



## Z knihy Elegantní vesmír

( a můj komentář, asi 05/2002 )

Níže naleznete ukázkovou kapitolu z knihy. Tato verze neprošla definitivními redakčními úpravami. Obrázky lze zvětšit kliknutím. [4. kapitola je zde.](#) [11. kapitola je zde.](#) [15. kapitola je zde.](#)

### **Iluze známého**

Zkušenost dodává intuici informace. Dělá však ještě více. Vymezuje rámec, v němž analyzujeme a interpretujeme své vjemy. Nepochybně třeba očekáváme, že "dítě divočiny", vychované smečkou vlků, bude interpretovat svět z pohledu podstatně odlišného od našeho. I méně extrémní srovnání, například dvou lidí, kteří vyrostli v prostředí různých kulturních tradic, může posloužit jako důkaz toho, že naše zkušenosti do jisté míry určují způsob, jak si události vysvětlujeme.

Určité věci ale přece prožíváme *všichni*. A právě víru a očekávání, pramenící z těchto univerzálních zážitků, lze mnohdy nejobtížněji rozpoznat a kriticky rozebrat. Doložíme to jednoduchým, ale přiléhavým příkladem. Přestanete-li číst tuto knihu a zvednete se, můžete se pohybovat ve třech nezávislých směrech - tedy třemi nezávislými rozměry prostoru. Jakákoli vaše dráha - nehledě na její složitost - je kombinací pohybu "levo-pravým rozměrem", "předo-zadním rozměrem" a "rozměrem shora dolů". Každý váš krok v sobě implicitně zahrnuje podvědomé rozhodnutí o tom, jak se pohnete v každém z těchto tří směrů.

Ekvivalentní tvrzení, s nímž jsme se setkali při probírání speciální relativity, říká, že každé místo ve vesmíru lze specifikovat třemi údaji - kde se nachází ve vztahu ke třem rozměrům prostoru. Řečeno obvyklým jazykem, můžete určit adresu ve městě zadáním ulice (pozice v "levo-pravém rozměru"), kolmé ulice nebo avenue (umístění v "předo-zadním rozměru") a čísla patra (poloha v "rozměru shora dolů"). Einsteinova práce nás vybízí k modernějšímu pohledu, podle něhož je čas další dimenzí ("rozměrem od minulosti k budoucnosti"), máme tedy dohromady čtyři rozměry, z toho tři prostorové a jeden časový. Události ve vesmíru specifikujete údaji o tom, kdy a kde nastaly. Tahle vlastnost vesmíru je natolik základní, do sebe zapadající a naše myšlení dokonale prostupující, že se opravdu zdá být nezpochybnitelná. V roce 1919 měl ale nepříliš známý polský matematik Theodor Kaluza z univerzity v Královci (Königsbergu) dost drzosti na to, aby tuhle samozřejmost zpochybnil - přišel s myšlenkou, že vesmír možná nemá tři prostorové rozměry, ale více. (V roce 1982 měl nepříliš známý český laik Josef Navrátil z Boskovic dost drzosti na to, aby tuhle samozřejmost zpochybnil - přišel s myšlenkou, že vesmír možná nemá jen tři prostorové rozměry, ale ke třem délkovým má ještě tři časové rozměry ) Hloupě znějící nápady jsou většinou opravdu hloupé. Někdy však zatřesou se základy vědy. O.K. Přestože se Kaluzova myšlenka musela chvíli uhlazovat, nakonec přinesla revoluci do naší

formulace přírodních zákonů. Dodnes se vzpamatováváme ze šoku z Kaluzovy úžasné předtuchy.

## Kaluzův nápad a Kleinovo upřesnění

Nápad, že náš vesmír má možná více než tři prostorové rozměry, jistě může znít pošetile, fantasticky, podivně či mysticky. (O.K., rovněž tak nápad se třemi časovými dimenzemi) Přesto je konkrétní a zcela přijatelný. Přesto je konkrétní a zcela přijatelný. Abychom to pochopili, odvráťme na chvíli svůj zrak od vesmíru jako celku k něčemu přízemnějším, konkrétně (konkrétně ke zrychlení a k výkonu .Složky času ve jmenovateli nemusí být stejně velké ) k dlouhé a tenké zahradní hadici na Představte si, že stometrovou zahradní hadici natáhnete z jedné strany kaňonu na druhou a celou scenerii sledujete z půlkilometrové vzdálenosti, jako na obrázku 8.1(a). Z takové vzdálenosti snadno zaznamenáte dlouhou, ve vodorovném směru nataženou hadici, ale pokud právě netrpíte bystrozrakostí, *tloušťku* hadice rozeznáte stěží. Vzhledem k vaší velké vzdálenosti od hadice byste si pomysleli, že mravenec donucený žít na hadici má jen *jeden* rozměr, v němž se může procházet: levo-pravý rozměr podél hadice. Když se vás někdo zeptá, kde byl mravenec v daný okamžik, odpovíte mu jen *jedním* údajem: vzdáleností mravence od levého (či pravého) konce hadice. Tím vším chceme říct jen to, že z půlkilometrové vzdálenosti vypadá dlouhý kus hadice jako jednorozměrný objekt. Ve skutečném světě hadice *má* tloušťku. Z půlkilometrové vzdálenosti ji sotva uvidíte očima, ale dalekohledem můžete obvod hadice pozorovat přímo, jak ukazuje obrázek 8.1(b). V takto zvětšeném pohledu je zřejmé, že se mravenec ve skutečnosti může pohybovat ve *dvou* nezávislých rozměrech: v už dobře známém levo-pravém rozměru po délce hadice, ale *také* v "rozměru ve/proti směru pohybu hodinových ručiček", tedy kolem kruhového průřezu hadice. Začínáte chápat, že k určení polohy malého mravenečka musíte zadat *dvě* čísla: jak daleko je od konce hadice a kde je na kružnici ovíjející hadici. To je odrazem faktu, že je povrch hadice dvojrozměrný. 1

Mezi těmito dvěma rozměry je nicméně jasný rozdíl. Rozměr podél hadice je dlouhý a lehce viditelný. Rozměr ovíjející obvod hadice je krátký, "svinutý" a hůře viditelný. Abychom si existenci kruhového rozměru uvědomili, museli jsme hadici zkoumat s výrazně lepším rozlišením.

Zmíněný příklad ilustruje důležitou vlastnost prostorových dimenzí. To, že se rozdělují do dvou skupin. Mohou být buď velké, rozlehlé, a proto přímo patrné, nebo naopak malé, svinuté a mnohem hůře pozorovatelné. Samozřejmě že v tomto příkladě jsme se nemuseli předřít, abychom "svinutou" dimenzi ovíjející tloušťku hadice odhalili. Stačilo si vzít na pomoc dalekohled. Kdyby ale hadice byla tenčí - jako vlas nebo kapilára -, svinutou dimenzi bychom mohli odhalit jen s velkým úsilím.

Kaluza zaslal v roce 1919 Einsteinovi svůj článek, v němž vyrukoval s ohromujícím návrhem. Prohlásil totiž, že prostorová geometrie vesmíru by mohla mít více než tři rozměry nám všem známé. Odůvodněním tohoto **radikálního tvrzení** byl, jak za chvíli vysvětlíme, Kaluzův postřeh, že dodatečná dimenze poskytuje elegantní a přesvědčivý rámec, v němž lze Einsteinovu obecnou relativitu a Maxwellovu elektromagnetickou teorii vetkat do jediné a sjednocené pojmové struktury. ( Jistě. Parabolu mohu přidáním jedné dimenze do rovnice změnit na lineární

rovnici ...) Okamžitě se vnučuje otázka, jak jde tento návrh dohromady s očividnou skutečností, že *vidíme* právě tři rozměry prostoru.

