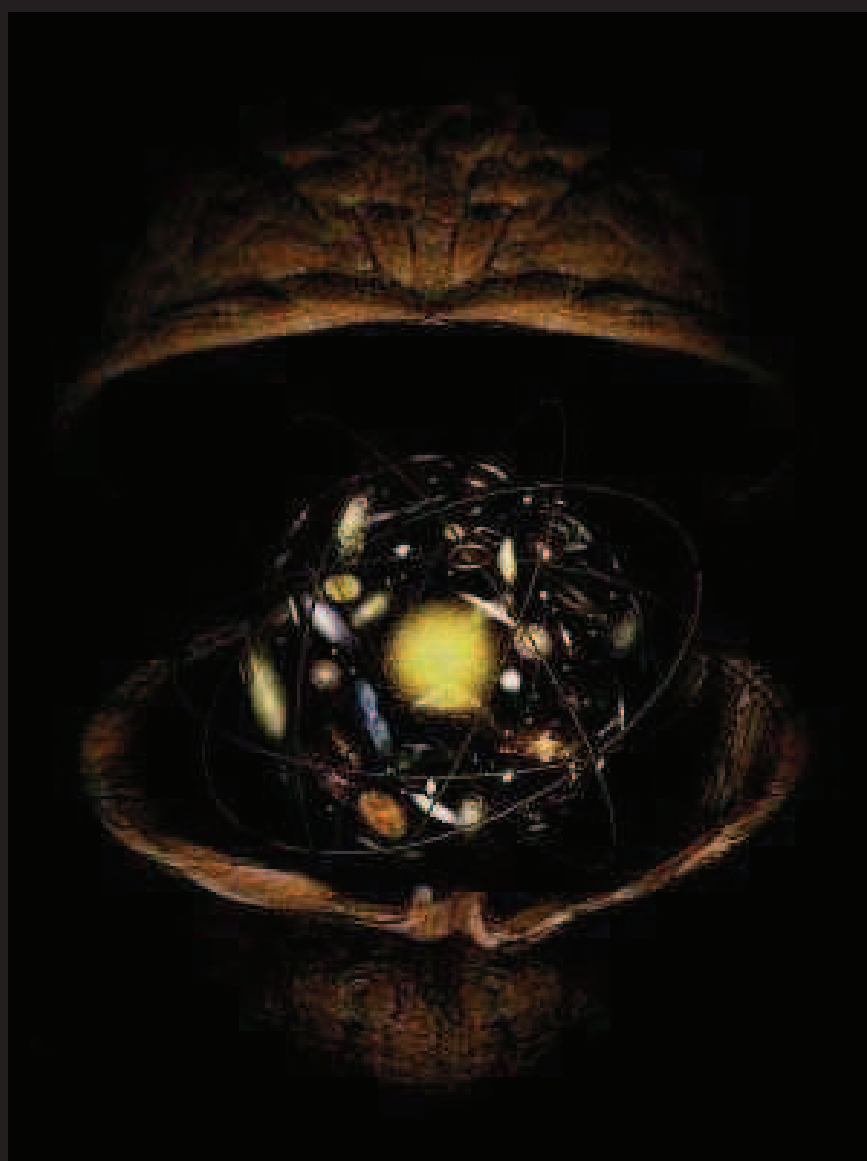


STEPHEN HAWKING

V E S M Í R

v

O R E C H O V E J
Š K R U P I N K E



O B S A H

PREDSLOV

1. KAPITOLA - strana 1

Stručná história relativity

Ako Einstein položil základy dvoch fundamentálnych teórií dvadsiateho storočia: všeobecnej teórie relativity a kvantovej teórie.

2. KAPITOLA - strana 19

Tvar času

Einsteinova všeobecná teória relativity dáva času tvar. Ako to možno dať do súladu s kvantovou teóriou.

3. KAPITOLA - strana 46

Vesmír v orechovej škrupinke

Vesmír má rozmanité histórie, z ktorých každá je určená drobným orieškom.

4. KAPITOLA - strana 70

Predpovedanie budúcnosti

Ako môže strata informácie v čiernych dierach obmedziť našu schopnosť predpovedať budúcnosť

5. KAPITOLA - strana 94

Ochrana minulosti

Je možné cestovanie v čase? Mohla by sa vyspelá civilizácia vrátiť a zmeniť minulosť?

6. KAPITOLA - strana 112

Naša budúcnosť? Star Trek áno alebo nie?

Ako sa bude biologický a elektronický život stále rýchlejšie vyvíjať k čoraz zložitejším štruktúram.

7. KAPITOLA - strana 124

Krásny bránový svet

Žijeme na bráne, alebo sme iba hologramy?

Slovník

Odporúčaná literatúra

PodĎakovanie

Neočakával som, že moja populárnovedecká kniha „*Stručné dejiny času*“ bude taká úspešná. Viac ako štyri roky bola na zozname bestsellerov londýnskych *Sunday Times*, čo je dlhšie ako ktorákoľvek iná kniha. Je to pozoruhodné, ak ide o knihu o vede, ktorá sa nečíta ľahko. Potom sa ma ľudia neustále pýtali, kedy napíšem pokračovanie. Odolával som, lebo som nechcel napísať *Syna stručných dejín času* alebo *O čosi dlhšie dejiny času*, a tiež preto, že som bol zaneprázdnený vedou. Uvedomil som si ale, že je tu priestor pre iný druh knihy, ktorá by mohla byť zrozumiteľnejšia. *Stručné dejiny času* som písal lineárne — tak, že väčšina kapitol na seba logicky naväzuje. To sa niektorým čitateľom páčilo, ale niektorí sa v prvých kapitolách zasekli a nikdy sa nedostali k nasledujúcim, vzrušujúcejším témam. Táto kniha je odlišná tým, že viac pripomína strom: 1. a 2. kapitola tvoria kmeň, z ktorého sa rozvetvujú ostatné kapitoly.

Jednotlivé vetvy sú navzájom pomerne nezávislé a môžete sa im venovať v akomkoľvek poradí, keď ste sa oboznámili s kmeňom. Zodpovedajú oblastiam, v ktorých som pracoval alebo o ktorých som rozmýšľal od vydania *Stručných dejín času*. Zobrazujú teda niektoré z najaktívnejších oblastí súčasného vedeckého výskumu. Aj v rámci každej kapitoly som sa pokúsil vyhnúť jednoduchej lineárnej štruktúre. Ilustrácie a ich komentáre poskytujú alternatívny prístup k textu, podobne ako v *Ilustrovanej stručnej histórii času*, ktorá vyšla v roku 1996. Rámčeky alebo stĺpčeky po bokoch poskytujú ďalšiu príležitosť vniknúť do určitých tém detailnejšie, ako sa to dá v hlavnom texte.

V roku 1988, keď boli prvýkrát publikované *Stručné dejiny času*, sa zdalo, že finálna Teória všetkého sa už vynára spoza obzoru. Ako sa odvtedy zmenila situácia? Sme aspoň o kúsok bližšie k cieľu? Ako sa dozvieme z tejto knihy, medzičasom sme ušli veľký kus cesty. Naša púť však pokračuje a jej koniec je stále v nedohľadne. Ako hovorí stará múdrosť, je lepšie putovať s nádejou, že dorazíme do cieľa, než tam naozaj doraziť. Naša snaha stať sa objaviteľmi podnecuje našu tvorivosť vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti,

nielen vo vede. Keď sa dostaneme na koniec cesty, duch ľudstva vyschne a zahynie. Ale nemyslím si, že sa niekedy zastavíme: naše poznanie bude čoraz komplexnejšie, aj keď možno nie hlbšie, a vždy budeme stredom rozširujúceho sa horizontu možností.

Chcem sa podeliť so svojim vzrušením, čo zažívam pri objavoch, ktoré sa práve robia, a pri obraze skutočnosti, ktorý sa pritom vynára. Sústredil som sa na oblasti, v ktorých som sám pracoval, pre väčší pocit bezprostredného zážitku. Detaily práce sú veľmi náročné, ale verím, že v hrubých rysoch sa dajú sprostredkovať i bez množstva matematickej príťaž. Zostáva mi len dúfať, že sa mi to podarilo.

S touto knihou mi pomáhalo veľa ľudí. Predovšetkým by som chcel spomenúť Thomasa Hertoga a Neela Shearera za pomoc s obrázkami, textami k nim a rámčekmi, Annu Harrisovú a Kitty Fergusonovú, ktoré upravovali rukopis (alebo presnejšie, počítačové súbory, pretože všetko, čo napíšem, je v elektronickej forme) a Philipa Dunna z Book Laboratory a Moonrunner Design, ktorý vytvoril ilustrácie. Okrem toho chcem poďakovať všetkým tým, ktorí mi umožnili viesť pomerne normálny život a pracovať vo vedeckom výskume. Bez nich by som totiž túto knihu nemohol napísať.

Stephen Hawking
Cambridge 2. máj 2001



Stephen Hawking
v roku 2001

1. KAPITOLA

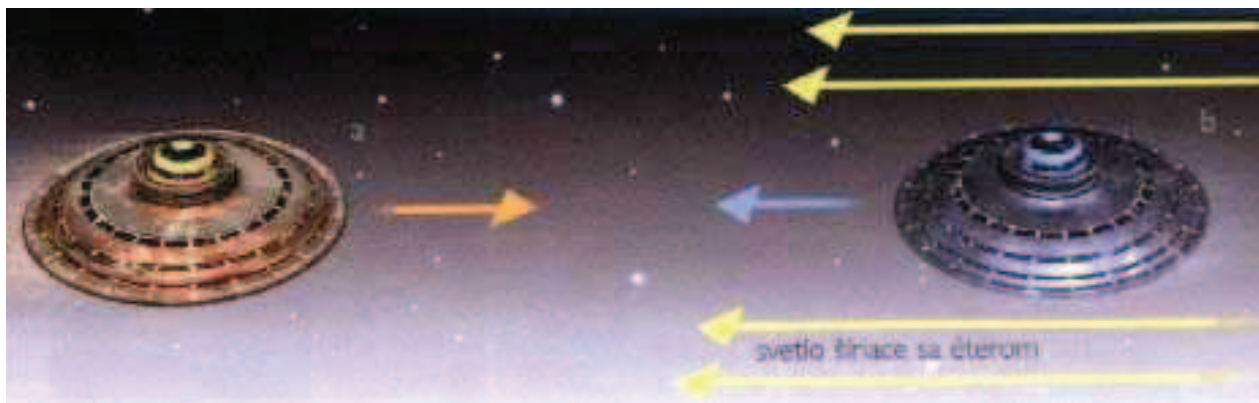
STRUČNÁ HISTÓRIA RELATIVITY

Ako Einstein položil základy dvoch fundamentálnych teórií
Dvadsiateho storočia: všeobecnej teórie relativity a kvantovej teórie



ALBERT EINSTEIN, objaviteľ špeciálnej a všeobecnej teórie relativity, sa narodil v Nemecku, v meste Ulm v roku 1879, ale hneď v nasledujúcom roku sa rodina presťahovala do Mníchova, kde si jeho otec Hermann so strýkom Jakobom založili malý a nie veľmi prosperujúci podnik s elektrotechnickým tovarom. Albert nebol žiadne zázračné dieťa, ale tvrdenia, že v škole mal mizerné výsledky, sú prehnané. V roku 1894 podnik jeho otca už skrachoval a rodina sa preto presťahovala do Milána. Rodičia rozhodli, že by nemal pred dokončením opustiť školu, ale Albertovi sa autoritatívny prístup školy nepáčil a po pár mesiacoch zo školy odišiel, aby sa pripojil k rodine v Taliansku. Vzdelanie si doplnil neskôr, keď v roku 1900 získal absolventský diplom na vysoko uznávanej Konfederálnej vysokej škole technickej (Eidgenössische Technische Hochschule) v Zürichu, známej ako ETH. Jeho konfrontačná povaha a neúcta k autoritám mu, samozrejme, u profesorov na ETH nezvýšila popularitu a žiadny z nich mu neponúkol funkciu asistenta, čo bol bežný štart do vedeckej kariéry. Konečne o dva roky neskôr získal miesto referenta vo Švajčiarskom patentovom úrade v Berne. Práve tu v roku 1905 napísal tri práce, ktoré ho zaradili medzi popredných svetových vedcov a súčasne odštartovali dve veľké pojmové revolúcie - revolúcie, ktoré zmenili naše predstavy o čase, priestore i o samotnej realite.

Na sklonku 19. storočia vedci verili, že už nie sú ďaleko od úplného opisu vesmíru. Predstavovali si, že priestor je vyplnený látkou nazývanou „éter“. Lúče svetla a rádiové signály sú v tomto éteri vlnením práve tak, ako je zvuk tlakovou vlnou vo vzduchu. Všetko, čo bolo ešte potrebné na skompletizovanie teórie, boli precízne merania pružných vlastností éteru. Na Harvardskej univerzite, keď sa pripravovali na tieto experimenty, vybudovali Jeffersonove laboratóriá bez použitia akýchkoľvek kovových klincov, aby nedochádzalo k rušivým efektom pri precíznych magnetických meraniach. Projektanti však zabudli, že červenokastohnedé tehly, z ktorých je laboratórium a väčšina Harvardu postavená, majú vysoký obsah železa. Budova sa aj dnes používa, aj keď si vedenie Harvardu nie je stále isté, aké veľké zaťaženie ešte znesie knižničné prízemie bez kovových klincov.



svetlo šíriace sa éterom

(OBR. 1.1. hore)
TEÓRIA NEHYBNÉHO
ÉTERU

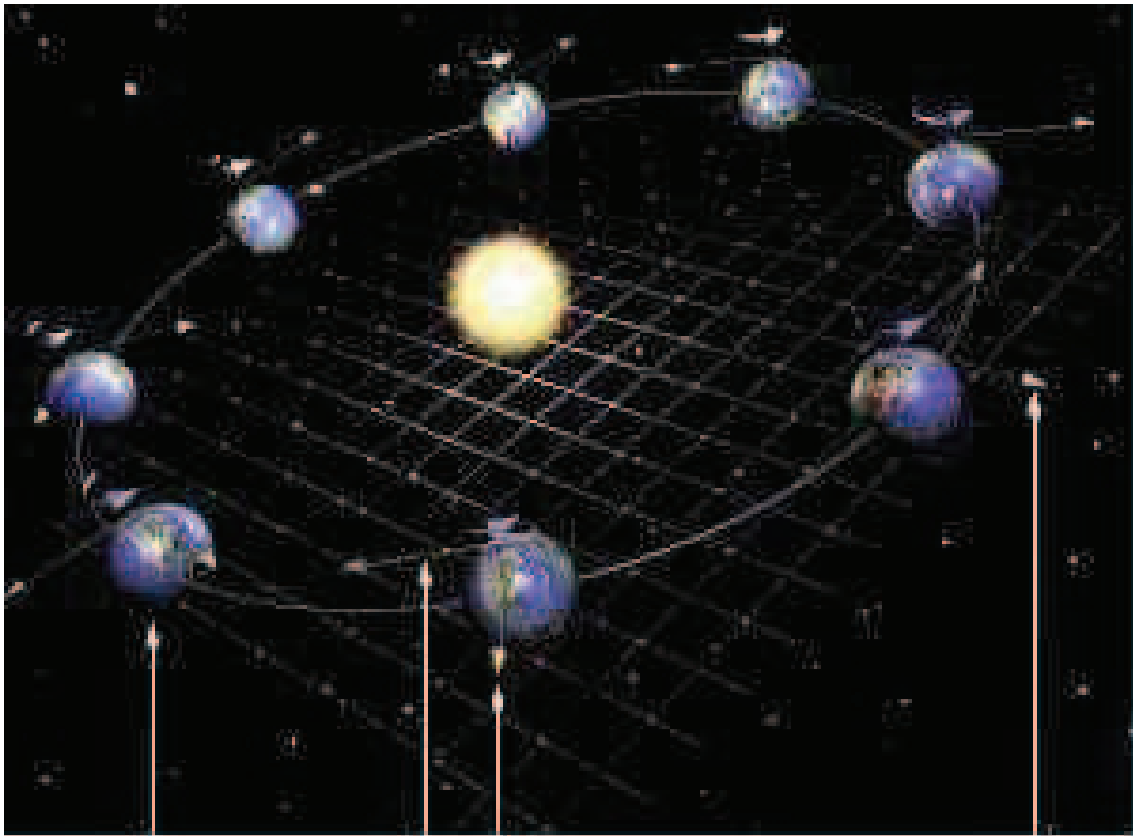
Ak by bolo svetlo vlnenie pružného prostredia nazývaného éter; rýchlosť svetla by sa javila vyššia pre pozorovateľa v kozmickej lodi (a) pohybujúcej sa smerom k nemu, ale nižšia pre toho, ktorý je na lodi (b) idúcej v tom istom smere ako svetlo.

(OBR. 1.2. dole)

Pri meraní rýchlosti svetla v smere obežného pohybu Zeme a v smere kolmom na tento pohyb sa medzi nameranými hodnotami nenašiel nijaký rozdiel.

Ku koncu storočia sa začali objavovať rozpory v predstave všetko prenikajúceho éteru. Očakávalo sa, že ak by sa svetlo v éteri šírilo konštantnou rýchlosťou a vy by ste cestovali éterom rovnakým smerom ako svetlo, jeho rýchlosť by sa mala javiť nižšia, ale ak by ste cestovali opačným smerom ako svetlo, jeho rýchlosť by mala byť vyššia (obr. 1.1).

