

## Realita informace

!!  
Připomeňme si: *informace existuje*. Nepotřebuje být *vnímána*, aby existovala. Nepotřebuje být *chápana*, aby existovala. Nepotřebuje žádnou inteligenci, aby byla interpretována. Nemusí mít *význam*, aby existovala. Prostě existuje.

Bez pochopení této skutečnosti není možné ani rozumět fyzikálnímu vesmíru, ani rozvíjet obecnou teorii informace. A bez obecné teorie nejenže není možné přeměnit znalostní inženýrství a softwarovou tvorbu ve vědu, ale je nemožné skutečně porozumět chování rozvinutých systémů – biologických, sociálních a ekonomických.

Posuďme tyto argumenty. Kniha obsahuje informace, ať je čtena nebo ne. Informace je v ní obsažena, i když není zprostředkována čtenáři. Dokonce, i když je kniha napsaná ve finštině, v jazyce českému čtenáři nejspíše nesrozumitelném, jak se dá předpokládat, přesto obsahuje informaci. Český čtenář<sup>8)</sup>, který se pokouší rozluštit knihu psanou ve finštině, je příkladem pro pochopení rozdílu mezi pojmem informace a jejím významem. Tato analýza nám umožní obecně pochopit, že vztah mezi informací a významem může vytvořit celé spektrum a může být zdrojem zmatků. Jev, který nazýváme „význam“, vytváří celou polohupnost vztahů mezi fyzikální informací a její mentální interpretací.

Jedním extrémem je kniha napsaná v jazyce, který je nám přirozený a odpovídá úrovni našeho chápání tématu, jež je v knize diskutováno. Taková kniha nejenže *obsahuje* velké množství informace, ale také velké množství informace *sděluje*. Tato kniha je schopna sdělit spoustu informací, protože tyto informace pro nás mají *význam*. Důvodem, proč pro nás mají význam, je to, že jsme schopni zařadit tuto informaci do osobního *kontextu*. Takový kontext se skládá ze znalostních struktur v našem mozku, které mohou působit jako *informační prostředí* pro určitou novou informaci. Čím bohatší je toto vnitřní informační prostředí, tím širší je kontext, do něhož může být nová informace umístěna, a tím významnější se tato informace stává. To znamená, že informace předávaná knihou je funkcí intelektuálního informačního prostředí, existujícího v podobě znalostních struktur ve čtenářově mozku<sup>\*</sup>).

Vraťme se ke spektru významů: dalším problémem je kniha napsaná v našem rodném jazyce, ale na téma, které je nám cizí. Neznámé výrazy a cizí myšlenky nám velmi ztěžují její pochopení. Totéž platí pro dítě, které čte text nepřiměřený jeho věku. Tento typ rozdílu v informaci předané čtenáři může být ořejměn srovnáním „intelektuálních novin“ s bulvárním plátkem. „Intelektuální nové-

<sup>8)</sup> V originálu se autor odvolává na zkušenosti anglického čtenáře. (Pozn. překl.)

<sup>\*</sup> Tato látka bude podrobněji probrána v knihách *Beyond Chaos* a *Beyond Information*. (Pozn. autora.)

ny“ směřují svůj slovník a styl k úrovni asi šestnáctiletých čtenářů, bulvární plátky k úrovni čtenářů asi dvanáctiletých. Dospělí, jejichž vzdělanost je vylučuje z plného chápání *Timesů*, nemají problémy se čtením tzv. plátků. To ale neznamená, že *Timesy* obsahují méně informace.

Jako další na žebříčku významu jsou knihy napsané v cizím jazyce. Pro osobu mluvící jen rodným jazykem mohou západoevropské jazyky obsahovat některá slova, která jsou snadno srozumitelná. Ovšem fráze a věty jí nedávají smysl. Možná, že v knihách napsaných v jiném než indoevropském jazyce, jako třeba ve finštině, nebudou mít např. pro anglického čtenáře žádná slova význam. Avšak písmena jsou čitelná a kniha má pro čtenáře stále ještě význam ve dvou úrovních: čtenář je schopen rozpoznat knihu jako knihu a rozpoznat písmena. *Písmena* mají stále pro čtenáře význam.

Jinak tomu ale bude, pokud byla kniha přeložena do arabštiny. Nyní nemůže čtenář rozeznat ani význam písmen. Text nepřináší čtenáři *téměř* žádnou informaci, přestože jazyková informace *obsažená* v knize je potenciálně stejná jako v originále.

Čtenář, který je obeznámen s knihami, bude stále ještě rozpoznávat dvě věci: 1. *Je to kniha*. 2. Klikyháky na stránce, představující abstraktní vzor, mohou asi někomu, kdo těmto klikyhákům rozumí, dávat smysl. Proto taková kniha bude stále ještě mít pro našeho čtenáře význam, i když mu *obsah* textu uniká.

Předjďme k ještě extrémnějšímu případu. Představme si kámen nebo skálu s rytinami ve starověkém jazyce, kterému již nikdo z dnes žijících lidí nerozumí. Ty již nejsou knihou. *Neobsahuje* snad takový kámen lidskou informaci, i když není rozluštitelná? Předpokládejme, že někdy v budoucnosti nám základní znalosti z lingvistiky a inteligentní počítače umožní tuto informaci rozluštit. Nebo předpokládejme, že někdo objeví něco jako tzv. Rosettské desky<sup>9)</sup> a přeloží její význam např. do angličtiny. Opravdu můžeme říci, že takový kámen neobsahoval před přeložením žádnou informaci?

Je možné argumentovat, že kámen před rozluštěním obsahuje pouze *skrytou* informaci. To znamená, že informace není skutečnou informací, dokud nebyla *přečtena*, nebo nějakým jiným způsobem člověkem *vstřebána*. Akt *vstřebání* je to, co činí informaci *reálnou*.

Zdá se, že toto je *běžný výklad* pojmu informace (jak si autor potvrdil v četných diskuzích se spolupracovníky a dalšími odborníky). \* *potenciálně infor.*

<sup>9)</sup> Rosettská deska je název pro bazaltovou stělu nalezenou v roce 1799 důstojníkem Napoleonovy armády u Rosetty (dnešní Rašid) v západní části delty Nilu. Obsahuje dva identické staroegyptské nápisy z roku 196 př. Kr. v hieroglyfickém a demotickém písmu a jejich řecký překlad, na jehož základě J. F. Champolion roce 1822 rozluštil egyptské hieroglyfy. (Pozn. překl.)

Nerozlučitelné hieroglyfy na našem hypotetickém kameni jsou ale dilematem pro náš obvyklý výklad pojmu informace. Na základě naší historické zkušenosti s mrtvými jazyky, které byly rozluštny, intuitivně připouštíme, že tento kámen informaci obsahuje. Ale co když tento kámen nikdo nikdy nerozluští? V tomto případě můžeme zaujmout jedno ze tří stanovisek:

1. I když kámen na sobě má „nápisy“, neobsahuje žádnou informaci, protože nápisy nedávají nikomu žádný smysl.
2. Kámen obsahuje jistý typ informace, která ovšem netvoří reálnou informaci, dokud nápisy někdo nebude *schopen* přečíst.
3. Kámen *obsahuje* informaci, přestože jeho text žádnou informaci nesdílí.

Tato tři stanoviska se navzájem vylučují. Pokud čtenář tohoto pojednání zastává první názor, nebude moci přijmout nic z následující diskuze. Ti, co zastávají druhé hledisko, budou muset svůj názor poněkud poopravit: to, co oni považují za „reálnou“ informaci, se v předkládaném díle nazývá „smysluplná“ informace, tj. informace, která může být sdělena příjemci. To, co by mohli tito čtenáři považovat za latentní nebo potenciální informaci, bude považováno za reálnou informaci, tak reálnou, jako je *energie* obsažená v objektu nebo systému, který není pozorován nebo není nucen konat práci. Teplo obsažené v takovém systému existuje, ať ho pozorujeme nebo ne. Pokud ho chceme měřit, měříme ho pomocí jednotek energie v systému obsažené. Totéž platí pro informaci.

Pokračujeme ve spektru významů: předpokládali jsme, že značky na kameni byly hieroglyfické. Co když to byly pouhé dekorativní obrazce bez zřejmé zprávy? A nebo co nález paleolitické kosti pokryté pravidelnými znaky? Jsou tyto znaky pouze dekorace, nebo je to druh počítadla, nebo je to kalendář? Zmíněné předměty nám mnoho neříkají. Přesto ještě obsahují informaci, specificky *lidskou* informaci, za předpokladu, že můžeme ověřit, že obrazce byly výsledkem lidské činnosti. (Navíc, kámen i kost obsahují mimolidskou informaci, protože vykazují organizační strukturu.)

Myšlenka, že sdílená lidská informace může mít vlastní fyzikální realitu, oddělenou od jejího lidského původu, může být ilustrována na zániku radiové zprávy vyslané do prostoru: vzdalujíc se rychlostí světla, nemůžeme ji již znovu vnímat. Zprávu tvoří modulační obrazec na svém nosiči. Nyní je však zpráva odloučena od svých pozemských původců. Veškerý lidský život na Zemi může být zničen nukleární nebo vesmírnou katastrofou. Modulační obrazec se však šíří dál. Teoreticky je možné, že zpráva bude rozluštěna nějakými jinými inteligentními bytostmi. Ale i kdyby nebyla, zpráva bude dále pokračovat v pohybu prostorem, jako fyzikální entita, která nebere ohled na to, co se mohlo stát jejím tvůrcům na Zemi.

Je nemožné vyvinout obecnou teorii informace, pokud zaměňujeme různé aspekty informace s jejím přepravováním, zpracováním nebo interpretací.

### Tato kniha předpokládá, že existuje rozdíl mezi:

1. Informací skutečně *obsaženou* v systému.
2. Informací *převedenou* systémem k nějakému příjemci!

Klasickou ilustrací jsou Sherlock Holmes a dr. Watson z díla Conana Doylea. Detaily, které neposkytují žádnou zvláštní informaci dr. Watsonovi, představují pro Holmese zásadní stopy. Skutečné informace *obsažené* ve sdělení byly stejné, avšak jejich *význam* byl závislý na tom, zda příjemcem byl Sherlock Holmes nebo dr. Watson.

## Jádro obecných představ

Mimo veškerou rozumnou pochybnost bylo prokázáno, že molekuly DNA obsahují a jsou schopny přenášet velké množství informací (které postačují např. k naprogramování jediné buňky tak, že z ní může vyrůst lidská bytost). Podobně krystaly oxidu mangančitého nebo křemíku obsahují dostatek informací k tomu, aby se samy rozmnožovaly, a krystaly jílu vykazují takové struktury organizace, které mohou nést informaci podobně jako abakus<sup>10)</sup>. Dále můžeme pozorovat, že tyto biologické, předbiologické a minerální systémy nejenže informaci obsahují, ale vykazují také schopnost informaci zpracovávat.

Informace, které jsou zpracovávány v roztoku hypermanganu při jeho interakci s krystalem oxidu mangančitého nebo v lidské buňce obsahující DNA, jsou dány organizační strukturou nosiče informace u MnO<sub>2</sub> nebo DNA. To znamená, že ve všech případech je informace fyzikálně zakódována jako struktura organizace. Tyto představy vedou k prvnímu axiomu informační fyziky:

### Informace a uspořádání (organizace) spolu úzce souvisí.

#### Z tohoto axiomu odvodíme následující teoremy:

1. **Všechny organizované struktury obsahují informaci, a jako důsledek: žádná organizovaná struktura nemůže existovat, aniž by obsahovala nějakou formu informace.**
2. **Přidání informace do systému se projeví tím, že se systém stane organizovanějším nebo se reorganizuje.**
3. **Organizovaný systém je schopný vydávat nebo sdílet informaci.**

<sup>10)</sup> Abakus – starověké počítadlo. (Pozn. překl.)

Prozkoumejme výše uvedené teoremy, počínaje prvním: libovolný fyzikální systém, který vykazuje organizaci, obsahuje informaci. Informace organizuje prostor a čas. Definice pojmu „informace“ se zdá být obdobná jako definice pojmu „energie“ stanovená fyziky: *Energie* je definována jako schopnost konat práci. *Informace* je definována jako schopnost organizovat systém nebo jej v organizovaném stavu udržovat. Později budeme probírat, že je nemožné konat užitečnou práci, aniž bychom dodávali *jak energii, tak informaci*. Naopak, každá práce s sebou přináší změnu v organizaci, a tedy i v informaci.

*Organizace* je odraz pořádku či řádu. O struktuře nebo systému můžeme říci, že jsou organizovány, pokud vykazují řád. *Řád* je nenáhodné uspořádání části struktury nebo systému. *Náhodnost* je opak pořádku s tím, že nesmíme zapomenout, že určité formy zdánlivé náhodnosti vykazují významný řád, tj. perfektní jednotnou distribuci. Z tohoto důvodu budou přednostně používány výrazy *chaos* a *neuspořádanost*. Libovolná kvantitativní analýza informace musí být založena, alespoň z části, na měření buď uspořádanosti, nebo neuspořádanosti systému.