Odpověď, kterou Kaluza tiše předpokládal mezi řádky a kterou jasně artikuloval a upřesnil švédský matematik Oskar Klein v roce 1926, **stojí a padá** s tvrzením, že *prostorová geometrie našeho vesmíru může mít jak velké, tak i svinuté rozměry.* (*Kdo zakázal, že nesmí mít i skryté časové rozměry ???*) ( *Dvě auta na parkovišti vedle sebe stojící nepozorují, že spolu ukrajují vesmírem vzdálenosti a to ve třech dimenzích naráz ...a nepozorují, že je ukrajují spolu se dvěma dimenzemi časovými a jednou časovou odlišnou, kterou pozorují. Tato odlišná dimenze časová má jiný chod než je etalonový a tak je pozorovatelná* ) To znamená, že právě jako dimenze ve směru délky hadice, má i náš vesmír velké, rozlehlé a lehce viditelné tři dimenze, jejichž existenci si každým okamžikem uvědomujeme. Ale **analogicky** ( **analogicky** poletí-li Michelson-Morleyho deska se zrcátky a s fotonovým zdrojem a to pohybem „rovnoměrným“ po zakřivené trajektorii, pak pozorovatel ze soustavy čárkované ( nezakřivené –tečná rovina ) uvidí, že se deska zrychluje ( zpomaluje ) a má dvě složky času pro >své zrychlení<, tedy  $a = x / t_2 \cdot t_3$  ) s kruhovým obvodem zahradní hadice může mít vesmír i dodatečné dimenze, které jsou pevně svinuty do prostoru tak nepatrného, ( i časová složka  $t_2$  může mít tak nepatrně odlišný chod – odvíjení času....že ) že se dosud skryly i před našimi nejdokonalejšími experimentálními aparaturami. ( ...že se dosud skryla ta časová složka před našimi nejdokonalejšími „hodinami“ ) Abychom získali jasnější představu o podstatě Kaluzova pozoruhodného návrhu, uvažujme o hadici ještě chvíli. Představte si, že na obvod hadice nakreslíme černou barvou poměrně hustou řadu kružnic. Zdátky vypadá hadice stále jako tenká jednorozměrná čára. S dalekohledem teď díky kresbě odhalíme svinutou dimenzi ještě snáze, uvidíme totiž motiv z obrázku 8.2. Zřetelně vidíme, že je povrch hadice dvojrozměrný, s jednou dimenzí velkou a téměř neomezenou a s druhou krátkou a kruhovou. Kaluza a Klein navrhli, že náš vesmír je podobný, kromě jedné malé kruhové dimenze má ale tři velké prostorové dimenze, dohromady tedy čtyři prostorové dimenze. Je obtížné nakreslit objekt s příliš mnoha rozměry. Abychom pomohli své představivosti, spokojme se s ilustrací na obrázku 8.3, obsahující dvě velké dimenze a jednu malou kruhovou dimenzi. Na obrázku zvětšujeme pohled na geometrii prostoru podobně, jako jsme zvětšovali povrch hadice

Pozadí obrázku 8.3 znázorňuje běžně známou strukturu prostoru - obyčejný svět kolem nás - v běžných měřítkách, jako jsou metry, znázorněných stranou malého čtverečku ve čtvercové síti. Na každém následujícím obrázku se zaměříme na malou oblast obrázku předcházejícího; zvětšíme ji, aby se stala viditelnou. Zpočátku se nic zvláštního neděje, jak vidíme na několika prvních úrovních zvětšení. Když však postoupíme dále na své cestě za mikroskopickými vlastnostmi geometrie prostoru - na čtvrtou úroveň zvětšení v obrázku 8.3 -, spatříme náhle novou, do tvaru kružnice svinutou dimenzi, podobnou smyčkám niti v hustě tkaném kusu koberce. Kaluza a Klein navrhli, že dodatečný kruhový rozměr existuje na

každém místě ve směru velkých dimenzí podobně, ( a nenavrhl, že v každém bodě existují dodatečné dimenze časové ) jako i hadice má kruhový obvod v každém bodě své délky. (V zájmu názornosti jsme kruhový rozměr zakreslili jen v některých, pravidelně rozestavěných bodech.) Obrázek 8.4 shrnuje Kaluzovu a Kleinovu představu o mikroskopické struktuře geometrie prostoru.

Podobnost s hadicí je zřejmá, třebaže jsou tu i důležité rozdíly. Za prvé, vesmír má tři velké, daleko se rozléhající prostorové rozměry (z nichž jsme nakreslili jen dva), kdežto hadice má velký rozměr jen jeden. Ještě důležitější rozdíl tkví v tom, že nyní mluvíme o prostorové geometrii *vesmíru* samotného, nikoli jen o nějakém předmětu *uvnitř* vesmíru, třeba naší hadici. Základní myšlenka je ale stejná. Pokud je dodatečná kruhově svinutá dimenze extrémně miniaturní, rozpoznat ji - stejně jako kruhový obvod hadice - je mnohem těžší ( a pokud je dodatečná dimenze časová tedy  $t_1$  skorototožná s  $t_2$  , tak je ve zrychlení nerozeznáte ) než pozorovat zjevné, velké a rozlehlé rozměry. Je-li velikost dodatečné dimenze dostatečně malá, odhalit ji bude ve skutečnosti i nad síly našich nejmodernějších nástrojů na zvětšování. Nejdůležitější ale je, že dodatečná dimenze není pouhým oblým hrbolkem uvnitř běžných rozměrů, jak dvojrozměrná ilustrace mylně naznačuje. Kruhová dimenze je *novým* rozměrem, který existuje v každém bodě tří běžných rozlehlých rozměrů. Je to rozměr na zbylých třech nezávislý stejně, jako jsou rozměry shora dolů, zleva vpravo a zpředu dozadu nezávislé (a kolmé) navzájem. Dostatečně malý mraveneček by se mohl pohybovat ve všech čtyřech rozměrech a na určení jeho pozice bychom potřebovali čtyři údaje, kromě tří obvyklých *ještě* pozici v kruhové dimenzi; počítáme-li i čas, údajů je třeba pět, v každém případě o jeden více, než bychom normálně očekávali.

K našemu překvapení tedy zjišťujeme, že třebaže jsme si vědomi existence jen tří rozměrů prostoru, ukazuje Kaluzovo a Kleinovo uvažování, že tím není vyloučena existence dodatečných svinutých rozměrů, jsou-li dostatečně malé. Vesmír může mít klidně více rozměrů, než kolik jich můžeme spatřit očima.

Jak malé musí být? Nejmodernější technické vybavení dokáže rozpoznat struktury velké miliardtinu miliardtiny metru. Menší svinuté dimenze sotva můžeme pozorovat. V roce 1926 zkombinoval Klein původní Kaluzův nápad s několika myšlenkami z právě se rodící kvantové mechaniky. Jeho výpočty naznačily, že dodatečná kruhová dimenze by mohla mít velikost přibližně jedné Planckovy délky, což je daleko za rozlišovací schopností dnešních přístrojů. Od té doby fyzici nazývají možnost dodatečných drobných prostorových rozměrů *Kaluzovou - Kleinovou teorií*.2

## Procházky po zahradní hadici

Hmatatelný příklad se zahradní hadicí a ilustrace na obrázku 8.3 měly za cíl vám přiblížit, jak je možné, že náš vesmír má dodatečné prostorové rozměry. Ale dokonce i pro vědce v oboru je dosti obtížné si vesmír s

více než třemi rozměry představit. ( [Pro současné české vědce je vůbec obtížné si představit cokoli, natož 3 dimenze délkové a 3 dimenze časové „velké“ a ostatní dimenze délkové i časové jako „nesvinuté“, ale jako amplitudu vlnky či vlnku překlopenou... a na vlnce další amplitudu a další atd. ...tedy „přeplátování dimenzí“ a to >ve hmotě<](#) ) Proto také fyzici často svou intuici vybrušují přemítáním ( [přemítají málo...](#) ) o tom, jak by vypadal život, kdybychom obývali pomyslný *méně* rozměrný vesmír - následují tak okouzující klasickou popularizační knihu Edwina Abbotta *Flatland (Plochosvět)*<sup>3</sup> z roku 1884 - díky čemuž si postupně uvědomují, **že má vesmír více rozměrů**, než jsme si přímo vědomi. Zkuste si představit dvojrozměrný vesmír ve tvaru zahradní hadice. Měli byste se přitom vzdát perspektivy "vnějšího pozorovatele", který se na hadici dívá jako na objekt uvnitř našeho vesmíru. Místo toho musíte opustit svět, jak ho znáte, a vstoupit do nového hadicového vesmíru, v němž *není nic jiného* než povrch velmi dlouhé hadice (představte si nekonečně dlouhou hadici). Navíc se musíte vžít do úlohy mravenečka, který si v hadicovém vesmíru spokojeně žije.