Séria experimentov na podporu tejto myšlienky vyšla naprázdno. Najstarostlivejší a najpresnejší z experimentov vykonali v roku 1887 Albert Michelson a Edward Morley v Caseovej škole aplikovaných vied (Case School of Applied Science) v Clevelande, v Ohio. Porovnali rýchlosť dvoch lúčov svetla, ktoré boli na seba navzájom kolmé. Pretože sa Zem otáča okolo svojej osi a obieha okolo Slnka, experimentálna aparátúra sa pohybuje éterom s premenlivou rýchlosťou a v rôznych smeroch (obr. 1.2). Michelson a Morley však nenašli žiadne denné alebo ročné rozdiely medzi dvoma lúčami svetla. Vyzeralo to, akoby sa svetlo šírilo stále tou istou rýchlosťou vzhľadom na pozorovateľ



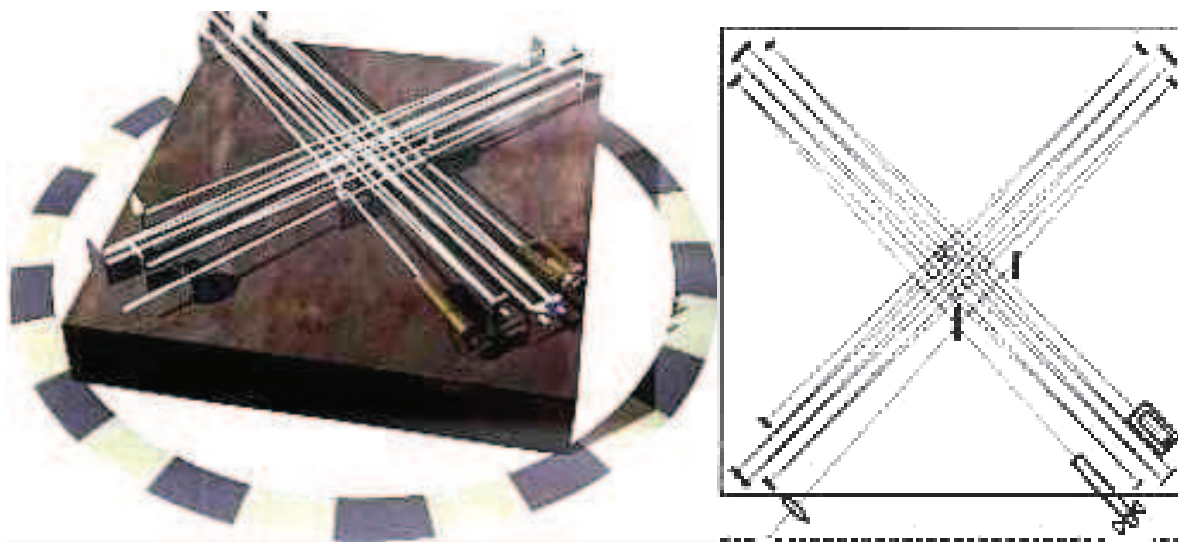
Zem rotuje okolo svojej osi od západu na východ.

Svetlo dopadá pod pravým uhlom k obežnej dráhe Zeme okolo Slnka

Navzájom kolmé lúče svetla sa ani po otočení Zeme nelíšia svojou rýchlosťou.

bez ohľadu na to, ako rýchlo a akým smerom sa pohybuje (obr. 1.3.).

Na základe Michelsonovho-Morleyho experimentu írsky fyzik George FitzGerald a holandský fyzik Hendrik Lorentz navrhli, že telesá prechádzajúce éterom by sa mali skracovať a hodiny spomaľovať. Táto kontrakcia a spomaľovanie chodu hodín by malo byť také, že všetci ľudia by namerali rovnakú rýchlosť svetla, bez ohľadu na ich relatívny pohyb vzhľadom na éter. (FitzGerald a Lorentz stále považovali éter za reálnu látku.) Einstein v článku, ktorý napísal v júni 1905, však poukázal na to, že ak sa nedá zistiť, či sa niečo priestorom pohybuje alebo nie, potom je hypotéza éteru nadbytočná. Namiesto toho vychádzal z postulátu, podľa ktorého by sa fyzikálne zákony mali javiť rovnako pre všetkých voľne sa pohybujúcich pozorovateľov. Medziiným by všetci mali namerať tú istú rýchlosť svetla bez ohľadu na to, ako rýchlo by sa pohybovali.



(OBR. 1.3) MERANIE RÝCHLOSTI SVETLA

V Michelsonovom-Morleyho interferometri svetlo putujúce zo zdroja sa po odraze na čiastočne postriebrenom zrkadle rozštiepi na dva lúče. Tieto dva lúče sa pohybujú vzájomne v kolmom smere a potom ich čiastočne postriebrené zrkadlo opäť spojí do jedného zväzku. Rozdiel v rýchlosti svetla, ktoré sa šíri v týchto dvoch smeroch, by znamenal, že hrebene vlny v jednom lúči dorazili v tom istom čase ako údolia vlny v druhom

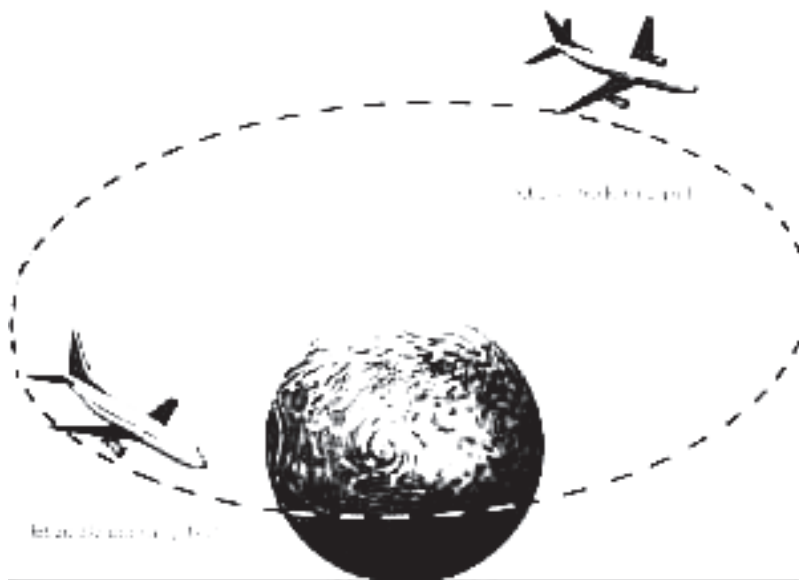
lúči a oba lúče by sa eliminovali.

Vpravo: Náčrt experimentu zrekonštruovaný podľa predlohy, ktorá sa objavila v Scientific American v roku 1887.

Rýchlosť svetla je nezávislá od ich pohybu a je vo všetkých smeroch rovnaká.

To si vyžadovalo opustiť predstavu, podľa ktorej existuje univerzálna veličina nazývaná čas, ktorú merajú všetky hodiny. Namiesto toho má každý svoj vlastný, osobný čas. Časy dvoch ľudí sa zhodujú, iba ak sú títo ľudia vzhľadom na seba v pokoji, ale nie vtedy, ak sa voči sebe pohybujú.

Potvrdili to mnohé pokusy vrátane toho, keď dvojice presných hodín letelo okolo zemegule v opačných smeroch a vrátilo sa s trocha rozdielnymi časmi (obr. 1.4). To by mohlo naznačovať, že ak by niekto chcel žiť dlhšie, mal by letieť smerom na východ, aby sa rýchlosť lietadla a rotačná rýchlosť Zeme sčítavali. Avšak ten nepatrný zlomok sekundy, ktorý by sa takto získal, by vyšiel navnivoč pre konzumáciu jedál na palube lietadla.



Na hodinách v lietadle letiacom smerom na západ uplynie viac času, ako na hodinách pohybujúcich sa opačným smerom.

Časový interval pre cestujúcich v lietadle letiacom na východ je menší, ako pre pasažierov v lietadle idúcom smerom na západ.

(OBR. 1.4, hore)

Jedna verzia paradoxu dvojčiat (obr 1.5.) sa experimentálne overovala letom dvoch presných hodín okolo zemegule v opačných smeroch.

Keď sa hodiny opäť stretli, tie, ktoré leteli na východ, namerali o máličko kratší čas letu.

Einsteinov postulát, že prírodné zákony by mali byť rovnaké pre všetkých pozorovateľov, ktorí sa vzhľadom k sebe pohybujú rovnomerne a priamočiara, bol základom teórie relativity, nazvanej tak preto, lebo tvrdila, že dôležitý je iba relatívny pohyb. Jej krása a jednoduchosť presvedčila mnohých mysliteľov, ale našlo sa aj mnoho oponentov. Einstein zavrhol dve absolútna vedy 19. storočia: absolútny pokoj, predstavovaný éterom, a absolútny alebo univerzálny čas, ktorý mali merať všetky hodiny. Pre mnohých ľudí to však bola znepokojujúca predstava. Pýtali sa, či to znamená, že *všetko* je relatívne, že neexistujú žiadne absolútne morálne normy. Tieto rozpaky trvali po celé 20. a 30. roky minulého storočia. Nobelovu cenu udelili Einsteinovi v roku 1921 za dôležitú, ale (vzhľadom na jeho úroveň) relatívne nevýznamnú prácu predloženú tiež v roku 1905. Nebola tu žiadna zmienka o relativite, ktorú vtedy považovali za príliš kontroverznú. (Ešte stále dostávam dva alebo tri listy týždenne, v ktorých mi oznamujú, že sa Einstein mýlil.) Avšak vedecká komunita dnes úplne akceptuje teóriu relativity a jej predpovede sa overili v nespočetných aplikáciách.



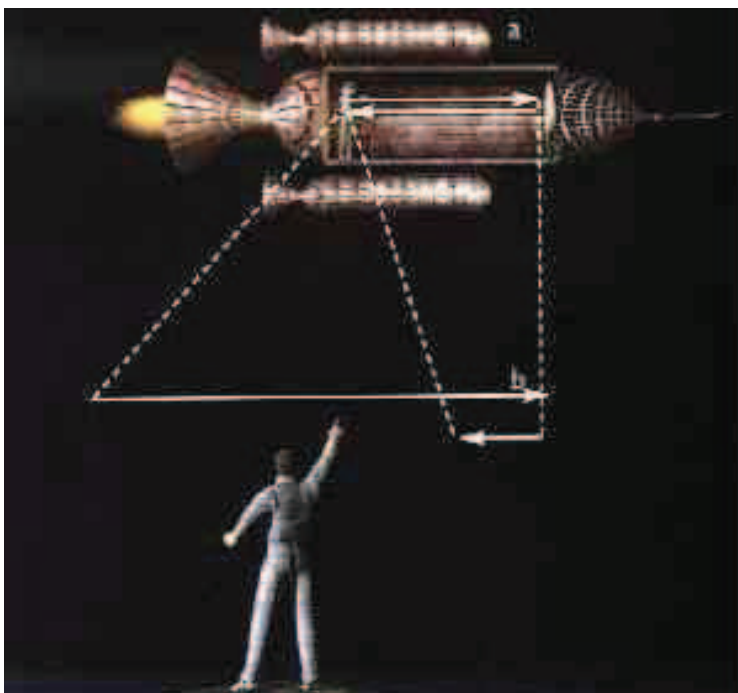
(OBR. 1.5, vľavo)
PARADOX DVOJČIAT

V teórii relativity má každý pozorovateľ svoju vlastnú rýchlosť plynutia času. To nás môže do viesť k tzv. paradoxu dvojčiat.

Jedno z dvojčiat (**a**) sa vydá na dlhú kozmickú púť, počas ktorej cestuje rýchlosťou blízkou rýchlosti svetla (**c**), zatiaľ čo jeho brat (**b**) ostáva na Zemi.

V dôsledku pohybu dvojčiat (**a**) dvojčata pripútané k Zemi vidí, že čas v kozmickej lodi plynie pomalšie. Preto kozmický cestovateľ (**a2**) pri svojom návrate zistí, že jeho brat (**b2**) zostarol viac ako on sám.

Aj keď sa to zdá proti zdravému rozumu, množstvo experimentov potvrdilo, že cestujúce dvojčata by bolo v tomto scenári skutočne mladšie.



(OBR. 1.6. vľavo)

Kozmická loď míňa Zem zľava doprava $4/5$ rýchlosťou svetla. Svetelný záblesk vyslaný z jedného konca kabíny sa odrazil na jej druhom konci (a).

Svetlo pozorujú ľudia na Zemi i na kozmickej lodi. V dôsledku pohybu kozmickej lode sa nezhodnú na vzdialenosti, ktorú prekonal lúč (b).

Teda sa musia líšiť aj v určení času, počas ktorého sa svetlo šírilo, keďže Einstein postuloval, že rýchlosť svetla je rovnaká pre všetkých voľne sa pohybujúcich pozorovateľov.

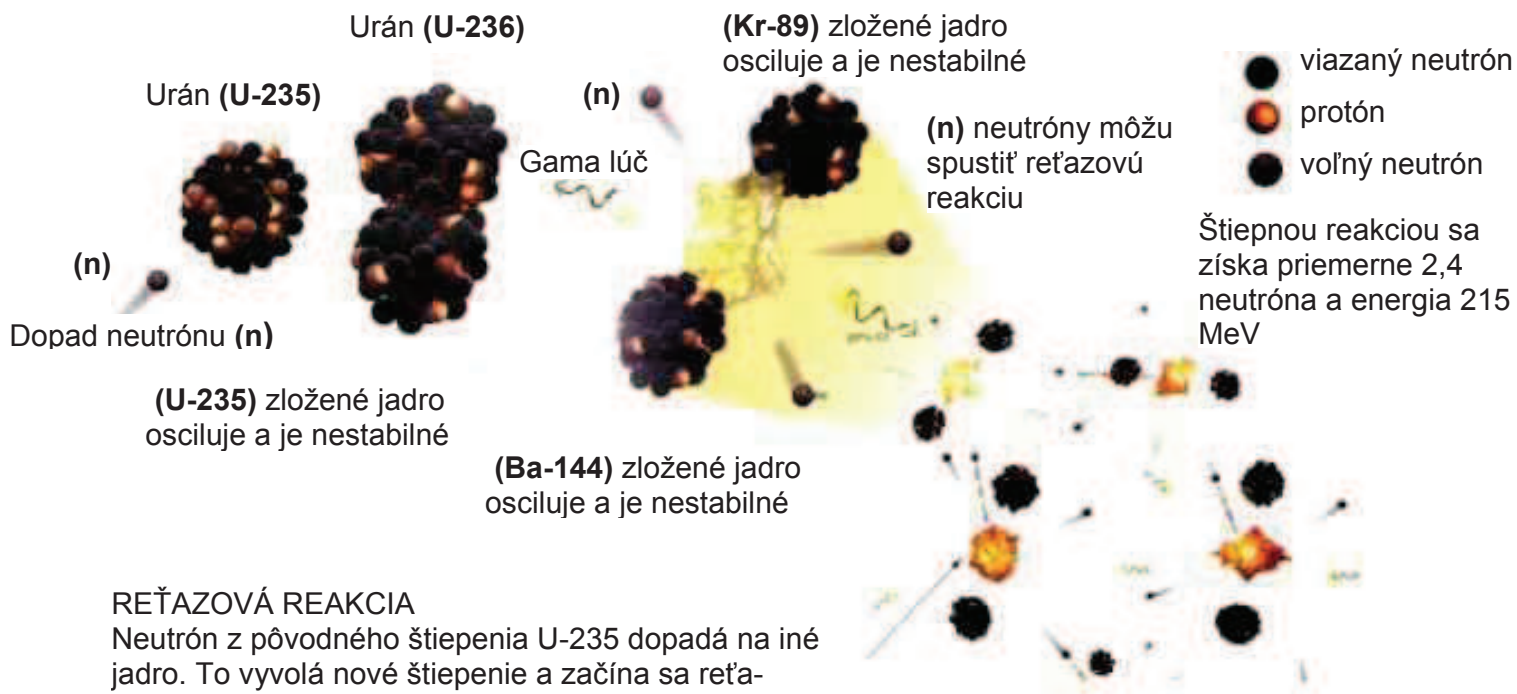
Veľmi dôležitým dôsledkom teórie relativity je vzťah medzi hmotnosťou a energiou. Einsteinov postulát, že rýchlosť svetla by mala byť pre každého rovnaká, má za následok, že nič sa nemôže pohybovať rýchlejšie ako svetlo. Ide o to, že keď dodávame energiu na zrýchlenie hocičoho, či už častíc alebo kozmickej lode, hmotnosť zrýchľovaného objektu narastá a je stále ťažšie ďalej zvyšovať jeho rýchlosť. Zrýchliť časticu až na rýchlosť svetla by bolo nemožné, pretože by sme jej museli dodať nekonečné množstvo energie. Hmotnosť a energia sú ekvivalentné, ako to vyjadruje známa Einsteinova rovnica $E = mc^2$. Je to asi jediná rovnica vo fyzike, ktorú pozná každý. Vďaka nej sme si medziiným uvedomili, že štiepenie jadra atómu uránu na dve jadrá s o niečo menšou celkovou hmotnosťou vyvolá uvoľnenie obrovského množstva energie.

V roku 1939, keď sa na obzore objavila hrozba ďalšej svetovej vojny, skupina vedcov vedomá si tohto dôsledku presvedčila Einsteina, aby prekonal svoje pacifistické výhrady a svojou autoritou podporil list prezidentovi Rooseveltovi, v ktorom naliehali, aby Spojené štáty odštartovali program jadrového výskumu.

