

**Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara**

Diplomová práce

Sarah Grimová

2017

**Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara**

Diplomová práce

BIBLIOFILIE

Kvantová Teorie – Průvodce Vesmírem
Marcus Chown

Sarah Grimová

Plzeň 2017

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Katedra designu

Studijní program Design

Studijní obor Ilustrace a grafický design

Specializace Ilustrace

Diplomová práce

BIBLIOFILIE

Kvantová Teorie – Průvodce Vesmírem

Marcus Chown

Sarah Grimová

Vedoucí práce:

Prof. akad. mal. Mikoláš Axmann

Katedra výtvarného umění

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2017

**Prohlašuji, že jsem práci zpracovala samostatně
a použila jen uvedených pramenů a literatury.**

Plzeň, duben 2017

.....
podpis autora

OBSAH

1	Mé dosavadní dílo v kontextu specializace	6
2	Téma a důvod jeho volby	12
3	Cíl práce	14
4	Proces přípravy	15
5	Proces tvorby	17
5.1	Jaký pocit z knihy chci u čtenáře vyvolat?	17
5.2	Jaký bude formát a charakter knihy?	18
5.3	Jak velké bude množství prázdného prostoru a co bude představovat?	18
5.4	Jaký použiju charakter písma?	18
5.5	Jaký použiju charakter ilustrace?	19
5.6	Jaké bude knižní zpracování, tisk a vazba a jak to ovlivní tvůrčí proces?	19
6	Technologická specifika	21
6.1	Ilustrace	21
6.2	Grafický design, sazba	21
6.3	Písmo	21
6.4	Papír	22
6.5	Tisk	22
6.6	Vazba	22
7	Popis díla	23
8	Přínos práce pro daný obor	24
9	Silné stránky	25
10	Slabé stránky	26
11	Seznam použitých zdrojů	27
	a) knižní a periodická literatura	27
	b) internetové zdroje	28
12	Resumé	29
13	Seznam příloh	31

1 MÉ DOSAVADNÍ DÍLO V KONTEXTU SPECIALIZACE

Na magisterský obor Ilustrace a grafický design, specializace Ilustrace jsem nastoupila po absolvování bakalářské specializace Mediální a didaktická ilustrace.

Po celou dobu mého studia jsem se ke každému úkolu snažila přistupovat zcela individuálně a zkoušet různé techniky tvorby. Na bakalářském stupni se v mých pracích objevovaly především knihy a jiné materiály pro děti, jak vyplývá z názvu specializace. Na tomto stupni jsem zpracovala několik projektů zadaných jako klauzurní či semestrální práce.

V prvním ročníku jsem v zimním semestru měla zadaný cyklus kreseb/maleb/grafik na téma Podzim a zima. Toto téma bylo úplně volné bez žádných specifikací. Vybrala jsem si námět vesnice z mého okolí a ilustrovala pastelkami v kombinaci s akvarelem sérii asi 16 kreseb, kde jsem zobrazila prostředí vesnice a přírody kolem ní v těchto dvou ročních obdobích. Na tomto projektu bylo přínosné hlavně to, že spoustě kresbám předcházelo skicování v plenéru.

Druhý semestr bylo hlavní téma zpracování libovolné hry – existující nebo vlastní – jako papírové divadlo. Vytvořila jsem papírové divadlo s loutkami pro hru Nechtěli jsme na moře, volně přenesený námět ze stejnojmenné knihy od Arthura Ransoma, který je můj oblíbený autor z dětství. U papírového divadla byla velmi zajímavá práce s papírem a zkoušení všech metod jeho zpracování – lepení, trhání, stříhání, kašírování. Použití různých gramáží od japonského hedvábného papíru po několika milimetrové lepenky, střídání struktur, zjišťování vlastností různých druhů papíru od ručních, doma vyrobených ze starých novin, po strojově vyráběné a lakované.

Já na divadlo použila více různých metod zpracování papíru, barevnost jsem zanechala převážně přírodní dohněda a recyklovanou, jen s lehkých dobarvením pastelkami. Loutky do divadla byly kašírované technikou papier maché. Celé divadlo s kulisami bylo skládací, hlavní zadní kulisa byla navíc srolovaná na dvou postranních otočných tubusech a při hře se postupně odvíjela.

V závěru semestru jsme každý své divadlo představili ostatním a přeheráli svou hru.

V následujícím ročníku jsem pracovala na cestovatelských denících „Cesta na sever“. Byly dva – jeden fotografický a druhý ilustrovaný černobílou tušovou malbou, oba obrazově popisující můj výlet na sever do Krkonoš. Hlavním námětem zde byly hory a stromy, kterých ubývalo čím výše člověk vystoupal. Oba deníky jsem připravila a svázala jako velkoformátová A3 leporela.

Dalším mým projektem se stala kniha sebraných krátkých básní, pověstí a pořekadel o vodě a příbuzných jevech – Aquavoda. Básně a pořekadla jsem vyhledala a seskupila je do fungujícího logického celku. Zde jsem zvolila techniku kresbu tuší a inspirovala se stylem starých mědirytů. U této knihy jsem vymyslela zvláštní čtvercový formát otvírací nezvykle na výšku. Ilustrace byly celoplošné na celou dvoustránku, tedy poměrně vysoký obdélník na výšku. Vazba knihy byla také ne úplně běžná – listové leporelo.

Zároveň s knihou o vodě probíhal společný „multiateliérový“ projekt Akvárium. Jednalo se o jednodenní divadelně-multimediální akci, která se konala ve staré tovární hale v Chrástu u Plzně.

Téma bylo jednotné – akvárium – svět ve vodě, moře, všechno, co má s vodou něco společného. Každý do tohoto projektu mohl přispět nápadem téměř v neomezeném rozsahu – od kulis, kostýmů, velkoformátových ilustrací přes svítící objekty, lampy a hýbací prvky až zapojení přímo lidí uvnitř haly, vytváření efektů a dál.

Já vyráběla sérii velikých ryb z plexiskla pomalovaných barvami na sklo, které byly opatřeny baterkami a ve tmě svítily. K tomu jsem vytvořila velký kotouč/lampu. Po obvodu měla prořezané díry ve tvaru ryb s barevnými fóliemi a světlo, které bylo uprostřed skrz díry vrhalo na zdi barevné rybí stíny. A další součást byla ještě tři velkoformátové kulisy ilustrací z hlubiny, které byly umístěné na oknech.

Celá akce/divadelní představení se potom odehrálo jeden večer, kde diváci mohli chodit okolo haly a dívat se na dění uvnitř přes okna jako do akvária.

V posledním ročníku bakalářského stupně jsem se vrátila ke klasičtějšímu formátu a malovala ilustrace ke knize Piknik a jiné pohromy od Geralda Durrella. Je to hodně vtípná literatura, kde je schovaných spousta situačních vtípů, tak bylo docela náročné knihu vhodně obrazově doprovodit

a zároveň neprozradit čtenáři pointy dopředu. Tady jsem použila techniku malba temperou a knihu svázala tuhou šitou vazbou.

Moje bakalářská práce byla autorská naučná interaktivní kniha pro předškoláky a první stupeň základní školy. Vymyslela jsem a ilustrovala knihu pro menší děti na cesty, kde se dítě skrz různé úkoly učí o světě, získává nové poznatky a inspiraci a rozvíjí svou tvořivost. Kniha je plná různých tvůrčích úkolů, hádanek, bludišť, a jiných nápadů, co dítě může vyrobit, nakreslit, dělat v přírodě a podobně. Součástí je i společenská hra a terč na míření. Ilustrace jsou různé – některé malby temperou, jiné kresby tuší, na pár stránkách je zapojena fotografie. Kniha, přestože se jedná o „pracovní sešit“ je vázaná v tuhé vazbě, protože mým cílem bylo, aby si tu knihu děti mohly brát s sebou do lesa a hned se nezničila. Papír jsem použila silnější a takový, na který se dá dobře kreslit pastelkami, s myšlenkou, že si z této knihy dítě udělá svůj deník a celou ji může dokreslit.

Na magisterském stupni se má ilustrátorská tvorba stále držela blíž mladšího obecenstva, nicméně jako druhý ateliér – vedlejší oborovou větev jsem si zvolila specializaci grafický design, ke kterému mám blízko a to se poté objevilo v mých dalších klauzurních pracích a projektech. Zároveň pořád platí, že jsem s každým projektem chtěla zkusit něco nového, jinou techniku, odlišit práci od mé poslední.

V zimním semestru prvního ročníku jsme celý ateliér společně pracovali na výstavě „Bahno, bída, Bohémové“, která byla koncipovaná do prostoru plzeňské Papírny. Především šlo o navrhování prostorových instalací, zpracovávání vizualizací, návrhy materiálů, ilustrací, zakreslování do fotografií prostoru. A zpracování výstavy jako celku, včetně doprovodných materiálů a tiskovin, práce s osvětlením, vymyšlení konceptů workshopů a akcí během konání výstavy.

Zjednodušeně byl tématem výstavy odchod početné skupiny lidí z vesnice Stod u Plzně a jejich dlouhé putování na Nový Zéland, kde jim byl slíben blahobyť, půda a nový život, přičemž po příjezdu na místo na Novém Zélandu nebylo nic kromě džungle, bahna a chudoby. Výstava měla být hodně interaktivní, zážitková, pro děti i dospělé.

Zde byla důležitá a podle mě přínosná práce v týmu, rozdělili jsme se na přibližně pětičlenné skupiny a každá zpracovávala jinou část výstavy, ať už přímo kus instalace nebo grafické materiály, orientační systém a dal-

ší součástí. Na projektu pracovalo asi padesát lidí a bylo důležité, aby se všechno vhodně kombinovalo dohromady. Já se svou skupinou jsme zpracovávali část výstavy cestu vlakem do Hamburku.

V letním semestru jsem se vrátila zpátky ke knihám vybrala si k ilustraci Africké pohádky. Sestavila jsem knížku několika krátkých afrických pohádek a ilustrovala jsem ji tužkokresbou. Tyto africké pohádky byly napsány ve stylu bajek, vždycky o zvířatech a s nějakým ponaučením, jen vše orientované do afrického prostředí. Ke každé kapitole jsem vytvořila úvodní ilustraci hlavy zvířete. Inspirovala jsem se tradičními africkými dřevěnými maskami a ty transformovala do zvířecí podoby.

Další rok přišla na řadu spolupráce s plzeňskou mateřskou školkou na Doubravce se zaměřením pro děti s logopedickými poruchami a jinými vadami řeči.

Cílem bylo vytvořit materiály, které nejsou běžně k dostání, a které by se školce hodily při logopedických cvičeních. Po úvodních schůzkách s logopedkami jsme našli cestu, jakým směrem by se materiály měly vyvíjet, co jim ve školce chybí a co je potřeba. Na základě toho jsme se domluvili na vytvoření několika sad logopedických kartiček, které budou podle určitého systému vzhledově i tvarově řazené a dělené podle rodů a vzorů podstatných jmen. Děti s vadami řeči zde totiž mají často problémy se správným skloňováním a přiřazením podstatných jmen stejného rodu a vzoru k sobě.

Kartiček vzniklo poměrně hodně, přibližně kolem 180. Rody byly odlišené barvou a tvarem rohů kartiček, vzory počtem symbolů přímo na kartě.

Tyto sady karet doprovázely tři velkoformátové černobílé kresby, určené k vymalování, ale hlavně jako pracovní prostor pro práci s kartami – k osobám a předmětům na kartách se takto přidalo prostředí (náměstí ve městě, příroda u řeky, interiér dětského pokoje).

Dále ke kartám patří omalovánky ze stejných obrázků jen rozdělené do složek podle témat (postavy, jídlo, zvířata, rostliny, věci...)

A poslední součást tohoto souboru jsou dvě nástěnné plachty ve velikosti B1 s černobílým geometrickým potiskem domu a louky. Fungují jako hry, kam se suchým zipem dají lepit různé menší obrázky osob a předmětů.

Další ateliérový projekt byl příprava výstavy v galerii Hollar v Praze. Každý mohl přispět svou tvorbou, návrhem úpravy prostoru, vytvořením prostorového objektu. Já k výstavě vymýšlela vizuální styl – plakáty,

pozvánky, vstupenky, pohledy. Tady má práce patřila více do grafického designu. Nakreslila jsem vlastní plakátové písmo inspirované vyrábáním v grafických technikách a použila ho na hlavních nadpisech. Brožuru k výstavě jsem vymyslela se speciálním skládáním dlouhých pásů papíru přeložených přes sebe do kříže. V materiálech jsem použila své fotografie z grafických dílen a čtvercové linoryty s motivem detailů tiskařských strojů a nástrojů. Linoryty se pak objevily i na pohlednicích.

Nakonec v minulém semestru bylo úkol zorganizovat výstavní projekt. Já tento úkol pojala v první řadě jako workshop – výtvarné dílny pro děti a pár dospělých.

Během jednoho listopadového víkendu jsem zorganizovala dílny, kam přišly děti od 7 do 15 let a měly dva hlavní úkoly.

První byl individuální: vytvořit jednoduchou knížku na téma Rychlost, kterou si samy napíší, ilustrují a sešijí. Každý si zvolil svůj způsob práce – někdo téma pojala jako komiks, někdo se věnoval hlavně textové části, další vytvořil obrazovou knihu.

Já všem ukázala různé možnosti technik a zpracování. Měla jsem přichystané různé inspirační materiály a občas jsem děti svolala na „ukázkové desetiminutovky“, kdy jsem jim předváděla, jak rýt a tisknout linoryt, vytvářet si z polystyrenu tiskátka, vyřezávat šablony z lepenky a další možnosti. Tyto techniky pak každý mohl použít v knize nebo si je aspoň vyzkoušet na nějaké menší grafice bokem.

Druhý hlavní projekt byl společný – velkoformátová abstraktní malba vytvořená na papíře prostřednictvím několika grafických her.

Během her si děti přes papír posílaly míčky a kuličky, střílely gumičky, malovaly dlouhými štětci, otiskovaly tvary, stříkaly barvu přes šablony, posílaly natahovací autíčka, házely odrazem hopíky. Každý použitý nástroj nebo předmět byl před hrou namočen do barvy, aby každá hra zanechala na papíře jinak barevnou stopu.

Akčnost, vtip a pohyb v tomto společném projektu dobře fungovalo jako pauza pro uvolnění na prostřídání s ilustrací knížek, kde byla od dětí naopak očekávána trpělivá klidná práce.

Dílny se celkově povedly a všechny práce jsem pak vystavila v Obecním domě v Rudné u Prahy, tedy ve stejném městě jako se konal workshop.

K výstavě i workshopu jsem připravila pozvánky, plakáty a další materiály, se kterými jsme pracovali.

Pořádání dětských dílen mě osobně baví, mám k tomu blízko a občasně je podnikám. Také dlouhodobě spolupracuji s dětským oddílem při tvorbě výtvarného programu a také při vytváření táborových her, ke kterým každoročně připravuji vizuální podobu.

Poslední projekt v rámci studia je má diplomová práce Kvantová teorie – Průvodce vesmírem od Marcuse Chowna, o které se rozepíšu v následujících kapitolách. Vybrala jsem si téma Bibliofilie – tedy knihu, která je vydaná se zvláštním zřetelem na typografii, grafickou úpravu a ilustraci. Objevuje se zde i originální exemplář tisku grafiky. Kniha vychází v malém nákladu a jednotlivé výtisky jsou číslovány a podepsány autorem.

Mimo školní prostředí se věnuji hlavně grafickému designu, se kterým jsem začala už na střední škole, a který je pro mě stejně důležitý jako ilustrace. Baví mě oba směry různými způsoby propojovat.

Občasně se zúčastňuji různých společných výstav a jiných projektů, buď jako iniciátor akce nebo společně s dalšími výtvarně zaměřenými lidmi.

Zabývám se čtením uměleckých knih, teoretických publikací od významných grafických designerů a čtením designových blogů, kde získávám mnoho inspirace pro svojí další tvorbu.

2 TÉMA A PŮVOD JEHO VOLBY

Téma mé diplomové práce jsem si zvolila Bibliofilii.

Chtěla jsem ilustrovat a celkově graficky přepracovat nějaký existující text, který je mi blízký obsahem, ale ve svém původním vydání na mě nepůsobí dobře.

Po čase rešerší a hledání vhodného textu jsem došla ke knize Kvantová teorie nikoho nezabije – Průvodce vesmírem od Marcuse Chowna¹. Tuto knihu jsem četla před několika lety, velmi mě zaujala a bavila, nicméně její grafická úprava, obálka, ilustrace i typografie mi nepřišla jako dobře zvolená a celkově jsem z ní měla spíš špatný dojem. Text byl nevhodně zarovnaný, písmo špatně zvolené, ilustrace nezajímavá, barvy příliš jiskřivé v tvrdé kombinaci. Celé navíc hodně zhuštěné, s minimálním využití volné prázdné plochy. Tím tedy i trochu nepřehledné.

Proto jsem se rozhodla, že tento skvělý text by mě bavilo zpracovat znovu a jinak.

Celá kniha pojednává o kvantové teorii, fyzice a vesmíru. Nejedná se ale o žádný vědecký text, kterému by nikdo kromě fyziků nerozuměl. Kniha je záměrně psaná pro úplně laiky a je srozumitelná i pro mládež od druhého stupně základních škol. Celá je o vědě a přesto je v ní spousta zábavy a vtipu.

Kniha se skládá se z několika částí podle témat. Není to tedy jeden dlouhý příběh jako v klasické beletrii, ale mnoho kratších příběhů rozdělených do kapitol podle různých oblastí.

V kvantové teorii se mluví především o atomech a částicích hmoty, o něčem, co nikdo ze čtenářů nemůže nikdy vidět. Pro snadnější představu jsou všechny příklady často převedené do mnohem větších rozměrů pro názornost. Dočteme se, že celé lidstvo by se po odstranění prázdného prostoru z atomů vešlo o jedné kostky cukru a spousta dalších pravdivých, nicméně absolutně neuskutečnitelných věcí, na kterých si každý může představit všechny jevy, aniž by musel být fyzik.

Já si od Marcuse Chowna vypůjčila dva texty, dvě kapitoly, které mě nejvíce zaujaly a ty jsem se rozhodla zpracovat.

1 Marcus Chown – Kvantová teorie nikoho nezabije, Průvodce vesmírem, Kniha Zlín, 2010

První právě o atomech, jak lidi přišli na to, že vše se skládá z atomů a že atomy jsou převážně prázdný prostor. A druhý text o ohromující různorodosti světa, přestože všechny elektrony jsou identické. Tyto dva texty jsou nosné a fungují i stojící samostatně od jiných textů Marcuse Chowna.

Z původního titulu jsem převzala ještě několik dalších doplňkových textových částí, které mi přišly obohacující, výrazně zajímavé nebo použitelné. Kapitolám tedy předchází ještě několik výroků – tvrzení, které působí neuvěřitelně, ale dočetli bychom se o jejich pravdivosti. V závěru knihy naopak zůstala krátká doplňková kapitola s vysvětlivkami některých pojmů.

Přestože se dlouhodobě věnuji hlavně výtvarné a designerské činnosti, bavila mě i matematika, fyzika a hodně vesmírné tematiky, které je v díle Marcuse Chowna spousta.

3 CÍL PRÁCE

Při zpracovávání knihy bylo mým cílem vytvořit vizuálně ucelenou a vyváženou publikaci, ve které všechno funguje spolu dohromady – od formátu knihy, přes celou sazbu, layout, výběr písma, umístění jednotlivých prvků, vyvážené rozmístění obrazu a textu až po volbu papíru a vazbu.

Všechny tyto prvky, které dohromady utváří celkovou podobu knihy jsem pečlivě zvážila a snažila se vytvořit komplexní dílo, kde spolu jednotlivé prvky hrají, doplňují se nebo mezi sebou záměrně vytváří kontrasty.

Důležité pro mě v knize je, že každý prvek má své místo a své opodstatnění. Používala jsem mřížkový systém sazby.

Když jsem vybírala vhodnou techniku ilustrací pro tento text, zvolila jsem černobílé linoryty. V původním vydání nebyly ilustrace žádné, kromě jedné na obálce. Já chtěla knihu proložit ilustracemi, které text doplní a zároveň dají najevo, že kniha není jen vědecké pojednání o kvantové teorii.

V knize jsem nechala poměrně hodně čistých ploch, bílých, šedých nebo černých, které se vzájemně doplňují nebo jsou v kontrastu.

Linoryt jsem vybrala pro jeho kvality otiskování a velmi dobrý vzhled na silnějším tónovaném papíru i při následné digitalizaci.

Dalším cílem bylo vytvořit knihu na první pohled přitažlivější. Tomu už napomáhá její nestandardní formát na šířku. Formát na šířku také odpovídá tomu, že se nejedná o četbu na cestu do tramvaje, ale měl by ji člověk věnovat víc času a klidu, knihu si rozložit a užít. To patří i k tématu.

Chtěla jsem, aby byla bližší čtenářům, aby nikoho zbytečně neodradilo téma knihy, které zní seriózně, vědecky a složitě. Aby už při zběžném prolistování bylo zřejmé, že se jedná sice naučnou, ale snadno pochopitelnou a zajímavou knihu se vtipem. Čtenář by neměl být přehlčen textem, jak to vyznívalo v původním vydání. Je zde všemu ponechán dostatečný prostor na odlehčení.

4 PROCES PŘÍPRAVY

Příprava mé práce z dlouhodobého hlediska bylo individuální studium převážně grafického designu, různých možností sazby, mřížkového systému pro vytvoření funkčního sazebního obrazce a layoutu stránky. Sledovala jsem práci zahraničních designerů i některých českých studií, inspirovala se a získávala praktické dovednosti v této oblasti.

Jedny z nejlepších a nejkvalitnějších materiálů pro nalezení inspirace v tomto odvětví jsou publikace švýcarských, rakouských a německých designerů, kteří pracují výborně s mřížkovým systémem, mají velký cit pro vyváženost textu a prázdné plochy a hodně do popředí staví typografii. A říkají, že nejlepší design je žádný design.

Spousta z nich své vědomosti shrnuli do publikací zaměřující se přímo na toto odvětví. Do mých oblíbených, ze které jsem se hodně naučila, patří především Raster Systeme od Josefa Müllera-Brockmanna², kde je detailně popsán proces tvorby různých sazebních obrazců pro knihy časopisy i jiné tiskoviny. Nebo od stejného autora The Graphic Artist and his Design Problems³.