Tohle jste zvládli lehce, zkusme tedy **ještě něco extrémnějšího**. Představte si, že kruhový rozměr hadicového vesmíru je velmi krátký - dokonce tak krátký, že ani vy, ani vaši spoluobytelé hadicového vesmíru - zvaní Hadičané - si jeho existenci neuvědomujete. Místo toho vy i s ostatními Hadičany věříte, že na jednu věc v životě se můžete spolehnout - že totiž váš vesmír má *jeden* rozměr. Je snad něco nad slunce jasnějšího? (Od doby objevů mravence Einsteina Hadičané s oblibou říkají, že jejich vesmír má jeden prostorový a jeden časový rozměr.) ( [Dobrá metoda vědců na ukecávání „ne-Hadičanů“ a na podporu vědeckých hypotéz vědců oproti paskvilům od laiků](#) ) Tahle vlastnost vesmíru je pro Hadičany natolik očividná, že svému domovu říkají Lajnistán, aby zdůraznili jeho jednorozměrnost.

Život v Lajnistánu se od života v České republice značně odlišuje. Vaše tchyně by se se svým tělem kupříkladu do Lajnistánu *nevešla*. Přes veškeré úsilí, s jakým absolvuje odtučňovací kúru, se své trojrozměrnosti nezbaví - neustále má výšku, šířku (zleva doprava) i tloušťku (zezadu dopředu). V Lajnistánu na takové výstřední tvary není místo. Pamatujte, že pokud si stále představujete Lajnistán jako vláknitý objekt v našem vesmíru, měli byste se od této představy oprostit a přemýšlet o této zemi spíše jako o *vesmíru* - tedy o všem, co existuje. V případě žádosti o azyl v Lajnistánu by žadatel musel dokázat, že se tam vejde. Představte si to. Ani když si na sebe vezme tělo mravence, stále se tam nevejde. Svoje mravenčí tělo musí stlačit do tvaru žížaly a ještě mnohem více, aby se zbavil jakékoli tloušťky. Aby se dostal do Lajnistánu, musí se z něj stát tvor, který má *pouze* délku.

Představte si, že jste obyvatelem Lajnistánu a máte oko na obou koncích těla. Lidské oko se může otáčet a hledět do všech tří dimenzí, oči Lajňanů jsou ale odsouzeny hledět navždy jenom do směru jednoho. A *není* to způsobeno anatomickými omezeními vašeho nového těla. Spolu s ostatními Lajňany si spíše uvědomujete, že v důsledku toho, že Lajnistán má jeden jediný rozměr, není jednoduše kam koukat jinam. Dopředu a dozadu - to jsou jediné směry ve vaší nové domovině.

Když se zamyslíte nad životními radostmi Lajňanů, moc jich nenajdete. Pomyslete třeba na Lajňanku, která je na jedné straně od vás. Uvidíte jí do jednoho oka - toho k vám přivráceného -, ale na rozdíl od lidských očí vypadá to její jako jeden bod. Oči Lajňanek nemají žádné rysy a nevyjadřují žádné emoce - na to v Lajnistánu jednoduše není místo. Hledět do bodového oka vaší sousedky navíc musíte napořád. Pokud byste chtěl navštívit končiny dále za ní (nebo pohledět do jejího druhého oka), byl byste zklamán. *Nelze ji obejít.* Lajňanka zcela "blokuje silnici" a v Lajnistánu není žádný prostor, kterým by šlo projít kolem ní. Pořadí Lajňanů, rozestavených podél Lajnistánu, je pevné a neměnné. Smutný život.

Několik tisíc let po zjevení Páně v Lajnistánu, dá Lajňan jménem Kaluza K. Lajn ušlapávaným obyvatelům Lajnistánu novou naději. ( *skromně se já připojuji* ) Možná díky Božímu vnuknutí, možná jako důsledek vysloveného rozčilení z let, kdy musel strnule civět své sousedce do oka, přijde s nápadem, že Lajnistán nakonec vůbec jednorozměrný být nemusí. Co když je Lajnistán dvojrozměrný, teoretizuje, s druhým rozměrem kruhového tvaru, který odhalení unikal jen pro svou titěrnost? Jde dále a načrtne obraz zcela nového života za předpokladu, že se tato kruhová dimenze rozpíná - což je přinejmenším možné podle nedávné práce jeho kolegy Lajnštajna. Kaluza K. Lajn vypráví o vesmíru, který vás i vaše kamarády ohromuje a plní nadějí - o vesmíru, v němž se Lajňané mohou svobodně pohybovat a vzájemně obcházet zásluhou druhé dimenze. Je konec prostorovému zotročování. Uvědomujeme si, že Kaluza K. Lajn popisuje život v "ztloustlém" hadicovém vesmíru.

Kdyby kruhová dimenze rostla a "nafukovala" Lajnistán do tvaru hadicového vesmíru, váš život by se zásadně proměnil. Vezměme třeba vaše tělo. Cokoliv mezi vašimi očima tvoří vnitřek vašeho lajňanského organismu. Vaše oči tedy hrají pro tělo stejnou úlohu, jako pro obyčejného člověka hraje kůže. Jsou hranicí mezi vnitřkem vašeho těla a vnějším světem. Lajnistánský chirurg se k "vnitřnostem" dostane jedině propíchnutím povrchu těla - jinými slovy, operace se zde provádějí skrz oči.

Co se ale stane, má-li Lajnistán tajnou svinutou dimenzi (jak učí Kaluza K. Lajn), která se rozpíná do pozorovatelně velkých rozměrů? Lajňan si pak vaše tělo může prohlížet pod nenulovým úhlem a vidět tak do jeho vnitřku, jak ilustruje obrázek 8.5. Prostřednictvím druhé dimenze může doktor provést operaci přímo na nechráněném vnitřku těla. Jak d'ábelské! Časem by se Lajňanům jistě vyvinula jistá forma kůže, která by chránila nyní obnažený vnitřek těla před vnějšími vlivy. Nepochybně by se tedy z Lajňanů staly bytosti, které mají délku i šířku: plošnice klouzající se po dvojrozměrném hadicovém vesmíru z obrázku 8.6. Kdyby kruhová dimenze narostla zřetelně, podobal by se tento dvojrozměrný vesmír velmi Abbottově Plochosvětě -



pomyslné dvojrozměrné říši, kterou Abbott obdařil bohatým kulturním dědictvím, ba i satirickým kastovním systémem, rozdělujícím obyvatele podle geometrického tvaru. Zatímco je těžké si představit *jakoukoli* zajímavou událost v Lajnistánu - kde na to prostě není dost prostoru -, život na hadici nás zavaluje

Proč bychom měli u dvou rozměrů skončit? Dvojrozměrný vesmír samotný může mít svinutý rozměr, a tedy být tajně trojrozměrný. Znázornit to lze opět obrázkem 8.4, jen nesmíme zapomenout na to, že nyní pracujeme *opravdu* se dvěma velkými rozměry (zatímco když jsme poprvé o obrázku mluvili, měla čtvercová síť reprezentovat *tři* velké dimenze). Pokud by se i tato další kruhová dimenze nafoukla, dvojrozměrná bytost by náhle zjistila, že je ve zcela novém světě, kde turistika není omezena jen na pohyby levo-pravý a předo-zadní. Lze totiž cestovat i nahoru a dolů, ve směru podél kružnice. Kdyby nakonec kruhový rozměr pořádně narostl, mohlo by jít o *naš* trojrozměrný vesmír. Dodnes nevíme, zda jsou všechny tři rozměry našeho vesmíru nekonečné, nebo je alespoň jeden z nich svinutý na gigantickou kružnici, delší, než kam dohlédnou naše nejsilnější teleskopy. Kdyby byl kruhový rozměr z obrázku 8.4 dost velký - miliardy světelných let -, obrázek by mohl znázorňovat i náš reálný svět.