To viedlo k projektu Manhattan a nakoniec k bombám, ktoré v roku 1945 vybuchli nad Hirošimou a Nagasaki. Mnohí ľudia za výrobu atómovej bomby vinili Einsteina, pretože objavil vzťah medzi hmotou a energiou; ale je to, akoby sme obviňovali Newtona za havárie lietadiel, pretože objavil gravitáciu. Einstein nemal žiadnu účasť v projekte Manhattan a zvrhnutím bomby bol zhrozený.

Svojimi priekopníckymi prácami v roku 1905 si Einstein vybudoval povest' významného vedca. Až v roku 1909 mu ponúkli miesto na univerzite v Zürichu a mohol odísť zo Švajčiarskeho patentového úradu. O dva roky neskôr prešiel na Nemeckú univerzitu v Prahe, no v roku 1912 sa opäť vrátil do Zürichu, tentoraz na ETH.

EINSTEINOV PROROCKÝ LIST PREZIDENTOVI ROOSVELTOVI VROKU 1939
„V priebehu posledných štyroch mesiacov sa ukázalo - vďaka prácam Joliot a Szilárda v Amerike -že bude pravdepodobne možné spustiť reťazovú jadrovú reakciu s veľkým množstvom uránu, pri ktorej sa vytvorí obrovské množstvo energie a veľa nových prvkov podobných rádiu. Dnes sa zdá takmer isté, že sa to môže podariť už v bezprostrednej budúcnosti. Tento nový jav by tiež viedol k výrobe bômb a možno si predstaviť - hoci s omnoho menšou istotou - že takto sa dajú vyrobiť mimoriadne účinné bomby nového typu.“



REŤAZOVÁ REAKCIA

Neutrón z pôvodného štiepenia U-235 dopadá na iné jadro. To vyvolá nové štiepenie a začína sa reťazová reakcia ďalších zrážok.

Ak sa reakcia udržuje sama, nazýva sa „kritickou“ a hmotnosti U-235 sa hovorí „kritická hmotnosť“.

(OBR. 1.8) VÄZBOVÁ ENERGIA JADRA

Jadrá sa skladajú z protónov a neutrónov, ktoré drží pospolu silná jadrová interakcia. Avšak hmotnosť jadra je vždy menšia, ako súčet hmotností jednotlivých protónov a neutrónov, ktoré ho tvoria. Rozdiel je mierou väzbovej jadrovej energie, ktorá drží jadro pokope. Táto väzbová energia sa dá určiť z Einsteinovho vzťahu; väzbová energia jadra = $\Delta m \cdot c^2$, kde Δm je rozdiel medzi hmotnosťou jadra a súčtom individuálnych hmotností jeho zložiek. Práve uvoľnenie tejto potenciálnej energie vytvára ničivú výbušnú silu jadrového zariadenia.

Napriek antisemitizmu, ktorý bol veľmi rozšírený v Európe, dokonca aj na univerzitách, bol Einstein už vtedy vysokocenenou akademickou osobnosťou. Ponuky prišli z Viedne a Utrechtu, ale on si vybral vedecké miesto na Pruskej akadémii vied v Berlíne, lebo to ho oslobodzovalo od pedagogických povinností. V apríli 1914 sa presťahoval do Berlína a onedlho sa k nemu pripojila jeho žena s dvoma synmi. Manželstvo však už bolo určitý čas v kríze a jeho rodina sa čoskoro vrátila do Zürichu. Hoci ich príležitostne navštevoval, nakoniec sa so ženou rozviedli. Neskôr sa Einstein oženil so svojou sesternicou Elzou, ktorá žila v Berlíne. Skutočnosť, že vojnové roky strávil ako neženatý muž bez domácich záväzkov, bola azda jedna z príčin, prečo toto obdobie bolo pre neho také vedecky plodné.

Hoci teória relativity bola v súlade so zákonmi, ktorými sa riadila elektrina a magnetizmus, nebola kompatibilná so zákonom

Newtonovej gravitácie. Tento zákon hovoril, že ak sa zmení rozdelenie hmoty v jednej oblasti priestoru, zmena gravitačného poľa sa okamžite prejaví kdekoľvek inde vo vesmíre. To by znamenalo nielen to, že by sa signály mohli šíriť rýchlejšie ako svetlo (čosi, čo relativita nepripúšťa); aby vôbec malo zmysel slovo „okamžitý“, museli by sme prijať aj existenciu absolútneho alebo univerzálneho času, ktorý už relativita zavrhol v prospech osobného času.

Túto ťažkosť si Einstein uvedomoval už v roku 1907, keď ešte pracoval v patentovom úrade v Berne, ale až v roku 1911 v Prahe sa týmto problémom začal vážne zaoberať. Uvedomil si, že existuje blízky vzťah medzi zrýchlením a gravitačným poľom. Niekoľko v uzavretej kabíne, napríklad vo výťahu, by nedokázal rozlíšiť, či je kabína v gravitačnom poli Zeme v pokoji, alebo či je vo voľnom kozmickom priestore urýchľovaná raketou. (Toto bolo ešte pred érou *Star Treku*, a tak Einstein prirodzene uvažoval o ľuďoch vo výťahoch, a nie v kozmických lodiach.) Človek však nemôže byť urýchľovaný alebo voľne padať vo výťahu príliš dlho, lebo skôr či neskôr dôjde ku katastrofe (obr. 1.9).



(OBR. 1.9)

Pozorovateľ v kabíne nemôže rozlíšiť, či je v stojacom výťahu na Zemi **(a)**, alebo je urýchľovaný na rakete vo voľnom kozmickom priestore **(b)**.

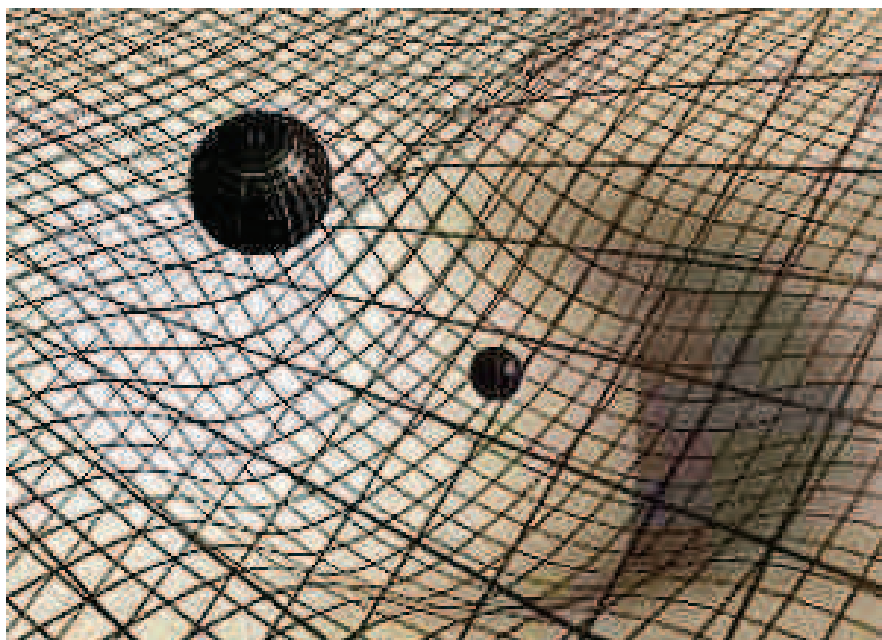
Ak je motor rakety vypnutý **(c)**, zdá sa mu, akoby výťah padal voľným pádom na dno šachty **(d)**.

Ak by bola Zem plochá, mohli by sme rovnako dobre povedať, že jablko padlo na Newtonovu hlavu pôsobením gravitácie, alebo že Newton a povrch Zeme boli urýchľované smerom nahor (obr. 1.10). Zdá sa však, že táto ekvivalencia medzi zrýchlením a príťažlivosťou pre guľatú Zem neplatí — ľudia na opačných stranách zemegule by museli získať zrýchlenie v opačných smeroch, pričom ich vzájomná vzdialenosť by mala zostať rovnaká (obr. 1.11).



Ak by bola Zem plochá (obr. 1,10 vľavo hore) mohlo by sa hovoriť, že jablko padlo Newtonovi na hlavu vplyvom gravitácie, ale aj to, že Zem a Newton boli zrýchlení smerom nahor. Táto ekvivalencia ale naplatí na sférickej Zemi (obr. 1,11 vľavo dole), pretože ľudia na jej opačných stranách by sa od seba navzájom vzdalovali. Einstein tento problém prekonal tým, že zakrivil priestor a čas.

Einstein pri svojom návrate do Zürichu v roku 1912 zažil okamih inšpirácie, keď si uvedomil, že ekvivalencia by mohla platiť, ak by bol priestoročas zakrivený, a nie plochý, ako sa dovtedy predpokladalo. Jeho predstava bola, že hmota a energia deformujú priestoročas spôsobom, ktorý mal byť ešte len určený. Objekty ako jablká alebo planéty majú snahu pohybovať sa priestoročasom po priamkach, ale ich dráhy vyzerajú zahnuté pôsobením gravitačného poľa, pretože priestoročas je zakrivený (obr. 1.12).



(OBR. 1.12) PRIESTOROČASOVÉ KRIVKY

Zrýchlenie a gravitácia môžu byť rovnocenné, iba ak hmotné teleso zakriví priestoročas, a tým zakriví aj dráhy objektov vo svojom okolí.

Pomocou svojho priateľa Marcela Grossmanna skúmal Einstein teóriu zakrivených priestorov a plôch, ktorú už predtým rozpracoval Georg Friedrich Riemann. Riemann však uvažoval iba o zakrivenom priestore. Aby sme sa dovtípili, že zakrivený je v skutočnosti priestoročas, na to bolo treba Einsteina. Einstein s Grossmannom napísali v roku 1913 spoločný článok, v ktorom prišli s myšlienkou, že to, čo chápeme ako gravitačné sily, je iba vyjadrenie skutočnosti, že priestoročas je zakrivený. Avšak kvôli Einsteinovmu omylu (aj on bol iba človek) neboli schopní odvodiť rovnice, ktoré by dávali do súvisu krivosť priestoročasu s hmotou a energiou. Einstein pokračoval v práci nad problémom v Berlíne, nerušený rodinnými záležitosťami a z veľkej miery ani neovplyvnený vojnou, až konečne v novembri 1915 našiel správne rovnice. Už v lete roku 1915 počas návštevy na univerzite v Göttingene konzultoval svoje názory s matematikom Davidom Hilbertom, ktorý nezávisle našiel tie isté rovnice pár dní pred Einsteinom. Napriek tomu, ako priznal sám Hilbert, zásluha za vznik novej teórie patrí Einsteinovi. Bola to jeho myšlienka uviesť do súvisu gravitáciu a deformovaný priestoročas. Treba oceniť civilizované pomery v Nemecku tej doby, že takéto diskusie a výmeny názorov mohli nerušene pokračovať aj v čase vojny. Bolo to v príkrom rozpore s podmienkami panujúcimi o dvadsať rokov neskôr, v ére nacizmu.

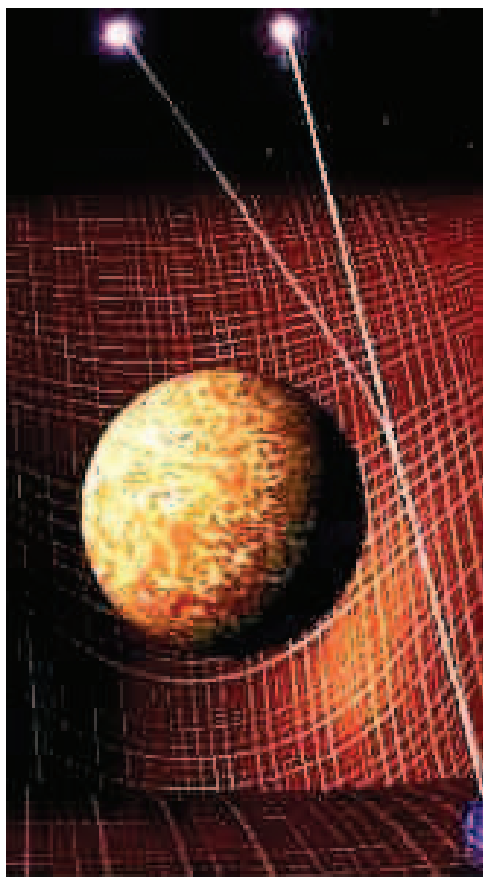
Nová teória zakriveného priestoročasu dostala názov všeobecná teória relativity, aby sa odlíšila od pôvodnej teórie bez gravitácie,

ktorá bola vtedy známa ako špeciálna teória relativity. Senzačným spôsobom bola potvrdená v roku 1919, keď britská expedícia v západnej Afrike pozorovala mierny ohyb lúčov vyslaných z hviezd a prechádzajúcich blízko Slnka počas jeho úplného zatmenia (obr. 1.13). Bol to priamy dôkaz, že priestor a čas sú zakrivené, a dalo to podnet k najväčšej zmene nášho vnímania vesmíru, v ktorom žijeme, od čias okolo roku 300 pred n. l., keď Euklides z Alexandrie napísal svoje *Základy geometrie*.

Einsteinova všeobecná teória relativity premenila priestor a čas z pasívneho pozadia, na ktorom sa odohrávajú udalosti, na aktívnych účastníkov dynamiky vesmíru. To viedlo k veľkému problému, ktorý zostáva v popredí záujmu fyziky aj v 21. storočí. Vesmír je vyplnený látkou a táto zakrivuje priestoročas takým spôsobom, že telesá padajú k sebe. Einstein zistil, že jeho rovnice nemajú riešenie, ktoré by charakterizovalo stacionárny vesmír, nemeniaci sa v čase. Radšej ako by mal opustiť tento model večne trvajúceho vesmíru, v ktorý veril on sám i mnoho ďalších ľudí, upravil svoje rovnice pridaním veličiny nazvanej kozmologická konštanta, ktorá zakrivovala priestoročas v opačnom smere, takže telesá sa od seba vzdälovali.

(OBR. 1.13) TRAJEKTÓRIE SVETLA

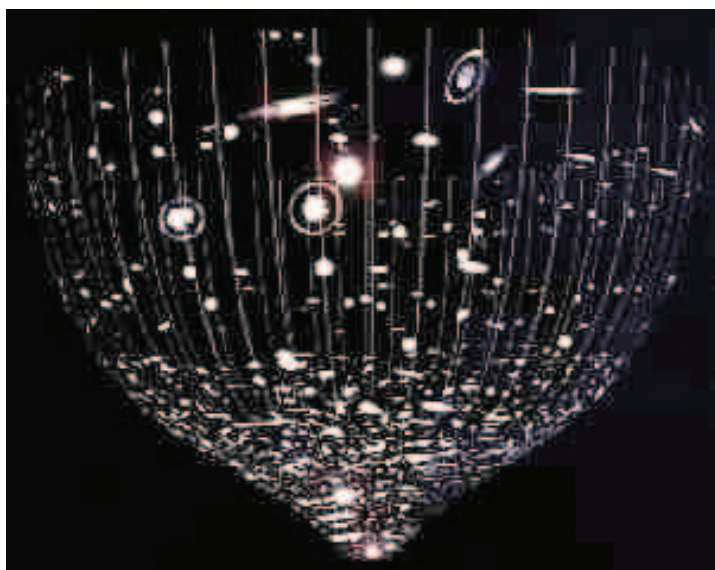
Svetlo hviezdy prechádzajúce tesne okolo Slnka je zo svojho pôvodného smeru odklonené, pretože hmota Slnka zakrivuje priestoročas (a). To spôsobuje malý posun v zdanlivej polohe hviezdy, keď ju pozorujeme zo Zeme (b). Možno to vidieť počas zatmenia Slnka.



Odpudivý účinok kozmologickej konštanty vyváža prítiažlivé pôsobenie hmoty, a tým umožní, aby existovalo stacionárne riešenie pre vesmír. Bola to jedna z veľkých premárnených príležitostí teoretickej fyziky. Ak by sa Einstein pridržal svojich pôvodných rovníc, mohol predpovedať, že vesmír sa musí buď rozpínať, alebo zmršťovať. Možnosť časovo závislého vesmíru sa ale nebrala vážne až do pozorovaní v 20. rokoch minulého storočia pomocou dvaapolmetrového zrkadlového teleskopu na Mount Wilson.

Tieto pozorovania odhalili, že čím sú cudzie galaxie ďalej od nás, tým sa rýchlejšie vzdávajú. Vesmír sa rozpína so stálym narastaním relatívnej vzdialenosti dvoch ľubovoľných galaxií s časom (obr. 1.14.). Tento objav odstránil potrebu kozmologickej konštanty zavedenej na záchranu stacionárneho riešenia vesmíru. Einstein neskôr nazval kozmologickú konštantu svojím najväčším životným omylom. Dnes sa však zdá, že azda to nakoniec predsa nebola chyba: nedávne pozorovania, opísané v 3. kapitole, naznačujú, že určitá malá kozmologická konštantka možno existuje.

Všeobecná teória relativity úplne zmenila diskusiu o pôvode a osude vesmíru. Stacionárny vesmír mohol existovať večne, alebo mohol byť aj stvorený v terajšej podobe niekedy v minulosti. Ak sa však dnes galaxie navzájom od seba vzdávajú, znamená to, že v minulosti museli byť k sebe bližšie. Asi pred 15 miliardami rokov museli byť všetky jedna tesne pri druhej a hustota látky musela byť obrovská. Katolícky kňaz Georges Lemaître nazval tento stav „prvotný atóm“. Lemaître prvý skúmal vznik vesmíru, teda to, čo dnes nazývame veľký tresk (big bang).