Analýza informačního obsahu chaotického systému je komplikována tím, že se může pouze zdát, že systém je chaotický. Takový systém se může chovat podle jednoduchého algoritmu. Zdánlivá nepředvídatelnost odráží tu skutečnost, že triviální změny v počátečních podmínkách mohou mít hlavní vliv na výsledné chování systému [16].

Organizace a informace jsou podle definice úzce svázány. Ale přece jen se liší. Nemůžeme mít stín bez světla, ale stín a světlo nejsou totéž. Stín je projevem světla, které svítí na neprůsvitný předmět. Podobně, *organizace* je projevem informace působící na hmotu a energii.

Je důležité zdůraznit nutnost zavedení abstraktního výrazu „informace“. *Informace* je veličina, která může být přeměňována z jedné formy na druhou. *Informace* je veličina, která může být převáděna z jednoho systému do druhého. To neplatí, alespoň ne ve stejné míře, pro konkrétnější pojmy „řád“, „organizace“, „vzor“ nebo „struktura“. Je to obdobné rozdílu mezi pojmy „energie“ a „teplo“. Energie je schopna transformace z jedné formy do druhé, stejně tak jako z jednoho systému do druhého. Naproti tomu, omezení týkající se méně abstraktního pojmu „teplo“ (veličiny přímo vnímatelné našimi tělesnými smysly) nedovolují vysvětlit, jak zahřívání kotle způsobí, že se lokomotiva pohybuje, nebo že se rozsvítí žárovka jako odezva na teplo přivedené na parní turbínu.

Podobně může být „informace“ transformována z jedné formy do druhé, jako např. při diktování rukopisu: seskupení zvukových vln skončí přeepsané do slov na vytištěné stránce. Je snadné pochopit, že informace byla přenesena a transformována přes písáře a tiskárnu z mluvených do psaných slov. Není však jasné, jak oscilující molekuly vzduchu, vytvářející zvukové vlny, skončí jako zdánlivě

nesouvisející struktura mrtvých molekul na vytištěné stránce. Případ pak bude ještě záhadnější, když vyloučíme lidského prostředníka a budeme mluvit do stroje převádějícího hlas přímo na tisk. Struktura fonémů<sup>11)</sup> tvořících slovo není stejná jako struktura tištěných slabik tvořících totéž slovo. Informační obsah ovšem může být v obou případech stejný.

Informace, podobně jako energie, je abstraktní veličinou. Už od dob Hartleyových, tj. před více než půl stoletím, rozpoznali odborníci ve sdělovací technice, že s informací může být nakládáno jako s abstraktní veličinou. Tato kniha předpokládá více než to, a sice předpokládá, že informace, stejně jako energie, má též *fyzikální* podstatu.

Abychom byli ještě přesnější, *teplo* (včetně nekorelovaných fononů<sup>12)</sup> v krystalu nebo náhodně se pohybujících molekul v plynu) je výsledkem působení mezi hmotou a čistou energií. *Struktura* je výsledek působení mezi hmotou a čistou informací. Energie byla v předrelativistické fyzice považována za abstraktní veličinu, která se působením na hmotu projeví jako teplo. Podobně může být za abstraktní veličinu považována informace, neboť když se přidá ke hmotě, projeví se jako změna struktury.

Jak bude probráno v další kapitole, takové vyjasnění obsahu pojmu informace vede k jiné kvantitativní definici než je ta, kterou uvádějí komunikační inženýři. Taková definice se liší od standardní slovníkové definice, která definuje *informaci* jako např. znalost, novinku nebo to, co je řečeno. Slovníky dále definují *znalost* jako vše to, co může být poznáno. Vědění je definováno jako: rozpoznávání, vnímání s jistotou, být si vědom (něčeho), být obeznámen s něčím. Slovníky nám poskytují i jiné, mnohem specializovanější výrazy, ale podstatou je, že informace je buď nějaká podoba znalosti, nebo je ekvivalentní znalosti. Slovníky definují znalost a informaci čistě v implicitně lidských pojmech. To je v patrném rozporu se zásadou, že informace je vlastnost vesmíru, že vytváří „vnitřní“ strukturu vesmíru.

*Lidská informace* může zahrnovat *vnímání* této vnitřní struktury vesmíru. Pokaždé, když vědci definují konstanty, jako např. plynovou konstantu, Avogadrovo číslo, Boltzmanovu nebo Planckovu konstantu, atd., objevují tím další aspekt organizace vesmíru. Každý takový objev představuje lidské vnímání informace obsažené ve fyzikálních systémech.

Aspekty *lidských* informačních systémů, včetně pojmů znalost, význam, významnost, inteligence atd., budou prozkoumány v následujícím díle *Beyond Chaos*. Předkládané dílo se zabývá fyzikou informačních systémů, systémů, jejichž realita je nezávislá na lidském vnímání a která jej tudíž přesahuje.

<sup>11)</sup> foném – hláska s významotvornou funkcí. (Pozn. překl.)

<sup>12)</sup> fonon – kvantum energie kmitů krystalové mřížky. (Pozn. překl.)

Můžeme tedy shrnout: Všechny pravidelné struktury obsahují informaci. Matematika chaosu ukázala, že dokonce zdánlivě vysoce nepravidelné struktury mohou být výsledkem nějakého docela jednoduchého algoritmu, který je v pozadí chaosu. Na argument, že to, o čem skutečně hovoříme, jsou „struktury“ a „organizace“, lze odpovědět tím, že „informace“ je jejich abstraktnějším zobecněním, které konec konců budeme potřebovat pro její změřeni nějakou univerzální mírou jako je třeba „bit“. Je obtížné kvantitativně měřit uspořádání nebo strukturu v bitech bez pomoci abstraktního pojmu „informace“ – je to podobné, jako kdybychom měli měřit světelný výkon lampy v joulech bez abstraktnějšího pojmu „energie“.

## Informace: skrytý rozměr

**Informace je ve skutečnosti implicitní složkou každé jednotlivé rovnice popisující fyzikální zákony.** Od dob Galileových klasických pokusů popisují fyzici a inženýři veškerý pohyb pomocí pojmů vzdálenosti a času. Veškerý pohyb v sobě zahrnuje reorganizaci vesmíru – a jako takový může tedy být pohyb považován za představitele „informačního aktu“.

V každé analýze, která obsahuje vektory, nalézáme informaci. Pojem „směr“ je informační pojem. Vyvozuje vztah k osám (existujícím nebo pomyslným). Samozřejmě, že výraz „směr“ není formou ani hmoty, ani energie. Podobně, změny polohy a času měří změny informačního stavu systému obsahujícího pohybující se těleso. Konkrétně měří těleso ve vztahu k jeho okolí. Abychom mohli měřit polohu a čas skutečně správně, potřebujeme nějaký organizovaný referenční rámec – reálný nebo pomyslný. Popis pohybu proto zahrnuje výpočet o změnách v informačním stavu systému.

Provádíme-li analýzu pohybu tělesa, je nutno rozlišovat tři oddělené (i když vzájemně související) jevy: 1. především sílu působící na těleso a způsobující jeho pohyb (nebo změnu pohybu), 2. hybnost pohybujícího se tělesa a 3. pohyb sám. Síla a hybnost představují aspekty čisté energie, ačkoli podle definice oba obsahují rozměry času a vzdálenosti. Ovšem pohyb sám, tj. trajektorie částice, je čistou informací, popisující reorganizaci systému, protože částice se pohybuje z místa A do místa B v určitém referenčním rámci.

To, že „pohyb“, lišící se od své příčiny nebo účinku, v sobě zahrnuje nějakou formu informace, ještě nevyklučuje, že pohybující se částice má ve stejném okamžiku energii. Je-li pohybující se částice hmotná, pak může být její energie vyjádřena její hybností. Dokonce i když nemá hmotu, jako je tomu v případě fotonu, můžeme použitím rovnice relativity ukázat, že má hybnost, která této částici dává možnost pohybovat se rychlostí  $c$ , tj. rychlostí světla. (Existuje zde

také teoretická možnost existence pohybující se částice, která postrádá jak hmotu, tak informaci – téma, která bude probráno v příloze A.)

Všechny konstanty odrážejí určitou organizační vlastnost popisovaného systému. Bez takové organizační vlastnosti by pevné vztahy, definující jakoukoli danou konstantu, neexistovaly. Proto, ať uvažujeme Avogadrovo číslo, Heisenbergovu nebo Boltzmanovu konstantu nebo rychlost světla, všechny tyto konstanty definují určitý pevný vztah nebo soubor vztahů uvnitř systému. Takové pevné vztahy implikují řád uvnitř systému, který ovšem odráží informaci obsaženou v systému.

V podobném duchu musí i Pauliho<sup>13)</sup> princip vylučnosti, tak podstatný pro organizaci hmoty, odrážet informační vlastnosti atomových obalů. Základní částice mohou samy o sobě vykazovat informační vlastnosti: Kvarkům jsou přiřazeny vlastnosti, jako šarm nebo krása. Podobně – slova nahoru a dolů implikují některé charakteristiky vazebních vlastností systémů obsahujících informaci. Totéž může být řečeno o elektrickém náboji. Ačkoli oddělení opačných nábojů (nebo spojení stejných) vyžaduje sílu, jednotlivý náboj sám o sobě představuje informační vlastnost částice, která náboj nese.

Vzdálenost měří prostor mezi dvěma objekty nebo imaginárními body. Čas měří interval mezi dvěma událostmi. Jak čas, tak vzdálenost, představují formy informace. Ovšem tyto informace se od sebe liší tak, jako např. elektromagnetické záření a mechanická energie. Tím jsme naznačili, že čas a vzdálenost jsou v relativistických pojmech vzájemně převoditelné právě tak, jako mechanická energie pohánějící turbínu, která generuje elektrický proud, který může skončit jako světlo vyzařované žárovkou. Tak tedy nejenom různé formy energií, ale rovněž tak i různé formy informace jsou vzájemně převoditelné. A co více, energie a informace jsou také vzájemně snadno převoditelné – tento problém bude zkoumán později ve spojení s entropií, prací a potenciální energií.

Jsou-li směr, vzdálenost  $d$  a čas  $t$  formy informace, pak „rychlost“, tj. míra změny polohy tělesa v čase, pohybujícího se určitým směrem, musí být formou informace; a představuje-li informaci rychlost, pak i „zrychlení“ (změna rychlosti za jednotku času) musí být formou informace. To vyvolává otázku, zda klasická rovnice, která dává do vztahu sílu  $F$  a hmotu  $m$  vynásobenou zrychlením  $a$ , tj.:

$$F = ma$$

<sup>13)</sup> Wolfgang Pauli 1900–1958, Švýcar – nositel Nobelovy ceny za fyziku. Mj. vypracoval teorii spinu elektronu a předpověděl existenci neutrina. Princip vylučnosti říká: Dva elektrony nemohou mít v jednom atomu současně všechna čtyři kvantová čísla stejná. (Pozn. překl.)

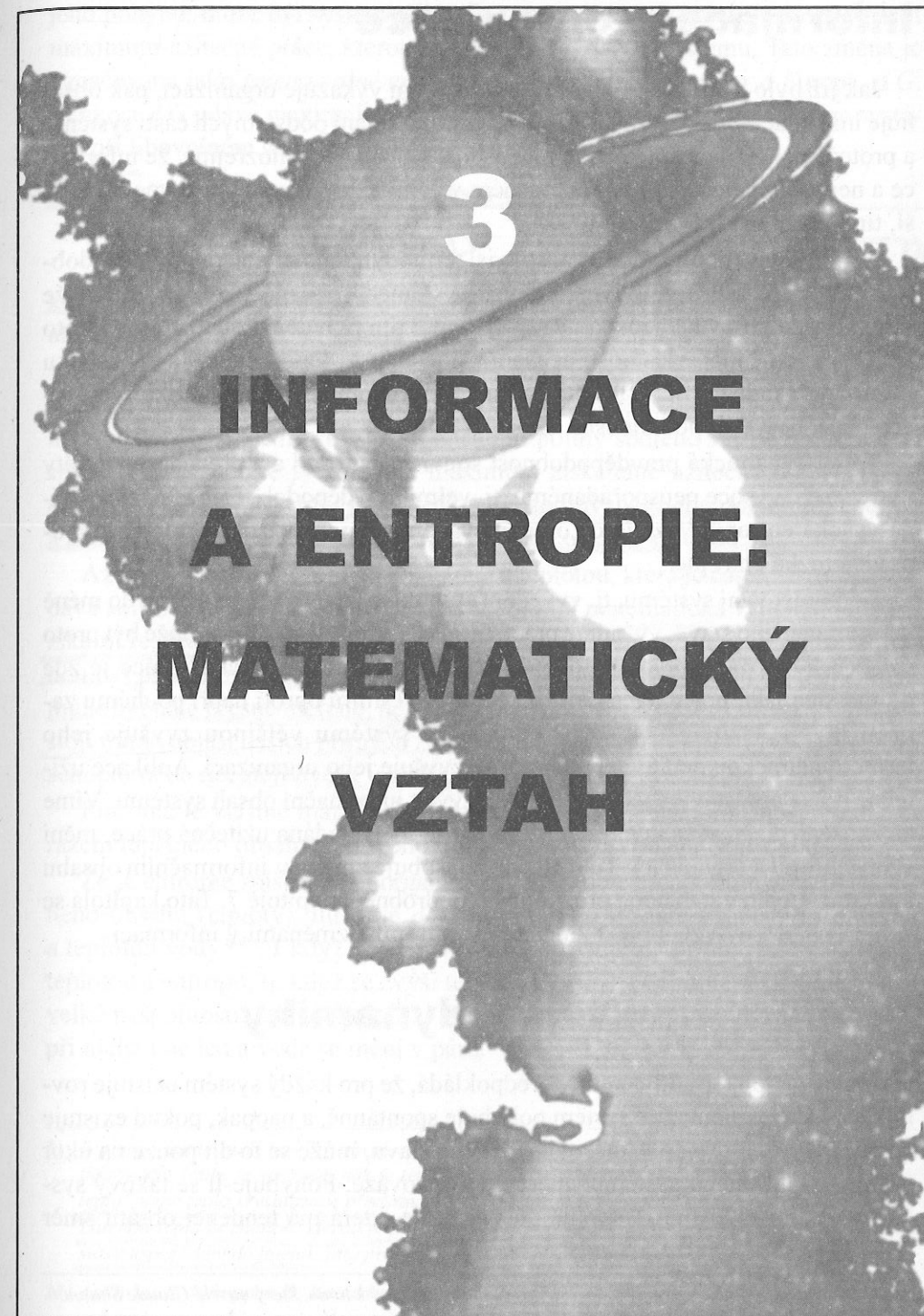
vyvozuje, že můžeme sílu považovat za matematický součin hmoty a informace a podobně, zda rovnice pro práci

$$W = Fd$$

vyvozuje, že práce je matematickým součinem hmoty a informace. Stejný závěr by platil pro proměnnou rychlost

$$v = dr / dt$$

kde  $r$  je vektor polohy, který také představuje jednu z forem informace.