Můžeme teď obměnit otázku z minulého odstavce: Proč bychom měli u tří rozměrů skončit? Tím se už dostáváme ke Kaluzově a Kleinově vizi, že by náš trojrozměrný vesmír mohl mít dříve neočekávanou čtvrtou (svinutou) prostorovou dimenzi. Odpovídá-li tato pozoruhodná možnost nebo její zobecnění na případ několika rozměrů (na které se brzy podíváme) skutečnosti a pokud by se malé rozměry mohly nafouknout do makroskopických rozměrů, je z ménědimenzionálních příkladů jasné, že život by se nesmírně změnil.

Dokonce i když rozměry zůstanou malé a svinuté, bude mít jejich existence překvapivě stále hluboké důsledky.

## Sjednocení ve více rozměrech

Ačkoli Kaluzův nápad z roku 1919, že vesmír je obdařen více rozměry, než které známe, byl pozoruhodný sám o sobě, šťávu mu dodalo jiné pozorování. Einstein formuloval obecnou relativitu pro obvyklý vesmír se třemi prostorovými a jednou časovou dimenzí. Matematický formalismus a rovnice jeho teorie lze ale poměrně přímo zobecnit i na vesmíry s dodatečnými rozměry. Se "skromným" předpokladem jedné nové dimenze prostoru provedl Kaluza matematický rozbor a explicitně odvodil nové rovnice.

Zjistil, že v přepracované formulaci kopírují rovnice týkající se tří obvyklých rozměrů prakticky rovnice Einsteinovy. Nepřekvapí, že díky přidané dimenzi našel Kaluza ještě další rovnice kromě těch, které znal už Einstein. Kaluza své nové rovnice prozkoumal a objevil něco úžasného. Nové rovnice nebyly ničím jiným než rovnicemi, jimiž v osmdesátých letech 19. století popsal Maxwell elektromagnetickou sílu! Přidáním nové dimenze sjednotil Kaluza Einsteinovu teorii gravitace s Maxwellovou teorií světla. ( Přidáním jedné dimenze do teorie světla se rovnice gravitace nelineární srovná s rovnicí Maxwellovou – lineární , která také přejde v nelineární. Parabola se rovná parabole .)

Před Kaluzovým objevem nahlíželi lidé na elektromagnetismus a gravitaci jako na nesouvisející síly; nic dokonce ani nenaznačovalo, že by mezi nimi mohl být nějaký vztah. Díky své odvaze a

tvůrčivosti si Kaluza dokázal představit, že vesmír má skrytý rozměr, a našel tak vztah vskutku hluboký. Jeho teorie hlásala, že gravitace i elektromagnetismus jsou projevem záhybů v struktuře prostoru. Gravitační vlnění v obvyklých třech směrech, zatímco elektromagnetismus je projevem deformací, jichž se účastní nová dimenze. Kaluza svůj rukopis zaslal Einsteinovi. Toho rukopis velmi zaujal. Odepsal Kaluzovi 21. dubna 1919, že ho nikdy nenapadlo, že sjednocení lze dosáhnout přes "pětirozměrný (čtyři prostorové a jeden časový rozměr) válcovitý svět". Dodal, že "na první pohled" se mu tato "myšlenka velmi líbí". <sup>4</sup> Asi po týdnu ale přišel od Einsteina dopis další - a skeptičtější: "Pročetl jsem Váš článek a shledal ho opravdu zajímavým. Nikde nevidím důkaz, že je Váš nápad nemožný. Na druhou stranu musím připustit, že Vámi dosud předložené argumenty se nezdají být dostatečně přesvědčivé." <sup>5</sup> V následujících dvou letech měl ale Einstein dost času Kaluzovy myšlenky vstřebat a 14. října 1921 napsal Kaluzovi znovu: "Přebral jsem si vše v hlavě a lituji toho, že jsem předloni překážel v publikování Vašeho nápadu na sjednocení gravitace a elektromagnetismu. ( [přidání dimenze – jakékoliv v podstatě – do sjednocené rovnice gravitace a elektromagnetismu je totéž jako vyjádřit gravitační konstantu jinak, tedy jako „samotnou veličinu“ s jiným než „zděděným rozměrem“ . G-konstanta není jen číslo, ale současně má „svůj“ rozměr, čili G-je veličina...a pozoruhodné je, že má tvar gravitonu \) Pokud chcete, Váš článek akademii přece jen představím." <sup>6</sup> Sice s opožděním, ale Kaluza nakonec přece jen souhlasné razítko od mistra získal.](#)

Ačkoli idea byla krásná, následné podrobné rozborů Kaluzova návrhu, obohaceného o Kleinovy příspěvky, v ní našly závažné rozpory s experimentálními daty. Nejjednodušší pokusy o začlenění elektronu do teorie předpovídaly vztahy mezi jeho hmotností a nábojem, které se od těch měřených diametrálně lišily. Jelikož nikdo nenašel očividný způsob, jak tenhle problém obejít, ztratili mnozí fyzici, kteří si Kaluzova nápadu všimli, náhle zájem. Einstein s několika dalšími dále pracoval na možnosti svinutých dimenzí, jejich snažení se však záhy ocitlo na periferii teoretické fyziky.

V jistém smyslu Kaluza opravdu předběhl dobu. Dvacátá léta odstartovala éru sílící teoretické i experimentální aktivity týkající se pochopení základních zákonů mikrosvěta. Teoretici měli plné ruce práce, když hledali a konstruovali strukturu kvantové mechaniky a kvantové teorie pole. Experimentátoři museli změřit podrobné vlastnosti atomů a dalších stavebních bloků hmoty. Teorie vedla experiment a experiment pročišťoval teorii, když fyzici půlstoletí mířili ke standardnímu modelu. Není divu, že se v těchto plodných a opojných dobách musely spekulace o skrytých rozměrech spokojit se sedátky daleko vzadu. Fyzici zkoumali mocné kvantové metody, vedoucí k experimentálně testovatelným předpovědím, a měli pramalý zájem o pouhou



možnost, že na velmi krátkých vzdálenostech, nedosažitelných ani nejlepší technikou, by mohl vesmír vypadat zcela jinak.

Dříve nebo později však každý sílící podnik ztratí páru. Na začátku sedmdesátých let už byla struktura standardního modelu objevena. Do začátku osmdesátých let potvrdily experimenty mnoho předpovědí standardního modelu a většina částicových fyziků došla k názoru, že je jen otázkou času, kdy bude potvrzen i zbytek. Byť pár důležitých detailů zůstalo nevyřešeno, mnozí cítili, že nejdůležitější otázky týkající se silné, slabé a elektromagnetické síly byly zodpovězeny.

Dozrála doba, kdy se fyzici mohli vrátit k otázce největší: k záhadnému konfliktu mezi obecnou relativitou a kvantovou mechanikou. Úspěch s formulací kvantové teorie tří ze sil přírody je povzbudil ve snaze připojit i sílu čtvrtou, gravitační. Poté co zkrachovalo mnoho pokusů, otevřela se mysl vědecké komunity více srovnatelně radikálním přístupům. Kaluzova-Kleinova teorie, odsouzená k zapomenutí koncem dvacátých let, byla rehabilitována a vzkříšena.