Podobných, neméně kvalitních odborných publikací by se dala vypsát celá řada. Také jsem jich tu celou řadu minimálně prolistovala, alespoň v elektronické podobě, sledovala odborná knihkupectví – převážně zahraniční a internetová, protože u nás jsou tyto publikace zřídka k dostání.

Tak vypadá moje dlouhá příprava ve směru grafického designu, která v rámci získávání další nové inspirace, námětů a dovedností pokračuje stále dál.

Příprava pro ilustrace vycházela hlavně ze čtení textů několikrát dokola. Ten jsem se snažila strukturovat a připravit nejprve sazbu tak, aby byla jednak funkční a dobře se četla, ale také aby k ní vhodně zapadaly ilustrace, zbývalo na ně dostatek prostoru a poměr textu, ilustrací a volného prostoru byl vyvážený.

V momentě zpracování funkční sazby jsem se začala zabývat rozmístěním a stylem ilustrací.

2 Josef Müller-Brockmann, Raster Systeme, kapitoly Construction of the type area, Construction of the grid, The illustration in the grid system

3 Josef Müller-Brockmann, The Graphic Artist and his Design Problems

Hlavní ilustrace jsem tvořila linorytem, jak jsem psala výše. A další doplňkové ilustrace, jsou tvořené plošnou šedou barvou digitálně. Tyto jsou ovšem v knize neméně důležité, protože svým tvarem a umístěním na stránce představují v abstraktnější formě dojmy nebo děje z textu. A podílí se na vyvážení světlé a tmavé plochy.

Linoryty jsou oproti tomu mnohem více konkrétní a více se vážou na popisovaný děj, ale i tam se vyskytuje určitý posun, že ne všechno psané se ve stejném významu objevuje v ilustraci.

Ohledně stylu nebo techniky zpracovávání linorytu jsem si sice prošla několik knih, kde byla použita tato technika, ale nemůžu říci, že bych se přímo inspirovala některou z nich. V rámci rozšíření přehledu jsem si kromě práce Aubreyho Beardsleyho⁴ procházela i dřevoryty Josefa Váchala⁵ a dřevořezy a dřevoryty Paula Gauguina⁶. Sice je dřevořez jiná grafická technika, nicméně svým vzhledem linoryt připomíná.

Vzhledem k tomu, že celá kniha má přece jen vědecký naučný nádech, v rámci přípravy jsem se alespoň okrajově věnovala i studiu atomů. Zopakovala jsem si některé fyzikální i chemické jevy, prošla skladbu atomů různých prvků, stavbu molekul. Celá kniha pojednává především o atomech a jevech ohledně jejich pohybu a složení. Proto jsem použila zobrazení atomu jako propojující prvek, který se objevuje na vícero ilustracích i předšádce.

Jako další bod, který vlastně předcházal většině zmíněným přípravám, jsem si dělala rešerši podobné literatury a zjišťovala zájem lidí o čtení knih s podobnou tematikou. Zjistila jsem, že texty Marcuse Chowna jsou oblíbené, vysoce hodnocené a často doporučované jako dobrá literatura. Také mě překvapilo, že poměrně dost lidí jeho tituly zná, nicméně u mládeže zájem klesl z důvodu neznalosti a špatného podvědomého zařazení knihy do odborné vědecké literatury.

4 Aubrey Beardsley – Příběh Venuše a Tannhäusera

5 Josef Váchal – Cyklus dřevorytů k chvále geniálních lékařů a ranhojičů

6 Lubomír Podušel – Paul Gauguin: Dřevořezy, dřevoryty.

5 PROCES TVORBY

Před začátkem práce jsem si položila několik otázek, které mi pomohly definovat si budoucí podobu díla a usnadnily mi následující práci, kdy už jsem mohla jít za konkrétním cílem.

Zabývala jsem se otázkami, jak chci aby dílo celkově vypadalo, jaký pocit z knihy chci u čtenáře vyvolat, jaký bude formát a charakter knihy, jak velké bude množství prázdného prostoru a co bude představovat, jaký použiju charakter písma a ilustrace, jaké bude knižní zpracování, tisk a vazba a jak to ovlivní tvůrčí proces.

5.1 Jaký pocit z knihy chci u čtenáře vyvolat?

Zde jsem se zabývala hlavně poměrem světla a tmy a poměrem obrazu a textu. Chtěla jsem mít obrazového materiálu v knize poměrně hodně, ale zároveň jsem nechtěla, aby přebil textové části. Vzhledem k tomu, že hlavní linorytové ilustrace jsou černobílé, jejich větší množství by už působilo příliš těžce a nebylo by to vyvážené. Zapojila jsem tedy navíc jednodušší šedé plošné ilustrace pomocí digitálně zpracovaných tvarů, které dotváří náladu, vyvažují prostor a zároveň slouží jako mezistupeň mezi bílou barvou papíru a černou barvou linorytu.

Knihy je koncipovaná tak, že po úvodních stranách patitulu a titulu začíná asi deset dvoustran se zajímavými výroky z oboru kvantové fyziky převedené do měřítka našeho běžného života. V tomto úvodu jsem pracovala s celoplošnými ilustracemi a objevuje se zde více černé plochy jako hmoty, vesmíru, ze které vystupuje jen malé množství textu a bílých linií ilustrací.

Černé dvoustrany střídají šedé abstraktní ilustrace a dvoustrany s převahou bílé. Každá dvoustrana zde stojí samostatně, nenavazují nijak na sebe, proto je rytmus nepravidelný a tonalita se dynamicky a překvapivě střídá.

V další části knihy obsahující kapitoly je zachováno střídání černých linorytů a šedých abstraktnějších prvků s bílou plochou. Rytmus je pravidelnější, velkoplošné ilustrace jsou u začátků kapitol. Uvnitř kapitol se střídají menší linoryty s šedými tvary i kombinace obou metod na jedné straně.

5.2 Jaký bude formát a charakter knihy?

Knihy není zamýšlena pro čtení na cestách, ale v klidném prostředí, kde je dostatek času a místa na prohlížení a soustředěné čtení. Tomu odpovídá zvolený formát na šířku.

Formát má 21 centimetrů na šířku a 18 centimetrů na výšku, takže při rozložení je to již poměrně velká plocha, na které se může odehrávat spousta věcí, ale zároveň i samostatná čistá plocha může působit jako pohlcující vesmírný prostor, o kterém kniha značně pojednává.

Orientace na šířku způsobuje, že jsem textové pole nekonstruovala přes celou šířku strany, protože by to byl na čtení příliš dlouhý řádek, ale zabírá místo jen přibližně dvou třetin stránky a umožňuje tak mít na každé straně dostatek prázdného prostoru.

5.3 Jak velké bude množství prázdného prostoru a co bude představovat?

Prázdný prostor je v knize stejně důležitý jako prostor zaplněný textem či ilustracemi, aby čtenář nebyl přesycen a mohl někde „vydechnout“, zastavit se v toku čtení a zároveň očekávat, co bude na následujících stranách.

Míst na vydechnutí je v knize dostatek a v poměru se střídají s věcnými ilustracemi.

Tam, kde je prázdný prostor skutečně prázdný – to znamená bílá plocha, nikoli černá – může čtenář ohodnotit kvalitu a strukturu použitého papíru, který jsem vybrala záměrně lehce tónovaný s příměsí recyklovaných vláken.

5.4 Jaký použiju charakter písma?

Nejprve jsem přemýšlela o klasifikačních skupinách písem a zvažovala, ze které má největší smysl nějaké vybírat.

Nakonec jsem se rozhodla pro dva typy písma – jedno titulkové a druhé na klasickou sazbu.

Písmo pro sazbu jsem vybrala lineární bezserifové – z důvodu, že kniha není vysloveně beletrie, u které se používá tradičně spíše serifové písmo. Odstavce ani kapitoly nejsou příliš dlouhé a zvolený font nemá problém s „udržením očí na řádku“.

Jako titulové a nadpisové písmo jsem vybrala jiné – lineární bezserifové písmo, geometricky konstruované odvozené z kruhového tvaru, které má širší kresbu a hodí se pro použití v kratších textech.

Písmata jsou jednoduchá, aby vhodně doplnila ilustrace, neupoutávala na sebe tolik pozornosti a přitom přirozeně fungovala v sazbě i nadpisech.

5.5 Jaký použiju charakter ilustrace?

O typu techniky ilustrace jsem měla od začátku poměrně jasno. Chtěla jsem tvořit nějakou grafickou technikou. Mám ráda linoryt a v minulém semestru jsem se při vyrývání ilustrací na pohlednice k vizuálnímu stylu výstavy do galerie Hollar utvrdila v tom, že s linorytem se mi pracuje pořád dobře a chtěla bych ho zahrnout do své diplomové práce.

Postupem času, až při zpracovávání sazby, jsem k linorytovým ilustracím přidala digitální ilustrace v šedé barvě.

Ilustrace tvořené linorytem jsou tedy černé a doprovázejí text konkrétnějším motivem. Objevují se také na předsádkách i obálce.

Digitální ilustrace doplňují text jednodušší formou, většinou šedou plochou v abstraktnějším tvaru, ale stále připomínající konkrétní jev z textu.

V některých místech se doplňují oba typy ilustrace samy sebe dohromady a fungují společně.

5.6 Jaké bude knižní zpracování, tisk a vazba a jak to ovlivní tvůrčí proces?

Knižní vazba je od začátku myšlená jako pevná šitá s plátěným hřbetem. Kniha má necelých 80 stran, to vychází na 9 složek po 8 stranách, a to už je hezký počet na knihu.

Hledala jsem papír, který bude něčím zajímavý, mírně silnější, dobře potisknutelný a nebudou se na něm v tisku velké černé plochy lesknout. Chtěla jsem trochu zabarvený papír, ne čistě bílý.

Papír jsem použila o gramáži 140 g/m² a tloušťka knihy tedy více narůstá, stejně tak jako místa, kde se papír překládá. To jsem zohlednila při tvorbě sazebního obrazce, ale vzhledem k tomu, že je vazba šitá a ve složkách (půlsložkách) jen po 8 stranách, neprojeví se nárůst tloušťky nikde tak markantně, že by bylo třeba sazbu výrazně upravovat a posouvat.

Papír je lehce tónovaný do přírodního odstínu a má příměs recyklovatelných vláken, které jsou dobře viditelné, ale nijak nerušivé a působí netradičním speciálním dojmem. Jeho drobná struktura působí příjemně, lze dobře potiskovat a černý odstín linorytových ilustrací je jednak opravdu černý a navíc se neleskne.

Tisk je digitální, protože v tak malém nákladu tří kusů lze jen těžko v tomto případě použít nějaký jiný způsob.

6 TECHNOLOGICKÁ SPECIFIKA

6.1 Ilustrace

Na linoryty jsem použila poměrně tvrdé podlahové linoleum. Na vyrývání rydla tvaru V značky Šerák. Na tisk jsem využívala černou ofsetovou mastnou barvu, popřípadě na menší linoryty černou vodou ředitelnou barvu nebo mastnou hlubotiskovou barvu.

Všechny ilustrace jsem tiskla v domácí dílně, ručním lisem s kuličkovým ložiskem, kromě velkého doplňujícího B1 plakátu.

Velikost celostránkových ilustrací (na celou dvoustránku) je přibližně 43x19 centimetrů i se spadem. Ostatní ilustrace mají různé formáty s maximální výškou 19 cm.

Ilustrace jsem po vytištění naskenovala, prošly drobnou retuší a následně jsem je použila v knize.

Digitální ilustrace jsou nakresleny v programu Adobe Illustrator.

6.2 Grafický design, sazba

Layout knihy a celou sazbu jsem vytvořila v programu Adobe InDesign. Nejprve jsem si zkonstruovala funkční mřížku, zvolila správnou velikost písma, prokladu a řádkování a propojila tak, aby všechno spolu v mřížce vycházelo.

Potom jsem tvořila sazební obrazec a základní vodítka, odkud chci sázet jednotlivé části textu – nadpisy, podnadpisy, obyčejnou sazbu.

Následně přišla na řadu pravá sazba, práce s textem a dalšími grafickými prvky (paginace apod.) a rozmístění bloků textu a míst pro ilustrace.

6.3 Písmo

Font použitý obálce, titulní stránky a nadpisy je Century Gothic. Lineární bezserifový, geometricky konstruovaný odvozením z kruhu. Toto písmo je hodně široké, střední výšku písma má vysokou, diakritika je přiléhavější k jednotlivým písmenům a font působí celkově kompaktním dojmem.

V textové sazbě jsem použila font Bariol. Také bezserifový font. Poměrně oblý s nižší střední výškou, působí drobnějším dojmem, proto jsem mu ponechala větší proklad, aby se řádky opticky neslévaly.

6.4 Papír

Zkoušela jsem tisknout na několik různých papírů pro zjištění jejich vlastností a vhodnosti použití. Rozhodovala jsem se, jak moc tónovaný papír chci mít, aby svou barevností moc nezasahoval do ilustrací, ale aby nebyl příliš obyčejný.

Nakonec jsem vybrala papír Elefantenhaut Woodstock v barvě 1 Betula přírodní bílá. Gramáž je 140 g/m², takže se řadí mezi tuhé papíry nebo tenčí kartóny. Má příměs z recyklovaných vláken, barvu světle krémovo-okrovou. Je vhodný na tisk veškerými tiskovými technikami, do ofsetových strojů i digitálních tiskáren.

Tento papír jsem nakonec použila kromě vnitřních složek i na předsádky a obálku.

6.5 Tisk

Tisk vzhledem k malému nákladu tří kusů jsem zvolila digitální, jako nejlepší možné řešení v tomto případě.

I tak jsem si dala záležet na kvalitě tisku. Aby černé plochy linorytů nevycházely leskle, vyzkoušela jsem několik tiskáren než jsem došla k dobrému výsledku.

6.6 Vazba

Typ vazby je V7 – tuhá, poloplátěná vazba. Kniha je šitá po složkách, celá vychází na 9 složek po 8 stranách. Desky jsou z dvoumilimetrové lepenky, potahované papírem a hřbet je plátěný.

Ke knize patří papírový přebal a knihy jsou vloženy do kazety z tuhé lepenky.

7 POPIS DÍLA

Knihovna včetně tuhých desek má rozměry 21,6 x 18,6 centimetrů, čistý formát stránky je 21 x 18 centimetrů. Po otevření je tedy rozměr ještě větší než A3 na šířku.

Celkový počet stran je 72, plus přední a zadní předsádka.

Knihovna má tradiční systém uspořádání stránek. Po předsádce je strana s pativem, na tu navazuje titulní strana. Následně začíná obsah.

Jako frontispis je proti titulu vložen originální exemplář linorytu, který je podepsaný a číslovaný.

Prvních dvacet stran je věnováno výrookům z kvantové fyziky a velkoformátovým ilustracím. Potom je úvod – předmluva – a začíná první kapitola. Druhá kapitola následuje a na konci je ještě třetí doplňková kapitola, kde jsou vysvětlené pojmy a periodická tabulka prvků. Na závěrečné dvoustraně se nachází klasicky tiráž.

Odevzdala jsem tři výtisky knihy v pouzdře z tuhé lepenky.

Jako součást diplomové práce odevzdávám ještě doplňkový B1 plakát. Také tvořený linorytem, který kombinuje témata z knihy a funguje jako upoutávka na knihu na výstavě.

8 PŘÍNOS PRÁCE PRO DANÝ OBOR

Zpracováním této knihy jsem chtěla dosáhnout spojení ilustrace, funkčního designu, sazby a kvalitní vazby s „vědeckou“ literaturou.

Myslím, že na trhu celkově není mnoho publikací v kategorii odborné „laicky“ psané literatury pro čtenáře mimo daný obor, která mě osobně hodně baví číst. Většina knih, které v tomto odvětví objevím, jsou svým designem bližší jen skutečně vědeckým publikacím, kde jde design stranou, jsou bez jakéhokoli vtipu a nadsázky a tím pádem ani nejsou zajímavé.

Baví mě propojovat grafický design s ilustrací, kde u obojího můžu být autorem a zároveň vymyslet celý koncept knihy včetně použitých materiálů a vazby.

Při práci s takto „odbornou“ knihou navíc lze se všemi prvky pracovat mnohem volněji, protože jsou zde jen krátké odstavce textu, více nadpisů a spousta podnadpisů, celá kapitola se slovníkem pojmů, periodická tabulka prvků, poznámky pod čarou, v mém případě různé ilustrace (celoplošné i drobné) apod. S každou částí lze pracovat samostatně a přitom všechno spojit do jednoho komplexního celku, který drží pohromadě. Může to být tedy mnohem zajímavější než jednolitá sazba textu beletrie a myslím, že u spousta knih tohoto žánru jsou v sazbě a rozmístění ilustrací a volného prostoru velké rezervy.

9 SILNÉ STRÁNKY

Do silných stránek mé knihy řadím především promyšlení sazebního obrazce a mřížkového systému. Celá sazba a rozmístění jednotlivých ilustrací tak dává smysl a všechno má své místo. Nikde nic není umístěné jen tak nahodile, všechno vychází z vypočítaných proporcí, řádkování a zapadá do celkového systému.

Dále sem řadím vyváženost zaplnění plochy, kde se střídá text na bílém pozadí, šedé plochy digitálních ilustrací a černé linoryty. Bílá jako protipól černé, šedý mezistupeň. Někde invertovaný bílý text na černém pozadí. Působí to provokativně na oko čtenáře, dynamicky, jsou zde nečekané momenty a zároveň se plochy vzájemně doplňují.

Ještě bych zmínila papír Woodstock, který svou kvalitou a zvláštností sám o sobě dobře doplňuje celkový vzhled knihy.

10 SLABÉ STRÁNKY

Do slabých stránek bych zařadila, že jsem původně zamýšlela do knihy zařadit víc kapitol textu od Marcuse Chowna. Nicméně rozsah, který jsem si nakonec vybrala byl už tak obsáhlý, že další texty bych nestihla ilustrovat stejným množstvím jako tyto, proto jsem je vynechala.

Další bod, který vyplynul ze zpracování. Kniha měla být původně větší, což jsem ale nakonec promyslela a upustila od této myšlenky z důvodu příliš velkého formátu, který se na sazbu už nehodil. V neposlední řadě nemožností oboustranného tisku velkých formátů v malém nákladu na digitálních tiskárnách.

Vlivem digitálního tisku, přestože jsem si dala záležet na vhodném výběru tiskárny a dlouze se zabývala správným nastavením tisku, se některé části nepovedlo vytisknout zcela tak, jak jsem měla v úmyslu. Bylo to způsobené tím, že digitální tiskárna není schopná potisknout dobře větší formáty na speciální papír – na to se hodí ofset, který je ovšem pro malé náklady nepoužitelný.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

a) Knižní a periodická literatura

1. SCHMIDT, Gerhard. *Efektivní myšlení - Poznej sám sebe, praktická cvičení*. Čestlice: Rebo Productions, 2005. ISBN 80-7234-417-X.
2. DEYAN, Sudjic. *B jako Bauhaus*. Zlín: Kniha Zlín, 2016. ISBN 978-80-7473-322-2.
3. MÜLLER-BROCKMANN, Josef. *Raster Systeme*. Braun Publish, Csi; Bilingual edition, 1996. ISBN-10 3721201450
4. BEARDSLEY, Aubrey. *Příběh Venuše a Tannhäusera*. Praha: Dybbuk, 2007. ISBN 978-80-86862-29-3.
5. McNAUGHTONOVÁ, Phoebe. *Perspektiva a jiné optické klamy*. Praha: Dokořán, edice Pergamen, 2010. ISBN 978-80-7363-297-7.
6. PODUŠEL, Ľubomír. *Paul Gauguin: Drevorezy, drevoryty*. Vydavateľstvo Matice slovenskej, 2008. ISBN 8089208807.
7. VÁCHAL, Josef. *Cyklus dřevorytů k chvále geniálních lékařů a ranhojičů*. Praha: Paseka, 2014. ISBN 9788074325144.
8. DEMPSEY, Amy. *Umělecké styly, školy a hnutí*. Praha: Slovart. ISBN 80-7209-731-8.
9. ČAČKA, Otto. *Psychologie imaginativní výchovy a vzdělávání s příklady aplikace*. Brno: Doplněk, 1999. ISBN 8072390341.
10. MÜLLER-BROCKMANN, Josef. *The Graphic Artist and his Design Problems*. Verlag Niggli AG: Selgen/Zürich; German/English/French edition; 2003. ISBN 978-3-7212-0466-7

b) Internetové zdroje

1. Webová stránka o německém grafickém designu
<https://www.designmadeingermany.de/>
2. Webová stránka o časopisech a editorial designu
<http://magculture.com/>
3. Stránka/blog o umění, designu a výtvarné kultuře
<http://www.itsnicethat.com/>
4. Inspirativní obálky časopisů a publikací, editorial design
<http://www.coverjunkie.com/>
5. Labyrinth, nakladatelství, kulturní revue, společnost pro kulturu
<http://www.labyrinth.net/>

12 RESUMÉ

My graduation project of my master studies is a Bibliophile.

It is a book called in the original Quantum Theory Cannot Hurt You: A Guide to the Universe and it is written by Marcus Chown.

This book is about the quantum theory obviously but it is written for people with no preliminary experiences with any part of quantum theory. It is surprisingly even for older children too (from age 15).

Quantum Theory Cannot Hurt You by Marcus Chown was published in czech language in the Czech republic few years ago, in 2010, but unfortunately the design, layout and illustrations were not so good.

I really like this title and style of writting of Marcus Chown so I decided to completely remake it with use of coherent page layout and my illustrations.

My intention was to make a book that will take in more interest, entertainment and joke to the branch of science literature. Insomuch as unexpectedly humorous and lightweight style is the personal style of Mr. Chown. Every scientific matter is shown in the human scale so everybody can surely well understand.

There are two types of illustration techniques I used. Most of the illustrations are linocuts and printed black. These are particular to each chapter or verdict. And the second type of illustration is digital technique where I used grey colour, these illustrations are more abstract to complete the message. Both styles complement each other and they are well balanced.

The layout and composition are thoroughly studied and prepared with using the grid system. Every part, block of text, title, illustration and shape have its place. I organized all components and determined their space in layout. Afterwards I placed illustrations and text paragraphs. I focused on amount of empty space in each spread and wanted to design pages synoptical and bright.

Apart from illustrations and graphic design I also finished the bookbinding. I chose the hard cover – classical hard stitched book. The folders of paper are stitched together and the cover is made of thick cardboard. The

spine is made of canvas and overlay of the cardboards is made of paper.