tak jak to shrnul Paul Davies ve své knize *The Cosmic Blueprint* [14]. Uvádí: „Vedle vektoru entropie existuje jako další vektor čas, který je v přírodě stejně tak základní a neméně pronikavý ... vesmír se *vyvíjí* – stálým vzrůstem organizace a komplexnosti – ke stále rozvinutějším a propracovanějším stavům hmoty a energie.“

# 6

## NĚKTERÉ DALŠÍ ÚVAHY O VZTAHU MEZI INFORMACÍ A ENERGIÍ

## Úvod

**Energie a informace jsou snadno převoditelné.** Jak jsme podrobně diskutovali v předcházejících kapitolách, *entropie*, která je v některých učebnicích definována jako „vázaná“ energie nebo energie, která není k dispozici pro konání práce, je ve skutečnosti měřítkem změn v informaci. Pokud se ukáže, že závěr uvedený na konci kapitoly 4 je správný, pak informační změny doprovázející změněné fyzikální stavy vyvozují, že jeden joul na stupeň (K) je ekvivalentní řádově  $10^{23}$  bitů.

Tato kapitola zkoumá další vztahy mezi informací a energií. Začíná úvahou, že čistá energie dodaná hmotě se změní v teplo a že teplo je protikladem struktury. Na rozdíl od tepla všechny ostatní formy energie v sobě obsahují organizační strukturu a dá se říci, že obsahují informaci. Stejně tak můžeme říci, že i organizovaná hmota obsahuje informaci. Kapitola pokračuje vysvětlením pohybu jako jevu a jeho rámce – prostoru a času. Takové vysvětlení vede ke změně interpretace potenciální energie jakožto formy informace. Závěrem kapitola uvažuje o práci informačních strojů. Při vzájemném působení mezi hmotou, energií a informací jsou jasně rozeznatelné dva typy informace: strukturální a kinetická. Kinetická informace je stejného typu jako potenciální energie.

## Čistá energie: teplo jako protiklad informace

Teplo představuje čistou energii působící na hmotu<sup>\*)</sup>. Působení tepla na hmotu samo o sobě nepředstavuje vstup informace. Více tepla způsobí, že se molekuly nebo jiné částice budou pohybovat náhodněji. Způsobí, že se krystal taví a potom odpaří. V každém dalším fyzikálním stavu se systém stává méně organizovaným. Přidání tepla do systému způsobí náhodnější pohyb jeho složek a zvyšování neuspořádanosti vesmíru. Naopak, odnímání tepla ze systému, např. kondenzace par nebo zmrazování kapaliny, způsobuje zvýšení organizace. Chladicí procesy jsou proto spojeny s nárůstem informace.

**Výsledkem působení energie na hmotu je teplo. Struktura představuje výsledek působení informace na hmotu.**

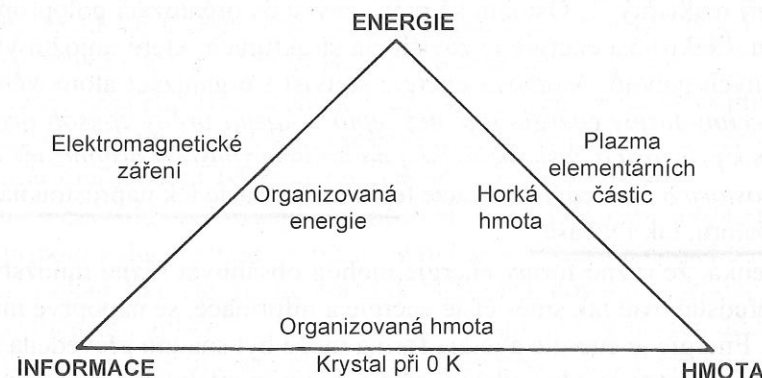
Působení energie vyjadřuje sebe samo jako teplo, které způsobuje, že částice (molekuly, fonony,<sup>26)</sup> plasmony atd.) vibrují a pohybují se náhodněji. Naproti

<sup>\*)</sup> Pojem „teplo“, tak jak je používán v tomto kontextu, odpovídá nekorelovaným fononům v krystalech, nebo náhodnému pohybu molekul v plynu. Nesmí zde dojít k záměně např. s energií vyzařovanou jako infračervené záření. (Pozn. autora.)

<sup>26)</sup> fonon... zde zřejmě ve významu kvanta energie kmitů krystalické mřížky. (Pozn. překl.)

tomu působení informace způsobuje, že částice jsou vázány do pevných struktur a do uspořádaného pohybu. V tomto smyslu může být teplo považováno za protiklad informace.

Je-li teplo protikladem informace, a jak z toho vyplývá, energie je protikladem informace, není tím vyloučena možnost, že energie a informace mohou na sebe navzájem působit a vytvářet tak „směs“, na kterou se dá pohlížet jako na „energizovanou informaci“ nebo alternativně jako na „strukturalizovanou energii“. Na INFORMACI a ENERGII nesmíme pohlížet jako na protiklady bipolárního systému, spíše je musíme uvažovat jako dva úhly trojúhelníka, v němž třetí úhel vytváří HMOTA.



Obr. 6.1 Znázornění vztahu mezi informací, energií a hmotou

Takový pojmový model by definoval hranice našeho fyzikálního vesmíru: Tři strany trojúhelníka dané extrémny jevy podle obr. 6.1 vyjadřují postupně:

1. Směs čisté energie a hmoty postrádající informaci – vytváří plazmu základních částic.
2. Směs hmoty a čisté informace postrádající energii – příkladem je krystal při 0 K.
3. Směs informace a energie postrádající hmotu – skládá se z nehmotných částic, jako jsou fotony, cestujících prostorem postrádajícím hmotu.

## Informační obsah energie

Předpokládejme radiové vlny. Jako jeden druh elektromagnetického záření, obvykle představují nějaký typ energie. Avšak radiové vlny nesou mnoho infor-

Elmag. záření (rádiový signál) ← strukt. asp. - nosná vlna sama osebe  
semant. asp. - hlas, hudba

mace. Nejenom lidskou informací, namodulovanou na nosné vlně, která má reprodukovat lidský hlas nebo hudbu, ale i nosnou vlnu samu o sobě. Nosná vlna má kmitočet, který je odrazem rezonance oscilátoru vysílače. Ta je zase funkcí jak elektronické, tak i fyzikální struktury systému, tzn. je funkcí informačního obsahu systému. Proto dokonce i nemodulovaná radiová vlna nese informaci, která jí byla udělena rezonancí vysílače.

Ve skutečnosti všechny formy energie jiné než teplo obsahují informační složku: mechanická energie zahrnuje pohyb, který zase zahrnuje vzdálenost, čas a směr, a tyto veličiny představují druh informace, jak o tom budeme diskutovat později. Zvuková energie je závislá na uspořádání prostředí, které ji šíří. Chemická energie je závislá na uspořádání elektrických struktur atomů a molekul, které tvoří reaktanty<sup>27)</sup>. Osmotická práce závisí na organizaci polopropustných membrán. Elektrická energie je závislá na strukturách, které umožní vytvoření nenáhodných nábojů. Atomová energie souvisí s organizací atomového jádra. Proto všechny formy energie jiné než teplo vykazují určitý způsob organizace vzhledem k prostoru a času, nebo jsou na určitém způsobu organizace či struktury v prostoru a čase závislé. Pouze teplo má za následek naprostou náhodnost jak v prostoru, tak i v čase.

Myšlenka, že různé formy energie mohou obsahovat různé množství informace a představovat tak směs čisté energie a informace, se napoprvé může zdát podivná. Energie je energie a jedna forma může být snadno převedena na jinou formu. Nejenom že je zde velké množství experimentálních a praktických zkušeností, ale teorie vytvořila i přesné vzorce pro popis (a předpověď) těchto vzájemných transformací.

Vědci již dříve dospěli k závěru, že teplo tvoří nižší formu energie, zatímco mechanická energie je formou vyšší. Je čas odvrhnout tyto nepřesné pojmy a místo toho analyzovat různé formy energie podle jejich informačního obsahu. Intuitivně dává jistě smysl, že paprsek koherentního<sup>28)</sup> světla obsahuje více informace, než paprsek nekoherentního světla o stejném energetickém obsahu. To, co postřehne intuice, je existence struktury. Paprsek koherentního světla obsahuje vlny pohybující se ve fázi, zatímco vlny nekoherentního světla se pohybují náhodně. Avšak, jak jsme se již zmínili výše, dokonce i nekoherentní světlo má strukturu: Každý foton má různý kmitočet a konstantní rychlost.

Led, voda a pára představují hmotu, jejíž forma je určena množstvím energie v ní obsažené. Můžeme změřit teplotu a jsme schopni předpovědět, zda jsme přidali dost energie pro přeměnu ledu ve vodu, nebo vody v páru. Podobným

<sup>27)</sup> Reaktanty – látky zúčastňující se reakce, tj. reagující. (Pozn. překl.)

<sup>28)</sup> Koherentní světlo – světlo vysílané jedním zdrojem, tj. paprsky mají stálý fázový rozdíl a mohou tedy interferovat (skládat se do jednoho nového výsledného vlnění). (Pozn. překl.)

způsobem odrážejí různé formy energie povahu a množství informace v ní obsažené. Potřebujeme vymyslet nástroje, které jsou schopny přesně měřit informační obsah různých forem energie.

## Pohyb, vzdálenost a čas

Pohyb je implicitně svázán s informací: Každý pohyb znamená reorganizaci vesmíru. Jev pohybu libovolné entity z jednoho místa na druhé v sobě zahrnuje informační akt. Ve 2. kapitole jsme zdůrazňovali, že se nesmí zaměňovat tři související jevy – síla, hybnost a pohyb. První dva pojmy představují aspekty energie, zatímco poslední pojem představuje formu informace. Posléze jsme uvažovali, že od dob Galileových klasických pokusů popisovali fyzici a inženýři veškerý pohyb pomocí vzdálenosti, času a směru.

Změny ve vzdálenosti za jednotku času měří změny v informačním obsahu systému, který obsahuje pohybující se částice. Konkrétně měří částice ve vztahu k nějakému souřadnému systému a to, jak se tento vztah mění.

Prostor a čas jsou organizační vlastnosti vesmíru. Důkazem tohoto tvrzení je obecný princip vylučnosti, který tvrdí, že dvě pevné částice nemohou zaujímat ve stejném okamžiku stejný prostor. Jak bude diskutováno v příloze, Pauliho princip vylučnosti, aplikován na elektrony obíhající po oběžných drahách atomu, by mohl být také interpretován tímto způsobem s tou výjimkou, že místo toho, že se budeme zabírat organizací hmoty, budeme se zabírat organizací „energetického“ prostoru uvnitř atomových „slupek“.

Prostor může být měřen vzdáleností. Víme, jak to abstraktním způsobem provést – průniky rovin, dvou- i třídímných geometrických objektů. Naše dědictví po primátech, spolu s naším vyspělým mozkem, nám umožnilo hrát si s prostorem – Euklidovská geometrie, Riemannovská geometrie, topologie, atd.

Čas je mnohem více „fuzzy“<sup>29)</sup>. Vnímání a analýza času nebyla pro naše předky – primáty tak důležitá jako vnímání a analýza prostoru. V ranných kulturách, pokud se o čase vůbec uvažovalo, byl čas rozptýlený a cyklický. Západní myšlení jej učinilo lineárním, jednosměrným a dělitelným. Tento problém byl skvěle analyzován a shrnut Gezou Szamosim v [40] a [41].

