatrnú hodnotu, inteligentný pozorovateľ by sa v ňom nemohol objaviť.

Samotný názov *antropický princíp* použil ako prvý B. Carter. Spočiatku sa tento princíp formuloval len ako tzv. slabý antropický princíp, obsahom ktorého bolo tvrdenie, že vesmír je usporiadaný tak, aby sa v niektorej jeho lokalite mohol objaviť fenomén života. J. A. Wheeler formuloval v roku 1977 tzv. silný antropický princíp, podľa ktorého sa život v nejakej lokalite vesmíru objaviť musel. F. Tipler hovorí o tzv. finálnom antropickom princípe, podľa ktorého, ak sa v nejakom mieste vesmíru život objavil, tak v ňom už trvale zostane.

V názore na to, či antropický princíp treba brať vážne, alebo či ho treba považovať len za akési východisko z núdze, sa fyzici sporia. Jeho odporcovia argumentujú najmä tým, že keď sa konečne vypracuje dlho očakávaná teória všetkého, potom sa získajú aj odpovede na otázku, prečo je náš vesmír taký, aký je a nie nejaký inakší. Určitou alternatívou antropického princípu je tzv. teória multivesmíru, ktorá predpokladá, že vesmírov môže byť aj viac, ba dokonca aj veľmi mnoho a že v každom z nich sa to nejako spontánne usporiadalo tak, že aspoň v jednom z nich sa splnili všetky podmienky na to, aby sa v ňom mohol vyvinúť život i človek. Jeden z najuznávanejších súčasných fyzikov S. Weinberg však k tomu

poznávaná, že nemá dost' voľného času na to, aby sa takým nezmyslom, ako je pojem multivesmíru, seriózne zaoberal. Vychádza mu totiž, že ak by to malo reálne fungovať, potom by tých vesmírov muselo byť nespočetne mnoho.

Iný známy fyzik – kozmológ A. Linde napísal: „*Tí, ktorým sa antropický princíp nepáči, jednoducho ignorujú skutočnosť*“. Našu krátku polemiku okolo antropického princípu možno uzavrieť konštatovaním, že už dávno pred jeho koncipovaním sa viacerí slávni fyzici podobnými myšlienkami vážne zaoberali. Je napríklad známy Einsteinov citát: „*Ktovie, či Boh mal pri kreovaní sveta aj nejakú inú alternatívu*“. V súčasnosti sa problém antropického princípu ešte viac vyostřil, keď sa zistilo, že vákuová energia vypočítaná na základe platných fyzikálnych vzťahov musí byť zatiaľ nejakým neznámym mechanizmom vykompenzovaná s presnosťou na 119 desatinných miest! Keby to bolo len o jedno desatinné miesto menej, tak by sme tu neboli. Je zrejmé, že pri objasňovaní týchto záhad čaká fyzikov ešte veľmi ťažká práca.

## 12.5 Tmavá hmota a tmavá energia

O tmavej hmote sme sa už v predchádzajúcom texte častejšie zmienili. Objavili sa síce aj pokusy vyhnúť sa postulátu o jej existencii vhodnou modifikáciou Newtonovho silového zákona (ide o tzv. teóriu MOND, čo značí Modifikovaná Newtonova dynamika), s ktorou prišiel fyzik M. Milgrom v roku 1983, ale väčšina fyzikov jej nedôveruje. Zvláštnosťou teórie MOND je postulát, že pre malé zrýchlenia príslušná sila nie je úmerná hmotnosti objektu, ale len jej odmocnine. Aj keď v určitých prípadoch dosiahla aj dobrý súhlas s experimentom, veľké nádeje sa do nej nekladajú, pretože je v rozpore s teóriou relativity.

Ešte komplikovanejšia je situácia v súvislosti s tmavou energiou. Už sme spomenuli, že jej najväčšou záhadou je to, že má antigravitačné účinky a z teoretického hľadiska to, že vyžaduje neuveriteľnú kompenzáciu, aby sa dosiahol súhlas jej vypočítanej hustoty s nameranou hodnotou. Aj keď sa objavujú už určité náznaky na objasnenie tejto veľkej záhady v určitej umelo vykonštruovanej teórii všetkého, podľa ktorej sa pri zrode vesmíru generovala tak kladná ako aj záporná hmota a tie sa potom mohli takmer dokonale kompenzovať, zatiaľ sa problém tmavej energie považuje za jednu z najväčších záhad našej reality.

**Literatúra:**

- [1] Krempaský, J. a kol.: *Učiteľ prírodných vied pre tretie tisícročie*. Typi Universitatis Tyrnaviensis, Trnava 2011.
- [2] Barrow, J. D., Tipler, F. J. : *The Antropic Cosmological Pinciple*. OUP Oxford 1986.
- [3] Smolin, L.: *Fyzika v potížich. Argo/dokořan*. Praha 2009.

## Záver

Hlavným cieľom predkladanej publikácie bolo predstaviť fyziku ako disciplínu, ktorá má podstatne širší dopad na spoločnosť, ako si to mnohí na rozličných úrovniach predstavujú, a ako by to mohlo vyplývať z klasickej definície jej obsahu. Nie je to len veda v niektorých základných vlastnostiach a aspektoch neživej matérie, ale jej výstupy zasahujú prakticky do všetkých odvetví ľudskej materiálnej i duchovnej aktivity. Je to celkom logické, ak si uvedomíme, že všetko, čo okolo seba a aj v sebe registrujeme, sa vyvinulo z pôvodnej matérie, ktorá na začiatku prejavovala len fyzikálne vlastnosti. Tie primárne vlastnosti sa samozrejme museli v nejakej forme zachovať aj v tom všetkom, čo z pôvodnej hmoty vzniklo.