## Kaluzova-Kleinova teorie v moderním hávu

Chápání fyziky se za šedesát let po Kaluzově původním návrhu značně proměnilo a podstatně prohloubilo. Byla kompletně formulována a experimentálně ověřena kvantová mechanika. Byly objeveny a do značné míry pochopeny síly do dvacátých let neznámé, slabá a silná interakce. Někteří fyzici tvrdili, že neúspěch původního Kaluzova nápadu tkvěl v opomíjení těchto sil, tedy v přílišné *konzervativnosti* v jeho náhledu na prostor. Více sil znamenalo potřebu ještě více dimenzí. Mnozí vysvětlovali, že jediná dodatečná kruhová dimenze sice ukázala náznak spojení mezi obecnou relativitou a elektromagnetismem, nebyla však dostatečná.

V polovině sedmdesátých let se úsilí soustředilo na výzkum vícerozměrných teorií s několika svinutými rozměry. Obrázek 8.7 ilustruje příklad se dvěma dodatečnými rozměry svinutými na povrch míčku - tedy na kulovou plochu (sféru). Stejně jako v případě jediné kruhové dimenze musíme přebytečné rozměry "přišpendlit" ke *každému bodu* obvyklého trojrozměrného prostoru. (V zájmu názornosti jsme sféry opět zakreslili jen do průsečíků v čtvercové síti.) Nemusíme měnit jen počet skrytých dimenzí, ale i jejich tvar. Tak třeba obrázek 8.8 ukazuje další možnost se dvěma přebytečnými rozměry, které tentokrát mají tvar věnečku či pneumatiky - tedy toru (anuloidu). Přestože nás rovina papíru omezuje v kreslení, lze si představit i složitější možnosti se třemi, čtyřmi, pěti či libovolně mnoha skrytými rozměry prostoru svinutými do široké palety exotických tvarů. Základním požadavkem zůstává, aby všechny délky těchto dimenzí byly kratší než nejjemnější vzdálenost, kterou dokážeme rozlišit, jinak bychom už svinuté dimenze odhalili. ( [chcete naznačit, že si skryté dimenze volí sou velikost právě takovou, aby byly pro člověka-pozorovatele ukryty ...?](#) )

Nejslibnější z vícerozměrných teorií byly ty, které zahrnovaly supersymetrii. Fyzici doufali, že částečná

kompensace nejkrutějších kvantových fluktuací, která nastává díky párování částic - supersymetrických partnerů -, pomůže změkčit rozpory mezi gravitací a kvantovou mechanikou. Pro teorie zahrnující gravitaci, dodatečné rozměry a supersymetrii se razil název *vícerozměrná supergravitace*.

Stejně jako Kaluzův původní návrh, i různé odrůdy vícerozměrné supergravitace zprvu vyhlížely velmi slibně. Nové rovnice pocházející ze svinutých rozměrů nápadně připomínaly rovnice elektromagnetické, slabé a silné interakce. Bližší pohled ale ukázal, že staré otázky nezmizely. **Nejdůležitější ale bylo, že zhoubné kvantové kudrlinky prostoru byly supersymetrií zmírněny, ale ne natolik, abychom získali smysluplnou teorii.** *Fyzici navíc shledali, že je obtížné nalézt jedinou a rozumnou vícerozměrnou teorii hmoty a sil.* 7 ( kvantové kudrlinky přechází do stavu „hmota“ a tím jsou vylimínovány )

Postupně se vyjasňovalo, že kousky sjednocené teorie vyplouvají na povrch, ale že lidem chybí jakýsi podstatný klíč, který je všechny spojí dohromady kvantověmechanicky konzistentním způsobem. V roce 1984 tento klíč - teorie strun - dramaticky vstoupil na jeviště a zaujal místo hlavního herce.

## Více rozměrů a teorie strun

V tomto místě už byste měli být přesvědčeni, ( Hold k ukecání přírody to dosud nestačilo, ale k přesvědčení milionů lidí, snad všech lidí na planetě ano, fyzikům stačilo 5 stran A4,... klobouk dolů, já bohužel takové štěstí nemám ) že náš vesmír dodatečné rozměry **mít může**; pokud jsou dostatečně malé, nic je rozhodně nevylučuje. ( tedy teorie a tvrzení se tu mění na slovíčko „může“ a „pokud“ ) Přidání rozměrů vám nicméně může připadat vykonstruované. Naše neschopnost zkoumat vzdálenosti kratší než miliardtina miliardtiny metru připouští nejen dodatečné rozměry, ale i dlouhou řadu ještě výstřednějších možností - mikroskopickou civilizaci zelených pidimužičků nevyjímaje. Zatímco se přidané rozměry jistě zdají být rozumově zdůvodnitelnější než mužičci, postulování obou těchto experimentálně neověřených - a v současnosti neověřitelných - možností zavání stejnou libovůlí.

Tak tomu bylo před zrodem teorie strun. Teorie, která řeší ústřední paradox současné fyziky - neslučitelnost kvantové mechaniky s obecnou relativitou - a která sjednocuje naše chápání všech fundamentálních sil a stavebních kamenů. Aby však tomuto poslání dostála, teorie strun vyžaduje, ( teorie strun si to vyžaduje, co vyžaduje příroda je fuk...že ? ) jak se ukázalo, skryté dimenze vesmíru.

Proč tomu tak je? Jedním z hlavních poznatků kvantové mechaniky je, že naše schopnost předpovídat je omezena na výroky, že ten či onen výsledek nastane s takovou či onakou pravděpodobností. Ačkoli podle Einsteina je tento rys moderní fyziky odpudivý, a pro vás možná také, určitě se zdá, že je to fakt. Přijměme ho. Dále víme, že pravděpodobnosti jsou vždycky čísla mezi nulou a jedničkou - jinými slovy mezi 0 % a 100 %. Fyzici zjistili, že hlavním příznakem nefunkčnosti dané kvantověmechanické teorie jsou "výsledky" mimo tento přijatelný interval. Třeba jsme zmínili, že výrazem ostré neslučitelnosti obecné relativity s kvantovou mechanikou v rámci jazyka bodových částic jsou výpočty vedoucí k nekonečným

pravděpodobnostem. A viděli jsme, že teorie strun tato nekonečna odstraňuje. Zatím jsme ale neřekli, že stále zbývá ještě jeden, o něco jemnější problém. V počátcích teorie strun fyzici občas vypočítali *záporné* pravděpodobnosti, které také přesahují přijatelný interval. Zprvu se tedy zdálo, že teorie strun utonula ve své vlastní horké kvantověmechanické lázni.

S tvrdošíjnou odhodlaností fyzici hledali a nakonec našli původ této nepřijatelné vlastnosti. Vysvětlení začíná jednoduchým pozorováním. Přinutíme-li strunu žít na dvojrozměrném povrchu - třeba na stole nebo v hadicovém vesmíru -, počet nezávislých směrů, v nichž může vibrovat, je omezen na *dva*: zleva doprava a zepředu dozadu podél povrchu. Každý vibrační vzorek je jakousi kombinací kmitů v těchto dvou směrech. To také znamená, že struna v Plochosvětě, v hadicovém vesmíru nebo v jakémkoli jiném dvojrozměrném vesmíru je donucena kmitat celkem ve dvou nezávislých rozměrech prostoru. Jestliže však struně dovolíme se od povrchu odlepit, vzroste počet nezávislých směrů vibrace na tři, protože struna pak může oscilovat i nahoru a dolů. Jinak řečeno, v trojrozměrném vesmíru může struna vibrovat ve třech nezávislých směrech. Pravidlo platí i dále, třebaže se stále hůře znázorňuje - ve vesmíru s více rozměry může totiž struna vibrovat ve více nezávislých směrech.

Tento fakt o vibracích struny zdůrazňujeme proto, že fyzici zjistili, že znepokojující výpočty jsou velmi citlivé ( [protože přidáváním dimenzí střídáte linearitu s nelinearitou](#) ) na počet nezávislých směrů, v nichž struna může kmitat. Záporné pravděpodobnosti pramenily z *nerovnosti* počtu rozměrů, které teorie vyžaduje, a počtu, který zdánlivě nařizovala realita; výpočty ukázaly, že pokud mohou struny vibrovat v *devíti* rozměrech prostoru, všechny záporné pravděpodobnosti zmizí. Teoreticky to zní dobře, ale co s tím? Má-li teorie strun popsat náš reálný trojrozměrný svět, vypadá to, že jsme se problému nezbavili.