I also chose special recycled paper for print. It is toned natural white paper of weight 140 g/m² with admixture of recycled fibres which are visible and look beautifully. This paper has nice structure and surface too.

The size of the book is approximately 21x18 cm.

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Fotografie svázané knihy

Příloha 2

Fotografie svázané knihy

Příloha 3

Fotografie svázané knihy v kazetě

Příloha 4

Ukázka mřížkového systému

Příloha 5

Přebal s klopami

Příloha 6

Přední titulní strana (přebal)

Příloha 7

Přední titulní strana (papírový potah)

Příloha 8

Předsádka

Příloha 9

Patitul

Příloha 10

Titulní dvoustrana

Příloha 11

Dvoustrana 6-7

Příloha 12

Dvoustrana 8-9

Příloha 13

Dvoustrana 10-11

Příloha 14

Dvoustrana 12-13

Příloha 15

Dvoustrana 14-15

Příloha 16

Dvoustrana 16-17

Příloha 17

Dvoustrana 18-19

Příloha 18

Dvoustrana 20-21

Příloha 19

Dvoustrana 22-23

Příloha 20

Dvoustrana 24-25

Příloha 21

Dvoustrana 26-27 – předmluva

Příloha 22

Dvoustrana 28-29 – začátek 1. kapitoly

Příloha 23

Dvoustrana 30-31 – sazba, text 1. kapitoly

Příloha 24

Dvoustrana 32-33

Příloha 25

Dvoustrana 34-35

Příloha 26

Dvoustran 36-37 – příklad ilustrace

Příloha 27

Dvoustrana 38-39

Příloha 28

Dvoustrana 40-41 – začátek 2. kapitoly

Příloha 29

Dvoustrana 42-43 – příklad digitální ilustrace

Příloha 30

Dvoustrana 44-45 – příklad ilustrace

Příloha 31

Dvoustrana 46-47

Příloha 32

Dvoustrana 48-49

Příloha 33

Dvoustrana 50-51

Příloha 34

Dvoustrana 52-53

Příloha 35

Dvoustrana 54-55

Příloha 36

Dvoustrana 56-57

Příloha 37

Dvoustrana 58-59

Příloha 38

Dvoustrana 60-61

Příloha 39

Dvoustrana 62-63

Příloha 40

Dvoustrana 64-65 – doplňková kapitola Základní pojmy

Příloha 41

Dvoustrana 66-67

Příloha 42

Dvoustrana 68-69 – periodická tabulka prvků

Příloha 43

Dvoustrana 70-71 – tiráž

Příloha 44-49

Další fotografie svázané knihy

Příloha 50

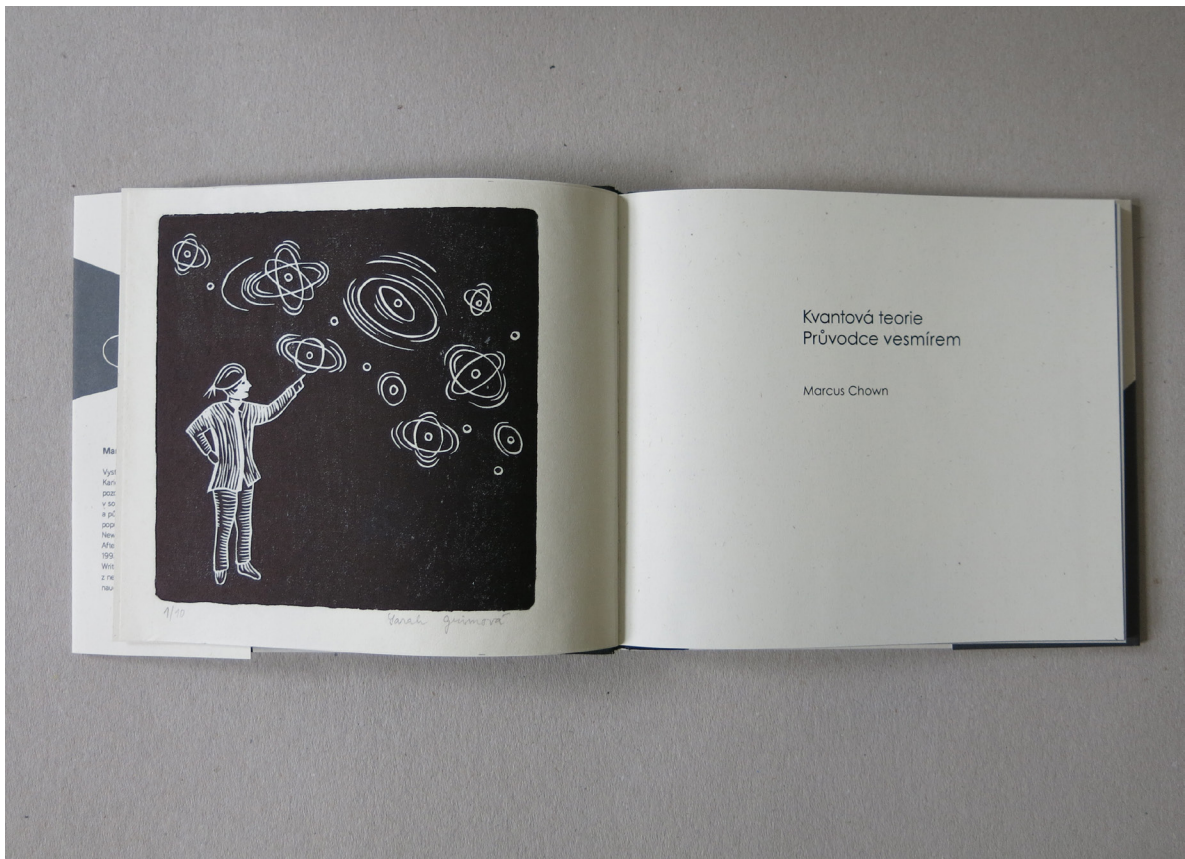
Plakát ke knize – B1, linoryt

Všechny přílohy jsou mnou pořízené fotografie nebo moje digitální výstupy.

Fotografie svázané knihy



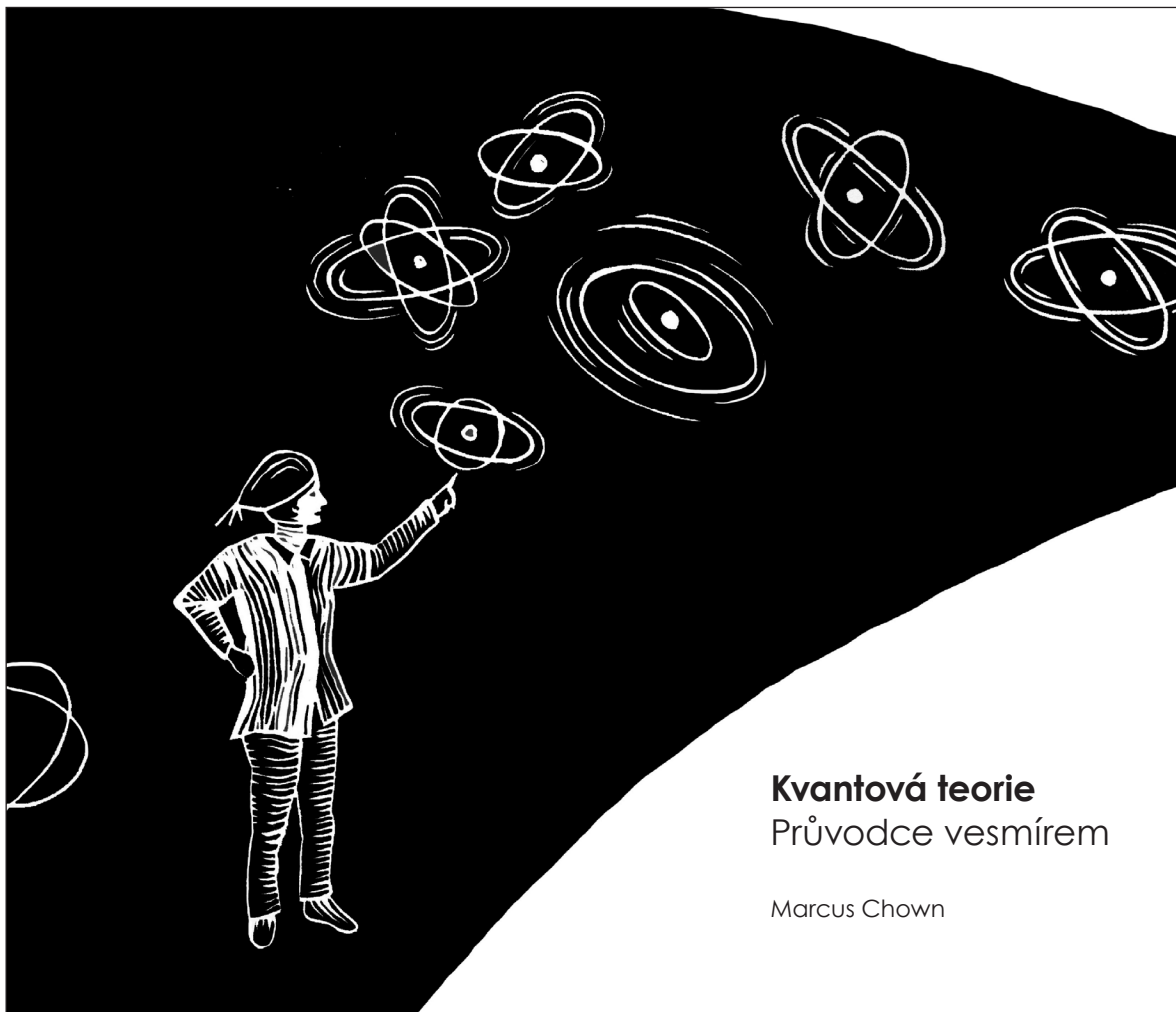
Fotografie svázané knihy



Fotografie svázané knihy s kazetě



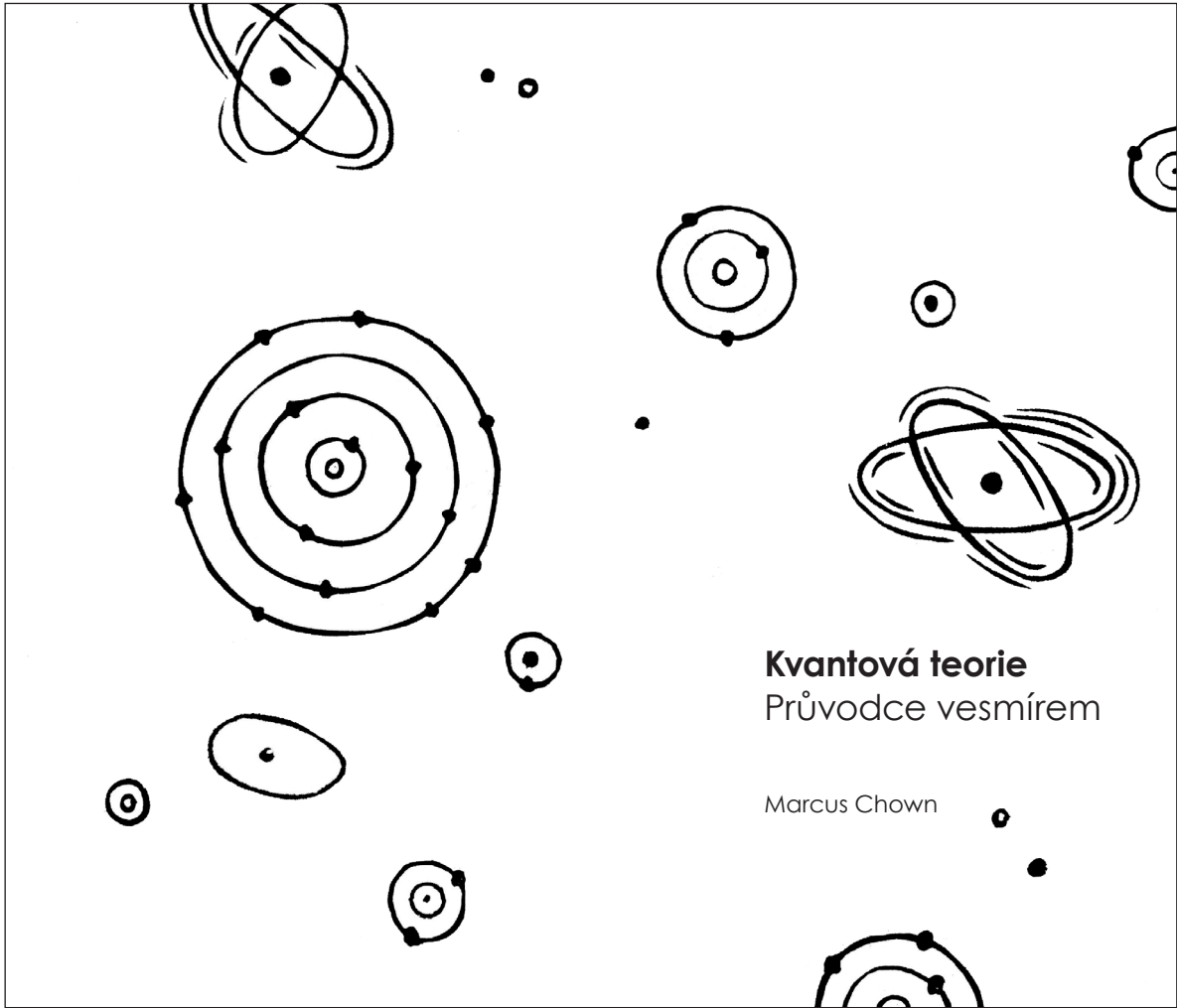
Přední titulní strana (přebal)



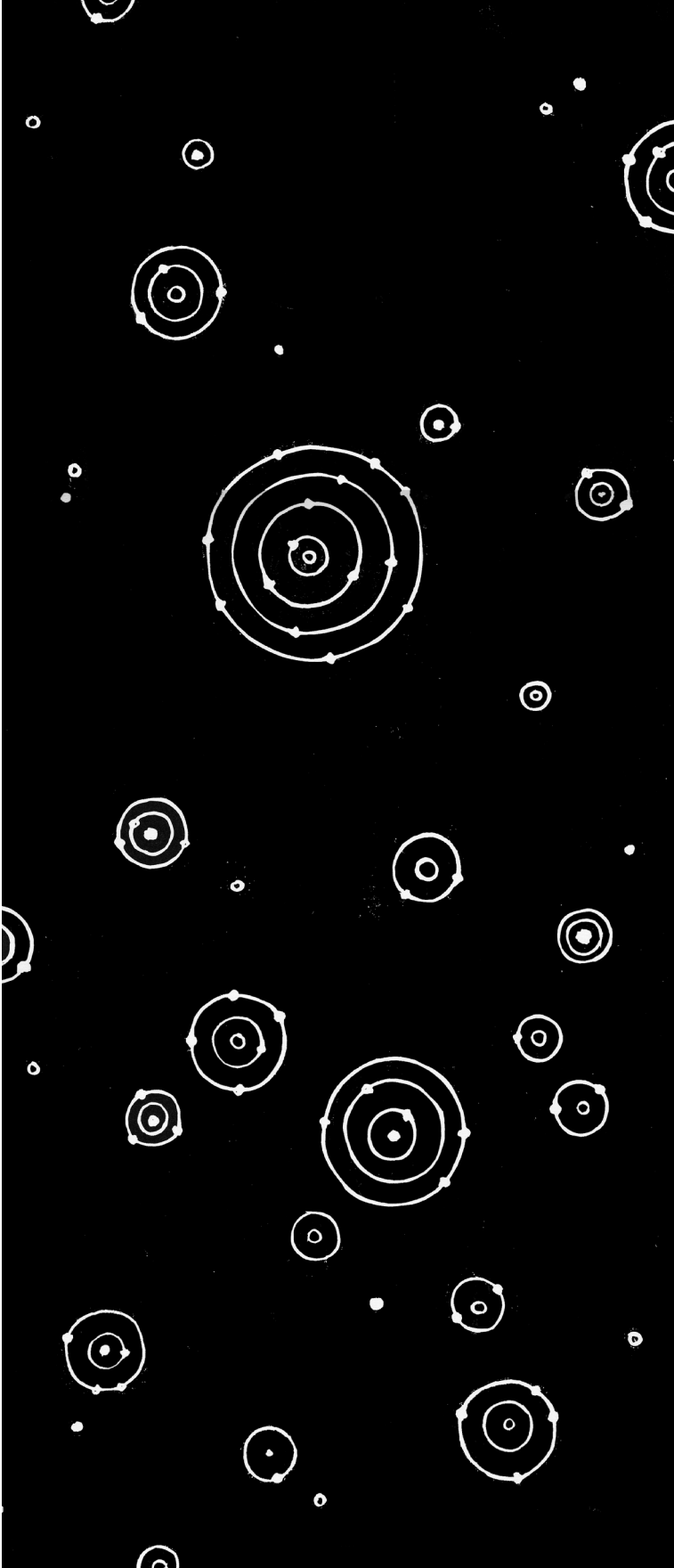
Kvantová teorie
Průvodce vesmírem

Marcus Chown

Přední titulní strana (papírový potah)