(OBR. 1.14)

Pozorovania galaxií ukazujú, že vesmír sa rozpína: vzdialenosť takmer medzi každou dvojicou galaxií rastie.

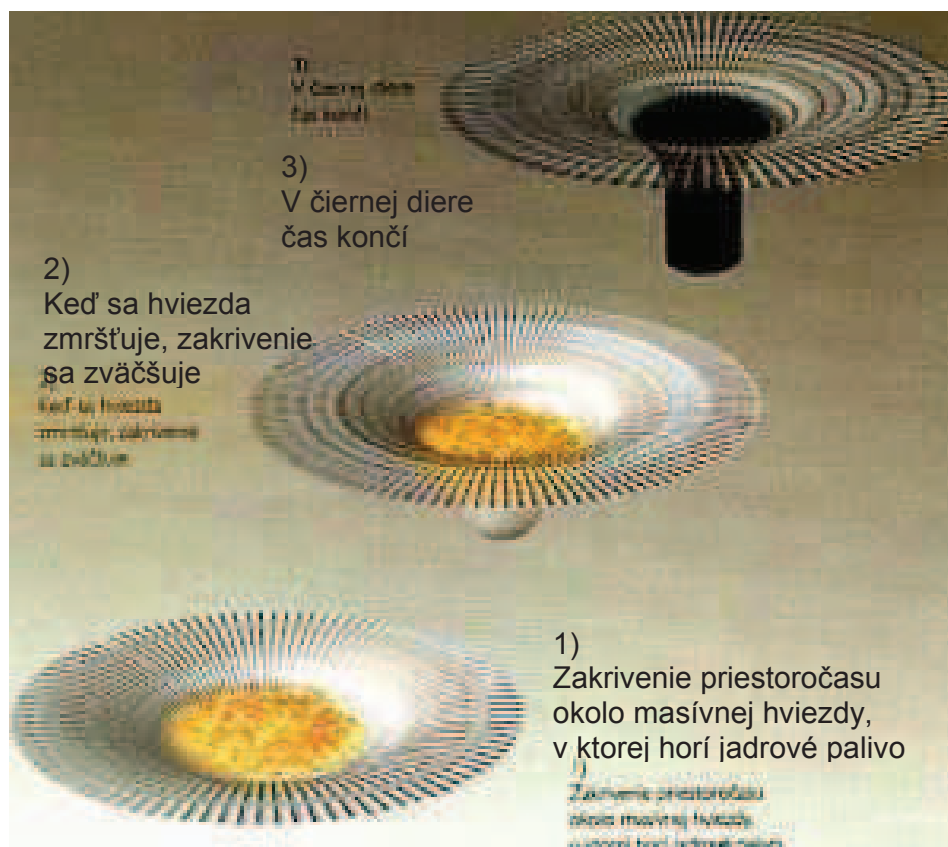
Zdá sa, že Einstein nikdy nebral veľký tresk vážne. Zrejme si myslel, že jednoduchý model rovnomerne sa rozpínajúceho vesmíru by sa zrútil, ak by sme pohyb galaxií v čase obrátili naspäť, a že priečne rýchlosti galaxií by spôsobili, že by sa galaxie navzájom minuli. Myslel si, že vesmír musel mať predchádzajúcu fázu kontrakčného charakteru, z ktorej sa odrazil do súčasnej expanzie ešte pri pomerne malých hustotách. Dnes však vieme, že na to, aby v ranom vesmíre pri jadrových reakciách vznikalo množstvo ľahkých prvkov, ktoré okolo seba pozorujeme, musela byť hustota látky prinajmenšom 620 kg na kubický centimeter a teplota aspoň 10 miliárd stupňov. Ba čo viac, merania mikrovlnového pozadia naznačujú, že hustota bola kedysi rádovo až bilión biliónov biliónov biliónov biliónov (jednotka so 72 nulami) ton na kubický centimeter. Dnes tiež vieme, že Einsteinova všeobecná teória relativity neumožňuje, aby vesmír prešiel z etapy zmršťovania do dnešnej fázy expanzie. Ako ešte spomeniem v 2. kapitole, spolu s Rogerom Penrosom sme ukázali, že podľa všeobecnej teórie relativity vesmír začal svoje jestvovanie veľkým treskom. Takto Einsteinova teória vedie nevyhnutne k záveru, že čas má počiatok, hoci jej autor touto myšlienkou nebol nikdy nadšený.

Einstein sa ešte väčšmi zdráhal pripustiť, že všeobecná relativita pre veľmi hmotné hviezdy predpovedá, že čas pre ne prestane existovať, keď sa skončí ich život a prestanú vytvárať dostatok tepla na vyváženie síl vlastnej gravitácie, ktoré sa ich neustále usilujú stlačiť. Einstein si myslel, že takéto hviezdy dospejú do akéhosi konečného stavu. Dnes vieme, že pre hviezdy s hmotnosťou dvojnásobne prevyšujúcou hmotnosť Slnka žiadna takáto konfigurácia neexistuje. Takéto masívne hviezdy budú vo svojom zmršťovaní pokračovať dovedy, kým sa nestanú čiernymi dierami, teda oblasťami priestoročasu, ktoré sú natoľko zakrivené, že z nich nemôže uniknúť ani svetlo (obr. 1.15).

Spolu s Penrosom sme ukázali, že podľa všeobecnej teórie relativity čas vnútri čiernej diery sa skončí tak pre hviezdu, ako aj pre každého nešťastného astronauta, ktorý by do nej spadol. Obe udalosti, začiatok i koniec času, sa odohrávajú v miestach, kde nemôžu byť rovnice všeobecnej relativity definované. Preto táto teória nemôže povedať, čo by sa mohlo z big bangu zrodiť. Niektorí v tom vidia prejav slobody Boha uviesť vesmír do chodu

akýmkoľvek spôsobom podľa Jeho vôle, ale iní (vrátane mňa) majú pocit, že počiatok vesmíru by sa mal riadiť tými istými zákonmi, ktoré platia aj v iných obdobiach jeho histórie. V tomto smere sme dosiahli určitý pokrok, čomu je venovaná 3. kapitola, ale vznik vesmíru ešte stále nechápeme úplne.

Dôvod, prečo všeobecná teória relativity v big bangu zlyhala, bol v tom, že nebola zlučiteľná s kvantovou mechanikou, druhou veľkou pojmovou revolúciou na začiatku dvadsiateho storočia. Prvý krok v ústrety kvantovej mechanike sa udial v roku 1900, keď Max Planck v Berlíne zistil, že žiarenie dočervena rozžeraveného telesa sa dá vysvetliť, ak by sa svetlo mohlo vyžarovať alebo pohlcovať iba v diskretných (nespojitych) balíkoch, nazývaných kvantá. Einstein v jednom zo svojich priekopníckych článkov napísaných v roku 1905, keď bol ešte v patentovom úrade, dokázal, že Planckova kvantová hypotéza by mohla objasniť fotoelektrický jav, teda to, že určité kovy po ožiarení svetlom emitujú elektróny. Tento jav je základ moderných svetelných detektorov a televíznych kamier a za túto prácu získal Einstein Nobelovu cenu za fyziku.



(OBR. 1.15)

Keď veľmi hmotná hviezda vyčerpá svoje jadrové palivo, bude strácať teplo a stláčať sa. Priestoročas sa zakriví až do takej miery, že sa vytvorí čierna diera, z ktorej nemôže uniknúť ani svetlo. Vnútri čiernej diery skončí svoju existenciu aj čas.

V práci na kvantovej hypotéze pokračoval Einstein do 20. rokov predošlého storočia, ale potom mu spôsobila veľké ťažkosti práca Wernera Heisenberga v Kodani, Paula Diraca v Cambridgei a Erwina Schrödingera v Zürichu, ktorí prišli s novým pohľadom na svet, nazvaným kvantová mechanika. Drobúlinké častice už nemali viac presne stanovené polohy a rýchlosti. Namiesto toho začalo platiť, že čím presnejšie je určená poloha častice, tým menej presne sa dá určiť jej rýchlosť, a naopak. Einstein bol zdesený prítomnosťou tohto náhodného, nepredvídateľného prvku v základných zákonoch prírody a kvantovú mechaniku nikdy úplne neuznal. Jeho pocity sa odrážajú v jeho slávnom výroku „Boh nehra kocky“. Väčšina iných vedcov však uznala platnosť nových kvantových zákonov, keďže vysvetľovali celú triedu predtým neobjasnených javov, ale aj pre ich vynikajúcu zhodu s pozorovaniami. Tieto zákony umožnili súčasný pokrok v chémii, molekulárnej biológii a elektronike, a stali sa základom pre vznik technológií, ktoré za posledných päťdesiat rokov úplne zmenili náš svet.

Už v decembri 1932 si bol Einstein vedomý toho, že nacisti a Hitler sa chystajú uchopiť moc, preto opustil Nemecko a o štyri mesiace neskôr sa vzdal svojho štátneho občianstva. Posledných dvadsať rokov svojho života strávil v Inštitúte pokročilých štúdií (Institute for Advanced Study) v Princetone v New Jersey.

Nacisti v Nemecku začali ťaženie proti „židovskej vede“ a mnohým nemeckým vedcom židovského pôvodu; to bol jeden z dôvodov, prečo Nemecko nebolo schopné zostrojiť atómovú bombu. Einstein a jeho teória relativity boli hlavnými terčami tejto kampane. Keď sa hovorilo o publikovaní knihy s názvom *100 autorov proti Einsteinovi*, komentoval to slovami: „Prečo sto? Ak by som sa mýlil, stačil by jeden.“ Po druhej svetovej vojne naliehal na spojencov, aby vytvorili celosvetovú vládu, ktorá by mala pod kontrolou atómovú bombu. V roku 1948 mu ponúkli prezidentský post v novom štáte Izrael, ale odmietol ho. Raz povedal: „Politika je na chvíľu, ale rovnice na večnosť.“ Einsteinove rovnice všeobecnej teórie relativity sú jeho najlepším epitafom a pamätníkom. Vydržia tak dlho ako sám vesmír.

Za posledných sto rokov sa svet zmenil omnoho viac ako v akomkoľvek predchádzajúcom storočí. Príčina nespočíva v nových politických alebo ekonomických učeniach, ale v obrovskom

rozmachu technológií, ktorý bol možný iba vďaka pokroku v základnom výskume. A kto lepšie symbolizuje tento pokrok ako Albert Einstein?

2. KAPITOLA

TVAR ČASU

Einsteinova všeobecná teória relativity dáva času tvar.
Ako to možno dať do súladu s kvantovou teóriou.

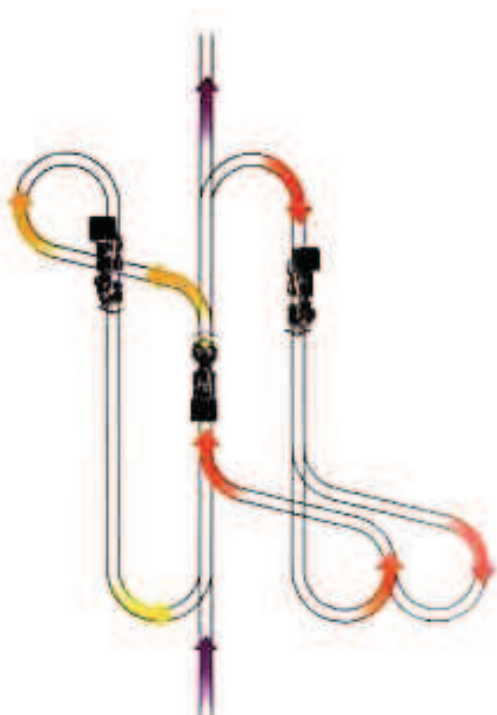


ČO JE ČAS? Je to večne sa valiaci prúd, ktorý odnáša preč všetky naše sny, ako o tom hovorí starý hymnus? Alebo je ako železničná trať? Možno má slučky a odbočky, a preto môže pokračovať smerom dopredu, a napriek tomu sa aj vrátiť do predošlej stanice na hlavnej trati (obr. 2.1).

Spisovateľ Charles Lamb v 19. storočí napísal: „Nič nie je pre mňa takou záhadou ako čas a priestor. Pritom mi nič nerobí *menej* starostí ako čas a priestor, pretože na ne nikdy nemyslím.“ Väčšina z nás sa zvyčajne kvôli času a priestoru netrápi, nech už je to hocičo;

ale všetci sa niekedy čudujeme, čo to ten čas je, odkiaľ sa zobral a kam nás vedie.

Každá seriózna vedecká teória, či už o čase, alebo o akomkoľvek inom pojme, by mala byť podľa môjho názoru založená na najužitočnejšej filozofii vedy: pozitivistickom postoji, vypracovanom Karlom Popperom a inými. Podľa tohto spôsobu uvažovania je vedecká teória matematický model, ktorý opisuje a triedi získané pozorovania. Dobrá teória bude opisovať široký okruh javov na podklade malého počtu jednoduchých princípov a presne stanoví jasné predpovede, ktoré sa potom dajú testovať. Ak predpovede súhlasia s pozorovaniami, teória prežije test, aj keď jej správnosť nebude možné nikdy dokázať. Na druhej strane, ak sú

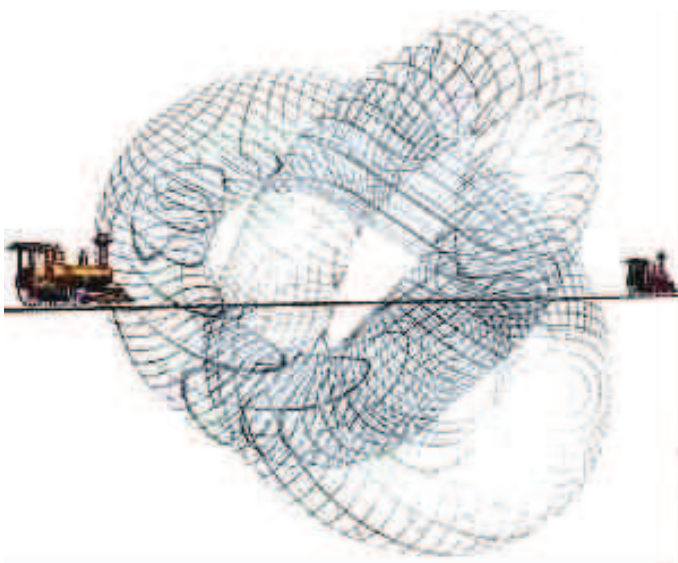


(OBR. 2,1) ŽELEZNIČNÁ DRÁHA AKO MODEL ČASU

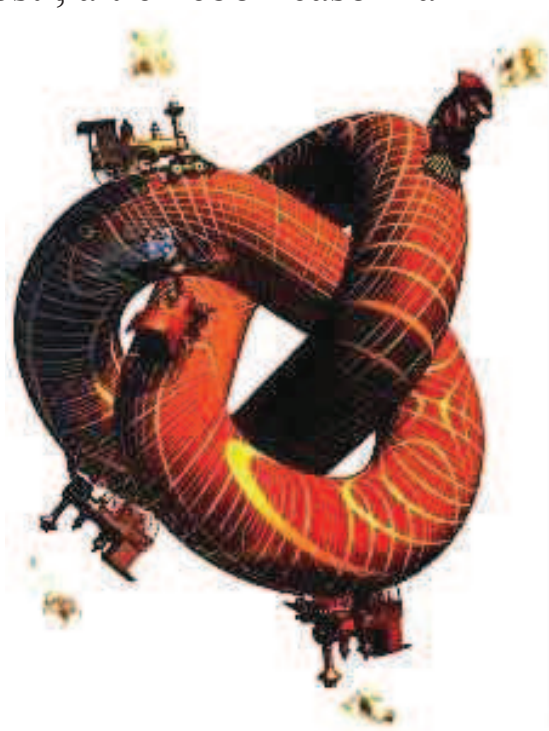
Existuje iba hlavná trať vedúca jedným smerom – do budúcnosti –, alebo sa koľaje môžu stočiť späť a pripojiť sa opäť na hlavnú trať na predchádzajúcej výhybke.

pozorovania v rozpore s predikciami, človek musí teóriu zavrhnúť alebo modifikovať. (Aspoň sa predpokladá, že sa tak stane. V praxi však ľudia často spochybňujú presnosť pozorovaní, ako aj spoľahlivosť a morálny profil tých, ktorí ich vykonali.) Ak niekto zaujme pozitivistické stanovisko ako ja, nemôže povedať, čo čas skutočne je. Všetko, čo môže urobiť, je opísať ten matematický model času, ktorý sa považuje za vhodný.

Prvý matematický model času a priestoru nám predložil Isaac Newton v roku 1687 v svojom diele *Philosophiae naturalis principia Mathematica* (Matematické základy prírodnej filozofie). Newton bol vtedy držiteľom lucasovskej profesúry v Cambridgei, kde sedel v kresle, v ktorom teraz sedím ja, aj keď za jeho čias nebolo ešte na elektrický pohon. V Newtonovom modeli bol čas a priestor iba pozadím, na ktorom sa odohrávali udalosti, a tie neboli časom a



(OBR. 22)
Newtonov čas bol oddelený od priestoru, ako keby bol železničnými koľajnicami vedúcimi v oboch smeroch do nekonečna.