Opravdu jsme ho nevyřešili? Vrátime-li se o více než padesát let zpět, zjistíme, že Kaluza s Kleinem východisko nabídli. Jelikož jsou struny tak malé, mohou vibrovat nejen v dlouhých dimenzích prostoru, ale i v dimenzích krátkých a svinutých. Proto *lze* požadavek teorie strun na devět rozměrů prostoru uspokojit v *našem* vesmíru, pokud po vzoru Kaluzy a Kleina předpokládáme existenci šesti svinutých rozměrů vedle tří velkých rozměrů, které známe. A teorie strun, která se zdála být na pokraji vyloučení ze sféry zájmu fyziky, je zachráněna. Navíc místo postulování existence dodatečných rozměrů, k čemuž byli odsouzeni Kaluza s Kleinem i jejich následníci, teorie strun je *vyžaduje*. Aby měla teorie strun smysl, musí mít vesmír devět prostorových rozměrů a jeden časový, dohromady tedy deset dimenzí. Kaluzův nápad z roku 1919 tak nachází nejpřesvědčivějšího a nejmocnějšího spojence.

## Pár otázek

Vnucuje se nám řada otázek. Za prvé. Proč teorie strun, aby se vyhnula nesmyslným záporným pravděpodobnostem, požaduje právě devět rozměrů prostoru? Chceme-li na tuto otázku odpovědět bez matematických výpočtů, je to asi nejobtížnější otázka teorie strun. Přímocharý výpočet v teorii strun k tomuto výsledku vede, nikdo ale nemá intuitivní a nematematické vysvětlení, proč vyjde právě toto číslo. Fyzik Ernest Rutherford jednou pravil, že pokud nedokážete nějaký výsledek vysvětlit jednoduše a bez technického jazyka, tak aby mu porozuměla i barmanka, potom mu pořádně nerozumíte. Nechtěl říct, že je tvrzení špatně; spíše mínil, že nerozumíte jeho původu, významu a důsledkům. Snad to platí i o vícerozměrné povaze teorie strun. (Využijme této příležitosti k vsuvce o klíčovém aspektu druhé superstrunové revoluce, o němž bude řeč v 12. kapitole. Výpočet vedoucí k počtu deseti dimenzí časoprostoru - devíti prostorovým a jedné časové - stojí na *aproximacích*. V polovině devadesátých let poskytl Edward Witten na základě poznatků svých a předchozí práce Michaela Duffa z Texaské A&M univerzity a Chrise Hulla a Paula Townsenda z univerzity v Cambridgi přesvědčivé důkazy pro tvrzení, že přibližný výpočet ve skutečnosti jeden rozměr přehlíží. Teorie strun, hlásal k úžasu většiny teoretiků strun, ve skutečnosti požaduje *deset* prostorových rozměrů a jeden časový, celkem tedy *jedenáct* dimenzí. Až do 12. kapitoly budeme tento důležitý poznatek ignorovat, protože nemá na následující výklad zásadní vliv.)

Za druhé. Pokud z rovnic teorie strun (přesněji z jejich aproximací, provázejících nás před 12. kapitolou) vyplývá, že vesmír má devět prostorových rozměrů a jeden časový, proč je právě šest z nich svinuto, zatímco tři prostorové rozměry a jeden časový ne? Proč nejsou *všechny* svinuté, všechny velké nebo proč se nerealizuje jakákoli jiná možnost uprostřed? Nikdo dnes nezná odpověď. ( „možnost uprostřed“ se realizuje – možná – tak, že vesmír má tři nesvinuté dimenze délkové a tři nesvinuté časové a ostatní dimenze „svinuté“ jsou kompakťkované do hmoty...hmota je takto utvářena, hmota je vlnobalíček se svinutými dimenzemi dvou základních veličin vesmíru ) Odpovídá-li teorie strun skutečnosti, měli bychom nakonec být schopni odpověď odvodit, naše dnešní chápání teorie však k dosažení této mety nestačí. ( *chápání Vám stačí, ale předsudky Vám brání vidět i jiné hypotézy, laické....* ) To neznamena, že by se chrabří fyzici o její zodpovězení nepokoušeli. Například v kosmologickém pohledu si lze představit, že všechny dimenze začínají jako svinuté, ale při explozi na způsob velkého třesku se tři prostorové rozměry a jeden časový nafouknou do jejich dnešní velikosti, zatímco zbylých šest zůstává svinuto. Fyzici se pokoušeli zdůvodnit, proč jsou právě čtyři rozměry časoprostoru velké, jak uvidíme v 14. kapitole, ale je poctivé předeslat, že všechna tato vysvětlení jsou ve fázi zrodu. V dalším textu budeme předpokládat, že kromě tří jsou všechny prostorové dimenze svinuty, v souladu s naším pozorováním okolního světa. Jedním z cílů moderního výzkumu je odvodit tento předpoklad z teorie samotné.

Za třetí. Umožňuje požadavek dodatečných rozměrů přidat dimenze časové místo prostorových? Když se nad tím zamyslíte, pochopíte, že je to myšlenka opravdu podivná.

( Když se nad tím zamyslíte, je podivná, ale když to prostudujete a vyzkoušíte, není o nic víc podivná jako 9 dimenzí délkových + 1 časová. Stále si čas představujete jako impaktovaný artefakt „do vesmíru“. Čas není veličina „pro vesmír“, ale z ní ten vesmír je ... má vlastnosti jako délka tedy coby „antivlastnosti“ ) Všichni jaksi fyzicky **pocítujeme**, že vesmír může mít více rozměrů prostoru, vždyť žijeme v "pluralitním" světě, kde se neustále setkáváme se třemi rozměry. Ale co by znamenalo mít několik časů? ( časů několik ? už z takto vedené logiky je vidět, jak chybná je představa a znalost o tom co čas je ? Čas je veličina a má své dimenze tak jako délka je veličina mající své dimenze .Nemůže tedy být „více časů“ ,ale více dimenzí *časoveličiny* . Chod času, chod jedné dimenze času pozorujeme proto, že je odlišný od etalonu a odvíjí se jedním směrem proto, že je to důsledek prvního vesmírného pravidla tohoto vesmíru tj.  $c^3 = c^3$  se změní tak, že jedno „cé“ změní jmenovatele na levé straně / chod času se rozběhne / symetrie a tím se mění pravá strana symetrie na „hmotový artefakt“ ) Seřazovali bychom psychologicky zážitky podle jednoho z nich, zatímco ostatní časy by byly "jiné"?

Jestliže časovou dimenzi svineme, věci se stanou ještě podivnějšími.( *Vládne dosud nepochopení veličiny „čas“ a jejich dimenzí* ) Pokud mraveneček pochoduje po kruhové prostorové dimenzi, vrátí se po každém cyklu na stejné místo. V tom nic záhadného nespátřujeme, protože jsme zvyklí, že se můžeme na stejné místo vrátit tak často, jak se nám zlíbí. Má-li ale kruhová dimenze časový charakter, obejít ji znamená vrátit se po určité době do *okamžiku v minulosti*.( *Ani Zeměkoule se nevrací ve své dráze kolem Slunce na stejné místo, neb se Sluncem dohromady putuje vesmírem do jiných míst a Z+S spolu putují v Galaxii vesmírem na jiné místo a nikdy už se poloha, původní poloha nevrací...čas, odvíjení času se také nevrací...a přesto „dimenze času“ její odvinutý díl může mít zpětný vektor, ale jen v malém kousku a to v úrovni mikrosvěta, kdy dochází k nepatrnému „cukanečku“ tj. čas jde na malou chvíličku „zpět“ a pak opět >správným< směrem...tento cukaneček je „zdrojem – zárodkem – východiskem – pohnutkou“ (nevím jak to lépe říci ) pro tvorbu-vznik hmoty, hmotových elementů = vlnobalíčků.Je to „přepřátování vln časové dimenze“ ) S tím pochopitelně žádné zkušenosti nemáme. V čase, jak ho známe, se můžeme pohybovat naprosto nevyhnutelně jen v jednom směru ( Jistě, čas se odvíjí v tomto vesmíru jen jako a podle  $v < c$  ,tedy vždy je jmenovatel menší než číselník ( odvíjení je vnímatelné jako jiný chod než etalonový ) a to v důsledku „nepravé rovnováhy“ s hmotou => neexistuje rychlost  $v$  aniž by neexistovala hmota...hmota je důsledkem změny rychlosti  $c$  na  $v$  ) a cesta do minulosti je nám zapovězena.( změna tempa času z „rychlého odvíjení“ na „pomalejší odvíjení“ nám zapovězena není...Tak jako změna ukrajování většího kusu délky kladné za ukrojení menšího kusu délky kladné -> což pak je stejné jako „odečítání“ délek .Ovšem obojí je  $v$  z á j e m n ě závislé. V prostoru, který kolem*