Předsádka



Patitul

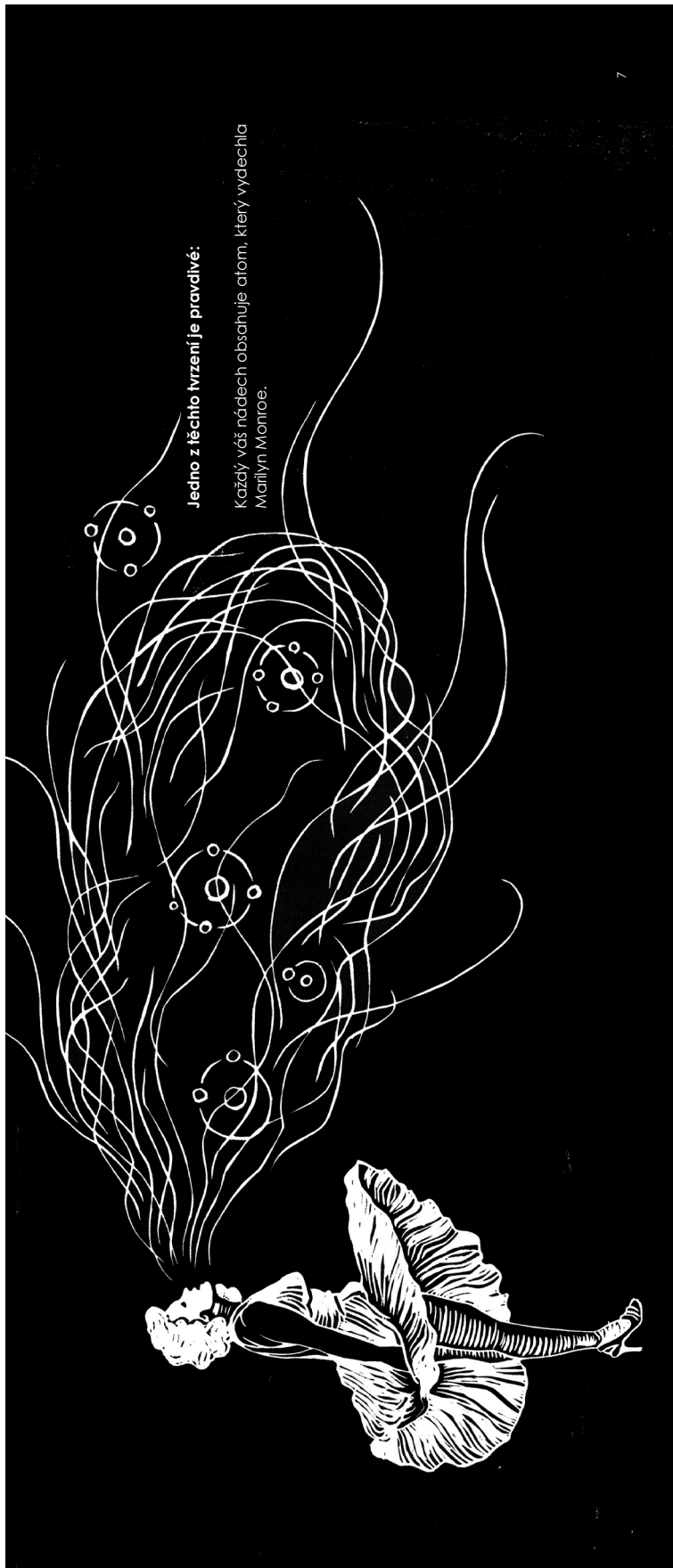


Titulní dvoustrana

Kvantová teorie
Průvodce vesmírem

Marcus Chown

Dvoustrana 6-7 – začátek výroků



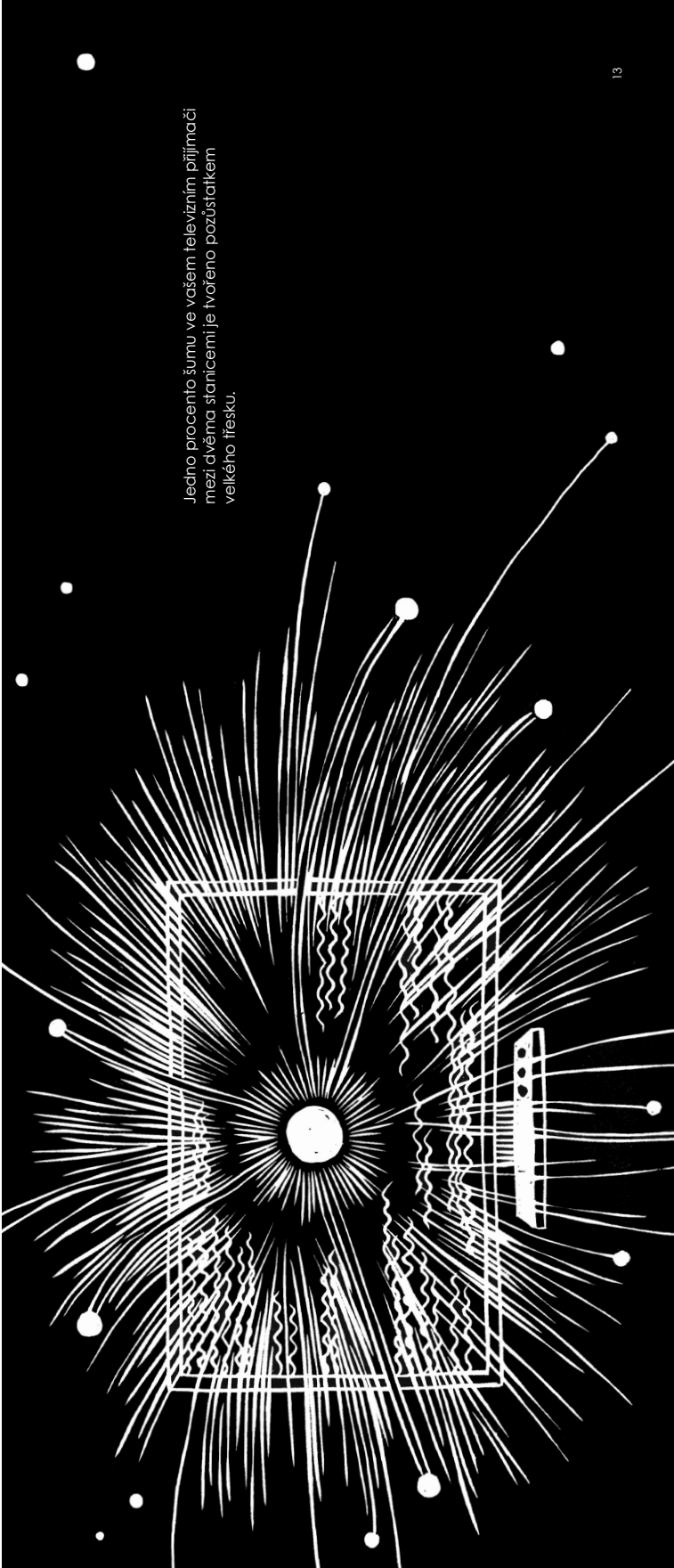
Dvoustrana 8-9



Dvoustrana 10-11



Dvoustrana 12-13

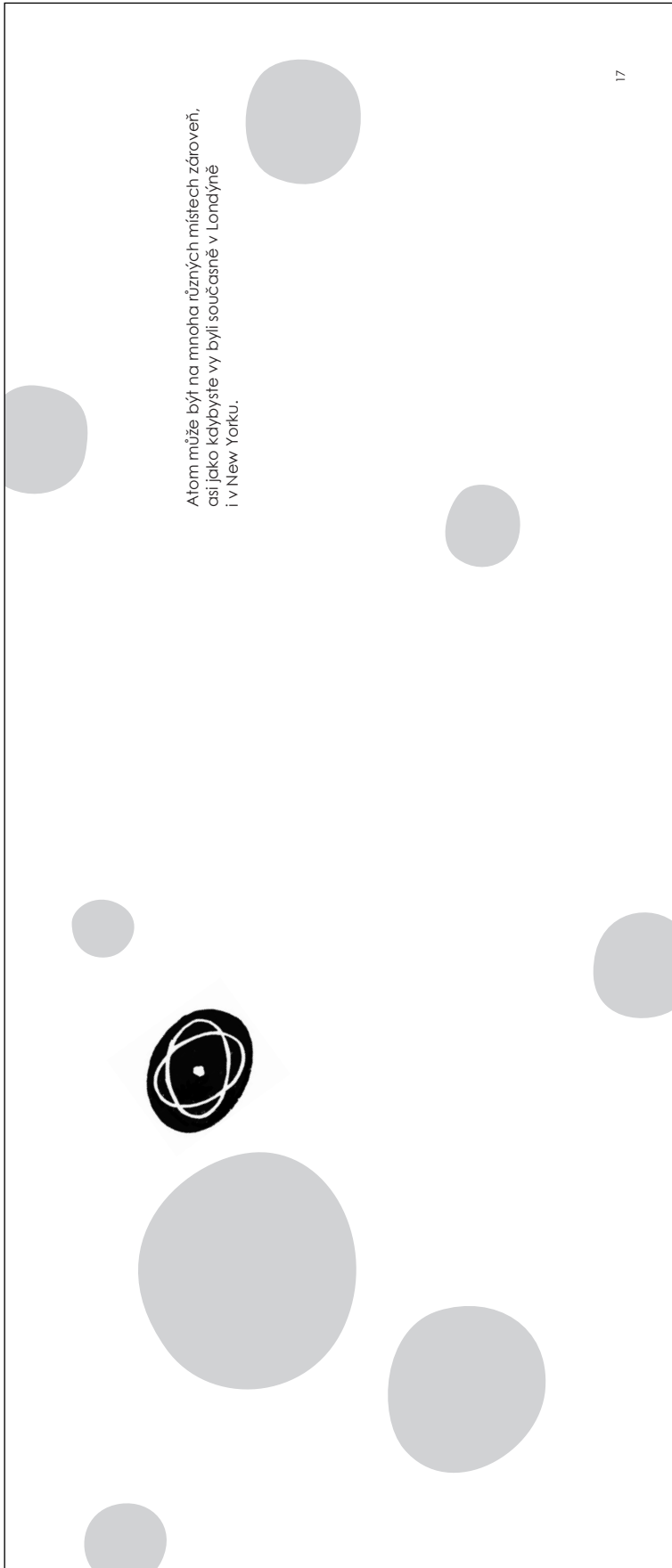


Jedno procento šumu ve vašem televizním přijímači
mezi dvěma stanicemi je tvořeno pozůstatkem
velkého třesku.

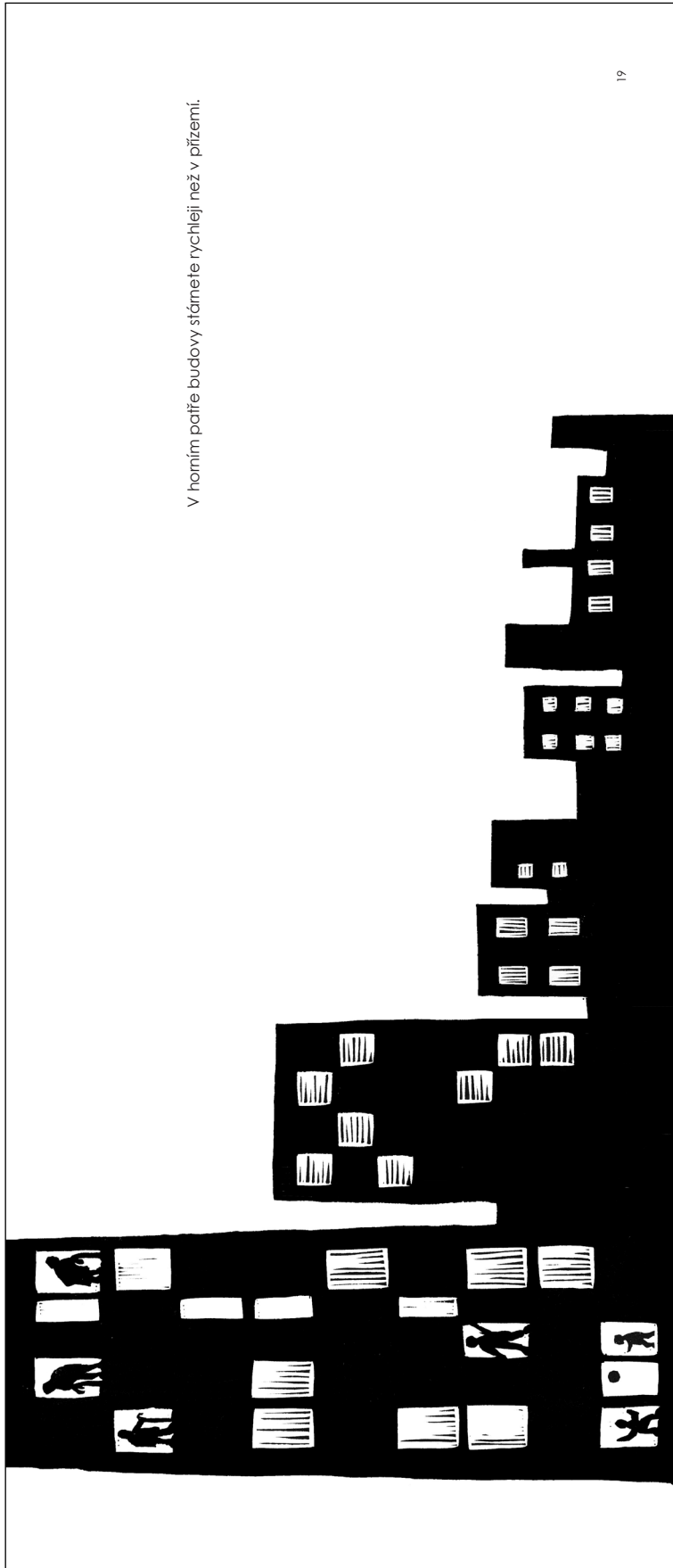
Dvoustrana 14-15



Dvoustrana 16-17



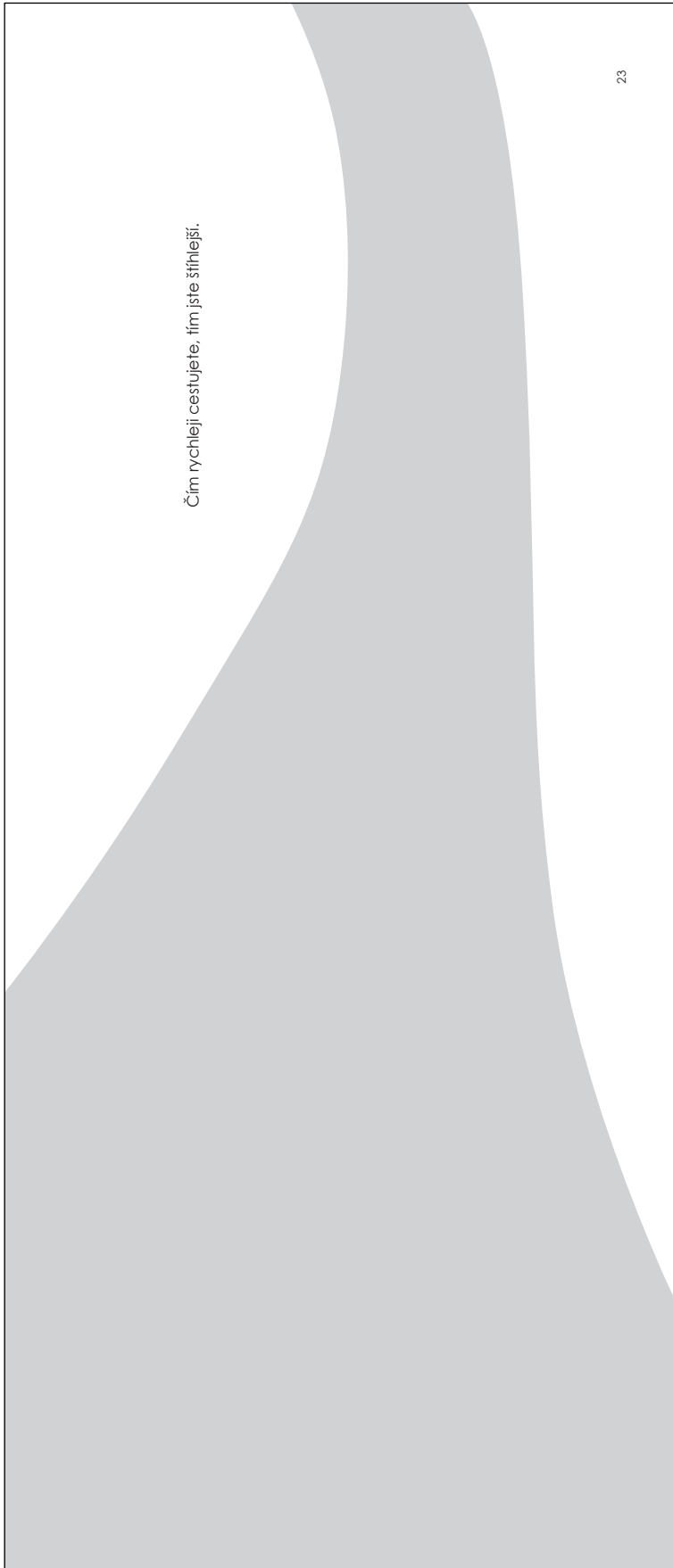
Dvoustrana 18-19



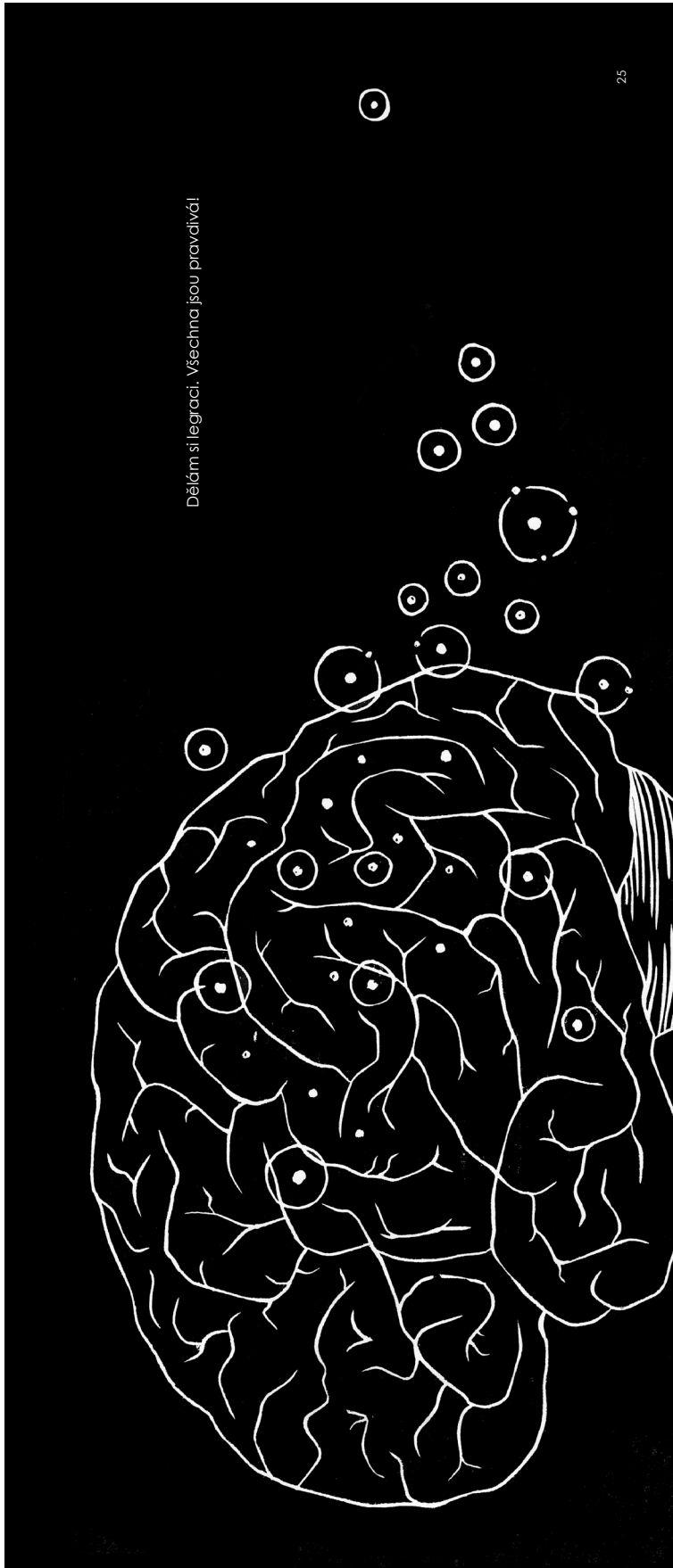
Dvoustrana 20-21



Dvoustrana 22-23



Dvoustrana 24-25



Dvoustrana 26-27 – předmluva

Předmluva

Jako autor vědecké literatury nepřestávám žasnout, o kolik je věda podivnější než veskera vědecko-fantastická literatura a že vesmír je ještě mnohem neuvěřitelnější než všechno, co bychom si dokázali vymyslet. Přesto jen velmi málo neobvyčejných objevů minulého století proniklo do povědomí veřejnosti.

Dva největší vědecké úspěchy posledních sta let jsou kvantová teorie, naše představa o atomech a jejich složkách, a Einsteinova obecná teorie relativity, naše obraz vesmíru, času a gravitace. Tyto dvě teorie vysvětlují prakticky všechno o světě i o nás. Můžeme obkonec tvrdit, že kvantová teorie stvořila moderní svět, vysvětluje nejen to, proč máme pod nohama pevnou zem a Slunce svítí, ale stojí i za vznikem počítačů, laseru a jaderných reaktorů. S relativitou se možná v každodenním životě tak často neseťkááme, ale díky ní víme, že existují věci jako černé díry, ze kterých nic, dokonce ani světlo, nemůže uniknout; že vesmír neexistoval odjakživa, ale zrodil se v gigantické explozi nazývané velký třesk, a že stroje času jsou (kupodivu) možné.

Přečetl jsem už celou řadu populárně naučných vyhládek těchto jevů, ale ani jako vědec jsem z nich často nebyl příliš moudrý – jak těžké asi musí působit na laiky.

Einsteini tekt, většina zásadních myšlenek vědy je ve své podstatě jednoduchá a lze je vyjádřit jazykem, který je každému srozumitelný. Veskera moje zkušenost mi napovídá, že je to pravda. Když jsem začal psát tuto knihu, chtěl jsem obyčejným lidem pomoci pochopit základní principy fyziky jedenaadvacátého století. K tomu bylo jen třeba postihnout klíčové myšlenky kvantové teorie a relativity, zdánlivě až klamně jednoduché, a ukázat, že všechno ostatní z nich lze logicky a nevyhnutelně odvodit.

Dvoustrana 28-29 – začátek 1. kapitoly

Vdechujeme Einsteina

Jak jsme přišli na to, že se všechno skládá z atomů a že atomy jsou převážně prázdný prostor

„Atom vodíku, který je součástí buněk na pokožce mého nosu, kdysi patřil třeba do choboty nějakého slona.“
– Jostein Gaarder

„Nikdy jsme neměli v úmyslu tu zbraň použít. Ale oni byli tak nesvestelná rasa! Nevzdy všem našim snahám je ukličit tvář na tom, že v nás budou vidět nepřítelé. Když na naši vesmírnou loď, obíhající vysoko nad jejich modrou planetou, vypálili celý arzenál svých jaderných zbraní, byla naše trpělivost zkrátka u konce.“

Zbraň byla prostá, ale účinná. Vymáčkla z hmoty všechen prázdný prostor. Když si velitel naší sirjské výpravy prohlížel blyštivou kovovou kosku o průměru maximálně 1 centimetr, zavrtěl zoufale svou pramární hlavou. Těžko uvěřit, že to je všechno, co zbylo z celé lidské rasy!“



Dvoustrana 30-31 – sazba, text 1. kapitoly



Pokud vám myšlenka, že se celé lidstvo vejde do objemu jediné kostky cukru, zní jako science fiction, zamyslete se nad tím ještě jednou. Je totiž pozoruhodnou skutečností, že 99,9999999999999999 procent objemu běžné hmoty je prázdňý prostor. Kdyby existoval způsob, jak toto prázdno „vytáhnout“ z atomů našich těl, lidstvo by se skutečně vešlo do prostoru o objemu jediné kostky cukru.

Desivá prázdnota atomů je jen jednou z pozoruhodných vlastností: stavebních kamenů hmoty. Tou další je pochopitelně jejich velikost. Museli byste vést sebe naskládat 10 milionů atomů, abyste dostali velikost jediné tečky na této stránce. Což vede k otázce, jak jsme vůbec kdy objevili, že se všechno skládá z atomů?

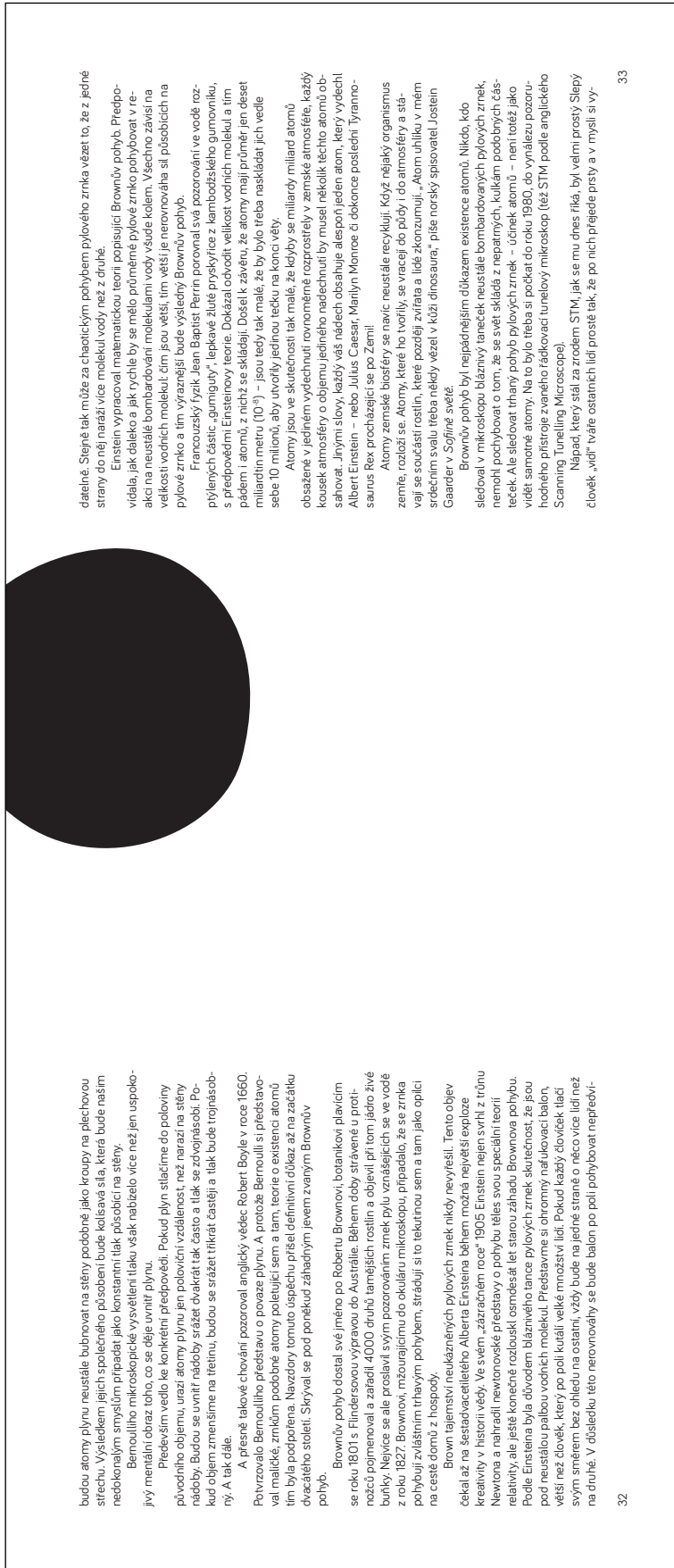
První s touto myšlenkou přišel řecký filozof Démokritos asi 400 let př. n. l.* Zvedl kámen (ale mohla to být také větev nebo třeba hliněný hmeč) a položil si následující otázku: „Když to rozdělím na polovinu, pak znovu a znovu, mohu v půlení pokračovat donekonečna?“ Odpověděl si důrazným ne. Bylo pro něj nepřetavivatelé, že by se hmota mohla dělit donekonečna. Dříve nebo později, domníval se, bychom museli dojít do stadia, kdy bychom měli zrníčko hmoty, které už neze odělit. Tento hypoteitický stavební prvek veskeré hmoty atom.