Byl to Galileo, kdo první jasně zavedl čas jako nezávisle proměnnou v popisu pohybu. Byl prvním, kdo za pomoci vodních hodin určoval čas fyzikálních dějů a stanovil, že všechny důležité charakteristiky pohybu – dráha, rychlost a zrychlení jsou funkcí času.

<sup>29)</sup> Fuzzy – neostrý, rozmazaný, toto slovo se používá jako technický termín. (Pozn. překl.)



Tyto pokusy nejenže umožnily Galileovi formulovat zákony padání těles, ale vedly i k novému pojetí pohledu na svět. Toto nové vnímání času bylo kodifikováno o půl století později Newtonem: „Absolutní, pravdivý a matematický čas, sám o sobě a ze své vlastní podstaty plyne stejnoměrně bez vztahu k čemukoli vnějšímu.“ Jak poukazuje Szamosi, na čas se začalo pohlížet jako na absolutní, nezávislou dimenzi, která mohla být použita k měření pohybu. To je v rozporu s dřívějším Platónovým pohledem, podle něhož byl čas výsledkem pohybu, speciálně pohybu Slunce a planet, pohledem ještě posíleným Aristotelem, který přiřadil čas k pohybu libovolného objektu a zdůrazňoval jeho věčnou cyklickou povahu.

Problémem je i ta skutečnost, že slovo „čas“ má v naší kultuře více významů. Na rozdíl od prostoru, kde chápeme abstraktní pojem „prostor“ a nepleteme jej s měřením prostoru (tj. se vzdáleností), slovo „čas“ slouží jak pro abstraktní pojem času tak pro jeho měření. Ve skutečnosti je pojem „čas“ používán pro označení řady odlišných, avšak souvisejících pojmů: Může se vztahovat k dimenzi nekonečného průběžného trvání (absolutní čas Newtona), ale může být zároveň také použit pro popis konečného množství času (např. historické epochy), nebo určitého, ještě menšího intervalu času (např. ročního období), nebo také pro určitý okamžik v čase, kdy se dva lidé sejdou v určitou hodinu<sup>30</sup>).

Víme, jak zacházet s prostorem, ale čas zůstává prchavou entitou. Jak poukázal G. J. Whitrow [45]: „Čas má svou zvláštní vlastnost, která nám dává intuitivní pocit, že mu bezvadně rozumíme až do té doby, kdy jsme požádáni, abychom vysvětlili, co tímto pojmem rozumíme“.

V předkládaném díle budeme definovat prostor jako interval mezi hmotou a čas jako interval mezi událostmi. Jak prostor, tak i čas mohou být měřeny pomocí lidských předmětů, jako jsou pravítka a hodiny. Jakmile takový předmět existuje, lze rozdělit prostor i čas čistě abstraktním způsobem. To znamená, že můžeme vymyslet abstraktní body v prostoru a použitím pravítka měřit abstraktní prostor, dokonce i když náš imaginární bod je uprostřed absolutního vakua bez jakékoli hmoty. Podobným způsobem můžeme vymyslet událost, nastavit na ní hodiny a měřit časový interval od této události dále.

### Měření prostoru a času poskytuje informaci o rozložení a organizaci hmoty a energie.

Prostorová měření (tj. vzdálenosti) se vztahují ke hmotě. Potřebujeme pevné body jako značky, abychom mohli měřit vzdálenosti: vzdálenosti mezi městy, vzdálenost Země od Slunce. Vzdálenost může být také měřena časem, který potřebuje světlo, aby urazilo vzdálenost mezi dvěma body. Právě tak, jako je skutečně nemožné posuzovat vzdálenosti bez vztažných bodů uprostřed oceánu,

<sup>30</sup>) Tato úvaha a některé další neplatí do všech důsledků pro český jazyk, kde jsou tyto pojmy odlišeny výrazy „čas“, „doba“, „hodina“ apod. (Pozn. překl.)

tak je to nemožné ve vakuu – nemůžeme měřit prostor, dokud nezavedeme referenční rámec. Představme si dvě molekuly a pak teprve můžeme mluvit o „prázdném prostoru“ mezi nimi. Můžeme definovat tento (prázdný) prostor pomocí pojmu vzdálenosti mezi dvěma molekulami. Podobně je tomu i s časem: uvažujme vakuum, zcela černé, postrádající veškerou energii. Nyní zavedme pulz světla. Pak druhý pulz. Interval mezi těmito dvěma pulzy by mohl být popsán jako „prázdný čas“ – nic se neděje. Tento (prázdný) čas můžeme definovat jako interval mezi dvěma pulzy světla.

Organizovaný systém zaujímá prostor a čas. Objem prostoru, který je obsazen, měříme v jednotkách vzdálenosti. Jsou-li ostatní parametry shodné, pak čím větší je systém (neprázdný), tím více informace obsahuje, protože buď obsahuje více jednotek, nebo je stejný počet jednotek udržován ve větších vzdálenostech mnohem mocnějšími vazbami. Když systém ve fyzikálním světě expanduje v prostoru v důsledku působení energie, nedochází ke změně informace, aniž by také nedošlo ke změně v jeho organizaci. Pokud působící energie způsobí nárůst entropie a expandující systém se stane ještě více náhodným (jako např. u plynu, který je zahříván), pak systém ztrácí informaci. Ovšem, pokud systém při expanzi zachovává svou organizaci, pak musí být vazby mezi jednotkami mnohem silnější, aby mohly působit na větší vzdálenosti – expandovaný systém (zachovávající svou strukturu) je termodynamicky více nepravděpodobný než jeho původní verze.

Např. jádro atomu musí vynaložit mnohem více energie a organizace na udržení elektronů na vnější oběžné dráze, která je na větším poloměru. Těžší prvky v periodické tabulce nejenže obsahují více informačních jednotek (nukleonů a elektronů) a vykazují větší diferenciaci a organizaci, ale zaujímají také větší prostor.

Pravidlo proto zní: *informační obsah systému je přímo úměrný prostoru, který systém zaujímá.*

Pro čas platí opak. Čas, podobně jako entropie, je vůči informaci v inverzní vazbě. *Čím větší je interval mezi dvěma událostmi, tím menší je informační obsah systému.*

Myšlenka, že prodloužení času mezi dvěma událostmi má za následek, že systém má méně informace, nesmí být zaměňována se strukturálním obsahem informace systému, který trvá v čase déle. Systém, který přežije „pustošení času“, pravděpodobně obsahuje více informace než systém, který se rozloží. Totéž může být řečeno o entropii: Systém, který přežije „síly entropie“, pravděpodobně obsahuje více informace (podobně jako systém, který má homeostatické<sup>31</sup>) mechanismy) než systém, který se rychle dezorganizuje. Proto nesmíme zaměňovat

<sup>31</sup>) homeostatický – autoregulační, samostabilizující se. (Pozn. překl.)

informační obsah systému, schopného obstát proti zubu času (nebo proti silám entropie), s časem (nebo entropií) jako takovým. Čas (stejně jako entropie) je vůči informaci v inverzní vazbě: Čím delší je interval mezi dvěma událostmi, tím méně událostí za jednotku času a tím méně informace je obsaženo v systému.

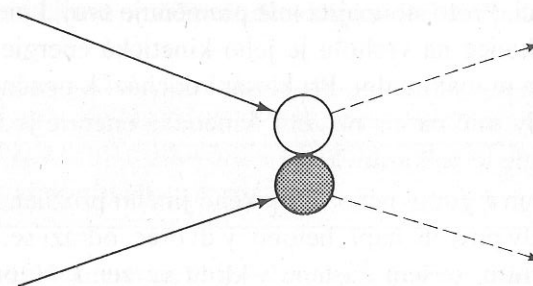
Dále krátce prozkoumáme vzájemný převod mezi energií a informací. Na tomto místě postačí říci, že čím větší je energetický obsah systému, tím větší je jeho potenciální informační obsah (pokud může konat „užitečnou“ práci). Energetický obsah dvou těles stejné hmotnosti za pohybu může být zjištěn pomocí jejich vzájemných rychlostí. To však neplatí pro fotony, jejichž zbytková hmotnost je nulová. Ať měříme zrychlení nebo konstantní rychlost, ve všech případech je čas v inverzní vazbě vůči energii pohybujícího se tělesa. Čím více času potřebuje pohybující se těleso na překonání určité vzdálenosti, tím menší je jeho energie, tím menší je jeho schopnost konat práci, a z toho vyplývá, že tím menší je jeho potenciální informace.

Obecně tedy, při zachování ostatních parametrů, má informační obsah systému tendenci se měnit přímo úměrně objemu prostoru, který zaujímá, a nepřímo úměrně času, ve kterém se změny odehrávají.

G. J. Whitrow [45] zrevidoval myšlenku, že ani čas, ani prostor nemohou být dělitelné na nekonečně malé části, a je spíše toho názoru, že podobně jako hmota a energie mohou být i čas a prostor atomické nebo jemně strukturované. Podle takových úvah může být nejmenší prostorové přemístění okolo  $10^{-12}$  mm, což odpovídá efektivnímu průměru elektronu. Odpovídající minimální čas, *chronon*, by mohla být doba, kterou potřebuje světlo pro překonání této vzdálenosti ( $10^{-24}$  s). Pouze čas ukáže, zda tyto myšlenky obstojí při zobrazování fyzikální reality.

Organizace hmoty a energie v prostoru a čase obsahuje informaci. Když odstraníme hmotu a energii, zůstane nám prázdný prostor a prázdný čas. Existovala by tam stále ještě informace? O této záležitosti budeme diskutovat později. Co by ovšem mělo být jasné je to, že měření abstraktní vzdálenosti a času vytváří informaci. Stejně tak tuto informaci vytváří měření změn vzdálenosti a času. To je důvodem, proč všechna tělesa v pohybu musí být chápána tak, že obsahují informaci, informaci, kterou jim propůjčila síla určující dráhu jejich pohybu.

Tato úvaha vede k nové interpretaci dobře známého fyzikálního jevu. Uvažujme např. dvě kulečnickové koule, jednu červenou a druhou bílou, které se kutálejí po kulečnickovém stole stejnou rychlostí. Červená koule se pohybuje severovýchodním směrem, zatímco bílá se pohybuje jihovýchodním směrem. Necht' se setkají tak, že jejich kolize vyústí ve změnu směrů, jimiž se pohybují. Červená koule se nyní pohybuje jihovýchodním směrem, zatímco bílá se pohybuje severovýchodním směrem (viz obr. 6.2).



Obr. 6.2 Kolize dvou kulečnickových koulí

Můžeme si položit otázku, zda si tyto dvě koule vyměnily energii, nebo zda si vyměnily informaci. Tato kolize, zahrnující odraz, jistě neovlivní energetický obsah systému jako celku. Ani energetický stav jednotlivých koulí není zjevně ovlivněn, protože se dále pohybují prakticky nezměněnou rychlostí. Co se však změnilo, je směr: červená koule namísto toho, aby směřovala do severovýchodního rohu, skončila v jihovýchodním, zatímco pro bílou kouli platí opak. Zopakujme otázku: Je zachování hybnosti odrazem skutečnosti, že si tato dvě tělesa vyměnily pouze informaci?

## Informace a potenciální energie

Jestliže zvednu ze země tužku a položím ji na stůl, vytvořím veličinu nazvanou potenciální energii. To znamená, že tužka ležící nevině na mém stole je touto magickou veličinou nabita. Skutečnost, že tužka se nepohne, dokud není vystavena jiné síle, je pomíjena. Tužka nyní obsahuje akumulovanou energii, která se projeví pouze tehdy, je-li tužka nějak postrčena a skutálí se ze stolu. Tedy – tužka se nepohne dokud na ni někdo nebo něco nezapůsobí jinou silou.

O co působivější by byla tato interpretace: když jsem zvedl tužku, vykonal jsem mechanickou práci, která změnila uspořádání vesmíru. To znamená, že vykonaná mechanická práce se projevila ve změně informačního stavu systému, na který působila.

Uvažujme jiný příklad: Jaký osud má míč vyhozený do vzduchu? Když stoupá, zpomaluje se až do horní úvratí, kde jsou v rovnováze síla vrhu a síla gravitační, tam se zastaví, pak začne klesat. Tato pozorování vždy nastolují problém, co se děje s energií, když míč prochází svým stacionárním bodem ve vzduchu. Tradiční odpověď vždy zněla, že se předpokládají dva druhy energie: kinetická a potenciální. Kinetická energie se vztahuje k pohybu a potenciální k poloze

nebo ke konfiguraci. Proto stoupající míč přeměňuje svoji kinetickou energii na potenciální, až nakonec na vrcholu je jeho kinetická energie nulová, zatímco potenciální energie je maximální. Při klesání dochází k opačnému procesu tak, že v okamžiku, kdy míč narazí na zem, kinetická energie je na svém maximu a potenciální energie je pak nulová.