Samozrejme, treba si byť vedomý toho, že na určitej úrovni evolúcie sa vo vesmíre objavili aj fenomény, ktorých pôvod, ani podstatu nevieme v rámci fyziky pochopiť, ani vysvetliť, napr. sebareflexia, vedomie, ale s prekvapením zisťujeme, že aj v tejto sfére vládnu určité univerzality, ktoré objavila a stále ešte objavuje fyzika, preto možno konštatovať, že štúdium fyziky je užitočné aj pre také vedecké disciplíny, akými sú napríklad psychológia, fyzika, dokonca aj teológia.

V poslednej dobe sa dost' výrazne objavuje trend určitej autonomizácie niektorých vied, napríklad informatiky, mikro a nanotechniky, či techniky vôbec, takže sa často stretávame s tvrdením, že pracovníci v týchto oblastiach už vlastne fyziku ani nepotrebujú. To je však veľký omyl, pretože prax jednoznačne svedčí o tom, že progres aj v týchto oblastiach je v podstate možný len na báze fyziky. Tá totiž doslova otvára dverka aj do sfér, o ktorých sa vede donedávna ani nesnívalo. Je to prienik nielen do „megavzdialenosti“ v oblasti kozmológie, ale najmä do oblasti nesmierne malých dimenzií. Naše poznatky sa postupne posúvajú od oblasti makroskopických, do oblasti molekúl, atómov, elementárnych častíc (protónov, neutrónov, elektrónov), ale už aj do oblasti ich komponentov, a tými sú kvarky, či iné zatiaľ ešte hypotetické submikroskopické objekty. To poskytlo a stále poskytuje obrovskú šancu pre materiállovú oblasť, ale najmä pre ďalekosiahlu miniaturizáciu. Nie je ďaleko doba, keď už bude možné zaznamenať všetky informácie, ku ktorým ľudstvo doteraz dospelo, do malého osobného počítača, ktoré sa zmestí do maličkého vrečka na kabáte. Aký to bude mať vplyv na život spoločnosti, to zatiaľ nemožno v detailoch poznať, jedno je však isté: bez fyziky by tento progres nemohol nastať. Aj preto sa javí ako nevyhnutné zabezpečiť fyzike adekvátne postavenie v systéme vied, ale najmä v skladbe a obsahu vyučovania na všetkých úrovniach škôl, aby sa pre všetky štáty zabezpečila nielen možnosť prispievať k všeobecnému progresu, ale aj k tomu, aby výsledky všeobecného progresu mohli aj využívať. Tomuto účelu

má slúžiť aj táto predkladaná publikácia, ktorá je určená predovšetkým pre predmet *Fyzika s súčasná spoločnosť*, ktorý sa vyučuje na Katedre fyziky Pedagogickej fakulty Trnavskej univerzity v Trnave.

Je všeobecne známe, že v súčasnej praxi registrujeme v podstate dve oblasti využívania fyziky. Prvou je využívanie fyziky v technike, kde tvorí bázu pre nespočetné množstvo praktických realizácií vo všetkých odvetviach ľudskej činnosti. Druhou, nie menej významnou oblasťou využitia fyziky, je oblasť dominancie iných vied, ako je samotná fyzika. Spomenúť možno nielen príbuzné vedy, akými sú napríklad chémia, geológia, geofyzika, astronómia, astrofyzika a kozmológia, ale aj vedy o živých systémoch (biológia, ekológia), vedy o sociálnych systémoch (ekonómia, sociológia) a v neposlednom rade také univerzálne vedy, akými sú filozofia a teológia. V tejto publikácii sme sa usilovali prezentovať informácie objasňujúce možnosti aplikácie fyziky aj v druhej kategórii skúmaných fenoménov a menej pozornosti sme venovali detailným konkrétnostiam dôležitých technických aplikácií.

Čitateľovi, ktorý by mal hlbší záujem o informácie z tejto druhej kategórie, možno odporučiť publikáciu autorov O. Lepil a kol.: *Fyzika aktuálne* [1].

Ďalšie podrobnejšie informácie o spracovanej problematike možno nájsť vo viacerých publikáciách, ktoré sú na našom trhu k dispozícii. Ide napr. o publikáciu Odenwald, M.: *Brána do vesmíru* [2] a Baker, J.: *50 physics ideas you really need to know* [3].

#### **Literatúra:**

[1] Lepil, O. a kol.: *Fyzika aktuálne*. Prometheus, spol. s. r. o. Praha, 2009

[2] Odenwald, M.: *Odenwalds Universum* (český preklad: Běhounková, L. *Brána do vesmíru*) NS SVOBODA 2010, ISBN: 978-80-205-0614-6.

[3] Baker, J.: *50 physics ideas you really need to know* (slovenský preklad: Kapišinský, I. *50 myšlienok, ktoré by ste mali poznať*), Slovart, Bratislava 2013, ISBN: 978-80-556-0876-1.

ISBN 978-80-8082-761-8