Atomy byly příliš malé, než abychom je mohli vnímat našimi smysly, a tak dokázat jejich existenci bylo vždycky obtížné. Na způsob, jak to provést, nakonec přece jen přišel v osmáctém století švýcarský matematik Daniel Bernoulli. Uvědomil si, že když atomy nemůžeme pozorovat přímo, mohli bychom je pozorovat nepřímou. Zejména se domníval, že pokud bude dostatečně velké množství atomů působit společně, mohli by účinek jejich působení být v každodenním světě pozorovatelný. Ted bylo jen třeba najít místo, kde k tomu v přírodě dochází. Bernoulli takové místo objevil – byl jím „plyn“.

Představoval si plyn, například vzduch či páru, jako shluk miliard miliard atomů v neustálém zběsilem pohybu, něco jako roj rozrušených včel. Tato barvitá představa okamžitě nabízela vysvětlení pro „tlak“ plynu, který působí na stěny nafouknutého balonu nebo tlací na pisti parního stroje. Pokud je uzavřeme do nějaké nádoby,

* Některé z těchto úvah se již objevily v mé předchozí knize, *Čarodějná pec* (Grant, Praha, 2005). Základní znalosti atomu je nezbytné k pochopení následujících kapitol o kvantové teorii, která není v podstatě ničím jiným než teorií světa atomů.

Dvoustrana 32-33



budou atomy plynu neustále bubnovat na stěny podobně jako kroupy na plechovou stříšku. Výsledkem jejich společného působení bude kolísavá síla, která bude našim nedokonalým smyslům připadat jako konstantní tlak působící na stěny.

Bernoulliho mikroskopické vysvětlení tlaku však nablýželo více než jen uspokojivý mentální obraz toho, co se děje uvnitř plynu.

Předešlím vedl le konkrétní předpovědi. Pokud plyn stlačíme do poloviny původního objemu, urazí atomy plynu jen poloviční vzdálenost, než narazí na stěny nádoby. Budou se uvnitř nádoby srážet dvakrát tak často a tlak se zdvojnásobí. Pokud objem zmenšíme na třetinu, budou se srážet třikrát častěji a tlak bude trojnásobný. A tak dále.

A přesně takové chování pozoroval anglický vědec Robert Boyle v roce 1660. Potvrdilo Bernoulliho představu o povaze plynu. A protože Bernoulli si představoval malíčké, zrníčkům podobné atomy polepující sem a tam, teorie o existenci atomů tím byla podpořena. Navzdory tomu úspěchu přišel definitivní důkaz až na začátku dvacátého století. Skrýval se pod poněkud zahadným jevem zvaným Brownův pohyb.

Brownův pohyb dostal své jméno po Robertu Brownovi, botanikovi plavčím se roku 1801 s Flindersovou výpravou do Austrálie. Během doby strávené u protinožců pojmenoval a zaračil 4000 druhů tamějších rostlin a objevil při tom jádro živé buňky. Nejvíce se ale proslavil svým pozorováním zrněk pylu vznášejících se ve vodě z roku 1827. Brownovi, mžourajícímu do okuláru mikroskopu, připadalo, že se zrnka pohybují zvláštním trhavým pohybem, štrádají si to teklutinou sem a tam jako oplici na cestě domů z hospody.

Brown tajemství neukázaných plybových zrněk nikdy nevyřešil. Tento objev čekal až na šestaadvacátého Alberta Einsteina během možná největší exploze kreativity v historii vědy. Ve svém „záračném roce“ 1905 Einstein nejen svrhl z trůnu Newtona a nahradil newtonovské představy o pohybu těles svou speciální teorií relativity, ale ještě konečně rozbil osmdesát let starou záhadu Brownova pohybu. Podle Einsteina byla důvodem bláznivého tance plybových zrněk skutečnost, že jsou pod neustálou palbou vodních molekul. Představme si ohromný nafukovací balon větší než člověk, který po poli kutálí velké množství lidí. Pokud každý člověk, tlačí svým směrem bez ohledu na ostatní, vždy bude na jeřábě straně o něco více lidí než na druhé. V důsledku této nerovnováhy se bude balon po poli pohybovat nepředví-

datelně. Stejně tak může za chaotickým pohybem plybového zrnka vést to, že z jedné strany do něj narazí více molekul vody než z druhé.

Einstein vypracoval matematickou teorii popisující Brownův pohyb. Předpověděl, jak daleko a jak rychle by se mělo průměrné plybové zrnko pohybovat v reakci na neustálé bombardování molekulami vody, všude kolem. Všechno závisí na velikosti vodních molekul: čím jsou větší, tím větší je nerovnováha sil působících na plybové zrnko a tím výraznější bude výšlechy Brownův pohyb.

Francouzský fyzik Jean Baptiste Perrin porovnal své pozorování ve vodě rozptýlených částic „gumigutů“, lepkavé žluté pryskyřice z kambožského gumovníku, s předpověďmi Einsteinyv teorie. Dokazal odvodit velikost vodních molekul a tím pádem i atomů, z nichž se skládají. Došel k závěru, že atomy mají průměr jen deset miliard metrů (10^{-9}) – jsou tedy tak malé, že by bylo třeba naskládat jich vedle sebe 10 miliard, aby uvnitřily jedinou tečku na konci věty.

Atomy jsou ve skutečnosti tak malé, že kdyby se miliardy miliard atomů obsazené v jednom výtčchnu rovnoměrně rozprostřely v zemské atmosféře, každý kousek atmosféry o objemu jediné nadechnutí by musel několik těchto atomů obsahovat. Jinými slovy, každý váš nádech obsahuje alespoň jeden atom, který vyšechl Albert Einstein – nebo Julius Caesar, Marilyn Monroe či dokonce poslední Tyranno-saurus Rex procházející se po Zemi!

Atomy zemské biosféry se navíc neustále recyklují. Když nějaký organismus vají se součástí rostlin, které později zuřata a lidé zkonsumují. Atom uhlíku v mém středním svazu třeba někdy vězel v kůži dinosaura,“ říká norský spisovatel Jostein Gaarder v *Sofině svěže*.

Brownův pohyb byl nejpřednějším důkazem existence atomů. Nikdo, kdo sledoval v mikroskopu bláznivý taneček neustále bombardovaných plybových zrněk, nemohl pochybovat o tom, že se svět skládá z nepatrných, kulíčkám podobných částic. Ale sledovat trhavý pohyb plybových zrněk – účinek atomů – není totiž jako vidět samotné atomy. Na to bylo třeba si počkat do roku 1980, do vynálezu pozoruhodného přístroje zvaného rádkovací tunelový mikroskop (též STM podle anglického Scanning Tunneling Microscope).

Napad, který slá z zrodem STM, jak se mu dnes říká, byl velmi prostý. Slepy člověk „vít“ váře ostamích lidí prostě tak, že po nich přejede prsty a v myšl si vy-

Dvoustrana 34-35

Přírodní kostky lega

Atomy jsou přírodní kostky lega. Mají různé velikosti i tvary, a když je pospojíme nekonečným počtem způsobů, můžeme vytvořit růzi, zlatou chlů nebo lidskou bytost. Vše je jen otáčka různých kombinací.

Americký držitel Nobelovy ceny Richard Feynman prohlásil: „Kdyby při nějaké katastrofě měly být zničeny veskeré vědecké poznatky a pro budoucí generace měla být zachována jediná věta, které tvrzení by předalo nejvíce informací co nejméně slovy?“ Nezávhal ani na chvíli. „Všechno se skládá z atomů.“

Nejduležitějším krokem k důkazu, že atomy jsou přírodní kostky lega, byla pozorování našimi smysly, však činila takový úkol přinejmenším stejně obrovský jako dokázat, že atomy jsou neapatná zrnka hmoty v nekonečném pohybu. Jediný způsob, jak identifikovat různé typy atomů, bylo nalézt látky skládající se výlučně z atomů téhož druhu.

V roce 1789 sestavil francouzský šlechtic Antoine Lavoisier seznam látek, o nichž se domníval, že je nelze v žádném případě rozdělit na látky jednodušší. Na jeho seznamu bylo 23 „prvků“. Když se později ukázalo, že některé z nich prvky nejsou, mnohé, včetně zlata, stříbra, železa a rtuti, elementární skutečně byly. Do čtyřiceti let po Lavoisierově smrti pod gloriou v roce 1794 se seznam prvků rozrostl téměř k padesátce. Dnes známe 92 v přírodě se vyskytujících prvků, od nejjednoduššího vodíku až po nejtěžší uran.

Čím se ale jeden atom liší od druhého? Jak se například atom vodíku liší od atomu uranu? Odpověď by nám mohlo dát jen zkoumání jejich vnitřní struktury. Jenže atomy jsou tak neskutečně malé. Zdálo se nemožné, že by někdo mohl objevit způsob, jak se do nich podívat. A přece se jeden takový člověk našel – Novozélančan Ernest Rutherford. Přišel na geniální myšlenku: využití atomy k nahlédnutí do

tvří jejich obraz. Podobně funguje i STM. Rozdíl je v tom, že tentokrát jde o kovový „prst“, malický hrot sondy, který připomíná dnes už zastaralou gramofonovou jehlu. Když přejedeme jehlou po povrchu materiálu a její pohyb nahoru a dolů načteme do počítače, můžeme sestavit podobný obraz vnitřního terénu atomů, jeho hor a údolí.*

Tak prostě to samozřejmě není. Princip vynálezu je sice velmi jednoduchý, jeho realizaci však slávy v celé ohromné praktické překládky. Například bylo nutné nalézt obstatně jemnou jehlu, která by dokázala „nahmatat“ atomy. Výbor udeřující Rohrerovi, vyzkumným pracovníkům IBM, kteří stáli za zrodem STM, přirkl v roce 1986 Nobelovu cenu za fyziku.

Binnig a Rohrer byli první lidé v historii, kteří doopravdy „viděli“ atom. Jejich obrazy z STM bezesporu patří k těm nepozoruhodnějším v historii vědy spolu s fotografií Země vycházející nad šedou pustinou Měsíce nebo záznamem strměho točitého schodiště dvojitě šroubovice DNA. Atomy vypadaly jako miniaturní fotbalové míče, jako pomerance vytvořené v řadách v přepravce. Ze všeho nejvíc však připomínaly malická tvrdá zrnka hmoty, která Démokritos viděl tak zřetelně ve své mysli před necelými dvěma a půl tisíci lety. Nikdo zatím nevyslovil vědeckou předpověď, která by byla experimentálně potvrzena po tak dlouhé době. Ale STM odhalil jen jednu stránku atomu. Jak si uvědomoval už Démokritos, atomy jsou mnohem více než jen malická zrnka v nekonečném pohybu.

* Samozřejmě hrot nemůže nikdy chit povrch pod sebou stejně jako lidský prst. Když je ale nabít elektrinou a pohybuje se extrémně blízko nad vodivým povrchem, nezapadne, ale stále měřicími elektrický proud přeskakuje mezeru mezi špičkou hrotu a povrchem. Těmto jevy je známý jako „lunující proud“ a lze ho dobře využít: velkosti proudu reaguje immoálně citlivě na sílu mezer. Pokud posuneme hrot jehly jen o nepatrný kousek blíž k povrchu, proud rapidně vzroste, pokud jehlu o kouseček odlehčíme, prudce se sníží. Velikost turelujícího proudu proto obsahuje vzálostenost mezi hrotem jehly a povrchem a propojuje hrotu, uměly hrmat

Dvoustrana 36-37 – příklad ilustrace

Mol v katedrále

Slabou atomu nám odhalil ev objevený francouzským chemikem Henrim Becquerem v roce 1896: radioaktivita. Mezi lety 1901 a 1903 našel Rutherford společně s anglickým chemikem Frederickem Soddyem přesvědčivé důkazy, že radioaktivní atom je zkrátka těžký atom, ve kterém to vše přebývá trochu energií. Nakonec se této nadbytečné energie nevyhnutelně zbavuje, za větrání, za výtok, za rok či za milion let, a to tak, že ve vysoké rychlosti uvolní nějakou částici, fyzikové říkají, že se atom rozpadá na atom lehčího prvku.

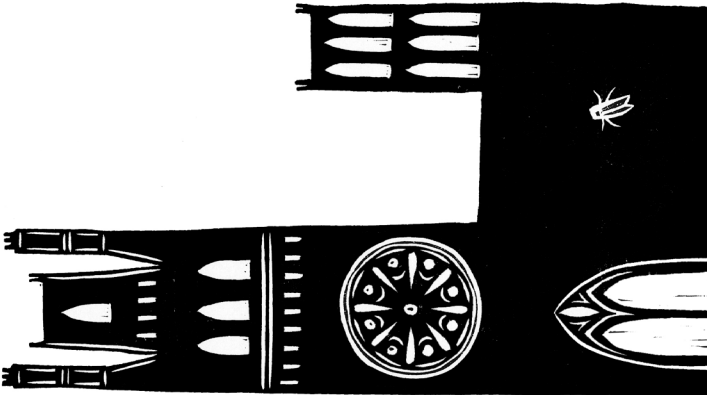
Jednou z částic rozpadů byla alfa částice, což, jak dokázali Rutherford a mladý německý fyzik Hans Geiger, není nic jiného než atom helia, druhý nejlehčí prvek po vodíku.

V roce 1903 Rutherford změnil rychlost alfa částic uvolňovaných z atomů radioaktivního radia. Byla neuvěřitelných 25000 kilometrů za sekundu – tedy stokrát vyšší než rychlost moderního tysového terada. Rutherford si uvědomil, že taď se mu nabízí perfektní kulka, kterou může vpálit do atomů a zjistit, co se skrývá v jejich nitru. Myslenka to byla prostá: ostřelujte atomy alfa částicemi. Pokud narazí na něco tvrdého, co jim bude stát v cestě, odkloní se ze své dráhy. Když vypálíme tisíce a tisíce alfa částic a budeme pozorovat, jak a kam se odražejí, dostaneme podobný obrázek nitra atomu.

Rutherfordův experiment provedli v roce 1909 Geiger a mladý novozélandský fyzik Ernest Marsden. Při svém rozptylovém experimentu s alfa částicemi použili malý vzorek radia, z něhož vyletovaly alfa částice jako mikroskopicky ohnositroji. Vzorek umístili za olovenou stěnu s tenkou stříbrnou, takže navzálenější straně palici mikroskopickými stříelami.

Do palební línie umístili Geigera a Marsden zlatou fólii o tloušťce pouhých několik tisíc atomů. Byla natolik tenká, aby jí všechny alfa částice z miniaturního samopalu prošly. Zároveň však byla dostatečně silná na to, aby se některé částice při průchodu fólii ocitly dostatečně blízko atomům zlatá, a mirně se tak odchyly od své dráhy.

V době Geigerova a Marsdenova experimentu už byla jedna částice atomu známa. V roce 1895 objevil britský fyzik J. J. Thomson elektron. Ukázalo se, že právě tyto směšně malé částice (každá z nich je asi dvousicrát intenzivněji než atom vodíku)



jsou nepolapitelnými částicemi elektriny. Vytržené z atomů proudí spolu s miliardami dalších měděným drátem a tvoří elektrický proud.

Elektron tak byl první známou subatomární částicí. Není záporný elektrický náboj. Nikdo přesně neví, co vlastně elektrický náboj je, ví se jen, že se vyskytuje ve dvou formách: jako záporný a kladný. Obvyčšná hmota, která se skládá z atomů, nemá žádný úhrnný elektrický náboj. V běžných atomech je tedy záporný náboj elektronů vždy dokonale vyvážen kladným nábojem něčeho jiného. Pro elektrický náboj je charakteristické, že opatně náboje se přitahují, stejně odpuzují. V důsledku toho musí existovat příťažlivá síla mezi záporně nabitými elektrony atomu a čímsi kladně nabitým. Tato příťažlivost drží celý atom pohromadě.

Zanedlouho po objevení elektronu použil Thomson tyto informace k sestavení prvního vědeckého obrazu atomu. Představoval si ho jako velké množství malých elektronů, uvážených jako rozinky ve švestkovém pudinku, v kuli rovnoměrně rozptýleného kladného elektrického náboje. Geiger a Marsden očekávali, že se jim při jejich rozptylovém experimentu s částicemi alfa podarí tento Thomsonův model potvrdit. Ale byli zklamáni.

Jev, který měl na svědomí známý „pudinkového“ modelu, se sice neodehrával často, ale stál za to. Jedna z každých 8000 alfa částic vypálených miniaturním samopalem se od zlaté fólie odrazila zpátky!

Podle Thomsonova pudinkového modelu se atom skládal ze spousty malých elektronů, zasazených do koule s rovnoměrně rozptýleným kladným nábojem. Alfa částice, které Geiger a Marsden pářili do této poměrně řídké kaše, byly naopak nezadržitelně subatomární rychlíky, každý zhruba o váze 8000 elektronů. Pravidelnou dobrot, že se tak těžká částice prudce odčtyřil od své dráhy, je zhruba stejná, jako to shrnul takto: „Bylo to skoro stejně neuvěřitelné, jako kdybyste vypálili bezmála čtyřicetimetřovou střelou proti papírovému ubrusku a ona se vám vrátila zpátky a zasařila vás!“

Geigerův a Marsdenův překvapivý výsledek mohli znamenat jediné: atom nebude ani zdaleka tak řídká substance. Něco dobře ukrytého uvnitř dokázalo zastavit rozptýlené subatomární rychlíky a poslat ho nazpátek. To něco mohla být jediná malá částice kladného náboje v kladném centru atomu, odpuzující kladný náboj přitáhlující alfa částice. Protože tato pecka ustojí uder masivní alfa částice, ať by se ocitla na

37

36

37

Dvoustrana 38-39

Neuvěřitelný atom

Rutherfordův obraz atomu coby miniatury sluneční soustavy s malými elektrony polepícími kolem hustého atomového jádra jako planety kolem Slunce byl triumfem experimentální vědy. Bohužel tu byl jeden drobný problém: tento model byl naprosto neslučitelný s veskerou dosud známou fyzikou.

Podle Maxwellovy teorie elektromagnetismu popisující všechny elektrické a magnetické jevy platí, že každý kladně nabitá částice zrychlí, změní rychlost nebo směr pohybu, vydává elektromagnetické vlny – světlo. Elektron je nabitá částice. Když obíhá kolem jádra, mění směr neustále. Měl by tedy jako malý objekt neustále vysílat do prostoru světelné vlny. Háček je v tom, že pro každý atom by to znamenalo katastrofu. Energie vyzařovaná v podobě světla musí konečně vždycky odněkud pocházet a zde by jejím zdrojem nemohlo být nic jiného než sám elektron. Elektron, neustále ochuzovaný o energii, by se ve spirále neustále přibližoval středu atomu. Podle výpočtů by musel narazit do jádra atomu během jedné stonamilioniny sekundy. Atomy by tak podle všech pravidel vůbec neměly existovat.

A přece existují. My i svět okolo nás jsme toho dostatečným důkazem. Atomy nejeví nejmenší tendenci vypařit se během stonamilioniny sekundy, přežijí bez úhony od nejranějších počátků vesmíru už skoro 14 miliard let. Rutherfordův model atomu musí mít nějaký zásadní nedostatek. Ukázalo se, že to, co v něm chybí, je revolučně nový druh fyziky: kvantová teorie.

onom světě, musí být také masivní. Vlastně v ní musí být soustředěna téměř veškerá hmotnost atomu.

Rutherford objevil atomové jádro.