Je-li míč vyroben z gumy nebo z nějakého jiného pružného materiálu, a pokud je na zemi tvrdý povrch, např. betonový dvorec, odrazí se. Na okamžik, než se opět odrazí vzhůru, ovšem zůstane v klidu na zemi. V tomto okamžiku je jeho kinetická energie opět nulová, zatímco potenciální energie náhle vzroste v důsledku změny tvaru míče. Protože se míč vrátí do svého původního kulového tvaru, rychle akceleruje, získává kinetickou a ztrácí potenciální energii.

Poznamenejme, že toto vysvětlení běžného jevu vyžaduje nejen dva různé druhy energie, kinetickou a potenciální, ale také dva různé druhy potenciální energie: energii, která zastaví míč ve vzduchu, *gravitační potenciální energii*, a potenciální energii, která způsobí, že se míč odrazí, *konfigurační potenciální energii*.

Informační fyzici by při popisu stejného jevu pojem potenciální energie nahradili výrazem informace. Máme-li na paměti, že jednou z charakteristik informace je její termodynamická nepravděpodobnost, pak míč zastavený uprostřed vzduchu i míč ve zdeformovaném stavu představují velmi nepravděpodobné stavy. Míč vyhozený nahoru přeměňuje energii na informaci až do okamžiku, kdy dosáhne úvratě. V tomto okamžiku je veškerá energie dodaná tím, kdo míč vyhodil, na okamžik transformována do čisté informace. Teoreticky vzato, pokud by byl míč hnán dostatečně velkou silou (a ve správném úhlu), mohl by skončit až na oběžné dráze Země a rotoval by kolem zemské osy v mnohem větší vzdálenosti (v kosmickém prostoru), než kdyby ležel na zemi. V tomto případě by byla vynaložena energie a vykonána práce proto, aby se změnila organizace systému.

A nemusíme ani umisťovat míč na geostacionární dráhu, stačí když sebereme míč se země a položíme ho na stůl. I v tomto případě jsme vynaložili energii a vykonali práci, která měla za následek změnu v organizaci systému. Řekněme-li, že všechna energie použitá na přesun míče z podlahy na stůl, je nyní energií zachycenou v podobě potenciální energie, pak se vyhýbáme skutečnosti, že míč je v klidu (hodíme ho např. do mísy na bowli) a nebude se pohybovat do té doby, dokud na něj nezapůsobí nová síla. Energie, kterou míč obsahoval, když se pohyboval, (tj. jeho kinetická energie), zmizela. A nedojde k další změně, dokud nebude použita další síla. Nezbyvá žádná další využitelná energie. Bylo by mnohem praktičtější uvažovat, podobně jako u tužky přemístěné na stůl, že byla vykonána práce a že tím došlo ke změně informačního obsahu systému.

Z tohoto důvodu můžeme považovat následující definici potenciální energie za axiomatickou:

**Potenciální energie je pojem, který popisuje proces při němž vynaložení energie způsobilo takovou změnu organizačního stavu systému, že jeho informační obsah se zvýšil.**

Jak pojem „vázaná energie“, používaný k popisu entropie, tak i pojem „potenciální energie“ představují nástroje tradiční fyziky používané k vysvětlení zdánlivého zmizení určitého množství energie. V obou případech máme co do činění se vzájemnou přeměnou energie a informace. Takovéto přeměny mohou být trvalé, nebo přechodné. Probereme tedy krátce kvantitativní vztahy mezi prací a informací a přímý, lineární vztah mezi potenciální energií a informací.

## Vzájemná přeměna energie a informace

*Tradiční fyzika se v tomto století naučila přijímat myšlenku, že energie může být přeměněna na hmotu.* Např. za určitých okolností může být foton o vysoké energii převeden na elektron a pozitron. Informační fyzika uvažuje o tom, že energie může být převedena na informaci. To nastane za okolností, při nichž systém vykazuje buď pokles entropie, nebo nárůst potenciální energie.

Jedním z takových příkladů je „Bénardova nestabilita“. Objevuje se při zahřívání dolní vrstvy kapaliny (viz shrnutí Prigodina a Stengerse ve [26]). Teplotní gradient ve svislém směru uvede do pohybu stálý tepelný tok odzdoła nahoru. Není-li gradient příliš velký, teplo je předáváno pouze vedením. Avšak působící teplo vzrůstá (pomalu), až je dosaženo mezní hodnoty, při níž se proudění stává důležitou součástí přenosu tepla z nižší hladiny do vyšší. Při Bénardově nestabilitě může tento proces představovat vysoce organizovaný pohyb molekul. Prigodin a Stengers to popisují takto: „Bénardova nestabilita je velkolepý jev... Miliony molekul se spojitě pohybují a tvoří šestiúhelníkové vodivé buňky charakteristického rozměru. Místo toho, aby se vytvářela pouhá dezorganizace působením přiváděného tepla, vytváří Bénardova nestabilita takové struktury, které pomáhají při přenosu tepla napříč vrstvou kapaliny.“ Autoři též poukazují na důležitý moment, a sice, že „přenos tepla byl považován v klasické termodynamice za určitý druh odpadu. V Bénardově buňce se stává zdrojem pořádku“.

Zde je tedy jasný příklad toho, jak působení energie má za následek zvýšení organizace systému. Tento speciální způsob organizace je udržován pouze tak dlouho, dokud existuje dostatečně velký tepelný tok napříč vodorovnými vrstvami kapaliny. Jakmile se přestane dodávat energie, struktura zkolabuje – informace zmizí. (Ovšem je-li přívod tepla příliš velký, pak již kapalina nemůže přenášet teplo dostatečně rychle vzhůru k chladnějšímu povrchu a proudění je postupně více a více turbulentní, jak kapalina začíná vřít.)

## Informační zařízení

Jedním z takových informačních zařízení je rádiový vysílač, který vysílá radiové vlny, nesoucí lidskou informaci. Jak základní nosný kmitočet, tak i její modulace obsahují informační strukturu přiřazenou „surové“ energii. „Surová“ energie rádiového vysílače je energie elektrická. Abychom získali elektřinu, potřebujeme generátor, který může být poháněn parní turbínou. Taková parní turbína začíná s čistou energií ve formě tepla, které vytváří páru, jež potom pohání píst nebo turbínu. Tepelná energie je tak převáděna v mechanickou, která pohání generátor, který mění mechanickou energii v elektrickou. Elektrická energie je pak přeměněna rádiovým vysílačem v elektromagnetické záření, které je dále modulováno tak, aby mohlo přenášet lidské zprávy. Na každém stupni zpracování se energie stává stále více organizovanou tak, jak je zpracovávána lidským zařízením. Začínáme uhlím ohřívajícím páru a končíme u hlasu znějícího z radiopřijímače.

Lidmi sestrojená informační zařízení jsou obvykle schopna namodulovat informaci na různé formy energie. Mohou ovšem vykonávat i další úkoly. Je dobře známo, že působí jako převodníky energie, převádějící jednu formu energie na druhou, a za určitých okolností jsou schopny převádět energii na informaci a naopak.

Vezměme příklad rozhlasového přenosu. Rozhlasový hlasatel s jedním mikrofonom může dosáhnout do milionů domovů. Informace se rozmnožila milionkrát. (Co do obsahu, je informace stále stejná, fyzikální *forma* informace<sup>32)</sup> se znásobila milionkrát.) Tento obrovský nárůst v množství fyzikální informace se musel někde vzít.

Podobně bychom mohli argumentovat i u výstupů jiných lidských informačních zařízení, jako jsou tiskařské rotačky nebo počítače. Ve skutečnosti je celé lidské prostředí plné zařízení, která buď přeměňují energii na informaci, nebo používají energii, aby převedla informaci z jedné formy na druhou (převodníky informace). K zařízením, která přeměňují energii na informaci, patří elektronic-

<sup>32)</sup> Autor fyzikální formou míní kopie informace. (Pozn. překl.)

ké generátory signálu, rádia, tiskařské rotačky, dopravní světelná signalizace, počítače, hodiny aj.

Vezměme elektrické hodiny. Ty přeměňují elektrickou energii na mechanickou práci pomocí elektrického motoru. Ten postrkuje ručičky hodin (nebo pohybuje číslicemi, jsou-li to mechanické digitální hodiny). Tradiční analýza by určila, že výstupní práce, pohybující ručičkami hodin, je tvořena součinem síly a vzdálenosti. Vedlejším produktem by bylo teplo a entropie vesmíru by se zvětšila. Hodiny ale také poskytují informaci. Mohou být použity jako časovač pro spuštění videorekordéru, mohou vypnout mikrovlnnou troubu nebo řídit stroj v továrně. Ještě mnohem delikátnější je to, že přiměřeně přesná časová zařízení jsou rozhodující pro koordinaci moderní společnosti. Hodiny na nádraží určují čas odjezdu vlaků. Údaj nádražních hodin proto může snižovat entropii vesmíru organizováním dopravní sítě. Kdybychom věděli, jak kvantifikovat tyto vazby, mohli bychom objevit přesný vztah mezi výkonem hodin a výstupní informací.

Počítač je nejběžnějším příkladem lidského informačního zařízení. Je to zařízení určené speciálně ke zpracovávání informací. Při generování písmena na obrazovce je prostor znaku, vyhrazený pro vytvoření kteréhokoli písmena, stejný. Je složený z matic bodů (nejjednodušší se obvykle skládá z matice  $5 \times 8$  bodů), s bodem (pixelem) jako základní jednotkou informace. Zobrazované písmeno je určeno uspořádáním bodů v matici. Teoreticky jak body, které jsou rozsvíceny, tak i body, které jsou zhasnuty, obsahují stejnou informaci. V informačním obsahu „0“ a „1“ binárního spínače není žádný rozdíl. Význam polohy každého přepínače je určen strukturou stavů dvoupolohových přepínačů nebo bodů. Je to schopnost vytvářet tyto struktury, co tvoří podstatu informačních zařízení.

Práci vykonanou počítačem bychom mohli analyzovat čistě na základě prasku elektronů generovaného v katodové trubici a z toho pocházejícího světla a tepla emitovaného obrazovkou. Avšak to je podobné, jako kdybychom analyzovali intelektuální výkon Einsteina podle toho, co měl k snídani. Jak Einstein, tak i počítač přeměnili jistou část ze vstupní energie na informační výstupy.

Nejen počítače, ale všechny stroje obsahují informace. Kolovrátek i výkonný tkalcovský stav v sobě obsahují naakumulovanou zkušenost a vynálezy – celou historii informačních vstupů<sup>33)</sup>. Informace obsažená uvnitř kolovrátku, pokud je spojena s dalšími vstupy energie a hmoty v podobě přadleny a ovčího rouna, pomáhá dále organizovat hmotu vytvářením struktur, tj. přeměnou ovčího rouna v přízi. Podobným způsobem přeměňuje výkonný tkalcovský stav přízi v látku. Pro surovinu (ovčí rouno, přízi) představují stroje (kolovrátek, tkalcovský stav) část uspořádaného okolí, které může vytvářet další uspořádanost. Tyto stroje nejen že obsahují informaci, ale část jimi vykonané práce zahrnuje tvorbu nové informace.

<sup>33)</sup> To kdyby si uvědomil Marx, musel by dojít k závěru, že nadhodnota není vytvářena prací dělníka, ale především prací předchozích tvůrců nástrojů a strojů, tj. tzv. inteligence! (Pozn. překl.)

Všechny stroje obsahují uloženou informaci. Obecně lze říci, že stroje přispívají k dalšímu uspořádání vesmíru. To platí jak pro přírodní ústrojí, tak i pro lidské vynálezy. Metabolické procesy jednotlivé buňky, pokud proběhnou správně, vytvoří další buňku. Enzymy a membrány této buňky budou katalyzovat<sup>34)</sup> chemické reakce vytvářením uspořádaného okolí tak, aby tyto reakce mohly proběhnout. Bez existence tohoto na informace bohatého prostředí by některým z těchto reakcí mohlo trvat stovky let, než by byly dokončeny. Ovšem buňka by mezitím dávno zemřela.

Jak je známo, živé systémy včetně lidského mozku provádějí nejkomplexnější zpracovávání informace. Ovšem anorganické systémy, jako např. zárodečná struktura krystalu, podporující růst tohoto krystalu, mohou být též chápány jako zárodek informačního zařízení. Teorie buněčných automatů v umělé inteligenci vedla některé teoretiky (např. Poundstone [25]) k názoru, že bychom mohli brát vesmír jako „rekurzivně<sup>35)</sup> definovaný geometrický objekt“. Tuto představu můžeme snadno rozšířit tak, že budeme o vesmíru uvažovat jako o obrovském informačním stroji zpracovávajícím hmotu, energii a informaci.

## Strukturální a kinetická informace

Při analýze práce vykonané parním strojem musíme jasně rozlišovat mezi *zabudovanou* informací, která je součástí stroje, a vstupní informací *využívanou* strojem. Zabudovaná informace vděčí za svou existenci svým tvůrcům, jako byli např. Boyle, Newcomen, Watt a dalším vědcům, inženýrům a řemeslníkům, kteří vytvořili informaci potřebnou pro návrh fungujícího motoru. Vstupní informace, *informace využívaná* motorem, je ta informace, která vytváří nerovnovážné stavy a ve spojení s reakčními silami koná práci. První druh informace, tj. *zabudovaná* informace, je informace obsažená v organizovaných strukturách a může být proto nazvána *strukturální informací*. Ta druhá, *využívaná* informace, je informace v „akci“ a může být proto chápána jako *kinetická informace*.