(OBR. 2.3) TVAR A SMER ČASU
Einsteinova teória relativity, ktorá je v súlade s mnohými experimentmi hovorí, že čas a priestor sú nerozlučne previazané. Nikto nemôže zakriviť priestor bez toho, aby do toho nezahrnul i čas. Tým aj čas dostáva tvar. Zdá sa však, že navyše postupuje v jednom smere ako lokomotívy na obrázku.

priestorom ovplyvnené. Čas bol oddelený od priestoru a považoval sa za jednoduchú priamku alebo železničnú trať, vedúcu v oboch smeroch do nekonečna (obr. 2.2). Samotný čas sa považoval za večný v tom zmysle, že vždy existoval, a aj večne bude existovať. V rozpore s tým si veľa ľudí myslelo, že fyzikálny vesmír bol vytvorený viac-menej v dnešnej podobe iba pred pár tisíckami rokov. To trápilo filozofov, akým bol aj nemecký mysliteľ Immanuel Kant. Ak bol vesmír skutočne stvorený, prečo sa na stvorenie tak nekonečne dlho čakalo? Na druhej strane, ak vesmír vždy existoval, prečo sa všetko, čo sa malo stať, už nestalo? To znamená, že história vesmíru sa už mala dávno skončiť. A špeciálne, prečo vesmír nedosiahol stav tepelnej rovnováhy s rovnakou teplotou všetkých objektov?

Kant tento problém nazýval „antinómia čistého rozumu“. lebo zdanlivo išlo o logické protirečenie, ktoré nemalo riešenie. Kontradikcia to bola iba v kontexte Newtonovho matematického modelu, kde bol čas nekonečnou priamkou, nezávislou od toho, čo sa vo vesmíre odohráva. Ako sme však videli v 1. kapitole Einstein v roku 1915 predložil úplne nový matematický model;

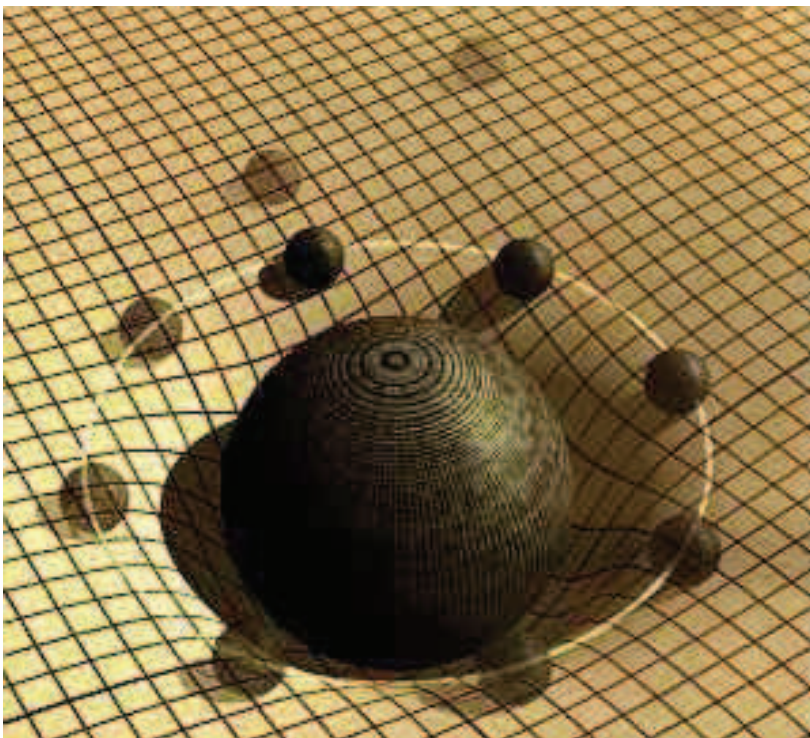
všeobecnú teóriu relativity. My sme od čias Einsteinovej práce pridali k nej zopár ozdobných stužiek a mašličiek, ale náš model času a priestoru je stále založený na tom, čo navrhol Einstein. Táto a nasledujúce kapitoly hovoria o tom, ako sa naše myšlienky rozvíjali v období po Einsteinovom revolučnom článku. Je to príbeh o úspešnej práci mnohých ľudí a som pyšný, že aj ja mám na tom malý podiel.

Všeobecná teória relativity spája rozmer času s tromi priestorovými dimenziami do niečoho, čo nazývame priestoročas (pozri obr. 2.3). Teória zahŕňa pôsobenie gravitácie hovoriac, že rozloženie hmoty a energie vo vesmíre zakrivuje a deformuje priestoročas tak, že už nie je plochý. Objekty sa v tomto priestoročase usilujú pohybovať po priamkach, ale pretože priestoročas je zakrivený, ich dráhy sa javia ohnuté. Pohybujú sa, akoby na ne pôsobilo gravitačné pole.

Ako hrubú analógiu, ktorú nemožno brať úplne doslova, si predstavme pružnú gumenú podložku. Nieкто môže na podložku položiť veľkú guľu predstavujúcu Slnko. Guľa bude tlačiť na podložku a spôsobí, že sa podložka v blízkosti Slnka zakriví. Ak

teraz niekto rozsype po podložke malé ložiskové guľôčky, nebudú sa guľat' priamo na druhú stranu podložky, ale namiesto toho sa budú valit' okolo ťažkého závažia, podobne ako planéty obiehajú okolo Slnka (obr. 2.4).

Analógia je neúplná, pretože v nej ide iba o zakrivenie dvojrozmernej časti priestoru (povrch gumenej podložky) a čas zostáva nedotknutý, ako to je v Newtonovej teórii. Avšak podľa teórie relativity, ktorá je v súhlase s množstvom experimentov, čas a priestor sú pevne previazané. Nik nemôže zakriviť priestor bez toho, aby tak neurobil aj s časom. Takto aj čas získava akýsi tvar. Tým, že všeobecná teória relativity zakrivila priestor a čas, zmenila ich z pasívneho pozadia, na ktorom sa odohrávajú udalosti, na aktívneho spoluúčastníka toho, čo sa v nich deje. V rámci Newtonovej teórie, kde čas existuje nezávisle od všetkého ostatného, by sa niekto mohol spýtať: Čo robil Boh predtým, než stvoril vesmír? A ako hovoril svätý Augustín, o tom by sa nemali robiť žarty ako „Boh pripravoval peklo pre tých, ktorí do toho príliš strkajú nos.“ Je to vážna otázka, nad ktorou ľudia dumajú už veky. Podľa svätého Augustína Boh predtým, než stvoril nebesá a Zem, nerobil vôbec nič, čo sa skutočne veľmi blíži súčasným názorom.



(OBR. 2.4) ANALÓGIA S GUMENOU PODLOŽKOU
Veľká guľa v strede predstavuje veľmi hmotný objekt, akým je hviezda. Guľa svojou hmotnosťou podložku zakrivuje. Guľôčky z ložiska valiace sa po podložke sú touto krivosťou zo svojich dráh odklonené a pohybujú sa okolo veľkej gule tým istým spôsobom, ako obiehajú planéty okolo svojej hviezdy v jej gravitačnom poli.

Na druhej strane, vo všeobecnej relativite neexistuje čas a priestor nezávisle od vesmíru alebo jeden od druhého. Sú to veličiny definované meraniami vo vesmíre, ako je počet kmitov kryštálu kremeňa v hodinách alebo dĺžka pravítka. Je celkom predstaviteľné, že čas definovaný takýmto spôsobom by mohol mať vo vesmíre minimálnu a maximálnu hodnotu - inými slovami, že vesmír má počiatok a koniec. Bolo by nezmyslom pýtať sa, čo sa dialo pred počiatkom alebo čo sa bude diať po konci, pretože také časy by vôbec neboli definované.

Bezpochyby bolo dôležité rozhodnúť, či matematický model všeobecnej relativity *predpovedá*, že by vesmír i samotný čas mal mať počiatok alebo koniec. Medzi teoretickými fyzikmi, vrátane Einsteina, panoval rozšírený predsudok, že čas by mal byť nekonečný v oboch smeroch. Inak by sa objavili veľmi nepríjemné otázky o stvorení vesmíru, ktoré sa zdajú byť mimo sféry vedy. Boli známe riešenia Einsteinových rovníc, v ktorých mal čas začiatok a koniec, ale všetky tieto riešenia boli veľmi špecifické s veľkou

Pozorovateľ, dívajúci sa v čase späť ———

Galaxie, ktoré sa objavili nedávno —————

Galaxie, ktoré sa objavili pred 5 —————
miliardami rokov

Žiarenie kozmického pozadia —————

(OBR. 2.5) NÁŠ MINULÝ SVETELNÝ KUŽEL

Keď sa dívame na vzdialené galaxie vidíme vesmír v skorších obdobiach pretože svetlo sa od nich šíri konečnou rýchlosťou. Ak znázorníme čas vo vertikálnom smere a dve z troch priestorových súradníc v horizontálnom smere, svetlo, ktoré sa k *nám* dostáva teraz do bodu na vrchole putovalo k nám po kuželi



mierou symetrie. Predpokladalo sa, že v reálnom objekte kolabujúcom pod ťarchou vlastnej gravitácie by tlak alebo prítomnosť priečných rýchlostí mohli zabrániť, aby sa všetka hmota spolu zrútila do toho istého bodu, kde by hustota látky bola nekonečná. Podobne, ak by niekto spätne sledoval expanziu vesmíru v čase, zistil by, že nie všetka hmota vesmíru sa vynorí z bodu s nekonečnou hustotou. Takýto bod bol nazvaný singularita, a bol by začiatkom alebo koncom času.

V roku 1963 dvaja ruskí vedci, Jevgenij Lifšic a Isaak Chalatnikov, zverejnili dôkaz, že všetky riešenia Einsteinových rovníc so singularitami majú zvláštne rozdelenie hmoty a rýchlostí. Pravdepodobnosť, že by riešenie reprezentujúce náš vesmír malo toto špeciálne usporiadanie, bola podľa nich prakticky nulová. Takmer všetky riešenia, ktoré môžu predstavovať vesmír, by sa mohli vyhnúť singularite s nekonečnou hustotou: pred érou, počas ktorej sa vesmír rozpína, musela existovať predchádzajúca fáza kontrakcie, keď sa síce galaxie a všetka hmota dostali veľmi blízko k sebe, ale vyhli sa vzájomnej zrážke a opäť sa začali vzdďaľovať, ako to pozorujeme v súčasnej fáze expanzie. Ak to bolo tak, čas mohol večne plynúť z nekonečnej minulosti do nekonečnej budúcnosti.

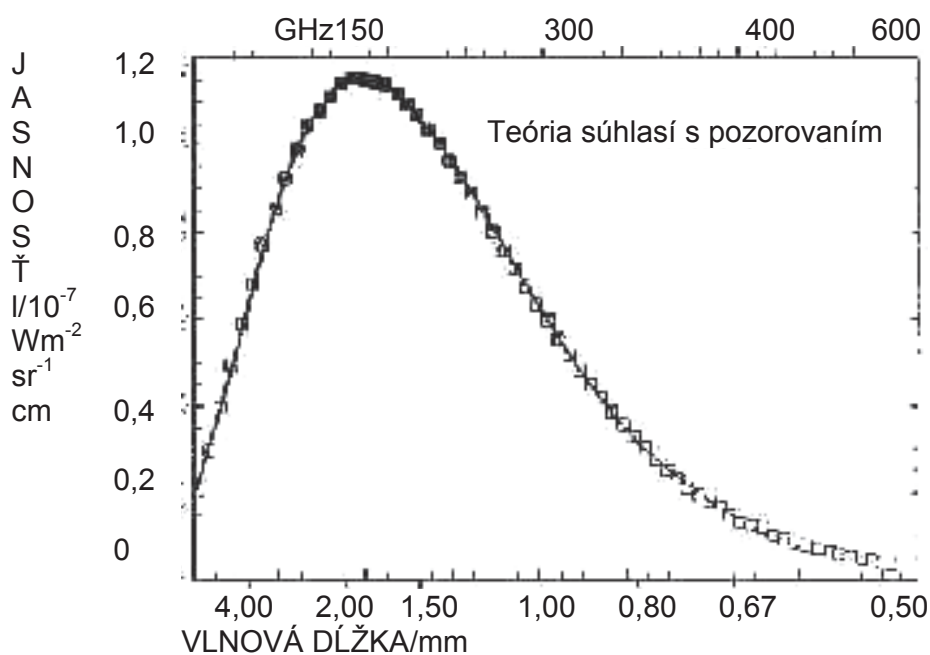
Argumenty Lifšica a Chalatnikova nepresvedčili každého. S Rogerom Penrosom sme použili iný prístup, založený nie na podrobnom štúdiu riešení, ale na globálnej štruktúre priestoročasu. Podľa všeobecnej teórie relativity nie je priestoročas zakrivený iba veľmi hmotnými objektmi v ňom, ale aj energiou, ktorú obsahuje. Energia je vždy kladná, a preto má priestoročas takú krivosť, že dráhy svetelných lúčov sa ohýbajú smerom k sebe.

Pozrime sa teraz na náš minulý svetelný kužel (obr. 2.5), tvorený dráhami svetelných lúčov zo vzdialených galaxií, ktoré sa k nám priestoročasom dostali teraz. V grafickom zobrazení, kde časová dimenzia smeruje nahor a priestorové dimenzie do strán, je to kužel, ktorého vrchol alebo špic sa nachádza priamo u nás. Keď postupujeme do minulosti, teda po kuželi od jeho vrcholu smerom nadol, vidíme galaxie z čoraz skoršieho obdobia. Pretože sa vesmír rozpínal a všetko bolo predtým omnoho tesnejšie pri sebe, keď sa pozeráme ďalej do minulosti, pozeráme sa naspäť cez oblasti s vyššou hustotou hmoty. Pozorujeme slabučké pozadie mikrovlnového žiarenia, ktoré sa k nám šíri pozdĺž nášho minulého

svetelného kužela z najranejších čias, keď bol vesmír omnoho hustejší a horúcejší ako dnes. Naladením prijímačov na rôzne frekvencie mikrovln môžeme merať spektrum (rozdelenie intenzity podľa jednotlivých frekvencií) tohto žiarenia. Nachádzame spektrum, ktoré charakterizuje žiarenie telesa s teplotou 2,7 stupňa nad absolútnou nulou. Toto mikrovlnové žiarenie nie je veľmi vhodné na rozmrazenie zmrazenej pizze, ale skutočnosť, že toto spektrum tak presne súhlasí so spektrom žiarenia telesa s teplotou 2,7 stupňa nám hovorí, že musí prichádzať z oblastí, ktoré sú pre mikrovlny nepriepustné (obr. 2.6).

Takto môžeme dôjsť k záveru, že ak sa dívame do minulosti, náš svetelný kužel musí prechádzať cez určité množstvo látky. Toto množstvo látky stačí zakriviť priestoročas, preto sa svetelné lúče v našom minulom svetelnom kuželi ohýbajú navzájom k sebe (obr. 2.7).

MIKROVLNOVÉ SPEKTRUM KOZMICKÉHO POZADIA PODĽA DRUŽICE COBE

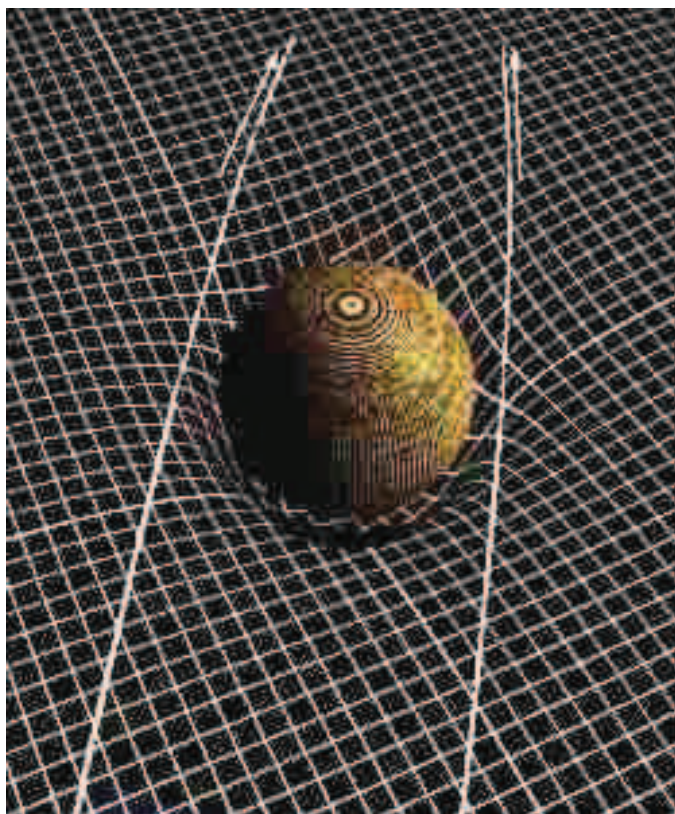


(OBR. 2.6)

MERANIE SPEKTRA MIKROVLNOVÉHO POZADIA
 Spektrum - rozdelenie intenzity podľa frekvencie - mikrovlnového žiarenia kozmického pozadia má charakter žiarenia horúceho telesa. Aby bolo žiarenie v tepelnej rovnováhe, musí ho hmota mnohokrát rozptyliť. To naznačuje, že v našom minulom svetelnom kuželi bolo dostatočné množstvo hmoty, ktoré spôsobilo jeho zakrivenie.

Keď pôjdeme v čase späť, prierezy nášho minulého svetelného kužela dosiahnu maximálnu veľkosť, a potom sa opäť začnú zmenšovať. Naša minulosť má tvar hrušky (obr. 2.8).