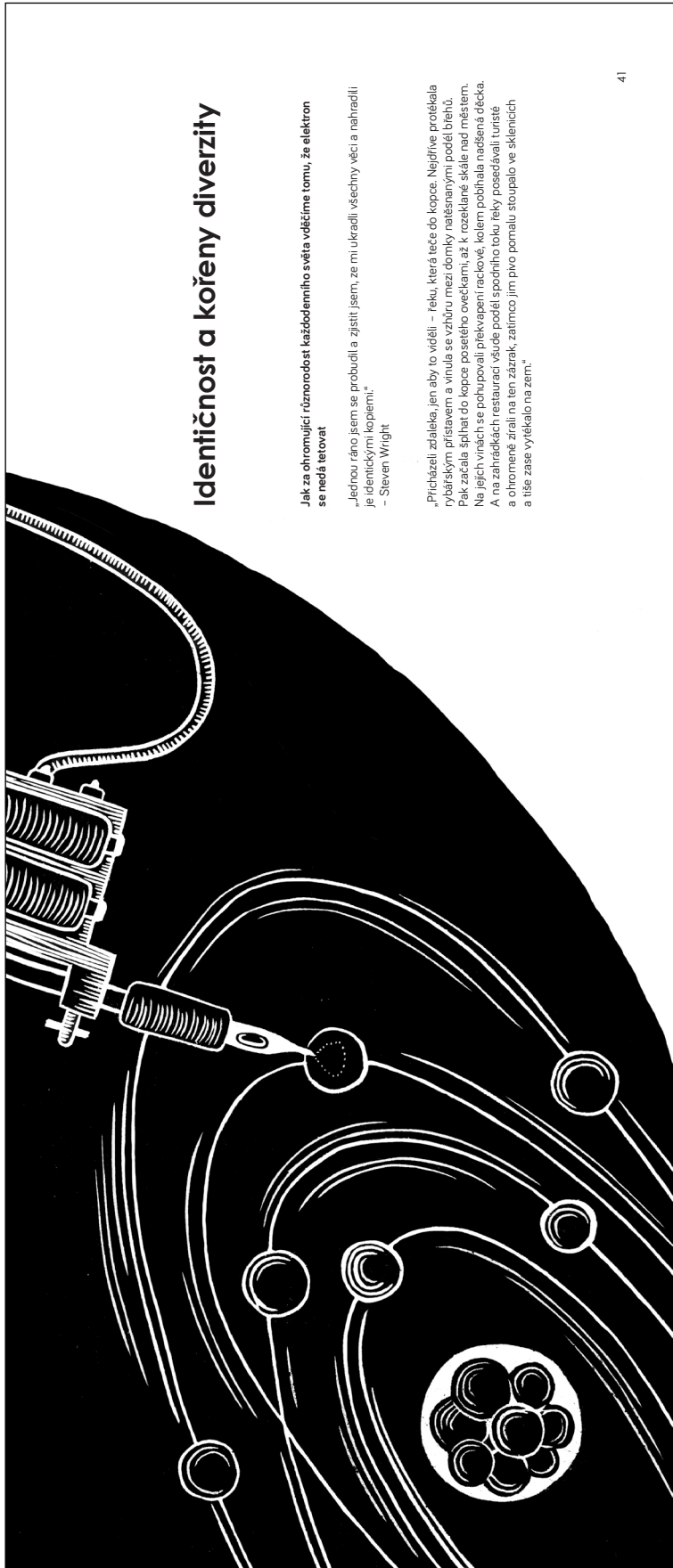
Nyní se rýsoval obrázek atomu, který od Thomsonova pudinkového modelu ani odlišnější být nemohl. Byla to miniaturní sluneční soustava, v níž jsou záporně nabitá elektrony přitahovány ke kladně nabitému jádru a obíhají kolem něj jako planety kolem Slunce. Jádro muselo mít přinejmenším stejnou hmotnost jako sláta částice – a pravděpodobně mnohem vyšší –, jinak by ho srážka s ní katapultovala z atomu ven. Muselo obsahovat více než 99,9 procent hmotnosti celého atomu.*

Jádro bylo nesmírně malé. Jen pokud by přiroda našla ohromný sklad náboj do velmi malého objemu, mohlo by jádro vyvinout odpovídou sílu tak výraznou, že by donutila sláta částici udělat čelem vzhled. Na Rutherfordově modelu atomu nevěze zarážet děsivá prázdnota. Dramatik Tom Stoppard to ve své hře *Happgoodův popsal* velmi treffně: „Zatím nikdo v pět a představit si, že kdyby byla tvá pěst velká jako nukleon atomu, byl by atom velký jako katedrála svatého Pavla, a kdyby to byl náhodou atom vodíku, pak by se jeho elektron řepotal prázdnotou katedrály jako mol, hned u kopule, hned zas u oltáře...“ Zdánilivě tak pevný, nám důvěrně známý svět není ve skutečnosti o mnoho hmotnější než pouhý příznak. Hmotu, at už jde o křeslo, člověka nebo hvězdu, tvoří téměř výhradně prázdny prostor. Veškerá hmota atomu je soustředěna v jeho neuvěřitelně malém jádru – stoisíckrát menším než celý atom.

Jinými slovy, hmota je distribuována nesmírně řídko. Kdyby bylo možné vy-máknout z ní všechny prázdny prostor, nezabírala by skoro žádné místo. A vlastně to možné je. Sice zřejmě neexistuje snadný způsob, jak všemnat celé těsto do jediné kostky cukru, ale existuje způsob, jak stesnat hmotu masivní hvězdy do co nejmenšího možného objemu. Příčinou je nesmírně silná gravitace, důsledkem je neutronová hvězda. Ta dokáže pojmut ohromnou hmotnost tělesa o velikosti Slunce do objemu ne většího než Mount Everest.

* Nakonec fyzikové objeví, že jádro obsahuje dva druhy částic: kladně nabitá protony a neutrální tj. nenabitá neutrony. Počet protonů v jádru je vždy v rovnováze s počtem elektronů obíhajících kolem jádra. Rozdíl mezi atomy spočívá v počtu protonů v jádrech (a tudíž i v počtu elektronů na oběžné dráze). Vostik má například jeden proton v jádru, zatímco uran uctilynotých devadesát dva.

Dvoustrana 40-41 – začátek 2. kapitoly



Identičnost a kořeny diverzity

Jak za ohromující různorodost každodenního světa vděčíme tomu, že elektron se nedá tetovat

„Jednou ráno jsem se probudil a zjistil, jsem, že mi ukradli všechny věci a nahradili je identickým kopírem.“
– Steven Wright

„Přicházeli, záleželo, jen aby to viděli. – řeku, která teče do kopce. Nejdříve protékala rybarským přístavem a vinula se vzhůru mezi domky natěsnanými podél břehů. Pak začala sřhat do kopce poseřetého ovečkami, až k rozeklané skále nad městem. Na jejích vrších se pohupovali překvapení rackové, kolem pobíhala nadsěná děcka. A na zahradkách restaurací všude podél spodního toku řeky posedávali turisté a ohromně žrali na ten zážrak, zatímco jim pivo pomalu stoupalo ve sklenicích a tíše zase vyřekalo na zem.“

Dvoustrana 42-43 – příklad digitální ilustrace



Samozřejmě že by se žádná kapalina nemohla takto vzepřít gravitaci téci do kopce? Ale ano, mohla. Je to jen další z důsledků kvantové teorie.

U atomů a jejich příbuzných jsou nemožné kousky na denním pořádku. Mohou být například na dvou místech najednou, překonávat nepřekonatelné překážky a vědět o sobě okamžitě. I když jsou každý na opačném konci vesmíru. Jsou také naprosto nepředvídatelné, dělají věci bez jediné odůvodnění – možná právě tahle jejich vlastnost nejvíce sokuje a zneklidňuje.

Všechny tyto jevy je nutné přičíst částicové-vlnovému charakteru elektronů, fotonů a spoi. Ale pozoruhodná duální povaha mikroskopických objektů není to jediné, čím se zásadně liší od objektů každodenního světa. Je tu ještě něco, jejich **nerozlišitelnost**. Každý elektron je stejný jako ostatní elektrony, foton jako ostatní fotony **atd***

Na první pohled se vám možná tato vlastnost nebude zdát nijak pozoruhodná. Ale vezměte si objekty každodenního světa. I když se vám autě stejné značky a barvy zdají stejná, ve skutečnosti nejsou. Pevnější protilátka by odhalila, že se liší rovnoměrností barevného náteru, tlakem v pneumatikách a asi tisícovkou dalších drobností.

Srovnajte to se světem velmi malých objektů. Mikroskopické částice nemůžte poškábat ani jinak označit. Elektrony se nedají tetovat! Jsou zcela nerozlišitelné.** Totéž platí o fotonech a ostatních obyvatelích mikrosvěta. Jejich nerozlišitelnost je něco radikálně nového. A důsledky jsou pozoruhodné jak pro mikroskopický, tak pro každodenní svět. Vlastně bychom si měli poctivě přiznat, že jim vědíme za existenci světa, v němž žijeme.

* Pročto fotony mají různé vlnové délky, řeč je samozřejmě o fotonech se stejnou vlnovou délkou.

** John Wheeler a Richard Feynman jednou psali se zajímavou teorií, proč jsou elektrony naprosto nerozlišitelné – protože v celém vesmíru existuje jediný elektron! Prokřádné čas tím a zpátky jako nit v nastříhaném koberec. Vidíme onu spousta míst, kudy nit tkannou prochází, a mylně se domníváme, že se pokládá jedna o jiný elektron.

Dvoustrana 44-45 – příklad ilustrace

Věci, které od sebe nerozlišíte, interferují

Připomeneme si ještě jednou, že veškeré podivné chování mikroskopického světa, například schopnost atomů být na mnoha místech zároveň, je třeba přičíst na vrub interferenci. Například při dvojitěrinovém experimentu právě interference mezi vlnou odpovídající levou šterbinou a vlnou odpovídající částici procházející pravou šterbinou vytvořila charakteristický obrazec střídajících se světlých a tmavých pruhů na druhém stínítku.

Připomeňme si také, že jakmile se pokusíme nějakým způsobem zjistit, kterou šterbinou částice prochází (a jsme tak schopni rozlišit mezi dvěma různými událostmi), dekoherence zničí interferenční obrazec. Vidíme, že interference může nastat pouze tehdy, jsou-li dvě možné události nerozlišitelné – v tomto případě částice procházející první a částice procházející druhou šterbinou.

V případě dvojitěrinového experimentu jsou obě události nerozlišitelné, jen dokud se někdo nepodívá. Ale identické částice, například elektrony, nám nabízejí zcela nové možnosti nerozlišitelných událostí.

Představte si teenagera chystajícího se na rande se svou dívkou, která má náhodou jednovaječné dvojče. Anž by o tom věděli, jeho děvče se z neznámých důvodů rozhodne zůstat doma u televize a pošle místo sebe sestru. Protože mu obě dívky budou připadat identické (i když na mikroskopické úrovni samozřejmě identické nejsou), události, které zažije večer se svým děvčetem a s jejím identickým dvojčetem, jsou nerozlišitelné.

Události nerozlišitelné prostě proto, že se týkají očividně nerozlišitelných entit, nemají v našem světě žádné závaznější důstteky (maximálně umožňují jednovaječným dvojčatům prohazovat si chlapce). V mikrosvětě ale mají důsledky dialekosáhle. Proč? Protože nerozlišitelné události, ať už jsou nerozlišitelné z jakéhokoliv důvodu, spolu mohou interferovat.

Srážka dvou identických věcí

Dějme tomu, že se sráží dvě identická atomová jádra. Na kolizi tohoto druhu – a teď mi budete muset prosně věřit – se můžeme dívat tak, že obě jádra přiletí z opačných směrů, narazí do sebe a zase odletí každé opačným směrem. Směry, z nichž přiletějí a kterými zase odletějí, nejsou stejné. Představte si ciferník hodin. Pokud jádra vletí do srážky rádněme ze směru odpovídajících devíti a třem hodinám, možná odletí směrem ke čtyřce a desíce, nebo třeba k jedničce a sedmičce. Nebo jakkoliv jinak. Na tom nesejde, pokud jde o směry opačné.

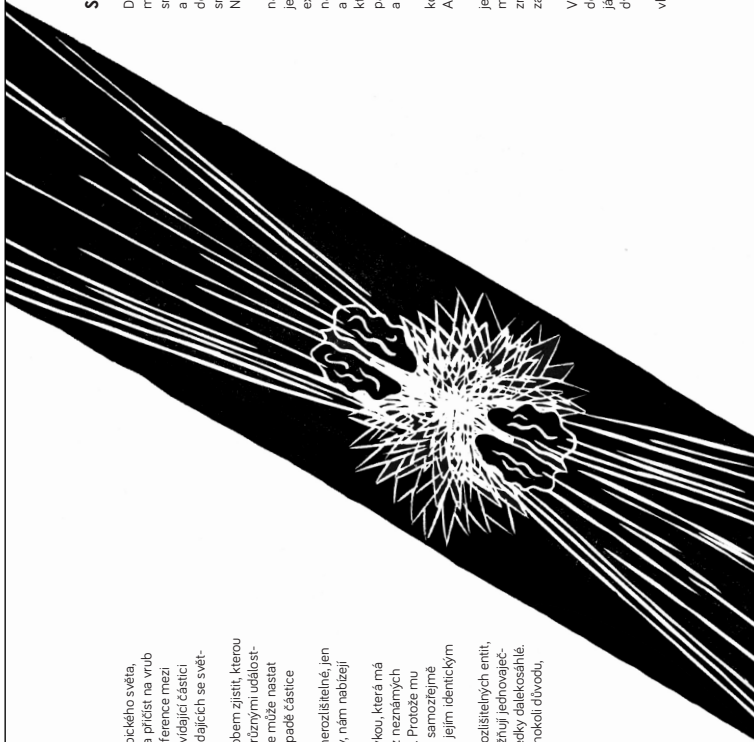
Experimentátor by mohl zjistit, kterým směrem se obě jádra odrazí, pokud by na protilehlé strany imaginárního ciferníku umístil detektory a oba by posouval po celém jeho okraji. Detektory jsme například umístili na pozici 400 a 1000. V tom případě existují dva způsoby, jak se jádra mohou k detektorům dostat. Mohla by do sebe narazit jen letmo, takže jádro, které přiletělo z 900, narazí do detektoru na 400 a jádro z 300 narazí do detektoru v 1000. Nebo se mohou srážet čelně, takže jádro, které přiletělo z 900, se odrazí zpátky téměř stejným směrem, odkud přiletělo, a tím pádem narazí na detektor v 1000. Podobně jádro, které přiletělo z 300, se odrazí a letí zpátky téměř stejným směrem, do detektoru na 400.

Směry 400 a 1000 nejsou náhod zvláštní. Ať jsou detektory umístěné kdekoli, vždy budou dvě možnosti, jak se k nim jádra mohou dostat. Nazvěme je událost A a událost B.

Co se bude dít, když budou jádra odlišná? Řekněme, že jádro přiletějí z 900 je jádro uhlíku, zatímco to, které přiletělo z 300, je jádro helia. V tom případě budeme moci vždycky rozlišit mezi událostí A a událostí B. Když bude uhlíkové jádro znamenáno detektorem na pozici 400, je zřejmé, že nastala událost A. Pokud ho zaznamená detektor na pozici 1000, je jisté, že došlo k události B.

Co se ale stane, když budou jádra identická? Například budou obě heliová? V tom případě je nemožné rozlišit od sebe událost A a B. Jádro helia zaznamenané detektorem na pozici 1000 se tam mohlo dostat oběma způsoby a tož platí pro jádro helia zachycené na pozici 400. Události A a B jsou nyní nerozlišitelné. A pokud dvě události v mikroskopickém světě od sebe nelze rozlišit, jejich vlivy interferují.

Srážku dvou jader interference vyrazně ovlivní. Je například možné, že dvě vlny přibuzené dvěma nerozlišitelným událostem spolu interferují destruktivně,



Dvoustrana 46-47

Dva kmény částic

Vratme se k případu, kdy do sebe narazí dvě různá jádra, uhlíkové a heliové, a zvažme opět dva možné scénáře kolize. V prvním případě na sebe jádra narazí jen letmo, zatímco v druhém se srazí čelně a odraží se zpátky stejným směrem, odkud přiletěla. To znamená, že pro jádro, které přiletí ze směru 9:00, existuje vlna odpovídající tomu, že opustí cíleňik na pozici 4:00, a vlna odpovídající tomu, že opustí cíleňik na pozici 10:00.

Je nutné vědět, že pravděpodobnost události neodpovídá výšce vlny, ale druhé mocnině její výšky. Pravděpodobnost události 4:00 se tedy rovná druhé mocnině výšky vlny ve směru 4:00, stejně tak jako pravděpodobnost průletu jádra bodem 10:00 je druhá mocnina výšky vlny ve směru 10:00. Právě v tom je ten háček.

Řekněme, že vlna odpovídající průletu jádra bodem 10:00 se při sraze převrátí, takže z jejích hřebentů se najeďnou stancou údolí a z údolí hřebeny. Změní se tím nějak pravděpodobnost události? Odpověď nám dá pohled na vodní vlnu – sění stírajících se hřebentů a údolí. Dejme tomu, že průměrná hladina vody bude ve výšce 0, takže výška hřebene vlny bude kladné číslo, tečněme plus 1 metr, a výška (resp. hloubka) údolí bude záporné číslo, minus 1 metr. Nezaleží na tom, zda jde o druhou mocninu výšky hřebene nebo údolí, protože $1 \times 1 = 1$ a -1×-1 se také rovná jedné. Proto převrácení pravděpodobnosti vlny přidružené odraženým jádrům pravděpodobnost události nijak neovlivní.

Je nějaký důvod se domnívat, že by se alespoň jedna z pravděpodobností vln mohla převrátit? Sračky, při nichž atomové jádro vylétné na pozici 10:00 a na pozici 4:00, jsou velmi odlišné události. V prvním případě se trajektorie jádra skoro nezmění, zatímco v druhém případě se prudce vrací zpět téměř po stejné stopě. Je tedy přinejmenším pravděpodobné, že pravděpodobnosti vln spojená s pozicí 10:00 by se mohla převrátit.

Ze je něco pravděpodobné, ještě neznamená, že se to opravdu stane. To je pravda. V tomto případě se to ale opravdu stane! Příroda má dvě možnosti: může převrátit vlnu jedné z události při sraze, nebo také nemusí. Ukazuje se, že využije obou! Ale jak bychom vůbec poznali, že k převrácení vlny došlo? Experimentátor může konečně měřit jedné počet jader zaznamenaných detektorem, což závisí na pravděpodobnosti konkrétní události při sraze. Ta je určena druhou mocninou výšky

ti, ve směrech 4:00 a 10:00 se vynuší. V tom případě detektory nezachytí žádná jádra, bez ohledu na to, kolikrát bude experiment zopakován. Je ale také možné, že spolu budou vlny interferovat konstruktivně, jedna druhou ve směrech 4:00 a 10:00 posílí. V tom případě detektory zaznamenají neobvykle vysoký počet jader.

Obecně platí, že díky interferenci budou existovat místa, kde se vlny odpovídající událostem A a B vynuší, a místa, kde se posílí. Pokud experiment zopakujeme tisíckrát a odražíme si jádra budou mapována detektory po celém okraji pomyslného cíleňiku, detektory zaregistrují ohromně rozdíly v počtu zachycených jader. Některé jich zaznamenají spoustu, některé žádná.

V případě, že budou obě jádra různá, se situace dramaticky změní. Nedojde k žádné interferenci a detektory zaznamenají jádra odražené se všemi směry. Kolem cíleňiku nebudou žádná místa, kam by jádra nedopadla.

Tento zásadní rozdíl mezi výsledky experimentu v němž jádra jednou jsou a podruhé nejsou identická, není zapříčiněn rozdílem v hmotnosti uhlíkových a heliových jader, i když i ten má neparanný vliv. Záleží skutečně na tom, zda události A a B můžeme rozlišit, či nikoli.

Představte si, co by to znamenalo, kdyby se něco takového dělo v reálném světě. Červená billárová koule a modrá billárová koule, které by do sebe opakovaně narážely, by se odražely všemi možnými směry. Ale jakmile byste červenou kouli natřeli namodro, všechno by se změnilo, protože teď by od sebe byly nerozlišitelné. Najednou by se koule určitými směry odražely mnohem více, než když měly různé barvy, a některými vůbec.

Skutečnost, že události týkající se identických částic mikroskopěta spolu mohou interferovat, vám může připadat jen jako jakási kvantová podružnost. Jenže jde o mnohem víc o skutečný důvod, proč se v přírodě vyskytuje 92 různých atomů a ne pouze jeden. Zkrátka o příčinu různorodosti našeho světa. Abychom plně pochopili, proč tomu tak je, je třeba porozumět ještě jedné z vlastností procesu sračky dvou identických částic.

Dvoustrana 48-49

vlny, která bude stejná, a je vlna převrácená, či nikoli. Zdálo by se tedy, že to, co se s vlnou během srážky skutečně stane, závisí na našem zrakovém systému.

Pokud jsou částice, které se sráží, odlišné, je to bezpochyby pravda. Důležité ale je, že to neplatí, pokud jsou identické – protože vlny odpovídající nerozlišitelným událostem spolu interferují. A při interferenci nesmíme zůstat na tom, jestli vlna byla, nebo nebyla převrácena, než se spojí s jinou vlnou. Tato skutečnost může totiž znamenat rozdíl v tom, zda se vrcholy vln shodují, či nikoli, tedy zda se vlny vyruší, nebo navzájem posílí.

K čemu tedy dojde při kolizi identických částic? To je právě podivné. U některých částic – například fotonů – proběhne vše stejně jako u identických jader helia. Vlny, které odpovídají dvěma alternativním událostem srážky, spolu interferují normálně. U jiných částic – například elektronů – je tomu ale úplně jinak. Vlny odpovídající dvěma alternativním událostem srážky spolu interferují, ale až poté, co byla jedna z nich převrácena.

Ukazuje se, že základní stavební kameny přírody se dělí na dva kmeny. Na jedné straně máme částice, jejichž vlny spolu interferují běžným způsobem. Jsou známy jako bosony. Patří mezi ně fotony a gravitony, hypotetická nositelé gravitace. A na druhé straně máme částice, jejichž vlny spolu interferují, pokud se jedna vlna převrátí. Ty nazýváme fermiony. Patří mezi ně elektrony, neutrina a miony.

Jestli částice patří mezi fermiony nebo bosony, tj. jestli rády převrací nebo nepřevrací vlny, záleží na jejich spinu. Vzpomeňte si, že částice, které mají více spinů než jiné, se chovají, jako by se kolem své osy otáčely rychleji (i když v běžném kvantovém světě se částice, které mají spin, ve skutečnosti vlastně neotáčejí!). Ukazuje se, že existuje základní, dále nedělitelný balíček spinu, jako ostane v mikroskopickém světě máme základní, dále nedělitelný balíček (kvantum) všeho. Z historických důvodů je toto „kvantum“ spinu $1/2$ jednotky (není pro nás důležité, o jaké jednotky jde). Bosony mají celočíselný spin – 0 jednotek, 1 jednotka, 2 jednotky atd. – a fermiony mají „poločíselný“ spin (liché násobky jedné poloviny) – $1/2$ jednotky, $3/2$ jednotek, $5/2$ jednotek atd.

Proč částice s poločíselným spinem vlny převrací, zatímco částice s celočíselným spinem nikoli? To je samozřejmě velmi dobrá otázka. Jenže nás přivádí na samou hranici toho, co lze ještě srozumitelně sdělit bez pomoci nejasné matematiky. Richard Feynman to alespoň bez vytáček přiznal: „Zdá se, že jde o jedno z míst ve

fyzice, kde existuje pravidlo, které lze formulovat velmi jednoduše, ale nikdo pro ně nenašel jednoduché vysvětlení. Pravděpodobně to znamená, že fundamentálními principům, i když se to týká, plně nerozumíme.“

Feynman, který pracoval na atomové bombě a v roce 1965 získal Nobelovu cenu za fyziku, byl pravděpodobně největším fyzikem poválečné éry, jestli vám připadají myšlenky kvantové teorie trochu těžké, vězte, že jste ve velmi dobré společnosti. Je povinné přiznat, že nějakých osmdesát let po zrození kvantové teorie fyzici stále čekají, až se milha rozplyne, aby jasně viděli, co se nám tato teorie vlastně snaží kvantové mechanice naskočit na zádech.