Uvažujeme-li o hypotetickém (Maxwellově) démonu, který třídí rychlejší molekuly od pomalejších v uzavřené nádobě s plynem, pak démon sám obsahuje strukturální informaci. Výsledek démonovy činnosti – oddělení dvou typů molekul však vede k nerovnovážnému stavu, který je v tradiční fyzice nazýván „potenciální energií“. Informační fyzika by ji však klasifikovala jako „kinetickou informaci“.

<sup>34)</sup> Katalýza – zrychlení nebo zpomalení chemické reakce, způsobené přísadou jiné látky. (Pozn. překl.)

<sup>35)</sup> Rekurzivní – zvrtně definovaný (z matematiky). (Pozn. překl.)

Výraz „potenciální energie“ ve skutečnosti pokrývá dvě třídy informací: strukturální a kinetickou. Pokud změna uspořádání vesmíru je zakončena ve „stabilním“ rovnovážném stavu tak, jako např. tužka položená na stole nebo míč položený do mísy na stole, pak je energie pracovního procesu přeměněna na *strukturální* informaci. Pokud naopak reorganizace skončila v „nestabilním stavu“, daleko od rovnováhy a je připravena ke změně, pak máme co do činění s *kinetickou* informací. Míč vyhozený do vzduchu ve své úvratí, deformovaný míč odrážející se od země, stlačená pára ve fungujícím parním stroji – to vše jsou příklady kinetické informace, informace, která je připravena se změnit na energii.

Entropie je cosi, co je chápáno jako forma „vázané energie“, která nemůže být použita na konání práce (např. [31]). Aby mohla být konána práce, musí být část dodávané energie ve formě kinetické informace, nebo musí být na tuto kinetickou informaci převedena. Taková informace představuje termodynamickou nepravděpodobnost nerovnovážného stavu, který musí vytvořit všechny energetické převodníky tak, aby mohly konat užitečnou práci (viz kapitolu 7). Ta část energie, která je přetvořena na kinetickou informaci, se ztratí při degradaci informace během pracovního procesu jako odpadové teplo, neboť obsahuje vazební (nepoužitelnou) energii, zodpovědnou za pozorovaný nárůst entropie.

Pokud konáme práci, představuje *využitá* kinetická informace rozdíl mezi entropií stavu na začátku pracovního procesu ( $S_1$ ), kdy je proces v maximální nerovnováze, a entropií na konci pracovního procesu ( $S_2$ ), kdy je dosaženo rovnovážného stavu.

Kinetická informace *dodaná* převodníkem energie se projeví v rozdílu entropie, kterou obsahuje systém původně ( $S_0$ ), a poté, co bylo dosaženo nerovnovážného stavu ( $S_1$ ).

V obecné rovině má smysl předpokládat, že schopnost energetického převodníku dodávat *kinetickou* informaci je funkcí jeho *strukturální* informace. Organizovaný systém je schopen konat práci při teplotách  $T$ , při kterých by toho neorganizovaný systém schopen nebyl. V následující kapitole budeme diskutovat příklad fotosyntetického systému rostlinné buňky, která je schopna rozkládat vodu a řetězit elektrony vodíkových atomů při 25 °C. V jednoduchém fyzikálním systému, který není tak bohatý na informace, je k takovému procesu zapotřebí teplot přesahujících 1000 °C. Intuitivně bychom tedy mohli vyvozovat, že schopnost energetického převodníku generovat velké množství kinetické informace je funkcí strukturální informace v něm obsažené. Vysokotlaký parní stroj obsahuje více strukturální informace než nízkotlaký.

Uvažujme však dva identické parní stroje. Oba mají stejnou účinnost při konání práce, ale jeden je používán na výstavišti a je bohatě vyzdoben. *Vyzdobený* stroj má tedy více strukturální informace, ta však nezvýší jeho účinnost.

Méně triviální příklad představují izozymy. Izozymy jsou enzymy, které mají stejné biochemické funkce, ale jejich struktury se liší. Jednou takovou třídou enzymů, která zřejmě obsahuje tucty izozymů, jsou peroxidázy. Tyto proteinové katalyzátory regulují celou řadu reakcí spojených s oxidací nebo redukcí řady sloučenin. Některé z těchto reakcí jsou vysoce specifické: Aktivní místa na různých izozymech jsou stejná, ačkoli ostatní části proteinu se zcela liší. Odlišené části jsou určeny k připojení enzymu k některým buněčným strukturám, jako např. k buněčným stěnám nebo membránovým systémům eventuálně k udržování enzymu v rozpustném stavu.

Pokud se některá ze struktur proteinu vztahuje k jeho umístění uvnitř buňky, pak se jiná strukturální informace vztahuje k jeho vlastní údržbě. To znamená, že molekula musí být stabilní a udržovat svoji integritu v komplexním (někdy nepřátelském) prostředí. Uvažujme např. podvojně vazby síry napříč řetězci polypeptidů, které jsou tak důležité pro tvorbu terciální struktury proteinu (viz kapitola 4). Alespoň některé z nich pravděpodobně<sup>36)</sup> mají určitou funkci při udržování tvaru molekuly.

Samozřejmě ne všechna strukturální informace obsažená v enzymu se přímo vztahuje k jeho katalytické funkci.

Část strukturální informace parního stroje se vztahuje k jeho umístění. Je na kolech, protože funguje jako lokomotiva? Je v lodním prostoru parníku? Nebo stojí na podlaze továrny? Některá z jeho strukturálních informací se rovněž vztahuje k jeho ochraně před okolními vlivy. Při analýze strukturálních informací energetických převodníků proto musíme rozlišovat mezi strukturální informací, která přímo odpovídá vytváření kinetické informace, a strukturální informací, která tak nečiní. V případě enzymu tomu odpovídá aktivní strana, kde jsou reorganizovány elektronické struktury reagentu, zatímco ta část, která připojuje enzym k buněčné membráně, patrně ne. Podobně je tomu s parním strojem. Válec s pístem vytvářejí kinetickou informaci, zatímco šrouby připevňující stroj k podlaze nikoli.

Naneštěstí je celá věc mnohem složitější. Pokud by parní stroj nebyl přišroubován k podlaze, celý by se třásl a mohl by ohnout hřídel, pokud by rovnou nevybuchl. I přesné umístění enzymu v buňce, často ve spojení s dalšími sousedními enzymy, může být podstatné pro jeho funkci. Snaha o definování přesného vztahu mezi strukturální informací, obsaženou uvnitř energetického převodníku, a kinetickou informací, poskytovanou takovým zařízením, tvoří jeden z hlavních problémů informační fyziky. Každá taková analýza musí být funkční nejméně ve dvou organizačních úrovních:

<sup>36)</sup> Od doby vydání originálu knihy pokročila genetika milovými kroky vpřed, a tak co dříve byly pouze dohady a předpoklady, je dnes již potvrzeno a vysvětleno (nebo i vyvráceno). (Pozn. překl.)

1. Na úrovni *individuální* reakce nebo na úrovni procesu – musí analyzovat kinetickou informaci vytvořenou pro podporu jednotlivé chemické reakce nebo pro podporu vytvoření výstupu samotného parního stroje.
2. Na *systémové* úrovni musí zařadit prvek do kontextu systému. Např. popsat uspořádání, v němž je daný enzym v součinnosti s baterií ostatních enzymů či s metabolickým procesem buňky, nebo v němž je výkonný soustruh umístěn jako jeden z řady strojů montážní linky tak, aby usnadňoval výrobu.

## Transformace mezi kinetickou a strukturální informací

Kinetická a strukturální informace musí být též vzájemně převoditelné. Kinetická informace může zůstat kinetickou tak dlouho, dokud je systém ve stavu nerovnováhy. Jakmile systém dosáhne rovnovážného stavu, tzn. stane se statickým systémem, kinetická informace zmizí: buď je degradována na teplo, poté co byla nejdříve přeměněna na kinetickou energii, nebo eventuálně mělo vykonání práce za následek reorganizaci vesmíru takovou, že byla vytvořena nová strukturální informace.

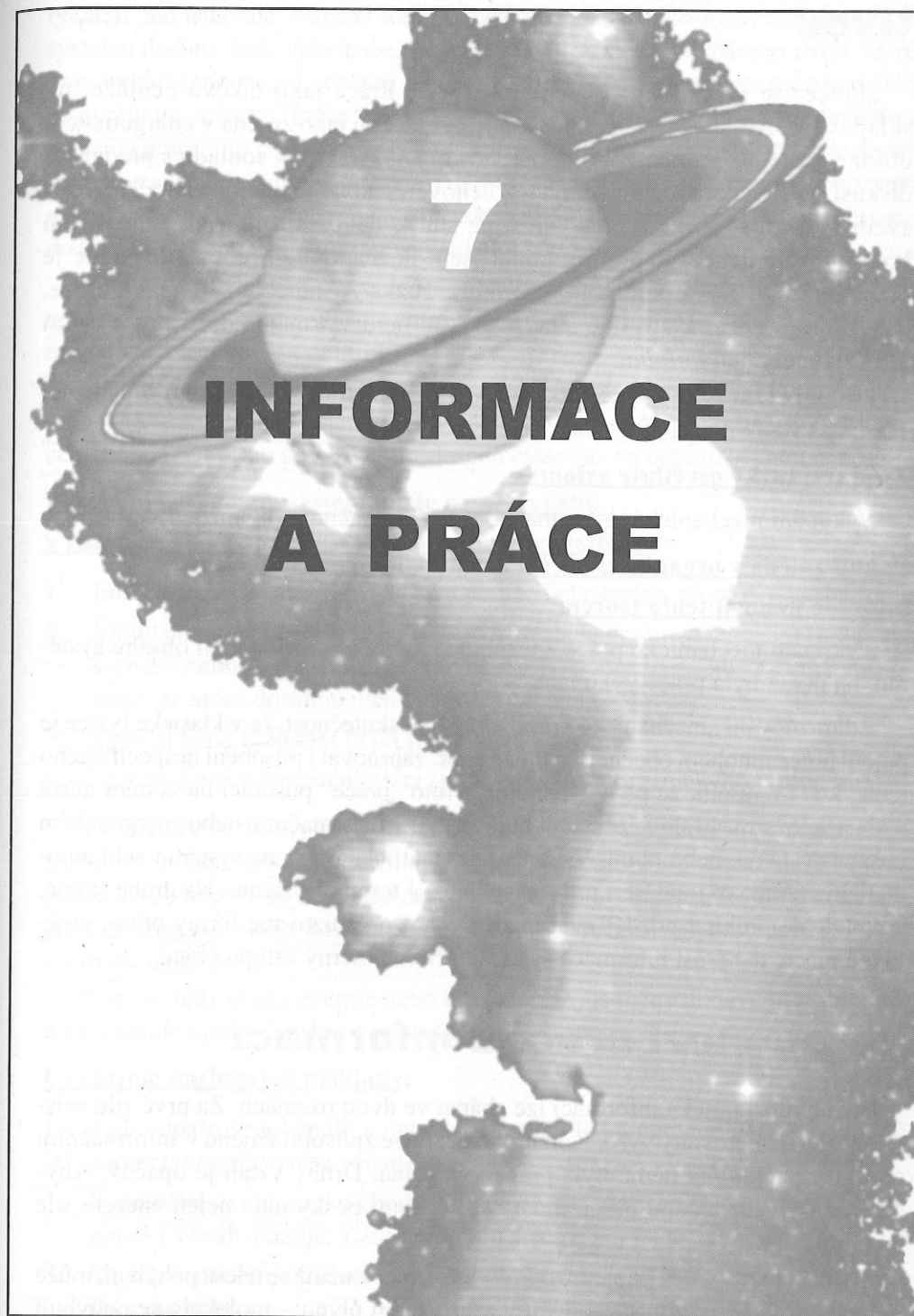
Míč vyhozený do vzduchu obsahoval kinetickou informaci do té doby, než se vrátil na zem. Předpokládejme, že míč skončil na oběžné dráze Země, nebo jen v okapu nedaleké střechy. Zůstane tam uhnízděn, dokud nebude uvolněn jinou silou. Míč v okapu je ve stabilním rovnovážném stavu. Přestože nemá pro lidi takový význam jako zdi a střecha domu, je právě tak stabilní a právě tak součástí struktury domu jako cihly tvořící zeď nebo tašky na té střechě, kde je zaklíněn. Kinetická informace míče byla tedy transformována do strukturální informace. To, co se týká míče, který byl přemístěn z úrovně země do nějaké vyšší polohy, se týká i jiných systémů, např. posunu elektronu do vyšší oběžné dráhy atomu v důsledku pohlcení energie fotonu. Předcházející tvrzení nejsou vlastně správná. Přesně řečeno, informační obsah, ať již vlastního míče nebo vlastního elektronu, se *nezměnil*. To, co se změnilo, je informační obsah *systémů*, které obsahují pohyblivá tělesa. Přesunutí elektronu na vnější oběžnou dráhu neznamena, že elektron sám prodělal změnu svého informačního stavu. Tuto změnu však prodělal atom jako celek. Atom je nyní v termodynamicky více nepravděpodobném stavu – tento atom, a nikoli elektron, získal informaci.