Ak bude niekto sledovať náš minulý svetelný kužel späť v čase ešte ďalej, kladná hustota energie látky spôsobí, že sa lúče svetla k sebe ohnú ešte viac. Prierez svetelného kužela sa zmrští na nulovú

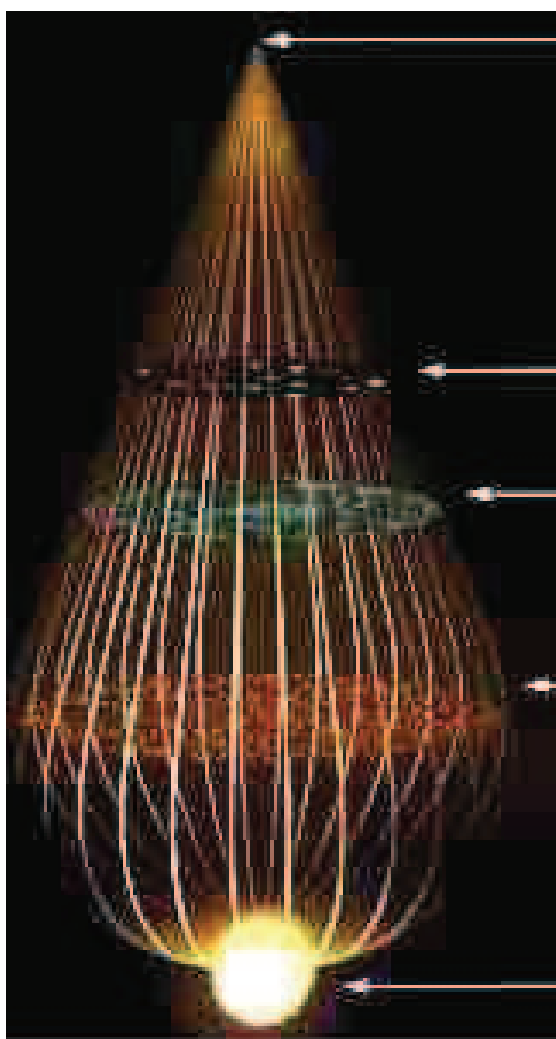


(OBR. 2.7 vľavo) DEFORMÁCIA PRIESTOROČASU

Pretože gravitácia pôsobí príťažlivou silou, hmota vždy pokríví priestoročas tak, že lúče svetla sa zakrivia k sebe.

(OBR.2.8 vľavo dole) ČAS MÁ TVAR HRUŠKY

Ak niekto sleduje náš minulý svetelný kužeľ späť v čase, zistí, že bude hmotou raného štádia vesmíru zakrivený. Celý vesmír vidíme obsiahnutý v oblasti, ktorej hranice sa zmršťujú v momente big bangu až na nulu. To bola singularita, miesto, kde hustota hmoty dosahovala nekonečnú hodnotu a klasická všeobecná teória relativity prestávala platiť.



V tomto momente sa pozorovateľ pozerá v čase smerom späť

Galaxie pred 5 miliardami rokov

Mikrovlnné pozadie

Hustota látky spôsobujúca ohnutie svetelného kužela smerom dovnútra

Singularita veľkého tresku

veľkosť v priebehu konečného času. Znamená to, že všetka hmota vnútri nášho minulého svetelného kužeľa bude zachytená v oblasti, ktorej hranica sa scvrkne na nulu. Nie je preto veľmi prekvapujúce, že sme s Penrosom mohli dokázať, že v matematickom modeli všeobecnej teórie relativity musí mať čas počiatok, nazývaný veľký tresk. Podobné argumenty naznačujú, že čas bude mať aj koniec, keď sa hviezdy alebo galaxie zrúti v dôsledku vlastnej gravitácie a vytvorí čierne diery. Takto sme sa vyhli Kantovmu protirečeniu čistého rozumu tým, že sme opustili implicitný predpoklad, že čas má zmysel nezávisle od vesmíru. Naša práca dokazujúca, že čas mal počiatok, získala v roku 1968 druhú cenu v súťaži, ktorú sponzorovala Nadácia pre výskum gravitácie a Roger a ja sme si podelili nádhernú sumu 300 dolárov. Nemyslím si, že iné ocenené práce v tom roku preukázali trvalú hodnotu.

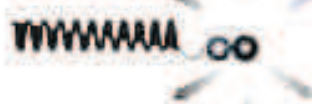
Na túto našu prácu boli rôzne reakcie. Rozčúlila mnohých fyzikov, ale potešila tých čelných náboženských predstaviteľov, ktorí verili v akt stvorenia, pretože to bol jeho vedecký dôkaz. Lifšic a Chalatnikov boli medzitým v nezávideniahodnej situácii. Nemohli napadnúť matematické teorémy, ktoré sme dokázali, ale pod tlakom sovietskeho režimu nemohli ani pripustiť, že sa mýlia a že západná veda má pravdu. Situáciu zachránili tak, že prišli na množinu všeobecnejších riešení so singularitou, ktoré neboli také špeciálne ako ich predchádzajúce riešenia. To im umožňovalo vyhlasovať singularitu a počiatok či koniec času za objav sovietskej vedy.

Väčšina fyzikov stále inštinktívne prechovávala nechutť k myšlienke času majúceho začiatok alebo koniec. Preto zdôrazňovali skutočnosť, že od matematického modelu nemožno očakávať dobrý opis priestoročasu v blízkosti singularity. Príčina je v tom, že všeobecná relativita, ktorá vlastne opisuje gravitačnú silu, je klasickou teóriou, ako sa to spomínalo v 1. kapitole, a nemá v sebe zabudovanú neurčitost' kvantovej teórie, ktorou sa riadia všetky ostatné známe sily prírody. Tento rozpor nezaváži vo väčšine vesmíru po väčšinu času, pretože škála, na ktorej sa zakrivenie priestoročasu prejavuje, je obrovská a rozmery, pri ktorých sú kvantové efekty významné, sú veľmi malé. Avšak v blízkosti singularity sú už tieto dve škály porovnateľné a kvantové gravitačné efekty sa stávajú dôležitými. Penrosove a moje teorémy o

PRINCÍP NEURČITOSTI



Nízkofrekvenčné vlnové dĺžky majú menší rušivý vplyv na rýchlosť častice



Vlny s vysokými frekvenciami ovplyňujú rýchlosť častice viac



Čím väčšiu vlnovú dĺžku použijeme na sledovanie častice, tým väčšia bude neistota v určení jej polohy

Čím kratšiu vlnovú dĺžku použijeme na pozorovanie častice, tým presnejšie určíme jej polohu

HEISENBERGOVA ROVNICA NEURČITOSTI



$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Neurčitosť v určení polohy častice

Neurčitosť v určení rýchlosti častice

Hmotnosť častice

Planckova konštantna

Dôležitým krokom pre vznik kvantovej teórie bol návrh Maxa Plancka z roku 1900, že svetlo sa vždy šíri v malých balíkoch, ktoré nazval kvantá. Hoci Planckova kvantová hypotéza jasne vysvetlila pozorovanú rýchlosť vyžarovania horúcich telies, úplný rozsah jej následkov sme si neuvedomovali až do polovice 20. rokov minulého storočia, keď nemecký fyzik Werner Heisenberg sformuloval svoj známy princíp neurčitosti. Všimol si, že Planckova hypotéza znamená, že čím presnejšie sa usilujeme zmerať polohu častice, tým menej presne sa dá zistiť jej rýchlosť, a naopak. Vyjadrené presnejšie, ukázal, že súčin neistoty určenia polohy častice a neistoty určenia jej hybnosti, musí byť vždy väčší ako Planckova konštantna, čo je veličina úzko spätá s energiou, ktorú obsahuje jediné kvantum svetla.

MAXWELLOVO POLE

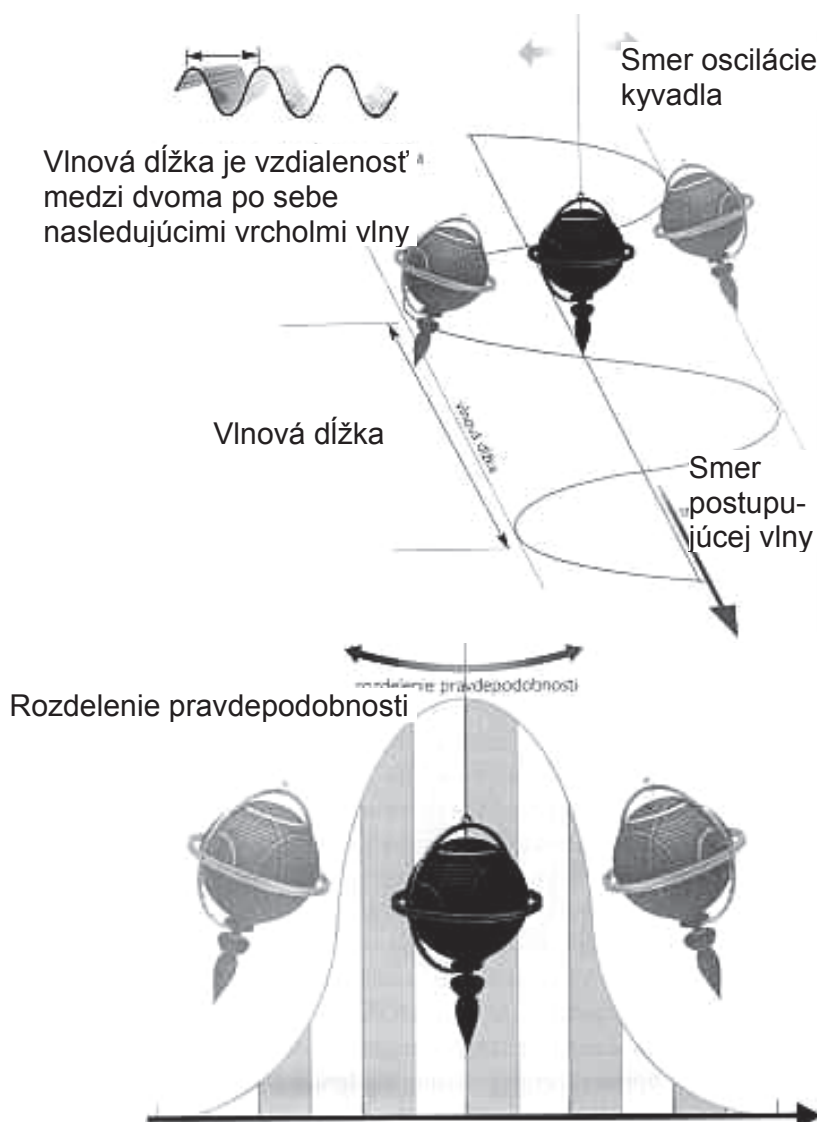
V roku 1865 britský fyzik James Clerk Maxwell zjednotil všetky známe zákony elektriny a magnetizmu. Maxwellova teória je založená na existencii „polí“, ktoré prenášajú účinky z jedného miesta na iné. Zistil, že polia, ktoré prenášajú elektrické a magnetické vzruchy, majú dynamický charakter: môžu oscilovať a pohybovať sa priestorom.

Maxwellovo zjednotenie elektromagnetizmu sa dá stručne vyjadriť rovnicami, ktoré opisujú dynamiku týchto polí. Z týchto rovníc on sám odvodil prvý dôležitý záver: elektromagnetické vlny všetkých frekvencií sa šíria priestorom tou istou konštantnou rýchlosťou - rýchlosťou svetla.

singularitách v skutočnosti ukázali, že naša klasická oblasť priestoročasu je ohraničená v minulosti a možno aj v budúcnosti oblasťami, v ktorých je kvantová gravitácia významná. Aby sme pochopili vznik a osud vesmíru, potrebujeme kvantovú teóriu gravitácie, a to bude aj predmetom väčšej časti tejto knihy.

Kvantové teórie systémov, ako sú atómy s konečným počtom častíc, formulovali v 20. rokoch minulého storočia Heisenberg, Schrödinger a Dirac. (Dirac bol ďalší z držiteľov môjho profesorského kresla v Cambridgei, ale ani vtedy ešte nemalo vlastný pohon.) Ľudia sa však stretávali s komplikáciami, keď sa pokúšali aplikovať kvantové princípy aj na Maxwellove polia, ktoré opisujú elektrinu, magnetizmus a svetlo.

O Maxwellovom poli možno uvažovať ako o poli, ktoré tvoria vlny s rozličnými vlnovými dĺžkami. Vo vlne bude pole kmitať z jednej hodnoty do druhej ako kyvadlo (obr. 2.9).



(OBR. 2.9 vľavo)

POSTUPUJÚCA VLNA S OSCILUJUCIM KYVADLOM

Elekromagnetické žiarenie sa šíri priestorom ako vlnenie so svojimi elektrickými a magnetickými poľami, ktoré kmitajú podobne ako kyvadlo priečne na smer pohybu vlny. Žiarenie môžu tvoriť polia rôznych vlnových dĺžok

(OBR. 2.10 vľavo dole)

KYVADLO S ROZDELENÍM PRAVDEPODOBNOTI

Podľa Heisenbergovho princípu neurčitosti nie je možné, aby kyvadlo smerovalo úplne presne nadol a malo nulovú rýchlosť. Namiesto toho kvantová teória predpovedá, že dokonca aj v stave s najnižšou energiou musí mať kyvadlo minimálne množstvo fluktuácií.

Poloha kyvadla bude teda určená pravdepodobnostným rozdelením. V základnom stave bude síce jeho najpravdepodobnejšia poloha tá, v ktorej smeruje priamo dolu, ale je tu aj nenulová pravdepodobnosť, že ho nájdeme vychýlené o malý uhol vzhľadom na vertikálu.

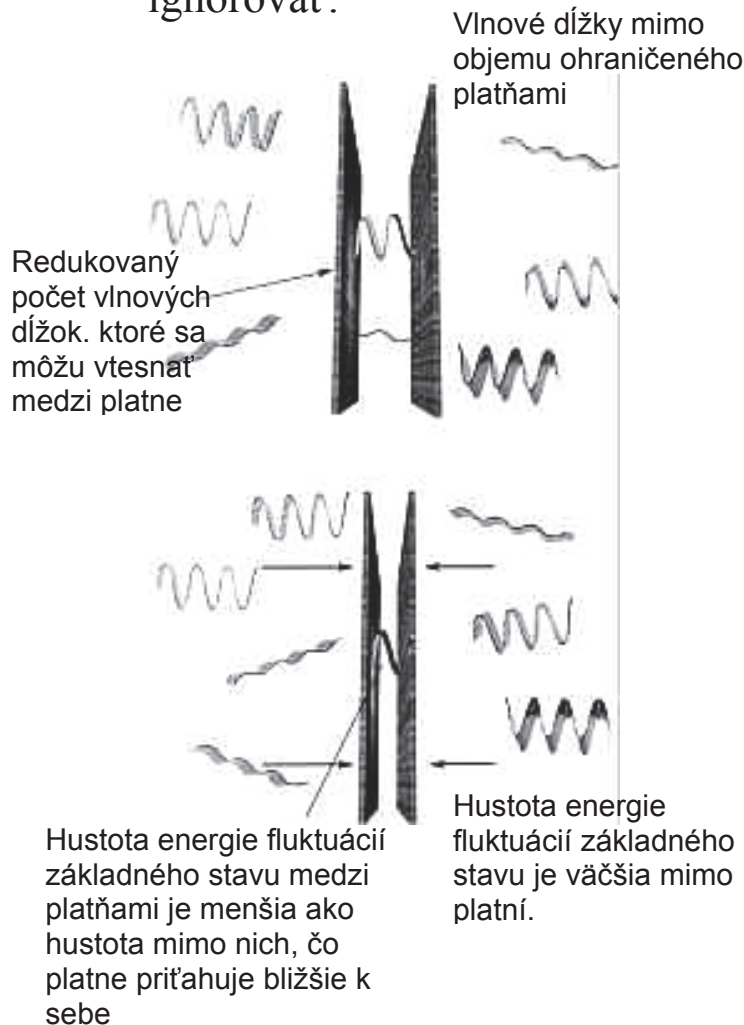
Podľa kvantovej teórie základný stav alebo stav najnižšej energie kyvadla nezodpovedá kyvadlu visiacemu v pokoji rovno dolu. Vtedy by kyvadlo malo presne stanovenú polohu, ale i presne určenú nulovú rýchlosť. To by bolo porušenie princípu neurčitosti, ktorý nepripúšťa súčasné presné zmeranie polohy i rýchlosti. Súčin neistoty v určení polohy a neurčitosti merania hybnosti musí byť väčší ako určitá veličina, ktorá je známa ako Planckova konštanta — číslo, ktoré je príliš dlhé na to, aby som ho tu zakaždým vypisoval, preto budem namiesto neho písať jeho symbol: \hbar .

Preto základný stav alebo stav kyvadla s najnižšou energiou nemá nulovú energiu, ako by azda niekto očakával. Namiesto toho základný stav kyvadla alebo akéhokoľvek oscilujúceho systému musí konať určité minimálne množstvo oscilácií, nazývané fluktuácie vákua. Tie znamenajú, že kyvadlo nebude nevyhnutne smerovať kolmo dolu, ale sa bude s nenulovou pravdepodobnosťou trochu odchyľovať od vertikálneho smeru (obr. 2.10). Podobne aj vo vákuu alebo v stave s najnižšou energiou nebudú vlny v Maxwelllovom poli presne nulové, ale budú mať malé amplitúdy. Čím je vyššia frekvencia (počet kmitov za minútu) kyvadla alebo vlny, tým je vyššia energia základného stavu.