Když tedy zameteme záhadu spinu hezky pod koberec, dostáváme se konečně k jádru věci – co vlastně vyplývá z toho, že fermiony (například elektrony) převrací vlny.

Představme si místo dvou heliových jader dva elektrony. Každý z nich se sráží s nějakou jinou částicí. Po kolizi se odrazí zpět téměř stejným směrem. Osmacne elektrony A a B a směry 1 a 2 (i když jde o téměř stejný směr). Stejně jako v případě heliových jader tu máme dvě nerozlišitelné možnosti. Elektron A se může odrazit směrem 1 a elektron B směrem 2, nebo se může elektron A odrazit směrem 2 a elektron B směrem 1.

Protože elektrony jsou fermiony, vlna odpovídající jedné možnosti bude převrácena, než začne interferovat s vlnou odpovídající druhé možnosti. Zásadní ale je, že vlny obou možností jsou identické, nebo téměř identické. Reč je přece o dvou identických částicích, které provedou téměř identickou věc. Když k tomu přidáte odpovídající úběhy vlny druhé. Jedna druhou zcela vyruší. Jinými slovy, pravděpodobnost, že se dva elektrony odrazí přesně stejným směrem, je nulová. Je to naprosto nemožné!

Tento výsledek má mnohem širší dopad, než se na první pohled zdá. Ukázalo se, že elektrony nejen, že se nesmějí odrazit stejným směrem, ale mají také zakázáno dělat stejné věci, tečka. Tento zákaz, na počest rakouského fyzika Wolfganga Pauliho známý jako Pauliho vylučovací princip, je skutečným důvodem existence bílých trpaslíků. I když je pravda, že elektrony se nezávisle od příliš malého prostoru, pořadí to neovlivňuje, proč se všechny elektrony v bílém trpaslíku prostě společně



Dvoustrana 50-51

Proč je svět kolem nás tak pestrý

Připomeňme si, že vlny ve varhanní píšťale mohou vibrovat jen určitými omezenými způsoby a totéž platí pro vlny přičružené k elektronům uzavřeným v atomu. Každá konkrétní vibrace odpovídá možné oběžné dráze elektronu v určité vzdálenosti od jádra a s určitou energií. (Ve skutečnosti je oběžná dráha samozřejmě jen místo, kde centrální síla působí s největší pravděpodobností nalezeme, protože neexistuje žádná stoprocentně určitelná dráha elektronu či jakékoli jiné mikroskopické částice.)

Fyzikové a chemici tyto oběžné dráhy číslují. Dráha nejbližší jádru, také známá jako základní stav, má číslo 1 a následující dráhy jsou směrem od jádra číslovány 2, 3, 4 atd. Existence těchto kvantových čísel, jak se jim říká, znovu poukazuje na skutečnost, že všechno v mikroskopickém světě – dokonce i oběžné dráhy elektronů – existuje v diskretních, nespojitých krocích a žádné prostřední hodnoty nejsou možné.

Kdyžkoli elektron „přeskóčí“ z jedné dráhy do dráhy jádru blíže, atom ztratí energii, která je vyzařena v podobě světelného fotonu. Energie fotonu se rovná rozdílu v energii obou drah. Při opakném procesu atom absorbuje foton o energii rovné rozdílu v energii obou drah. V tomto případě přeskóčí elektron do dráhy od jádra vzdálenější.

Tento obrázek „emise“ nebo „absorpce“ světla vysvětluje, proč různé druhy atomů pohlcují a vyplivují vlny jen fotonu o určité energii, odpovídající určité frekvenci. Dané množství energie prostě odpovídá energetickému rozdílu mezi dvěma sousedními drahami. Protože může existovat jen omezený počet drah, existuje také omezený počet „přechodů“ mezi nimi.

I když tak jednoduché to zasn není, Elektronové vlny, které mohou uvnitř atomu vibrovat, jsou trojnásobně, poměrně komplikované věci. Mohou odpovídat elektronu, který se s největší pravděpodobností bude nacházet v určité vzdálenosti od jádra, ale zároveň se v jiných směrech bude nacházet s vyšší pravděpodobností než v jiných.

Elektronová vlna může být například větší u severního a jižního pólu atomu než jinde. Elektron v takové dráze nepravděpodobněji objevíme nad severním nebo jižním pólem.

K popisu měru v trojrozměrném prostoru potřebujeme dvě čísla. U zemské- ho globu jsou to zeměpisná šířka a délka. Kvantová vlna, jejíž výška se se směrem mění, potřebuje vedle udávajícího vzdálenost od jádra k popisu další dvě kvan-

tenatějších do stejného malého prostoru. Odpovědí je Pauliho vylučovací princip. Dva elektrony nemohou být ve stejném kvantovém stavu. Elektrony jsou nesmírně nespočetné a vyhýbají se jeden druhému jako čert kráži.

Představme si to následovně: díky Heisenbergově principu neurčitosti existuje „krabička“ o minimální velikosti, do níž může gravitace bílého trpaslíka elektron stěsnat. V důsledku Pauliho vylučovacího principu ale požaduje každý elektron svou vlastní krabičku. Když se oba jevy spojí, propují zdánlivě slabému plynu dostatečnou „tuhost“, aby se mohli vzepít ohromné gravitaci síle bílého trpaslíka.

Vlastně je tu ještě jedna drobnost. Pauliho vylučovací princip zakazuje dvěma fermionům dělat totéž, pokud jsou identické. Ale elektrony se od sebe liší svým spinem. Jeden se chová, jako by se otáčel po směru hodinových ručiček, a druhý proti jejich směru.* Díky této vlastnosti mohou tenký prostor sdílet dva elektrony. Možná jsou nespočetní, ale nejsou úplně samozáří bílí trpaslíci sice nemají s naším každodenním životem mnoho společného, ale Pauliho vylučovací princip má i své pozemské důsledky. Především vysvětluje, proč existuje tolik různých druhů atomů a proč je svět kolem nás tak složitý a zajímavý.

* Fyzikové našijí tyto dva různé spiny „up“ (nahoru) a „down“ (dolů). Je to ale čistě technický termín.

Dvoustrana 52-53

Proč nejsou všechny atomy stejné

Elektrony lapené v silovém elektrickém poli jadra jsou jako fotbalové míče uvězněné v příkřím údolí. Podle všech pravidel by se měly rychle skulákat dolů do nejnižšího možného bodu – do orbitálu nejbližšího jádru. Ale když se tak elektrony skutečně chovají, všechny atomy by měly zhruba stejnou velikost. A co je ještě závažnější, protože nejzbláznější elektrony od jadra určují, jakým způsobem se bude atom vázat, všechny atomy by tvořily vazby naprosto stejným způsobem. Příroda by měla na hran jen jedinou kostku lega a svět by byl pěkně nudné místo.

Před tím ho ale zachraňuje Pauliho vylučovací princip. Když by elektrony byly bosony, naskládaly by se na sebe v orbitálu nejbližšího jadra. Jenže elektrony nejsou bosony. Jsou to fermiony. A ty se hrozi představy, že by měly být natěsnány k sobě.

Funguje to následovně: různé druhy atomů mají různé počty elektronů (vždy samozřejmě vyvážený stejným počtem protonů v jádře). Například neličtí atom, vodík, má jeden elektron, zatímco nejbližší v přírodě se vyskytující atom, uran, jich má 92. Jádro teď pro nás není důležité. Zaměříme se na elektrony. Představme si, že začneme vodíkem a postupně přidáváme elektrony, jeden po druhém.

První dostupný orbitál je ten nejbližší jádru. Když budeme přidávat elektrony, půjdou nejprve sem. Až bude orbitál plný a žádné další elektrony přijímat nebude, budou se shlukovat ve vedlejším orbitálu, druhém nejbližším jádru. Až bude i tento plný, budou plnit sousední orbitál, třetí nejbližší jádru. A tak dále.

Rikáme, že všechny orbitály v konkrétní vzdálenosti od jadra – tj. s odlišnými hlavními kvantovými čísly – tvoří elektronovou slupku. Slupku nejbližší jádra mohou obývat maximálně dva elektrony, jeden se spinem po směru hodinových ručiček, druhý proti směru. Atom vodíku má v této slupce jeden elektron, atom helia, druhý nejméně, dva.

Dalším atomem, který následuje podle velikosti, je lithium. Má tři elektrony. Ve slupce nejbližší jádra už není dost místa, a tak třetí elektron obsadí novou slupku dále od jadra. Kapacita této slupky je osm elektronů. U atomů s více než deseti elektrony je i tato slupka plně obsazena, takže se začne plnit další, ještě dále od jadra.

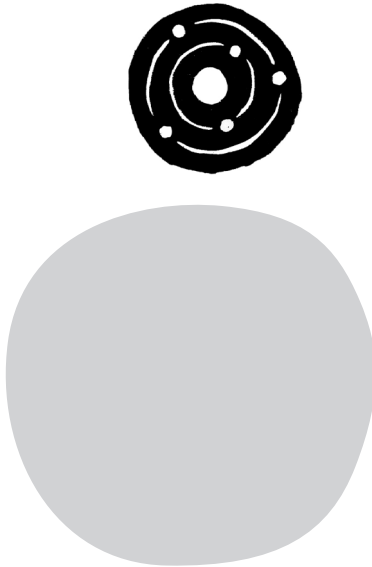
Pauliho vylučovací princip, který zakazuje více než dvěma elektronům pobývat ve stejném orbitálu (tj. aby měly stejné kvantové číslo), je pftičnou, proč se atomy

rová čísla. To jsou dohromady tři čísla. Aby bylo zřejmé, že oběžné drahy elektronu se vůbec nepodobají mnohem známějším oběžným drahám – například těm, po nichž obíhají planety kolem Slunce – dostaly zvláštní jméno: orbitály.

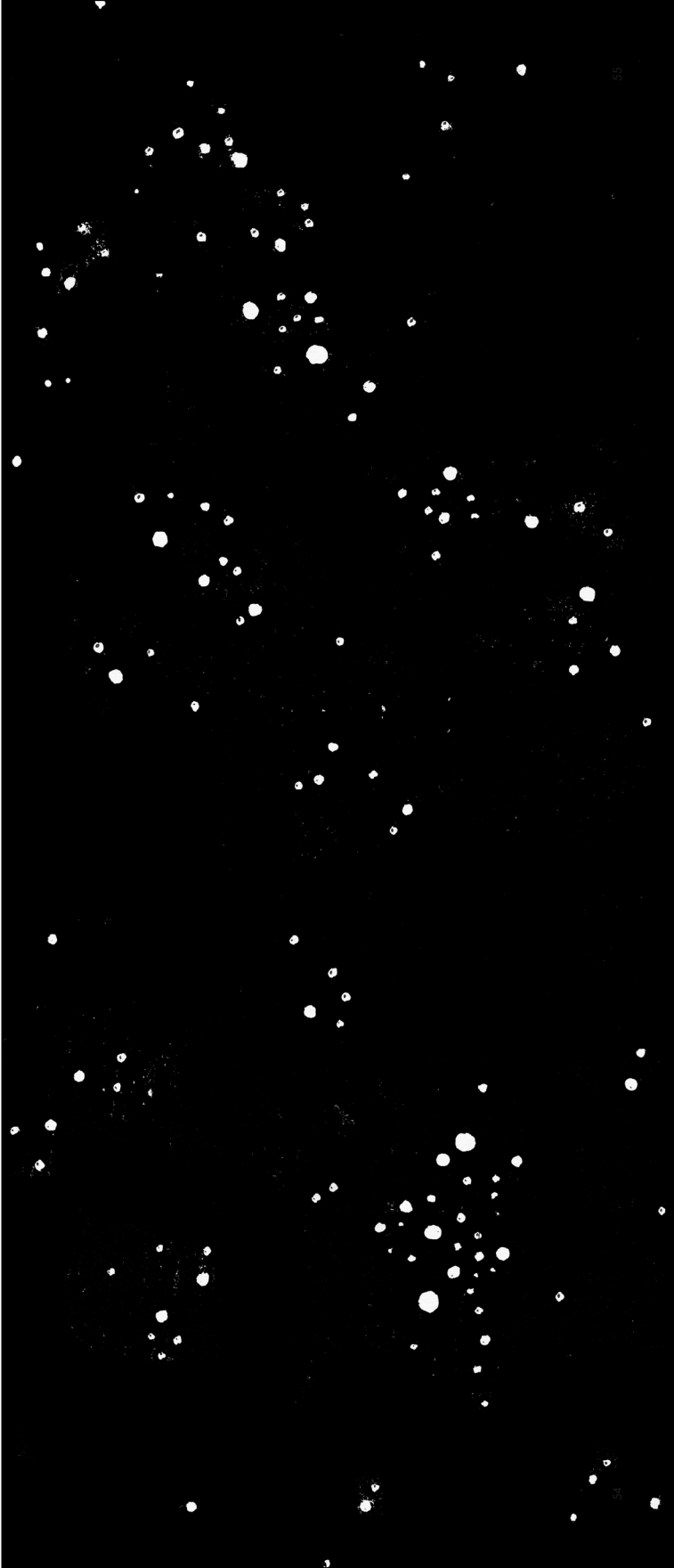
Ukazuje se, že přesný tvar elektronových orbitálů hraje zásadní roli při určování toho, jakým způsobem se atomy k sobě vážou, aby vytvořily molekuly například vody nebo oxidu uhličitého. Klíčové elektrony jsou ty nejbližší od jadra. Vnější elektron jednoho atomu se může stát také součástí dalšího atomu, když vytvoří chemickou vazbu. Je tedy zjevně důležité, kde přesně se vnější elektron nachází. Pokud je kupa kladu největší pravděpodobnost, že ho najdeme nad severním a jižním pólem, atom k sobě bude nejčastěji vázat atomy severně a jižně od něj.

Věda zabývající se myriádami různých způsobů, jimiž se na sebe atomy mohou vázat, je chemie. Atomy jsou finální, základní kousky lega. Z jejich kombinací je možné vytvořit různé zlatou cihlu nebo lidskou bytost. Ale to, jak přesně se legové kousičky skládají, aby vytvořily ohromující různorodost objektů, které kolem sebe vidíme, řídí kvantová teorie.

Ké vzniku tak velkého počtu kombinací je očividně zapotřebí více než jedna kostka. Příroda jich ve skutečnosti používá 92. Od vodíku, nejjednoduššího se vyskytujícího atomu, až po uran, ten nejtěžší. Ale proč existuje tolik různých atomů? Proč nejsou všechny stejné? Zase za to můžeme kvantová teorie.



Dvoustrana 54-55



Dvoustrana 56-57

Proč jsou bosony tak rády pohromadě se svými kamarády

Dáme tomu, že dvě částice, dva bosony, vletí do malého prostoru, jeden z nich narazí na překážku a odrazí se; druhý narazí na jinou překážku a rovněž se odrazí. Nezáleží teď na tom, o jaké překážky jde – mohou to být atomová jádra nebo třeba něco jiného. Důležité je směr, kterým se bosony odrazí, a ten je u obou stejný.

Nazvěme nyní částice A a B a směry, jimiž se odrazí, 1 a 2 (i když jde o téměř stejný směr!). Jsou dvě možnosti. Částice A poleť směrem 1 a částice B směrem 2. Nebo poleť částice A směrem 2 a částice B směrem 1. Protože částice A i B patří mezi schizofrenní obyvatelé mikroskopického světa, existuje vlna, která odpovídá události, kdy částice A letí směrem 1 a částice B směrem 2. A existuje také vlna, která odpovídá částici A letící směrem 2 a částici B letící směrem 1.

Pokud jsou bosony odlišné částice, nemůže mezi nimi dojít k žádné interferenci. Takže pravděpodobnost, že detektor zaznamená dvě odražené částice, je prostě druhá mocnina výšky první vlny plus druhá mocnina výšky druhé vlny, jelikož pravděpodobnost jakékoli události v mikrosvětě se vždycky rovná druhé mocnině výšky přidružené vlny. Ukazuje se – a tady vám musí stačit mé čestné slovo – že tyto dvě pravděpodobnosti jsou přibližně stejné. Takže celková pravděpodobnost je dvojnásobná ve srovnání s pravděpodobností, že se obě události odehrají každá zvlášť.

Dáme tomu, že výška vlny u obou procesů je 1. To by znamenalo, že pokud je umocníme a sečteme, abychom získali pravděpodobnost obou procesů, bude to $(1 \times 1) + (1 \times 1) = 2$. Hodnota pravděpodobnosti 1 odpovídá 100 procentům, takže hodnota pravděpodobnosti 2 je očividně nesmyslná. Ale mějte strpení. Pořád můžeme obě pravděpodobnosti porovnat, a o to nám jde.

Nyní uveďme o případu, kdy oba bosony jsou identické částice. V tom případě jsou obě možnosti (A letící směrem 1 a B směrem 2 nebo A letící směrem 2 a B směrem 1) nerozlišitelné. A protože jsou nerozlišitelné, jim přidružené pravděpodobnosti vlny spolu mohou interferovat. Jejich celková výška je $1 + 1$. Pravděpodobnost obou procesů je tedy $(1 + 1) \times (1 + 1) = 4$.

Dvakrát větší, než když bosony nebyly identické. Jinými slovy, jsou-li dva bosony identické, je dvojnásobná pravděpodobnost, že se odrazí stejným směrem, než

57

od sebe liší. Většímu mu také za pevnost hmoty. „Právě díky faktu, že se elektrony nemohou vrstít jeden na druhý, jsou stoly a všechno ostatní pevné,“ řekl Richard Feynman.

Proč se chování atomů – tedy jeho identita – závisí na jeho vnějších elektronech, atomy s podobným počtem elektronů ve vnější slupce tihnou k podobnému chování. Lithium se třemi elektrony má ve vnější slupce jeden elektron. Stejně tak sodík s jedinácti elektrony, Lithium a sodík proto vytvářejí vazby s podobnými druhy atomů a mají podobné vlastnosti.

Takže tedy fermiony podléhají Pauliho vylučovacímu principu. A co bosony? Ty se Pauliho principem neřídí, chovají se naopak velice společensky. Jejich nesmírná družnost je příčinou celé řady pozoruhodných jevů, od laseru přes elektrický proud, který nepřestává proudit, až ke kapalné tekoucí do kopce.

56

Dvoustrana 58-59



když jsou odlišné. Ještě jinak řečeno, boson má dvakrát větší pravděpodobnost, že se odrazí stejným směrem, pokud se stejným směrem odrazí jiný boson.

Cím více bosonů, tím je tento efekt silnější. Je-li přítomno n bosonů, pravděpodobnost, že se další částice odrazí stejným směrem, je $n + 1$ krát vyšší, než když tu žádné bosony nejsou. Co si budeme povídat o stádním chování! Pouhá přítomnost jiných bosonů, které něco provedeji, ohromně zvyšuje pravděpodobnost, že další boson udělá totéž. Ukazuje se, že sídlnost bosonů má důležité praktické využití – například při šíření světla.

Lasery a kapaliny, které tečou do kopce

U všech procesů, o kterých jsme zatím uvažovali, šlo o částice, které kolidují a odrazí se stejným směrem. Ale to není důležité. Stejně argumenty které jsme použili, platí i pro vznik částic – například pro „stvoření“ fotonu atomem, který vyzářil světlo.

Fotony jsou bosony, takže pravděpodobnost, že atom uvolní foton určitým směrem a o určité energii, se zvyšuje $n + 1$ krát, pokud tímto směrem létá už n fotonů o této energii. Každý nový foton, který je vyzářen, zvyšuje pravděpodobnost, že bude vyzářen další foton. Jakmile jich létá společně vesměrem tisíce nebo dokonce milióny, pravděpodobnost, že budou vyzářeny další fotony, nesmírně vzroste.

Důležitky jsou dramatické. Zatímco normální světelný zdroj jako Slunce produkuje chaotickou směsku fotonů o všech možných energiích, laser generuje nezářitelny proud fotonů, které pochodují prostorem v naprosto stejném rytmu. Lasery ale nejsou jediným důležitkem dnužnosti bosonů. Je tu například tekuté helium, složené z atomů, které jsou bosony.

Helium 4, druhý nejčastější atom ve vesmíru, je jednou z nepozoruhodnějších přírodních látek*. Jde o jediný prvek, který byl objeven ve slunečním spektru dříve než na Zemi, a je to také tekutina s nejnižším bodem varu, -269 stupňů Celsia. Vlastně je to jediná kapalina, která nikdy nezmrzne do pevné podoby, alespoň ne za normálního atmosférického tlaku. Všechny tyto zajímavé skutečnosti ale blednou ve srovnání s chováním helia při teplotě nižší než nějakých -271 stupňů Celsia. Za tímto „bodem lambda“ se stává supertekutým.

Tekutina většinou vzoruje pokusům o to, aby se její část vzhledem k ostatním částem pohybovala. Cukrový sirup klade při míchání větší odpor, stejně tak voda při plavání. Ve fyzice je tento odpor znám jako viskozita. Jde vlastně o tření tekutiny. Tření pevných látek (například pneumatiky a vozovky) je nám důvěrně známé. Cukrový sirup vzoruje míchání výrazně, proto se o něm říká, že má vysokou viskozitu nebo že je velmi viský.

* Helium 4 má ve svém jádře čtyři částice, dva protony a dva neutrony. Jde o vzácnější příbuzným je helium 3, které má stejný počet protonů, ale o jeden neutron méně.

Dvoustrana 60-61

Je zajímavé, že helium má vzácnějšího a lehkého příbuzného – helium 3. Ve srovnání s heliem 4 je to však normální, nudná kapalina. To proto, že jeho částice jsou fermiony. Supratekutost je čistě vlastností bosonů.

I když ani to není úplně pravda. Mikroskopický svět je samé překvapení. Ve zvláštním případě se fermiony mohou chovat jako bosony!

Viskozita se zjevně může projevit jen tehdy, když se jedna část kapaliny pohybuje jinak než zbytek. Na mikroskopické úrovni atomů to znamená, že musí být možné dostat některé atomy do stavů odlišných od jiných atomů v kapalině.