Existuje jiný problém: Obsahuje systém *stejně* množství strukturální informace, je-li míč pevně vklíněn do štěrbin, či nejistě balancuje na hraně? Intuitivně by člověk řekl, že v prvním případě obsahuje systém více informace.

Taková intuice by ovšem byla nesprávná. Oba systémy by obsahovaly stejné množství informace (určené tím, že bylo zapotřebí stejné množství práce pro jejich umístění). Ovšem systém s míčem balancujícím na okraji má mnohem větší pravděpodobnost ztráty informace.

Takovou situaci bychom mohli kvantifikovat měřením „aktivační energie“, tj. množstvím práce požadované pro uvolnění míče tak, aby ještě jednou přeměnil strukturální informaci systému na kinetickou informaci (míč chystající se právě spadnout). Jakmile byl míč jednou uvolněn, je jeho kinetická informace transformována během jeho pohybu dolů do kinetické energie.

Systém „míč na střeše“ představuje pouze triviální případ. Avšak ilustruje základní princip: *Čím větší je aktivační energie požadovaná ke zničení strukturální informace obsažené v systému, tím větší jsou vyhlídky systému na přežití.* Negativní entropie biologických systémů vznikla jako produkt sil, které je třídí podle rostoucí životaschopnosti informačních systémů. Často je přidávána nová informace pouze proto, aby byly stabilizovány a uchovány existující informační struktury. To platí nejen pro biologické systémy, ale také pro lidské sociální, technické a lingvistické systémy. Akumulace informace za účelem vytváření stále méně pravděpodobných struktur a systémů, tj. nárůst negativní entropie, představuje *informační práci*. **Informační práce je ta práce, při níž část vynaložené energie vyústí v nárůst informace.**



# Úvod

Tato kniha představuje první krok směrem k rozvoji obecné teorie informace. Její hlavní myšlenkou je, že informace není pouze výplodem lidské mysli, myšlenkovou konstrukcí, která nám pomáhá rozumět světu, v němž žijeme, ale že je spíše vlastností vesmíru tak reálnou, jako jsou reálné hmota a energie.

Druhé téma je odvozeno přímo z prvního: Pokud informace má v sobě právě tolik fyzikální reality jako hmota a energie, pak je potřeba přehodnotit pojmy a konstrukce fyzikálních věd. Zbytek knihy proto představuje exkurzi do „informační fyziky“.

## Základní tvrzení

### Základní tvrzení informační fyziky

**mohou být shrnuta následujícím způsobem:**

1. Struktura vesmíru je tvořena nejméně třemi složkami: hmotou, energií a informací; informace je právě tak součástí vesmíru, jako jsou hmota a energie.
2. Fyzikální informace se vztahuje k nejméně třem faktorům: Za prvé a především je představována organizací. Za druhé je funkcí termodynamické nepravděpodobnosti. Za třetí – informační obsah systému je funkcí množství užitečné práce požadované pro vytvoření tohoto informačního obsahu.

a) Libovolný systém, který je organizován, ať již v čase nebo prostoru, vykazuje informační obsah nebo je mu informační obsah vlastní. Tak, jako je hmotnost projevem hmoty a teplo projevem energie, tak je organizace projevem informace.

b) Informace  $I$  je převrácenou hodnotou Boltzmannovy pravděpodobnostní funkce  $W$ , a proto je exponenciální funkcí entropie  $S$ . Změny entropie jsou mírou jak termodynamické pravděpodobnosti, tak i změny v organizaci. Vztah mezi entropií a informací je dán obecnou rovnicí

$$S = k \ln(I_0 / I)$$

c) Pokud jsou ostatní faktory shodné, pak je informační obsah systému určen „množstvím užitečné“ práce, která je požadována na jeho vytvoření. Zpracování informací je formou práce. Jeden joule energie na jeden stupeň K, pokud je ho možné přeměnit na čistou informaci, obsahuje přibližně  $10^{23}$  bitů.

3. Fyzikální informace může existovat v mnoha formách. Čas, vzdálenost a směr, konstanty rovnic popisujících fyzikální svět, informační vlastnosti částí hmoty, informační vlastnosti různých forem energie – to vše představuje různé formy informace. Pro analýzu fyzikálních systémů konajících práci je důležité rozlišení mezi *strukturální informací*, která odráží organizaci hmoty a energie, a *kinetickou informací*, která představuje informaci vyžadovanou systémem, když vstupuje do termodynamicky méně pravděpodobného, nerovnovážného stavu.

4. Energie a informace jsou vzájemně převoditelné. V nerovnovážném stavu je potenciální energie ekvivalentní kinetické informaci. Při nabíjení baterie je,

$$1 \text{ eV/K} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ bit}$$

5. Nárůst entropie spojený s energetickým procesem odráží degradaci vložené (kinetické) informace na teplo. Jedna jednotka entropie se rovná přibližně  $10^{23}$  bit/mol nebo

$$1 \text{ J} = 10^{23} \text{ bit}$$

6. Teplo je formou energie postrádající informaci. Pojem „teplo“ tak, jak je používán v tomto kontextu, je ekvivalentní pojmu nekorelovaného fononu v krystalu nebo náhodnému pohybu molekul v plynu. Představuje vibrační energii, která vede k *dezorganizaci* systému.

7. Abychom působením tepla získali na výstupu systému užitečnou práci, musíme do systému přivést další informaci (souvztažnou). Výstupní práce každého procesu je funkcí součinu hmoty nebo energie a informace.

8. Všechny formy energie jiné než teplo obsahují informační složku.

9. Fyzikální konstanty odrážejí přírodní algoritmy. Odrážejí uspořádání fyzikálních systémů nebo událostí. Lidské vnímání tohoto řádu přírody je odráženo tím, jak jsou takové konstanty vyjádřeny matematicky<sup>39)</sup>.

## Historické perspektivy

Myšlenka „energie“ jako něčeho odděleného, co má fyzikální realitu samo o sobě, je v lidské historii poměrně nový jev. Systematický výzkum „sil“ začal teprve poté, co byly tyto síly zjevně „vytvořeny“ lidským vynalézáním. Galileo byl vojenský inženýr, zabývající se studiem dráhy dělových koulí. Podobně Carnot

<sup>39)</sup> Např. Einsteinovu slavnou rovnici  $E = mc^2$  lze, použitím fyzikálních transformací, přepsat na  $E = m/\epsilon_0 \mu_0$ , kde  $\epsilon_0$  je permeabilita vakua a  $\mu_0$  je permitivita vakua. Zde je souvislost mezi energií, hmotou a strukturou (tj. informací) vesmíru ještě více patrná. (Pozn. překl.)



a jeho kolegové z 19. století založili termodynamiku až po jednom století zkušeností s parními stroji.

Experimentování podporuje manipulaci s fyzikálními veličinami. Je to cesta získávání nových zkušeností. Faraday byl takovým experimentátorem. Popsal a interpretoval své experimenty s elektřinou a magnetizmem pomocí přesných, i když ne matematických pojmů. Avšak právě tak, jak se Newton skvěle vypracoval na základě sil popsaných Galileem, tak se později Maxwell vypracoval na základě Faradayových zkušeností. \*)

Dnes jsme v historicky podobné situaci. Pojem „informace“ jako něco samostatného, s vlastní a ve své podstatě nezávislou realitou, odráží pouze naše historické zkušenosti.

### Tři z nich jsou velmi závažné:

- K prvním zkušenostem patřily zkušenosti telegrafních, telefonních a rádiových inženýrů zabývajících se maximalizací přenosové účinnosti. Není náhodou, že mezi prvními, kteří se zabývali informací jako nezávislou abstraktní veličinou, byli takoví inženýři jako R. V. L. Hartley, který v roce 1928 definoval informaci jako veličinu a poskytl rovnici pro její měření (jak shrnul Cherry v [12]).
- Druhou (nejdůležitější) zkušeností je přes čtyři desetiletí trávající práce s elektronickými počítači. Tato zařízení, původně navržená jako pomůcky pro řešení dlouhých a únavných matematických problémů, tj. jako výpočetní pomůcky, se rychle rozvinula v systémy zpracovávající informace se stále vyšší komplexností a chytrostí. Vytvořila základ k tomu, že lidská informace mohla být zapamatována, ale i zpracována mimo lidský mozek. To byl dramatický rozdíl. Do té doby, dokud byla lidská informace něčím statickým, jako např. v knihách v knihovně, se nezdálo, že by vzbuzovala moc údivu a vzrušení. Psychologicky se informace jevila jako něco mrtvého. Zkušenosti knihovníků nebo osvěcovaných encyklopedistů z 18. století, zkušenost s pokusy klasifikovat lidskou informaci, nikdy nevedly k náznaku, že by informace mohla existovat jako nezávislá síla ve vesmíru. Počítač změnil naše vnímání informace jako něčeho čistě statického. Zdá se, že uvnitř počítače má informace svoji vlastní dynamiku, že žije. Vzrušení z této nové zkušenosti rychle vstoupilo do naší společné kultury. Taková slova a fráze, jako jsou „vstup“ a „výstup“, „zpracování informací“, „down time“<sup>40)</sup> atd., se začaly používat i v nepočítačových situacích. Psychologové

\*) Říkalo se, že Faraday, když byl dotázán na svůj největší objev, odpověděl „Maxwell“. (Maxwell pracoval v jeho laboratoři jako pomocný asistent.) (Pozn. autora.)

<sup>40)</sup> Down time = ztrátový čas, během něhož není funkční jednotka k dispozici. (Pozn. překl.)

začali uvažovat o mozku jako o vysoce komplexním biologickém informačním procesoru.

- Třetí významný pramen v naší nedávné historické zkušenosti je odvozen z objevů molekulárních biologů. Nedvojsmyslný důkaz, že komplexní molekuly, jako je např. DNA, obsahují nosiče genetické informace, korunoval naši společnou zkušenost. Tato zkušenost vlastně spojuje tisíciletí probíhajícího vývoje zvířat a rostlin a také obecnou zkušenost, že děti mají tendenci podobat se svým rodičům.

Tato genetická informace, přenášená z generace na generaci, si vybrala jako své sídlo neživý aperiodický krystal DNA. Jak krystal, pamatující si tuto informaci, tak i její kód předcházely vytvoření lidského mozku nejméně o miliardu let. Informace může pochopitelně existovat ve formách zcela oddělených a nezávislých na lidských bytostech.

## Proč byla informace přehlížena?

Je-li informace základní vlastností vesmíru, proč až do současnosti unikala pozornosti fyziků?

Existují pro to nejméně dva důvody: Prvním důvodem je, že až do vzniku znalostního inženýrství jako disciplíny, neexistovala žádná naléhavá potřeba definování a studia informace jako takové. Nejbližší potřebě zacházet s informací jako s abstraktní entitou byli informační inženýři, když brzy na začátku 20. století byli konfrontováni s problémem jejího transportu.

Druhým důvodem, proč bylo tak snadné přehlédnout informaci jako komponentu, bylo to, že je všudypřítomná a samozřejmá. Její naprostá všudypřítomnost a samozřejmost nám umožňuje zacházet s ní jako s něčím „daným“. Vzdálenost a čas jsou všudypřítomné a samozřejmé. Jsou to ty „dané“, které nám umožňují popsat pohyb. A popis pohybu je hlavní princip, na kterém byla založena fyzika, věda o fyzikálních vlastnostech a jevech hmotných systémů. Princip který stále proniká i do jejích dnešních disciplín.

S výše uvedeným souvisí i fakt, že informace a energie jsou tak snadno vzájemně převoditelné. Fyzici mohou začínat stále znova s matematickým popisem různých jevů a dějů obsahujících změny informace pomocí změn energie. Pouze příležitostně se zdá, že energie zmizí a vyžaduje vymyšlení nových pojmů jako entropie nebo potenciální energie, aby byla zachována rovnováha celku.

Hlavní důvod ovšem byl, že neexistovala naléhavá potřeba hledání informace, a to až do té doby, dokud si vyspělé systémy na zpracování informace nevyžádaly obecnou teorii informace.

## Potřeba modelů a teorií

Všechny vyšší formy inteligence mají ve své paměti nějakou mapu, nějaký model vesmíru. Vývoj jak biologický, tak i lidský a kulturní byl z hlediska vesmíru – kosmologie – důkladně vysvětlen Gezou Szamosim [41]. Potřeba vytvořit nějaký vlastní model mentálního obrazu vesmíru provází všechny lidské kultury, které projevily poměrně velkou vynalézavost při jeho vytváření. Značná část většiny teorií buduje konstrukce k vysvětlení celé spousty jevů sahajících od nemocí až po počasí. Takové teorie se obvykle spoléhají na existenci nadpřirozených bytostí nadaných nadpřirozenými silami, které udržují v chodu další rozličné lidské aktivity. Naproti tomu moderní věda došla ke kosmologii, která se vyhýbá antropomorfním<sup>41)</sup> modelům. Její schopnost predikce (od nemocí až po počasí) se ukázala jako mnohem přesnější. Porozumění infekčním nemocem, které umožňuje jejich účinnou prevenci a léčení, je asi jedním z největších vítězství moderní vědy a pravděpodobně tomu také věda vděčí za svůj veliký úspěch při pronikání do dalších kultur téměř ve všech částech světa.