Započítanie fluktuácií základného stavu v Maxwelllových a elektrónových poliach vedie k nekonečnej zdanlivej veľkosti hmotnosti a náboja elektrónu, čo pozorovania nepreukazujú. Avšak v 40. rokoch uplynulého storočia fyzici Richard Feynman, Julian Schwinger a Siničiro Tomonaga vyvinuli konzistentný spôsob na odstránenie alebo „odčítanie“ týchto nekonečien a počítanie výlučne s pozorovanými konečnými hodnotami hmotnosti a náboja. Aj napriek tomu fluktuácie základného stavu ešte spôsobovali malé efekty, ktoré sa dali zmerať a dobre súhlasili s experimentom. Podobné odčítavacie procedúry na eliminovanie nekonečných hodnôt boli vypracované pre Yangovo-Millsovo pole, ktoré zaviedli Chen Ning Yang a Robert Mills. Yangova-Millsova teória je rozšírením Maxwelllovej teórie. Opisuje interakcie dvoch ďalších síl, nazývaných slabá a silná jadrová sila. Avšak fluktuácie základného stavu majú omnoho vážnejší dosah v kvantovej teórii gravitácie. Aj tu by mala mať každá vlnová dĺžka svoju energiu základného stavu. Pretože neexistuje žiadna hranica, ktorá by zdola obmedzovala dĺžky vln Maxwelllovho poľa, existuje nekonečný počet rôznych vlnových

dĺžok v ľubovoľnej oblasti priestoročasu a nekonečné množstvo energie základného stavu. Pretože hustota energie podobne ako hmota je zdrojom gravitácie, táto nekonečná hustota energie by mala znamenať, že vo vesmíre existuje dostatok gravitačnej príťažlivosti, aby sa priestoročas zvinul do jediného bodu, čo sa očividne nestalo.

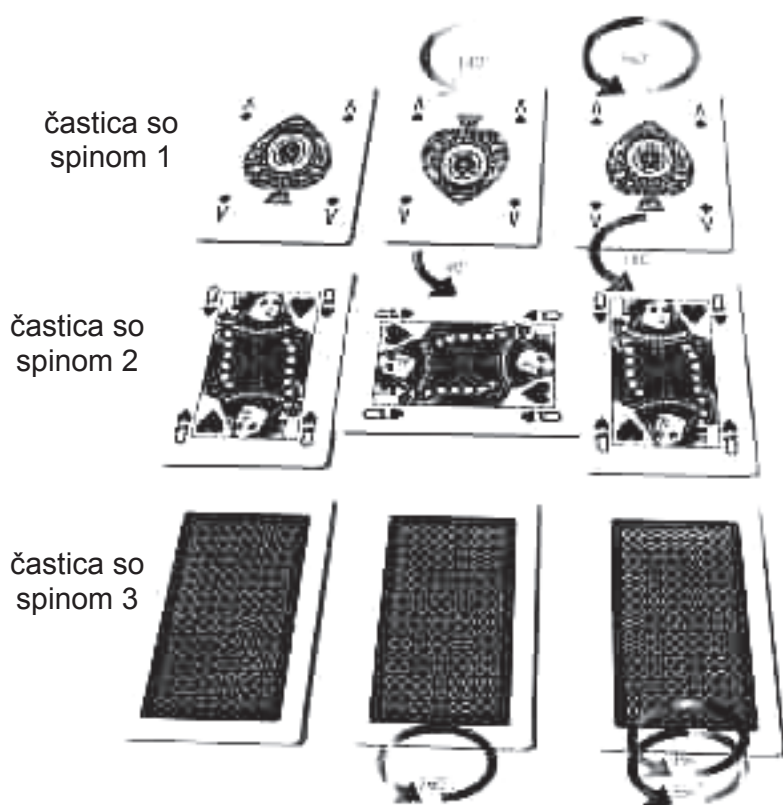
Niektorí by mohli dúfať, že sa toto zdanlivé protirečenie medzi pozorovaním a teóriou vyrieši tvrdením, že fluktuácie základného stavu nemajú žiadny gravitačný účinok, ale tak by to nefungovalo. Energiu fluktuácií základného stavu možno zaregistrovať pomocou Casimirovho efektu. Ak sa umiestnia dve kovové platne paralelne a tesne vedľa seba, ich účinok bude taký, že sa mierne zníži počet vĺn v priestore medzi platňami vzhľadom na ich počet v oblasti mimo platní. Znamená to, že hustota energie fluktuácií základného stavu medzi platňami, hoci stále nekonečná, je o určité konečné množstvo menšia ako hustota energie mimo platní (obr. 2.11). Tento rozdiel v hustote energie vyvoláva vznik sily, ktorá priťahuje platne k sebe a bola aj experimentálne overená. Vo všeobecnej teórii relativity sú sily zdrojom gravitácie, práve tak ako hmota, preto by nebolo logicky konzistentné gravitačný účinok tohto rozdielu energií ignorovať.



(OBR.2.11) CASIMIROV EFEKT
Existencia fluktuácií základného stavu bola experimentálne potvrdená Casimirovým efektom, nepatrnou silou medzi rovnobežnými kovovými platňami.

Iné možné riešenie problému mohlo spočívať v predpoklade, že azda existuje kozmologická konštanta, akú zaviedol Einstein pri pokuse zachrániť model statického vesmíru. Ak by táto konštanta mala nekonečnú zápornú hodnotu, mohla by presne vyrušiť nekonečnú kladnú hodnotu základného stavu energií vo voľnom priestore. Takáto kozmologická konštanta sa však zdá byť zavedená príliš ad hoc a jej hodnota by musela byť naladená s mimoriadnou presnosťou.

Našťastie bol v 70. rokoch 20. storočia objavený úplne nový typ symetrie, ktorý ponúkal na odstránenie nekonečien, pochádzajúcich z fluktuácií základného stavu, celkom prirodzený fyzikálny mechanizmus. Supersymetria je charakteristická črta našich moderných matematických modelov, ktorú možno opísať rôznymi spôsobmi. Jedna možnosť je povedať, že priestoročas má ďalšie rozmery okrem tých, ktoré vnímame. Nazývajú sa Grassmannove dimenzie, pretože sa vyjadrujú číslami známymi ako Grassmannove

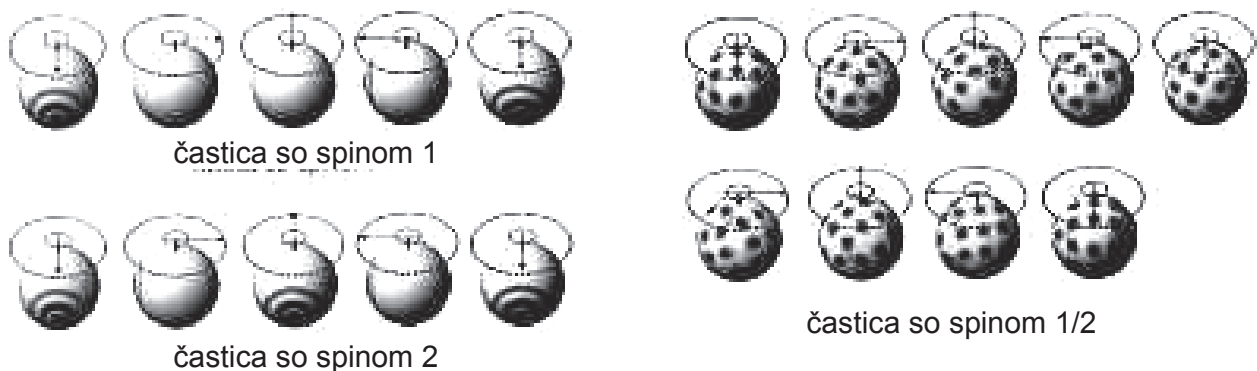


(OBR.2.12) SPIN

Všetky častice majú vlastnosť nazývanú spin, ktorá súvisí s tým, ako častica vyzerá pri pohľade z rôznych smerov. Dá sa to znázorniť na súprave hracích kariet. Všimnime si najprv pikové eso. Vyzerá rovnako len vtedy, ak ho otočíte celkom dookola, o jednu celú otáčku alebo 360° . Preto môžeme povedať že má spin 1.

Srdcová kráľovná má však dve hlavy. Preto vyzerá rovnako už po polovičke úplnej otáčky, teda po otočení iba o 180° . Hovoríme, že má spin 2. Podobne si možno predstaviť objekty so spinom 3 alebo aj vyšším, ktoré sú rovnaké, ak ich pootočíme ešte o menšiu časť úplnej otáčky.

Čím je vyšší spin, tým je potrebný menší zlomok úplnej otáčky, aby častica vyzerala opäť rovnako. Pozoruhodná je však skutočnosť, že existujú častice, ktoré vyzerajú rovnako, iba ak ich otočíme o dve úplne otáčky. Hovoríme, že takéto častice majú spin $1/2$.



OBYČAJNÉ ČÍSLA
 $A \times B = B \times A$
 GRASSMANNOVE ČÍSLA
 $A \times B = -B \times A$

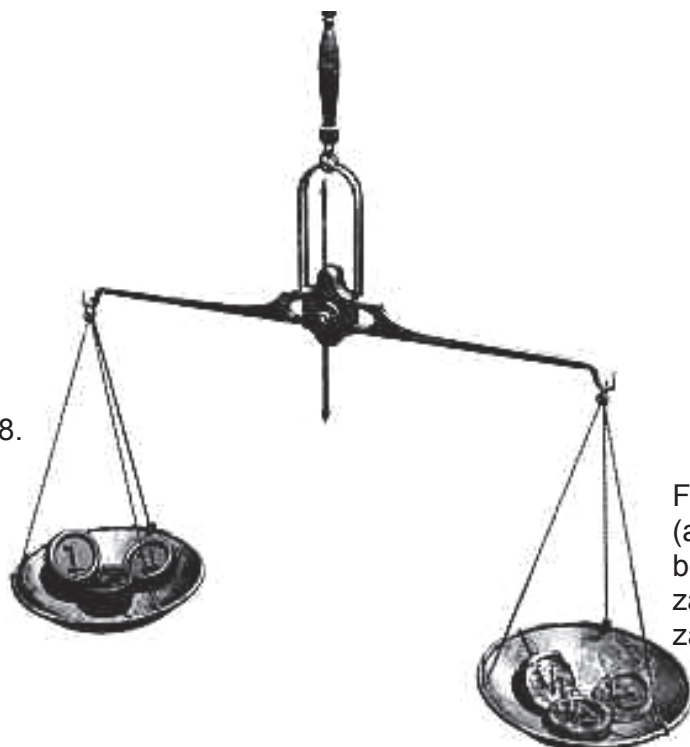
premenné, a nie obyčajnými reálnymi číslami. Pre obyčajné čísla platí komutatívny zákon; teda nezáleží na poradí, v akom ich násobíte: 6 krát 4 je to isté ako 4 krát 6. Grassmannove premenné však *antikomutujú*: x krát y je to isté ako -y krát x.

O supersymetrii sa prvýkrát uvažovalo s cieľom odstrániť nekonečná v látkových a Yangových-Millsových poliach v priestoročase, kde boli obyčajné číselné dimenzie aj Grassmannove dimenzie ploché, nie zakrivené. Bolo prirodzené rozšíriť supersymetriu aj na obyčajné číselné a Grassmannove rozmery, ktoré sú zakrivené. To viedlo k viacerým teóriám, nazývaným supergravitačné, s rôznou mierou supersymetrie. Jeden z dôsledkov supersymetrie je, že každé pole alebo častica má „superpartnera“ so spinom, ktorý je buď o 1/2 väčší ako jeho vlastný spin, alebo o 1/2 menší (obr. 2.12).

Energie základného stavu bozónov, polí s celočíselným spinom (0, 1, 2 atď.), sú kladné. Na druhej strane energie základného stavu fermiónov, teda polí s poločíselným spinom (1/2, 3/2 atď.), sú záporné. Pretože počet bozónov a fermiónov je rovnaký, sú v teóriách supergravitácie odstránené najväčšie nekonečná (pozri obr. 2.13,).

Stále tu bola možnosť, že v teórii zostanú menšie, ale ešte vždy nekonečné veličiny. Nik nemal trpezlivosť potrebnú na výpočet, či tieto teórie dávajú len konečné veličiny. Dá sa odhadnúť, že dobrému študentovi by to trvalo dvesto rokov, ale ako by ste mali istotu, či neurobil chybu hneď na druhej strane? Napriek tomu až do roku

Bozóny sú častice s celočíselným spinom (ako je 0,1,2) supergravitácie s $N = 8$. Energie základného stavu bozónov sú kladné



Fermióny s poločíselným spinom (ako je napr spin 1/2) vytvárajú bežnú hmotu. Energie základného stavu fermiónov sú záporné.

(OBR.2.13)

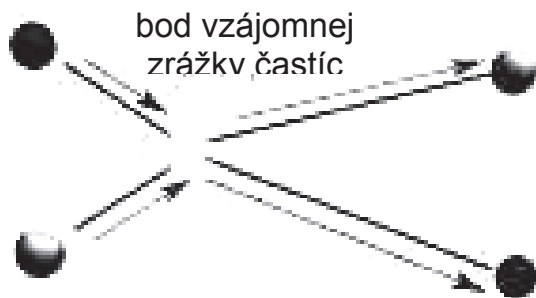
Všetky známe častice vo vesmíre patria do jednej z dvoch skupín - k fermiónom alebo k bozónom. Fermióny sú častice s poločíselným spinom (ako je spin 1/2) a tvoria bežnú hmotu. Energie ich základného stavu sú záporné.

Bozóny sú častice s celočíselným spinom (ako je 0, 1, 2) a sú zodpovedné za sily medzi fermiónmi, ako sú gravitačná sila a svetlo. Energie ich základného stavu sú kladné. Teória supergravitácie predpokladá, že každý fermión a každý bozón má superpartnera so spinom, ktorý je buď o 1/2 väčší alebo o 1/2 menší ako jeho vlastný spin. Napríklad fotón (ktorý je bozón) má spin 1. Energia jeho základného stavu je kladná. Jeho superpartner - fotíno - má spin 1/2. čo z neho robí fermión. Energia jeho základného stavu je záporná.

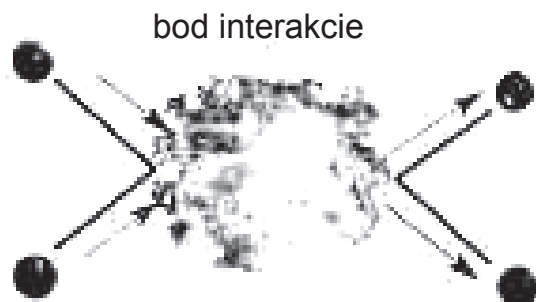
V tejto supergravitačnej schéme skončíme pri rovnakom počte bozónov a fermiónov. Pri kladných energiách základného stavu bozónov na jednej strane a pri záporných energiách základného stavu fermiónov na strane druhej sa energie základného stavu navzájom vyrušia a eliminujú najväčšie nekonečná

1985 zväčša ľudia verili, že väčšina supersymetrických supergravitačných teórií by mala byť bez nekonečien.

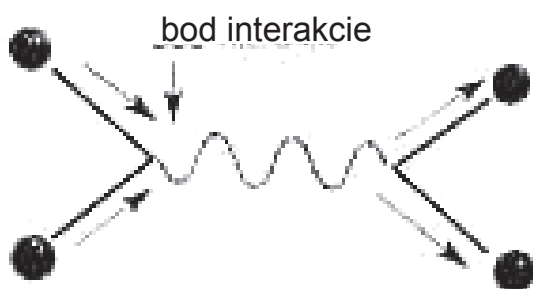
Potom sa trend náhle zmenil. Ľudia vyhlásili, že niet žiadneho dôvodu neočakávať nekonečná v supegravitačných teóriách, a to viedlo k mienke, že ako teórie sú úplne nesprávne. Namiesto toho sa vyhlásilo, že teória nazvaná supersymetrická teória strún je jedinou cestou ako spojiť gravitáciu s kvantovou teóriou. Struny, ako ich menovci z každodennej skúsenosti, sú jednorozmerné objekty. Majú iba dĺžku. V teórii strún sa struny pohybujú na pozadí priestoročasu. Vlny na strune sa interpretujú ako častice (obr. 2.14).



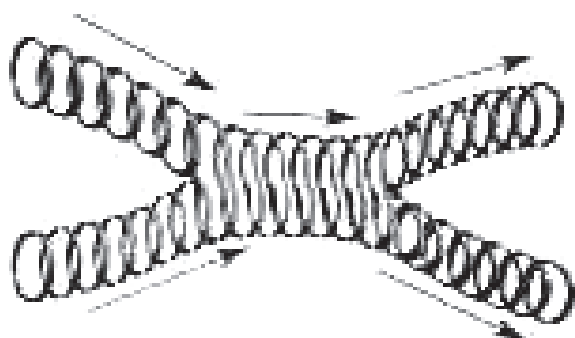
1 Keby bodové častice skutočne existovali ako diskkrétne (nespojité) entity podobné biliardovým guľiam, potom pri ich zrážke by sa ich pôvodná dráha mala odkloniť na dve nové trajektórie.