sebe vnímáme umíme vnímat bez rozpaků to když se řekne : vem 11 metrů a odečti od nich 4 metry. 11 metrů je kladných , čtyři metry jsou záporné, s časem to jde podobně : vem 11 sekund a odečti čtyři sekundy. Nikdy nemůžeme otočit chod času ale také nemůžeme otočit „odvíjení metrů“ objektu pohybujícího se vesmírem. Zde je zapotřebí >jiného vnímání<. Chod času jedním směrem se neotočí, naše vnímání rychlosti  $v$  se bude měnit tak, že jmenovatel bude stejný a měnit se bude číselník – ukrajování různých délek za jednotku času...ale to přisouzené tempo času Zemi  $v_z = x_z / t_z$  , je „stálé“ jen pro „neměnnost hmotnosti objektu“ ... $m \cdot v = \text{const.} = m_0 \cdot c$  v nestárnoucím a nerozpínajícím se vesmíru...Říkám to ještě neobratně a nedokonale...)

Svinuté dimenze samozřejmě mohou mít velmi odlišné vlastnosti než obvyklý makroskopický čas, který ubíhá od zrodu vesmíru až po dnešek. ( Svinuté dimenze času jsou „zabudovány“ do hmoty. Tři velké volné dimenze jsou v makrosvětě „normální“ jen jedna z nich je vnímána >svým chodem, svým jiným tempem odvíjení< ) Ve srovnání s prostorovými rozměry by ale nové časové dimenze jistě vyžadovaly ještě **monumentálnější** představbu naší intuice. Někteří teoretici možnost dodatečných časových dimenzí v teorii strun zkoumali, ale jejich dosavadní výsledky zatím nejsou přesvědčivé. V našem povídání o teorii strun budeme opět na "konvenčním" přístupu, v němž mají všechny svinuté dimenze prostorový charakter, ale přitažlivá možnost nových časových dimenzí by mohla v budoucím vývoji fyziky jistou úlohu sehrát. (!)

## Fyzikální důsledky dodatečných rozměrů

Léta bádání, odstartovaná Kaluzovým článkem, ukázala, že byt' musí být dodatečné rozměry dost malé (vždyť jsme je ještě svými přístroji "neviděli"), ovlivňují námi pozorované fyzikální jevy *nepřímo*. V teorii strun je spojení mezi mikroskopickými vlastnostmi prostoru a pozorovanou fyzikou obzvláště zřetelné.

Abychom to pochopili, připomeňme, že hmotnosti a náboje částic odrážejí podle strunové teorie možné rezonance v kmitání strun. Představte si tenkou a drobnou strunu, jak se pohybuje a osciluje, a bude vám jasné, jak její rezonance ovlivňuje okolí. Přirovnajme situaci k vlnám na moři. V dalekých končinách otevřeného oceánu mohou izolované vlny vznikat a cestovat různými způsoby poměrně volně. To se podobá vibračním modům struny, která se pohybuje velkými a rozsáhlými rozměry prostoru. Jak jsme říkali v 6. kapitole, taková struna může v každé chvíli svobodně kmitat v libovolném směru. Když však mořská vlna prochází stěsnanějším prostředím, bude detailní tvar jejího vlnivého pohybu jistě záviset například na hloubce vody, umístění a tvaru smáčených skal či třeba kanálů, jimiž voda protéká. Nebo vzpomeňme kupříkladu na varhanní píšťaly či lesní roh. Zvuky těmito nástroji vyluzované přímo souvisejí s charakterem rezonancí vibrujícího vzduchu proudícího vnitřkem nástrojů; jsou ovlivněny přesným tvarem a velikostí prostorových objektů v oblasti nástroje, kde se vzduch chvěje.



Svinuté rozměry mají podobný dopad na možné druhy vibrací struny. Jelikož struny mohou vibrovat ve všech prostorových směrech, charakter smotání a vzájemného propletení dodatečných rozměrů silně ovlivňuje a omezuje možné rezonance v kmitání struny. Tyto rezonanční mody, do značné míry dané geometrií svinutých rozměrů, rozhodují o vlastnostech částic pozorovaných v obvyklých velkých dimenzích. To znamená, že *geometrie svinutých rozměrů určuje takové základní fyzikální vlastnosti jako hmotnosti a náboje částic, které pozorujeme v trojrozměrném světě každodenního života*. To je natolik hluboký a důležitý bod, že ho ještě zopakujeme. Podle teorie strun je svět utkán z tenkých strun, jejichž rezonance při kmitání jsou mikroskopickou podstatou hmotností a nábojů částic. Teorie strun také vyžaduje dodatečné rozměry, které musí být svinuty do malého prostoru, aby jejich existence neprotiřečila faktu, že jsme je zatím nespatriili. Drobná struna ale dokáže "osahat" i drobný prostor. Když se struna pohybuje a osciluje, geometrický tvar dodatečných rozměrů hraje zásadní roli pro určení rezonančních vibračních modů. Poněvadž se vlastnosti strunných vibrací projevují v podobě hmotností a nábojů elementárních částic, docházíme k závěru, že tyto základní vlastnosti vesmíru jsou do značné míry určeny velikostí a geometrickým tvarem dodatečných dimenzí. To je také jeden z nejdalekosáhlejších poznatků teorie strun.

A protože dodatečné dimenze tak hluboce ovlivňují základní vlastnosti vesmíru, měli bychom se nyní - s nasazením všech svých sil - snažit rozlousknout otázku, jak takové svinuté rozměry vypadají.

## Jak svinuté dimenze vypadají?

Dodatečné rozměry teorie strun nelze "namuchlat" libovolným způsobem; rovnice teorie přísně omezují tvar, který mohou mít. V roce 1984 ukázal Philip Candelas z Texaské univerzity v Austinu, Gary Horowitz a Andrew Strominger z Kalifornské univerzity v Santa Barbaře a Edward Witten, že těmto podmínkám vyhovuje konkrétní množina šestirozměrných tvarů. Na počest dvou matematiků, Eugenia Calabiho z Pennsylvánské univerzity a Shing-Tung Yaua z Harvardovy univerzity, jejichž bádání v příbuzném kontextu, ovšem před teorií strun, sehrálo klíčovou úlohu v chápání těchto prostorů, se jim začalo říkat *Calabiho-Yauovy variety* (nebo *Calabiho-Yauovy tvary* či *prostory*). Ačkoli jsou Calabiho-Yauovy prostory popsány složitou a důvtipnou matematikou, poskytne nám představu o jejich tvaru obrázek. 8

Obrázek 8.9 ukazuje příklad takové Calabiho-Yauovy variety. 9 Při prohlížení obrázku však mějme na paměti jeho omezení. Snažíme se znázornit šestirozměrný tvar na dvojrozměrné ploše papíru, čímž skutečnost značně zkreslujeme. Nicméně z obrázku lze vytěžit hrubou

představu, jak Calabiho-Yauovy prostory vypadají. 10 Tvar z obrázku 8.9 je jen jedním z desetitisíců příkladů Calabiho-Yauových variet, které vyhovují přísným podmínkám pro dodatečné rozměry, kladeným teorií strun. Ačkoli členství v kolektivu o desetitisících členů nezni příliš exkluzivně, musíte ho srovnávat s nekonečným množstvím tvarů, které jsou matematicky možné; v tomto ohledu jsou Calabiho-Yauovy variety opravdu vzácností smetánkou horních deseti tisíc.