Pro stavbu modelů ovšem hovoří ještě jedno hledisko. Je jím použití matematiky pro tvorbu matematických modelů. Tak, jak se matematika vyvíjela, poskytovala stále více a lepších možností. A co je ještě úžasnější, poskytuje modely jevů, které ještě nebyly objeveny. Např. Diracovy matematické rovnice navozují stavy s negativní energií a předvídají existenci antihmoty. Proto byla moderní věda schopna nejenom vymyslet teorie, které mohly vysvětlit existující jevy, ale i teorie, které budou schopny vysvětlit i jevy dosud neobjevené. O tradiční stavbě modelů lze říci, že její součástí je pozorování nevysvětlených jevů při hledání teorie, zatímco síla stavby modelů v moderní vědě spočívá v tom, že obsahuje metodu, která vytváří nevysvětlené teorie při hledání jevů. Historie je naplněna příklady filozofů a vědců, kteří vyvinuli abstraktní teorie, elegantní, avšak ve své době bez praktické použitelnosti, ale které se později staly podstatnými pro rozvoj některých dalších, praktických oblastí použití. Jeden z takových příkladů představuje Booleova<sup>42)</sup> algebra a její následné využití pro počítačové operace.

## Důležitost informační fyziky pro obecnou teorii informace

Informační fyzika se stane uznávanou a plodnou vědou, až budou skutečnosti předložené v této knize jednak řádně kvantifikovány, jednak ověřeny experi-

<sup>41)</sup> Antropomorfismus – myšlení zpodobující si Boha nebo věci jako člověka. (Pozn. překl.)

<sup>42)</sup> George Boole, 1815–1864, angl. matematik a logik, zakladatel algebry logiky. (Pozn. překl.)

mentálně nebo pozorováním. V tomto historickém okamžiku čeká na svého Clerka Maxwella.

Avšak musíme zde ještě vzít v úvahu potřebu vývoje obecné teorie informace. Pro vytvoření takové teorie musíme vyjít z nezákladnějších aspektů informace. A nezákladnějším aspektem informace je to, že není konstrukcí lidské mysli, ale základní vlastností vesmíru. Libovolná obecná teorie informace musí začít studiem fyzikálních vlastností informace tak, jak se projevují ve vesmíru. To musíme provést dříve, než se pokusíme porozumět různým a mnohem komplexnějším formám lidských informací. Další krok musí zahrnovat zkoumání vývoje informačních systémů následujících po fyzikálních systémech – nejprve biologických a poté i společenských a kulturních.

Doufejme, že s vývojem informační fyziky budou přicházet i nové objevy, které posunou naše chápání informace vpřed. Samozřejmě již existují jisté základní zákony, které jsou jasné. Možná nejdůležitější z nich je úloha vazeb nebo spojů při určování organizace. To vyplývá ze zkoumání jevu spojeného se změnami v entropii (viz kapitolu 3 až 5): Nárůst entropie je neoddelitelně spojen se ztrátou organizace. Nejdramatičtější změny, jako např. tavení krystalu nebo vypařování kapaliny, se objeví, když je jedna určitá třída vazeb zcela rozrušena a předmět zkoumání je rozdělen na menší nekoordinované jednotky. Promítneme-li si řadu nespojitostí od krystalu ledu až po kvagmu<sup>43)</sup>, bude toto rozrušení organizace zřejmé – krystaly ledu, kapalná voda, pára, atomy a ionty, kyslík a vodík, pouhé elektrony a ionty, jádra a atomové částice, nukleony, kvarky. V každém stupni představuje ztráta organizace zmizení vazeb poutajících jednotky do komplexnějších a organizovanějších struktur. Právě zmizení těchto vazeb představuje ztrátu informace spojenou se značným nárůstem entropie v těchto nespojitostech.

Kdybychom tedy chtěli zjistit absolutní hodnotu informačního obsahu krystalu ledu, potřebovali bychom znát informační hodnotu vazeb spojujících molekuly vody do stabilní krystalické struktury, vazeb spojujících atomy vodíku a kyslíku do molekuly vody, vazeb spojujících orbitální elektrony s jejich atomovým jádrem, vazeb spojujících různé nukleony do atomů kyslíku a nakonec i vazeb spojujících kvarky do nukleonů tvořících atomy vodíku a kyslíku. Dále potřebujeme znát informační hodnotu různých typů kvarků a navíc jejich celkový počet a typy obsažené v krystalu ledu. To znamená, že pokud kvarky představují základní jednotky informace (což pravděpodobně nepředstavují), tvoří jejich celkový počet jeden z faktorů určujících celkový informační obsah krystalu.

<sup>43)</sup> Kvagma – fyzikální stav hmoty obdobný plazmě, ovšem na úrovni kvarků. (Pozn. překl.)

Zatímco je zřejmé, že informační obsah systému je funkcí *počtu* informačních částí tvořících systém, tak informační fyzika entropie (na rozdíl od termodynamiky entropie) jasně ukazuje, že je to *vazba* jednodušších jednotek do komplexnějších systémů, která je základem organizace.<sup>44)</sup>

### **Ve světle výše uvedených úvah, je-li prvním axiomem obecné teorie informace:**

*Informace je základní vlastnost vesmíru,*

### **pak druhým axiomem musí být:**

*Informace obsažená v systému je funkcí vazeb, které spojují jednodušší části do komplexnějších celků.*

### **Závěr odvozený z tohoto druhého axiomu je:**

*Vesmír je organizován do hierarchie informačních úrovní.*

To znamená, nejen že vnitřní struktura vesmíru je tvořena informací, ale že informace sama o sobě je organizována do vrstev se vzrůstající komplexností. V následující práci (*Beyond Chaos*) budeme tuto komplexnost zkoumat a podrobíme analýze koncept biologického pojmu „diferenciace“. Zde stačí pouze poukázat na obr. 3.2, znázorňující vztah informace a entropie, a na diskuzi uvedenou v kapitole 4, které se k tomuto grafu vztahují, abychom si připomněli, že nejspíše žádná horní hranice pro možný objem informace neexistuje. To vyjadřuje skutečnost, že informace může nejenom organizovat hmotu a energii, ale informace může organizovat *informaci* – tj. proces, který se odehrává např. v našich mozcích a v našich počítačích.

Další důležitý pojem související s informací je *rezonance*. Charakteristika přenášené fyzikální informace, např. elektromagnetického záření nebo zvuku, je určena strukturální informací vysílače, tj. jeho rezonancí. Abychom mohli takto vyslanou informaci účinně zpracovat, je nutné naladit přijímač tak, aby byl schopen poskytnout vhodnou rezonanci pro příjem. Srovnatelný stav nastane, snažíme-li se sdělovat lidskou informaci.

Proto tedy budou výše uvedené principy použitelné i pro biologické a sociální systémy a dokonce i pro lidské informační systémy, jako jsou počítače a jazyky, ač jsou v této práci užity na fyzikální informační systémy, jako jsou atomy a krystaly.

## **Některé závěrečné myšlenky**

Problematika diskutovaná v této knize představuje pouze *úvod* k alternativnímu pohledu na fyzikální jevy. Obsahuje novou interpretaci ustálených analýz. Někte-

<sup>44)</sup> Zde je užitečné připomenout si marxistický „Zákon nárůstu kvantity v kvalitě“ nebo Chardinův „Princip navijení“. (Pozn. překl.)

ré z těchto úvah dávají intuitivně smysl, některé z nich se mohou ukázat jako chybné. Avšak je to začátek.

Byly doby, kdy se světlo měřilo ve svíčkách<sup>45)</sup>, teplo v kaloriích, zvuk v decibelech, elektřina ve voltech atd. Podobně i studium informace je nyní v plenkách. Rozličné druhy informace se budou zpočátku i nadále popisovat různými druhy jednotek, jako jsou bity, metry, sekundy, elektrické náboje, nukleotidy, písmena atd.

Další slabinou předkládané práce je nedostatek schopnosti predikce. Einsteina teorie relativity předpověděla, že gravitační pole Slunce ohýbá paprsky světla, a proto by člověk měl být schopen vidět hvězdy za Sluncem. Pozorování během následujících zatmění Slunce to potvrdila. Kdyby bylo možné připravit experiment, který by „zviditelnil“ blížící se černou díru, pak by podle závěrů diskutovaných v příloze získala *infony* silnou podporu.

Popperova teze o vyvrátitelnosti teorie je dobře známa<sup>46)</sup>. Proto by se dalo namítnout, že většina ze zde předloženého materiálu není vědecká. Avšak i když mnohá z uvedených tvrzení nejsou dokázána, mnoho z nich dává smysl. Nelze popřít, že řada z uvedených myšlenek je vykonstruována, avšak spojují různá pozorování tak, že nyní vytvářejí stejnorodou strukturu. Uvedené myšlenky se rovněž dotýkají některých současných paradoxů. Můžeme opět poukázat na historickou analogii – evoluční teorii navrženou Darwinem a Wallacem. V jejich době neexistovala věda o genetice a nebylo možné její experimentální ověření. Nyní je evoluční teorie znovu interpretována a dává smysl velkému objemu údajů, aniž tehdy byla falešná.

Zavedení informace jako základního činitele v analýze fyzikálních jevů vytváří obrovské množství možností pro nové interpretace existujících pozorování a teorií. Množství v současnosti uznávaných domněnek bude nutno upravit a v některých případech i zavrhnout. Informace má fyzikální podstatu. Informace je vzájemně převoditelná s energií. Potenciální energie je formou informace. Entropie je inverzní funkcí informace a při stanovení informačního obsahu systému může nabývat záporných hodnot (proto zřejmě porušuje třetí zákon termodynamiky). Coulomb představuje jednotku informace, zatímco ampér představuje jednotku informace za pohybu, při kterém mění organizaci vesmíru.

<sup>45)</sup> V roce 1948 byla definována tzv. nová svíčka či kandela (cd) jako 1/60 svítivosti jednoho čtverečního centimetru černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny. Dnes se užívá soustavy SI, kde je táž definice, ale vyjádřená pomocí čtverečního metru místo cm. Kalorie ale byla nahrazena joulem. Decibel je bezrozměrná jednotka poměru výkonů nebo amplitud a zvuk je popsán akustickým tlakem v pascálech. Elektrický proud je měřen v ampérech a napětí ve voltech. (Pozn. překl.)

<sup>46)</sup> Popper považuje za vědeckou takovou teorii, kterou je možno experimentem či pozorováním vyvrátit. (Pozn. překl.)

Úvahy předložené v přílohách jdou ve skutečnosti mnohem hlouběji, a jsou-li správné, budou vyžadovat další posun paradigmat. Například přijetí teorie informace jednotlivými fyziky předpokládá, že základní struktura vesmíru se skládá nejenom z fermionů a bosonů, ale také z *infonů*. To znamená, že existuje třída částic, které nemají ani hmotu, ani hybnost, ale jejichž pohyb se velmi úzce dotýká reorganizace vnitřní struktury hmoty. *Infony* by zahrnovaly takové částice, jako jsou fonony, excitony a díry zbylé v atomových obalech po vystřelených elektronech. Proto nejen hmota a energie mohou existovat v diskrétní podobě, ale může v ní existovat i informace.

Jakmile bude jednou informační fyzika vytvořena, bude mít bezprostřední vliv na termodynamiku. Všechny tři zákony je potřeba interpretovat znovu a rozšířit je podle závěrů diskutovaných na předešlých stránkách. Zavedení informace jako parametru umožní mnohem jasnější náhled na podstatu a omezení termodynamických procesů. A obráceně, protože se termodynamika vždy zabývala, snad nevědomky, vztahem mezi změnami energie a informace, vybavili termodynamici informační fyziky postupy, jak kvantifikovat přeměnu energie v informaci.

Protože to byl Boltzmann, kdo objasnil myšlenku, že entropie představuje výraz pravděpodobnosti stavu systému, a že z toho vyplývá jeho stav uspořádanosti nebo neuspořádanosti, bylo by vhodné zakončit úvahy předložené výše pomocí citátu z jeho „*Lectures on Gas Theory*“ (část II, 1898, str. 447, překlad do angličtiny [6]). V diskuzi o kosmických důsledcích druhého zákona termodynamiky uvažoval Boltzmann o „tepelné smrti každého jednotlivého světa“, tj. o „jednosměrných změnách celého vesmíru z určitého počátečního stavu do neměnného stavu“. Potom komentuje: „Zřejmě by nikdo nepovažoval takové spekulace za důležité objevy nebo dokonce tak, jak to dělali filozofové – za nejvyšší smysl vědy. Avšak je pochybné jimi opovrhovat, jako by byly zcela liché. Kdo ví, zda nemohou překročit horizont našich myšlenek a podnícením myšlení pokročit v porozumění faktů daných zkušenostmi?“

Předchozí stránky (a přílohy) jsou nabídnuty s nadějí, že tyto diskuze skutečně rozšíří horizont okruhu myšlenek poprvé definovaných Boltzmannem a pak rozpracovaných Schrödingerem a přispějí tak k pokroku a porozumění faktům získaných naší každodenní zkušeností.