Za normální teploty mohou být atomy v kapalině v mnoha různých stavech a v každém kmitají jinou rychlostí. Ale jak teplota klesá, jsou stále línější a připadají pro ně v úvalu stále méně a méně stavů. Přesto nebudou ani při nejnižších teplotách všechny atomy ve stejném stavu. Jinak tomu bude u tekutiny složené z bosonů, jakou je tekuté helium. Připomeňme si, že pokud se v jistém stavu nachází n bosonů, pravděpodobnost, že se do tohoto stavu dostane i další boson, je $n + 1$ krát větší, než když se v tomto stavu žádné částice nenacházejí. U tekutého helia, tvořeného nespočtem heliových atomů, je n skutečně velmi vysoké číslo. Pokud je tekuté helium ochlazené na dostatečně nízkou teplotu, nastane okamžik, když se všechny atomy helia najednou snaží natěsnat do stejného stavu. Tomuto jevu se říká Boseho-Einsteinova kondenzace.

Když jsou všechny atomy ve stejném stavu, je pro tekutinu nemožné, nebo alespoň nesmírně obtížné, aby se jedna její část pohybovala vzhledem k ostatním jinak. Pokud se pohybují některé atomy, musí se s nimi vydat na cestu i všechny ostatní. Tekuté helium proto nemá žádnou viskozitu. Změnilo se v supratekutinu.

V supratekutém heliu je pohyb atomů velmi rigidní. Těžko takovou tekutinu k něčemu přimějete, protože buď musíte k témuž přinutit všechny atomy, nebo se nesmíte vůbec nic. Ale když naplníte vědro vodou a roztočíte ho kolem jeho osy, voda se bude točit spolu s ním. Dochází k tomu proto, že vědro za sebou táhne ty atomy vody – ti přisílají řeceno, vodní molekuly –, které se přímo dotýkají stěn, ty zase táhnou s sebou atomy dále od stěn a tak dále, až se všechna voda v kbelíku točí zároveň s ním. Je zřejmé, že aby se voda mohla dostat do stavu, kdy se točí zároveň s vědrem, musí se některé částí tekutiny vzhledem k ostatním pohybovat. Ale jak bylo před chvílí řečeno, pro supratekutinu je to velmi obtížné. Buď se všechny atomy pohybují zároveň, nebo se nehybou vůbec. Proto když naplníte vědro supratekutým heliem a roztočíte ho, nezačne se v žádném případě točit společně s ním. Místo toho zůstane tvrdohlavě stát, zatímco vědro se točí.

Společný pohyb atomů v supratekutém heliu má na svědomí ještě mnohem bizarnější jevy. Supratekutina může například protékat nesmírně malými otvory, kterými žádná jiná kapalina neprochází. Jako jediná kapalina také teče do kopce.

Dvoustrana 62-63

Elektrický proud, který nepřestává proudit

Oním zvláštním případem, kdy se fermiony chovají jako bosony, je elektrický proud v kovu. Protože elektrony ve vnějších drahách atomů kovu jsou velmi volně vázány, mohou se uvolnit. Pokud baterie mezi oběma konci kovu vytvoří napětí, nespočet osvozených elektronů se povolí kovu v podobě elektrického proudu.*

Elektrony jsou samozřejmě fermiony, což znamená, že jsou nespolečenské. Představte si žebřík, jehož příčky odpovídají stále vyšším energetickým stavům. Elektrony by tyto příčky zaplnily odzobla po dvou (bosony by se spojily natěsnaly všechny na spodní příčce). To, že každý pár elektronů potřebuje vlastní příčku, znamená, že elektrony v kovu mají v průměru mnohem více energie, než by mnozí navně očekávali.

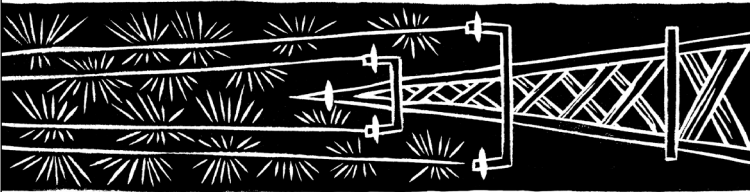
Velmi podivné věci se začínají dět, pokud kov ochladíte na teplotu blízkou absolutní nule, tedy nejnižší možnou teplotu. Každý elektron obvykle cestuje kovem zcela nezávisle na ostatních elektronech. Jak teplota klesá, atomy kovu vibrují stále pomaleji. I když jsou tisíckrát masivnější než elektrony, přitahuje elektrická síla mezi elektronek a atomem kovu stačí, aby atom přitáhl k elektronu, který ho mijí.** Atom, který je nyní ve vleku, za sebou táhne další elektron. Elektron k sobě tímto způsobem, prostřednictvím atomu kovu, přitáhne jiný elektron.

V důsledku toho se radikálně změní povaha proudu protékajícího kovem. Místo z jednotlivých elektronů je nyní složen z elektronových párů, známých jako Cooperovy páry. Elektrony v každém Cooperovy páru mají opačný spin a navzájem se vyruší. Takže jsou Cooperovy páry vlastně bosony.

Cooperův pár je prazvláštní úkaz. Elektrony, které ho tvoří, ani nemusí být v kovu blízko u sebe. Mezi jednotlivými členy Cooperovy páry se mohou vyskytovat tisíce dalších elektronů. To je ale jenom drobná kuriozita. Hlavní je, že Cooperovy páry jsou bosony. A za ultranizké teploty se v supravodiči všechny bosony natěsnají

do stejného stavu. Chovají se jako jediný, neprozrazitelný celek. Jakmile začnou hromadně proudit, je nesmírně obtížné je zastavit.

V normálním kovu se elektrickému proudu staví na odpor nekovové atomy různých příměstí, pleiru se elektroniím do cesty a brání jejich postupu kovem. Ale zájmca atom příměstí snadno zastaví elektron v běžném kovu, je pro něj prakticky nemožné zastavit Cooperův pár v supravodiči. To proto, že každý Cooperův pár je součástí formace miliard á miliard dalších. Atom příměstí nemůže tento proud zatazit, stejně jako jediný voják nemůže zastavit postup nepřátelské armády. Jakmile se proud jednou spustí, poteče supravoditelem už navždy.



* Proč se tedy kov nerozpadne? K úplnému objasnění opět potřebujeme kvantovou teorii. Zjednotěné řešení dojde k tomu, že odříznuté vodivé elektrony vytvoří záporné nabité oblak protustupující kovem. Přitažlivost mezi tímto oblakem a každým nabylým iont zavedeným elektronů drží kov pohromadě.

** Přesněji řečeno, nejezdí se o atomy, ale o každé iont, pak nazýváme atomy, které ztlačí elektrony

62

63

Dvoustrana 64-65 – doplňková kapitola Základní pojmy

Základní pojmy



Absolutní nula	Nejnižší dosažitelná teplota. Jak se těleso ochlazuje, atomy v něm se pohybují stále pomaleji. Při absolutní nule, teplotě odpovídající -273,15 stupňům Celsia, se přestávají řídit úplně. (I když ani to zcela neplatí, protože Heisenbergův princip neurčitosti umožňuje jakési „zbytkové chvění“ i za absolutní nuly)
Atom	Základní stavební prvek hmoty. Skládá se z jádra a elektronového obalu. Klady náboj jádra je vyrovnáván stejným množstvím záporného náboje elektronů. Atom měří asi jednu desetimilimetrovou milimetrovou.
Atomové jádro	Těsný shluk protonů a neutronů (v případě vodíku tvoří jádro jediný proton) ve středu atomu. V jádru je soustředěno 99,9 procent hmotnosti atomu.
Boson	Mikroskopická částice s celočíselným spinem - 0 jednotek, 1 jednotka, 2 jednotky atd. Při tomto typu spinu jsou částice nesmírně druzné a chovají se stejně. V důsledku toho vznikají lasery, supratekutiny a supravodiče.
Časoprostor	Též prostorčas. V obecné teorii relativity jsou prostorové souřadnice a čas považovány za rovnocenné. Jsou proto chápány jako jeden celek - časoprostor. Gravitace není nic jiného než zakřivení časoprostoru.

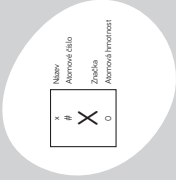
Dvoustrana 66-67

Energie	Téměř nedefinovatelná veličina! Energií nete vyhovít ani zničit, jen převést z jedné formy do druhé. Mezi mnoho známých forem energie patří například energie tepelná, pohybová (kinetická), elektrická, zvuková atd.	Kvantové číslo	Číslo popisující určitou vlastnost mikroskopické částice, například spin nebo energii elektronu v atomovém orbitálu.
Foton	Elementární světelná částice.	Neutron	Jeden ze dvou základních stavebních kamenů atomového jádra (vedle protonu). Neutrony mají téměř stejnou hmotnost jako protony, ale nenosí elektrický náboj. Mimo jádro jsou nestabilní a polčas jejich rozpadu je zhruba 10 minut.
Gravitační síla	Nejzákladnější ze čtyř známých základních přírodních sil. Gravitace je přibližně popsána Newtonovou gravitační teorií, přesněji však Einsteinovou neboli obecnou teorií gravitace. Obecná gravitační teorie neplatí v černé díře a neplatila ani v singularitě počátku vesmíru. Tato teorie, nazývaná také kvantová gravitační teorie, vysvětluje gravitaci výměnou částic zvaných gravitony.	Paradox dvojčát	Paradox vznikající v případě, pokud by bylo možné cestovat rychlostí blízkou rychlosti světla. Jeřno dvojče vyrazí například na Alfa Centauri a zpět, zatímco druhé dvojče zůstane doma. Podle speciální teorie relativity bude dvojče ve vesmíru stárnout pomaleji. Z jiného hlediska lze ale namítnout, že to Země se vzdálila od dvojčete v kosmické lodi rychlostí blízkou rychlosti světla, takže dvojče, které zůstalo na Zemi, stárne pomaleji. Paradox vyřešíme, když si uvědomíme, že obě události nejsou zcela ekvivalentní. Dvojče cestující na Alfa Centauri musí u cíle zpomalit a při návratu zpět zase zrychlit a zrychlený pohyb nete vysvětlit pomocí speciální, ale obecné relativity.
Hmotnost	Vyjadřuje množství hmoty v konkrétním tělese. Nejkoncentrovanější forma energie; jediný gram obsahuje takové množství energie, jaké se uvolní při výbuchu sto tisíc tun dynamitu.	Proton	Jeden ze dvou základních stavebních kamenů atomového jádra (vedle neutronu). Proton nese kladný elektrický náboj, stejně velký, ale opačného znaménka než elektron.
Hustota	Hmotnost předmětu vydělena jeho objemem. Vzduch má nízkou hustotu, zatímco železo vysokou.	Spin	Vlastnost částic, pro níž ve světě každodenní zkušenosti nenajdeme obdobu. Zjednodušeně řečeno, jde o to, že subatomární částice se spínem otáčejí podobně jako došláka kačička (až na to, že ve skutečnosti o rotaci v našem slova smyslu vůbec nejde).
Ion (těž iont)	Atom nebo molekula, v níž je o jeden nebo několik elektronů méně než protonů v jádře, a proto má úhrnný kladný náboj.	Teorie velkého třesku	Mýšlenka, že základem vesmíru byla superhustá, mimoládně žhavá hmota před 13,7 miliardami let. Od té doby se vesmír rozpíná a chladne.
Klasická fyzika	Nekvantová fyzika. Ve skutečnosti veskerá fyzika před rokem 1900, kdy německý fyzik Max Planck přišel s myšlenkou, že by energie mohla existovat v malých balíčcích neboli „kvantech“. Einstein byl první, kdo si uvědomil, že tato teorie je s tehdejší teoretickou fyzikou neslučitelná.	Vlnová délka	Vzdálenost, na které vlna projde úplným cyklem, vzdálenost dvou sousedních hřebců vlny.
Kvantum	Nejmenší porce či balíček, na který lze něco dělit. Například foton je kvantum světla (elektromagnetického záření).		
Kvantová teorie	Teorie objektů dokonale izolovaných od okolí. Velký objekt je nesmírně těžké takto izolovat, proto jde v zásadě o teorii mikroskopického světa atomů a jejich složek.		

Dvoustrana 68-69 – periodická tabulka prvků

Periodická tabulka prvků

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



Dvoustrana 70-71 – tiráž

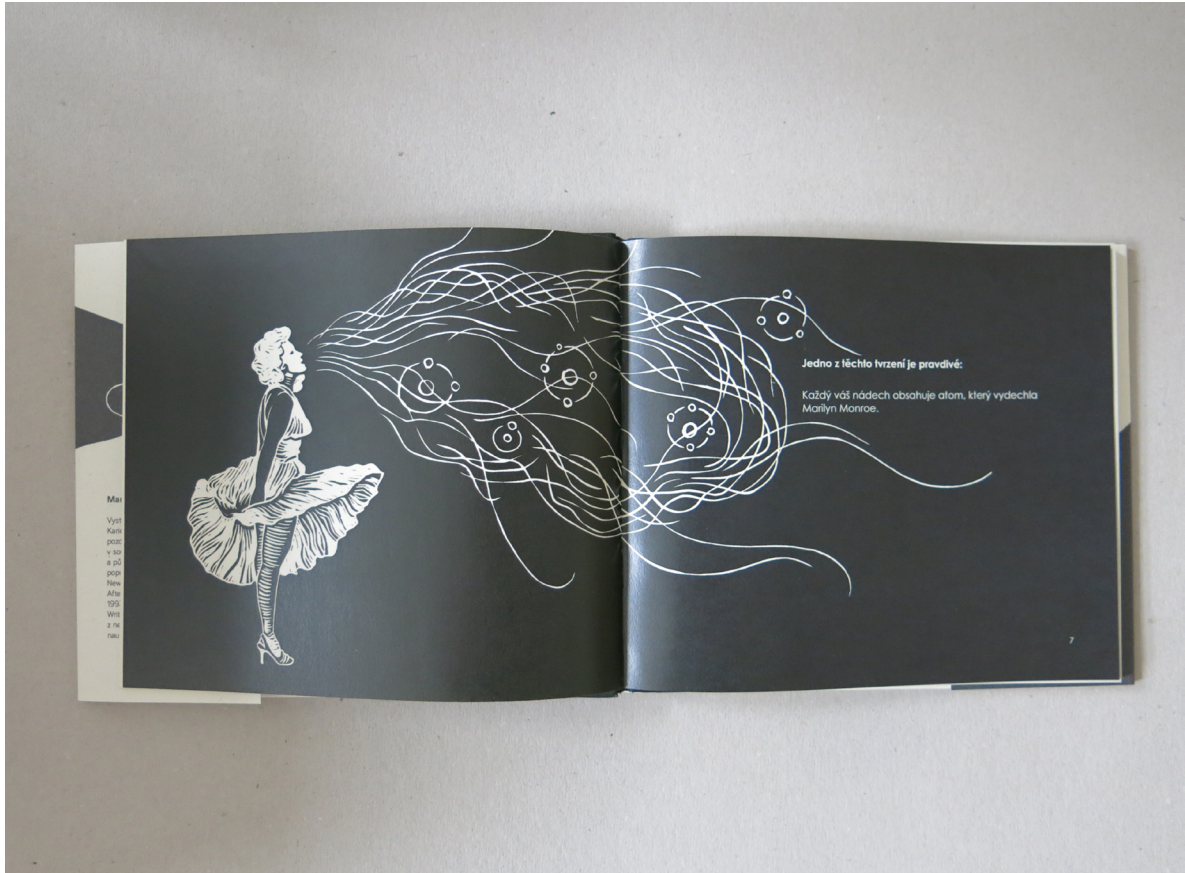


Kvantová teorie, Průvodce vesmírem
Marcus Chown

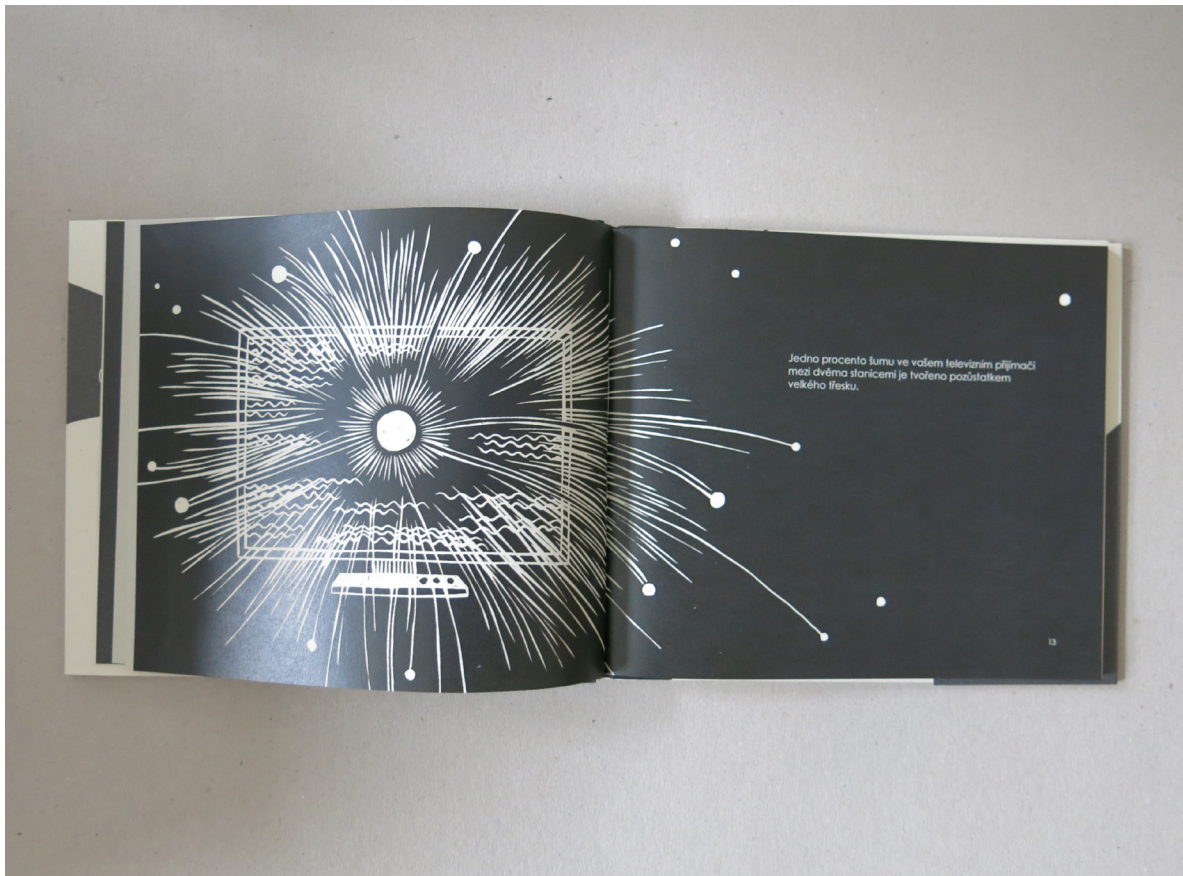
Sarah Grimová
ilustrace, grafický design, sazba, vazba
diplomová práce, pod vedením prof. akad. mal. Mikoláše Axmanna

Atelier Ilustrace
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara, ZČU
Plzeň 2017

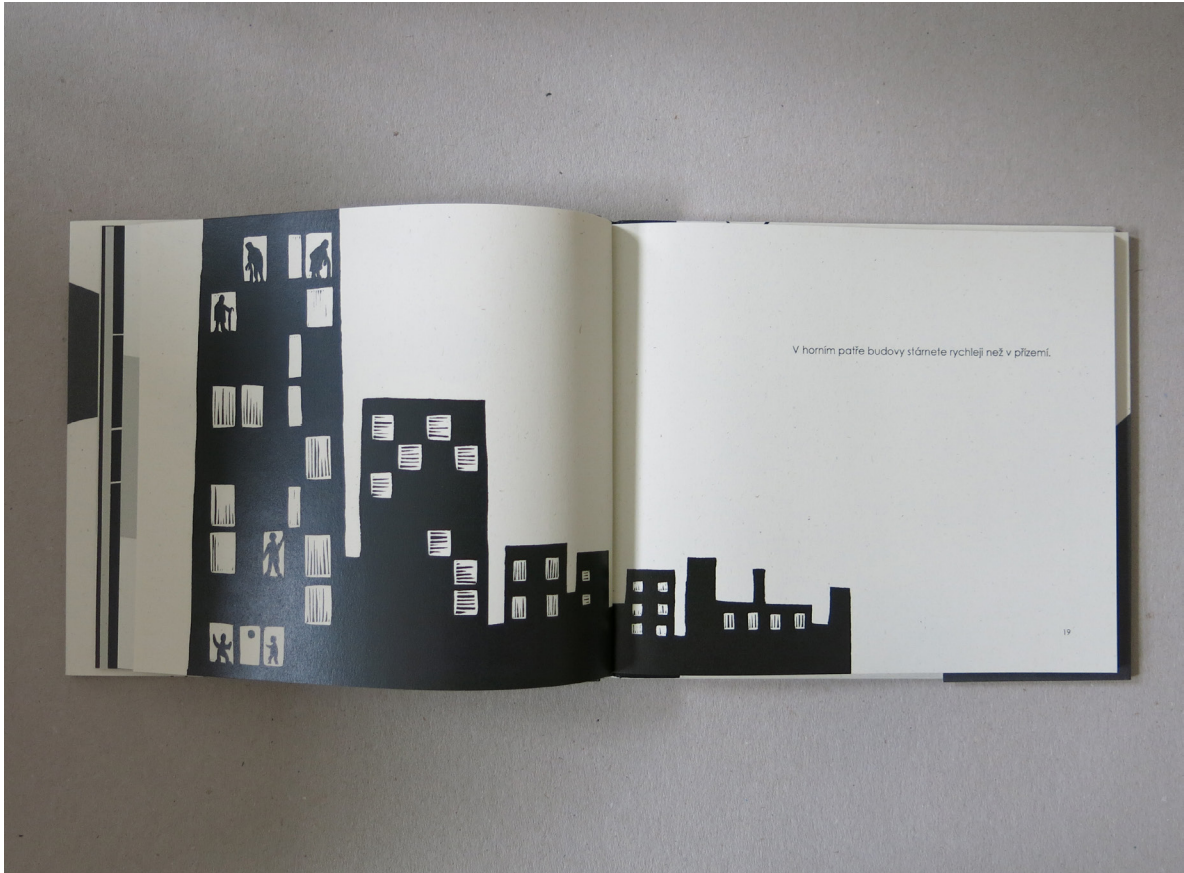
Fotografie svázané knihy



Fotografie svázané knihy



Fotografie svázané knihy



Fotografie svázané knihy



Fotografie svázané knihy



Plakát ke knize – B1, linoryt