Abychom vše shrnuli, je třeba si představit, že na obrázku 8.7 nahradíme každou (dvojměrnou) sféru (šestiměrným) Calabiho-Yauovým prostorem. Tedy v každém bodě obvyklého trojrozměrného prostoru existuje podle tvrzení teorie strun šest dosud nepředvídaných rozměrů, pevně svinutých do jednoho ze složitě vyhlížejících tvarů, jak ukazuje obrázek 8.10. Tyto dimenze jsou nedílnou a všudypřítomnou součástí struktury prostoru; existují všude. Když třeba zamáváte, nepohybujete rukou jen ve třech velkých dimenzích, ale také v šesti svinutých. Samozřejmě že vzhledem k jejich titěrné velikosti je vaše ruka nescílněkrát obepluje a vrátí se vždy do původního bodu. Jejich miniaturní velikost nedává velkým objektům, jako je vaše ruka, příliš prostoru k pohybu - všechny polohy se zprůměrují -, a tak když nakonec připažíte, vůbec si nejste vědomi cesty, kterou jste urazili ve svinutých Calabiho-Yauových rozměrech.

To je ohromující rys teorie strun. Pokud jste prakticky založeni, asi byste teď chtěli diskusi vrátit k nějakému podstatnému a konkrétnímu tématu. Když teď máme lepší představu, jak takové svinuté dimenze vypadají, jaké jsou tedy fyzikální vlastnosti zakódované ve vibrujících strunách jimi se pohybujících a jak tyto vlastnosti srovnat s experimentálními pozorováními? Jak by řekl divák televizní soutěže *Chcete být milionářem?*, tohle je otázka z teorie strun za 640 000 korun.

## Poznámky z konce knihy ke kapitole 8

- 1. Je to jednoduchá myšlenka, ale jelikož nepřesnost běžného jazyka může občas vést k nedorozuměním, neodpustíme si dvě upřesňující poznámky. Za prvé, předpokládáme, že mravenec je přinucen žít na *povrchu* zahradní hadice. Kdyby se mohl prohrabat *dovnitř* hadice, tedy proniknout do kaučuku, z něhož je hadice vyrobena, potřebovali bychom místo dvou čísel tři, abychom jeho pozici určili, neboť bychom museli specifikovat i hloubku, do níž se prohrabal. Když ale mravenec běhá jen po povrchu, stačí nám čísla dvě. Tím se dostáváme k druhé poznámce. I když mravenec žije na povrchu, mohli bychom jeho umístění popsat třemi čísly: pozicí levo-pravou, předo-zadní a výškou v našem obvyklém trojrozměrném prostoru. Jakmile ale víme, že mravenec žije na povrchu, dvě čísla z textu představují *minimální* sumu údajů nutnou na určení pozice mravence; tři čísla nejsou nezávislá. To máme na mysli, když říkáme, že je povrch hadice dvojměrný.
- 2. K obecnému překvapení poukázali fyzici Savas Dimopoulos, Nima Arkani-Hamed a Gia Dvali, vycházejíce z předchozích poznatků Ignatia Antoniadia a Josepha Lykkeny, na skutečnost, že dodatečné svinuté rozměry mohou být až jeden milimetr velké, aniž by to protirečilo faktu, že jsme je zatím experimentálně neodhalili. Příčinou je, že urychlovače částic zkoumají mikrosvět užitím silné, slabé a elektromagnetické síly. Gravitační síla je při technicky dosažitelných energiích neuvěřitelně mdlá, a proto ji lze ignorovat. Ale Dimopoulos si se svými spolupracovníky všiml, že pokud mají dodatečné svinuté dimenze vliv převážně na gravitaci (což je v teorii strun velmi přijatelný předpoklad, jak se ukázalo), existující experimenty je zákonitě musely přehlédnout. Lisa Randallová a Raman Sundrum odhalili posléze ještě jednu možnost, podle které mohou být dodatečné dimenze dokonce nekonečné, pokud jsou vhodně zakřivené (viz též 14.poznámka k 12.kapitole). Připravují se velmi citlivé gravitační experimenty, které se brzy po

takových "velkých" svinutých rozměrech porozhlédnou. Kladný výsledek by byl jedním z největších objevů všech dob.

- 3. Edwin Abbott, *Flatland* (Princeton University Press 1991, Princeton, New Jersey, USA).
- 4. Dopis Einsteina T.Kaluzovi podle citace v knize Abrahama Paisa *Subtle is the Lord: The science and the life of Albert Einstein* (Oxford University Press 1982, Oxford, Anglie), strana 330.
- 5. Einsteinův dopis T.Kaluzovi podle článku D.Freedmana a P.Van Nieuwenhuizena "The hidden dimensions of spacetime" (Skryté rozměry časoprostoru), *Scientific American* 252 (1985), 62.
- 6. Tamtéž.
- 7. Fyzici zjistili, že vlastností standardního modelu nejobtížněji slučitelnou s vícerozměrnou formulací je cosi známé jako *chiralita*. Abychom čtenáře nepřetížili, tento pojem jsme v hlavním textu nerozebírali, ale pro ty, které zajímá, něco řekneme zde. Představte si, že vám někdo promítá film konkrétního fyzikálního experimentu a postaví vás před neobvyklý úkol určit, zda byl experiment natočen přímo, nebo jako odraz v zrcadle. Kameraman byl profesionál a určitě by nezanechal žádné vedlejší známky toho, že užil zrcadlo; také ve filmu nejsou žádná písmena a podobně. Dokážete úkol splnit? V polovině 50.let teoretické poznatky T.D.Lee a C.N.Yanga spolu s experimentálními výsledky C.S.Wu a jejích spolupracovníků ukázaly, že úkol lze vyřešit, pokud byl nafilmován vhodný experiment. Jejich práce tak ukázala, že zákony přírody nejsou dokonale zrcadlově souměrné v tom smyslu, že v zrcadle převrácené verze jistých existujících procesů - konkrétně procesů závislých na slabé síle - v našem světě nemohou nastat. Pokud při sledování filmu spatříte nějaký podobně zakázaný jev, zjistíte tak, že nesledujete původní experiment, nýbrž jeho zrcadlový obraz. Protože zrcadlo zaměňuje levou a pravou ruku, práce Lee, Yanga a Wu odhalily, že vesmír nemá dokonalou souměrnost mezi levou a pravou stranou - ve fyzikální hantýrce, vesmír je *chirální* (podle řeckého slova "cheir", což znamená "ruka"). Začlenit právě tento rys standardního modelu (zvláště slabé síly) do rámce vícerozměrné supergravitace se ukázalo být (před rozvojem teorie strun) prakticky nemožné. Abychom zabránili jednomu nedorozumění, poznamenejme, že v kapitole 10 budeme diskutovat o pojmu teorie strun známém jako "zrcadlitá symetrie", ale tam bude význam slova "zrcadlo" jiný a složitější než zde.
- 8. Pro matematicky zaměřeného čtenáře poznamenejme, že Calabi-Yauova varieta je komplexní Kählerova varieta s první Chernovou třídou rovnou nule. V roce 1957 vyslovil Calabi domněnku, že každá taková varieta připouští Ricci-plochou metriku, a tuto domněnku v roce 1977 dokázal Yau.
- 9. Ilustraci otiskujeme s laskavým svolením Andrew Hansona z Univerzity v Indianě. Byla vyrobena užitím souboru matematických programů *Mathematica 3-D*.
- 10. Pro čtenáře se znalostmi matematiky dodejme, že toto konkrétní znázornění Calabi-Yauovy variety je reálným trojrozměrným řezem kvintické nadplochy (definované rovnicí pátého stupně) v komplexním čtyřrozměrném projektivním prostoru.