2 Toto nastane, keď interagujú dve častice, aj keď jav je omnoho dramatickejší.



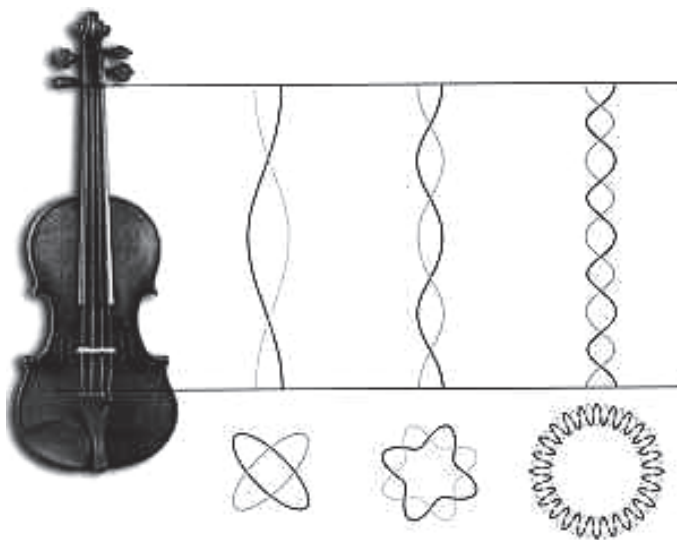
3 Kvantová teória poľa ukazuje dve zrážajúce sa častice, ako je elektrón a jeho antičastica pozitron. Pri zrážke nakrátko anihilujú - čím sa súčasne uvoľní obrovské množstvo energie a vznikne fotón. Ten potom uvoľní svoju energiu a vytvorí iný elektrónovo-pozitronový pár čo vyzerá, akoby sa zložky pôvodného páru iba odklonili na nové trajektórie.



4 Ak častice nie sú body s nulovými rozmermi, ale jednorozmerné struny, v ktorých oscilujúce slučky vibrujú ako elektrón a pozitron, potom keď sa zrazia a navzájom anihilujú, vytvoria novú strunu s odlišným vibračným obrazcom. Pri uvoľnení energie sa struna rozdelí na dve, ktoré pokračujú po nových, vlastných trajektóriách.



5 Ak si tieto pôvodné struny neznázorníme v jednotlivých časových okamihoch, ale v spojitaj časovej histórii, potom výsledné struny vyzerajú ako svetoplocha struny.



(OBR. 2.14.) OSCILÁCIE STRUNY

V teórii strún nie sú základnými jednotkami častice, ktoré zaberajú jediný bod v priestore, ale jednorozmerné struny. Tieto struny môžu mať konce, alebo sa môžu spojiť do uzavretých slučiek.

Práve tak ako struny na husliach, aj struny v strunovej teórii nesú určité vibračné obrazce alebo rezonančné frekvencie, pri ktorých sa medzi dva konce struny naskladá presne celočíselný počet vlnových dĺžok.

Pokiaľ však pri rôznej rezonančnej frekvencii husľových strún vznikajú rôzne hudobné tóny pri rozdielnych osciláciách strún vznikajú rôzne hmotnosti a rôzne silové náboje, ktoré sa interpretujú ako elementárne častice. Zhruba sa dá povedať, že čím je vlnová dĺžka oscilácie struny kratšia, tým je hmotnosť častice väčšia.

Ak majú struny Grassmannove dimenzie rovnako ako aj obyčajné číselné dimenzie, potom budú vlny predstavovať bozóny a fermióny. V takomto prípade budú kladné a záporné energie základného stavu vykompenzované tak presne, že nekonečná nebudú vôbec existovať, ani tie najmenšie. Tvrdilo sa, že teória superstrún je TOE. (*Theory of Everything*), teda Teória všetkého.

Pre historikov vedy bude v budúcnosti zaujímavé zmapovať jednotlivé módné trendy meniacich sa názorov medzi teoretickými fyzikmi. Po niekoľko rokov jednoznačne kraľovala teória strún a supergravitácia sa považovala len za približnú teóriu, platnú pri nízkych energiách. Označenie „nízka energia“ sa považovalo za obzvlášť dehonestujúce, hoci v tejto súvislosti ide o častice s energiami len o niečo menšími ako je miliarda miliárdkrát energia častíc pri explózii trinitrotoluénu (TNT). Ak by bola supergravitácia iba aproximáciou vhodnou pri nízkych energiách, nemohla by sa považovať za fundamentálnu teóriu vesmíru. Namiesto toho sa predpokladalo, že základnou teóriou bude jedna z piatich možných superstrunových teórií. Avšak ktorá z piatich strunových teórií

opisuje náš vesmír? A ako by sa dala strunová teória formulovať za hranicou priblíženia, v ktorom sa struny zobrazujú ako plochy s jednou priestorovou a jednou časovou dimenziou, pohybujúce sa na pozadí plochého priestoročasu? Nezakrivujú hádam struny priestoročasové pozadie?

V období po roku 1985 bolo postupne čoraz zrejmejšie, že teória strún neposkytuje úplný obraz o prírode. Predovšetkým sa ukázalo, že struny sú iba jedným typom zo širokej triedy objektov, ktoré majú viac ako jeden rozmer. Paul Townsend, ktorý je ako ja členom oddelenia aplikovanej matematiky a teoretickej fyziky v Cambridgei, a ktorý vykonal mnoho fundamentálnej práce týkajúcej sa týchto objektov, ich pomenoval „p-brány“. Taká p-brána má dĺžku v p smeroch. Takto $p = 1$ -brána je struna (jednorozmerná), $p = 2$ -brána je plochá alebo membrána (dvojrozmerná), a tak ďalej (obr. 2.15). Zdá sa, že neexistuje nijaký dôvod uprednostňovať prípad $p = 1$ -struny, pred prípadmi s inými možnými hodnotami p . Namiesto toho by sme mali prijať princíp demokracie p-brán: všetky typy p-brány sú stvorené ako navzájom rovné.

Všetky p-brány sa dajú nájsť ako riešenia rovníc v teóriách supergravitácie s desiatimi alebo jedenástimi rozmermi. Keďže 10 alebo 11 rozmerov neveľmi zodpovedá našej bežnej skúsenosti s priestoročasom, bol tu nápad, že 6 alebo 7 rozmerov je zvinutých až natoľko že ich vôbec nevnímame; uvedomujeme si iba zostávajúce 4 veľké a takmer ploché dimenzie.

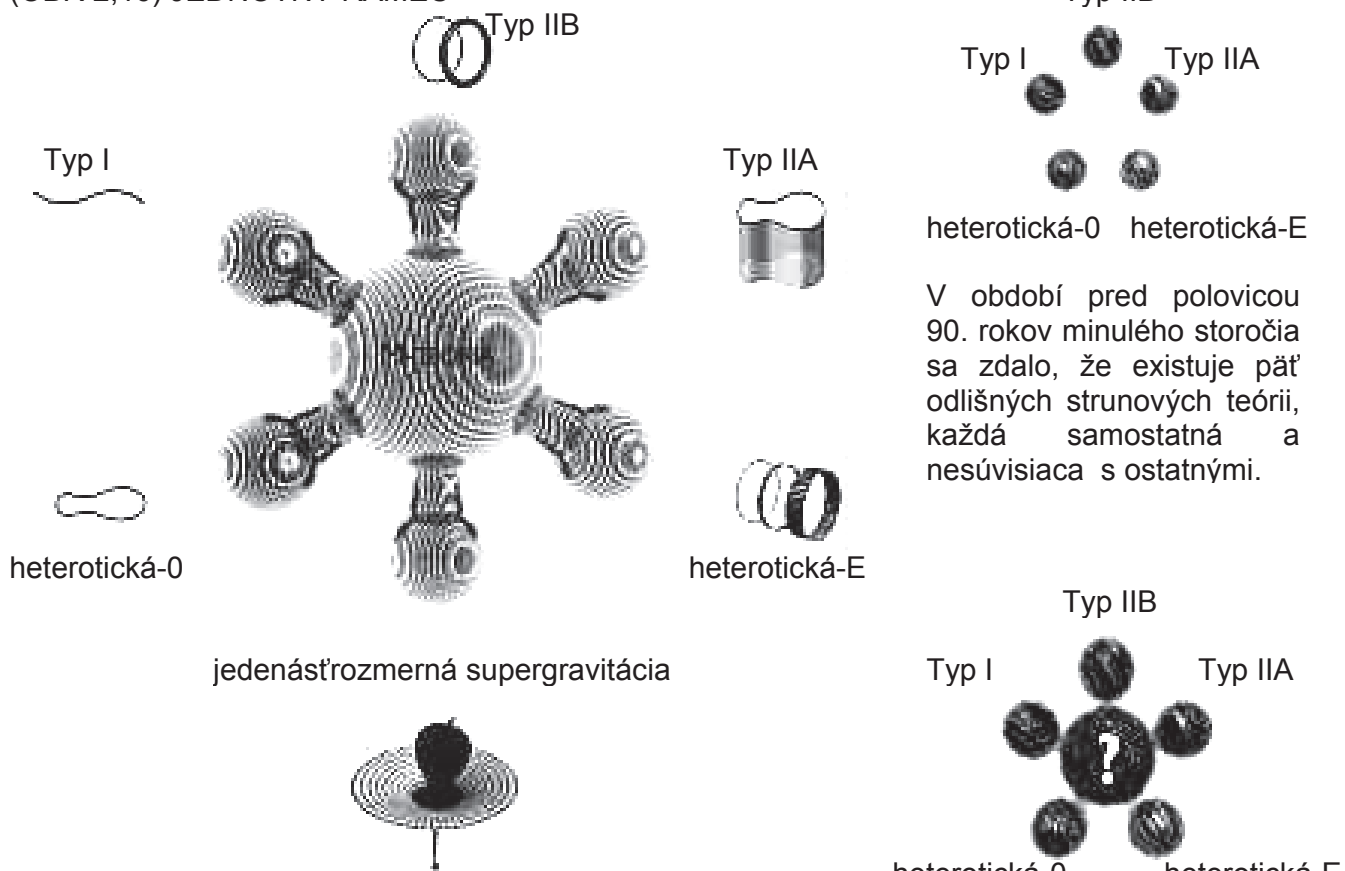


(OBR.2.15) P-BRÁNY

P-brány sú objekty, ktoré sa rozprestierajú do p rozmerov. Špeciálnymi prípadmi sú struny, ktoré majú $p = 1$ a membrány pre ktoré platí $p = 2$, ale v desať alebo jedenásťrozmernom priestoročase sú možné aj vyššie hodnoty p . Často sú niektoré, alebo aj všetky p -dimenzie zvinuté do toru (anuloidu).

Za seba musím povedať, že som sa zdráhal uveriť na dodatočné rozmery. Keďže som pozitivista, otázka „naozaj existujú dodatočné dimenzie?“ nemá nijaký význam. Všetko, na čo sa môžeme pýtať, je otázka, či matematické modely s dodatočnými rozmermi poskytujú správny obraz vesmíru. Zatiaľ nemáme nijaké pozorovania, ktoré si vyžadujú dodatočné dimenzie na svoje vysvetlenie. Existuje však možnosť, že by sme ich azda mohli pozorovať vo Veľkom hadrónovom urýchľovači (Large Hadron Collider, LHC) v Ženeve. Ale to, čo presvedčilo mnohých ľudí, vrátane mňa, bola skutočnosť, že ak človek berie modely s dodatočnými rozmermi vážne, existuje celá sieť neočakávaných súvislostí medzi rôznymi modelmi, nazývaných duality. Tieto duality ukazujú, že všetky modely sú v podstate rovnocenné; teda sú to iba rôzne aspekty tej istej základnej teórie, ktorá dostala názov M-teória. Ak by sme túto sieť dualít nebrali ako znak toho, že sme na dobrej ceste, bolo by to trochu, akoby sme verili, že Boh vložil fosílie do skál, aby Darwina pomýlil pri výklade evolúcie života.

(OBR 2,16) JEDNOTNÝ RÁMEC



Existuje sieť vzťahov, takzvaných dualít, ktorá spája všetkých päť strunových teórií, ako aj jedenástorozmernú supergravitáciu. Duality naznačujú, že rôzne teórie strún sú iba odlišným vyjadrením tej istej fundamentálnej teórie, ktorá dostala názov M-teória.

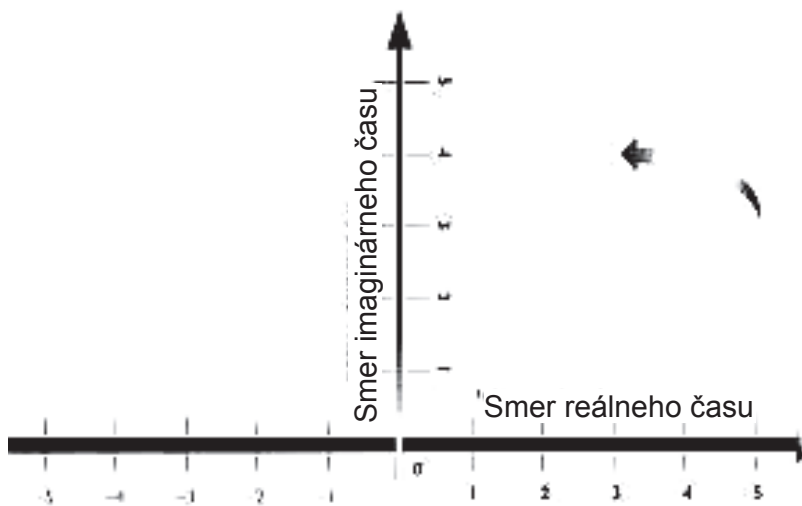
M-teória spája päť strunových teórií do jednotného teoretického rámca, ale mnohé jej vlastnosti nie sú ešte pochopené

Tieto duality ukazujú, že všetkých päť superstrunových teórií opisuje rovnakú fyziku a že sú navyše fyzikálne ekvivalentné supergravitácii (obr. 2.16). Nikto nemôže povedať, že superstruny sú fundamentálnejšie ako supergravitácia, alebo že je to opačne. Sú to skôr rôzne opisy základnej teórie, z ktorých každý je vhodný na výpočty v odlišných typoch situácií. Pretože teórie strún neobsahujú nijaké nekonečná, sú vhodné na výpočet toho, čo sa stane, ak sa zopár častíc s vysokými energiami zrazí a navzájom rozptýli. Nie sú však príliš užitočné pri opise, ako energia veľkého počtu častíc zakrivuje vesmír alebo vytvára ohraničený stav, ako je čierna diera. Pre tieto situácie je potrebná supergravitácia, čo je v podstate Einsteinova teória zakriveného priestoročasu s niektorými dodatočnými druhmi hmoty. To je predstava, z ktorej budem prevažne vychádzať v nasledujúcom výklade.

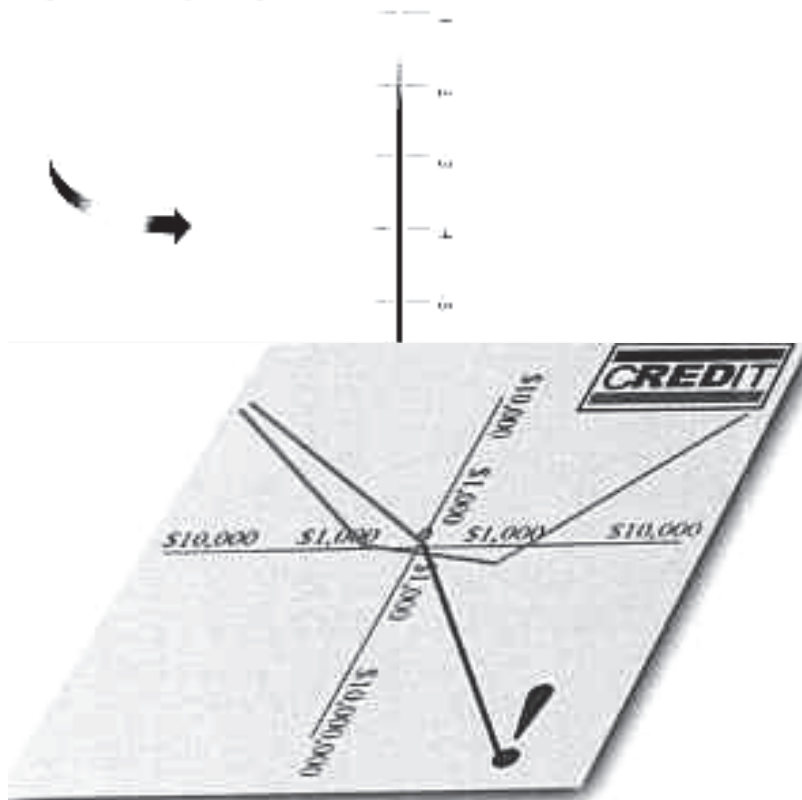
Aby sme objasnili, akú podobu dáva kvantová teória času a priestoru, je užitočné zaviesť predstavu imaginárneho času. Názov imaginárny čas vyznieva tak trochu ako výraz požičaný z oblasti vedeckej fantastiky, ale je to dobre definovaný matematický pojem: čas, ktorý meriame v takzvaných imaginárnych číslach. Bežné reálne čísla ako 1, 2, -3,5 a podobne, si možno predstaviť tak, že sú uložené na priamke smerujúcej zľava doprava: nula je v strede a od nej napravo sú kladné reálne čísla, naľavo zasa záporné reálne čísla (obr. 2.17).

Zodpovedajúce polohy imaginárnych čísel budú potom na zvislej čiare: nula je opäť v prostriedku a kladné imaginárne čísla sa od nej nachádzajú smerom nahor, záporné imaginárne čísla smerom nadol. Takto môžeme imaginárne čísla chápať ako nový druh čísel v kolmom smere na bežné reálne čísla. Pretože sú iba matematickou konštrukciou, nepotrebujú fyzikálnu realizáciu; človek si nevie predstaviť niekoľko imaginárnych pomarančov alebo imaginárny účet z kreditnej karty (obr. 2.18).

Možno si pomyslíte, že imaginárne čísla sú iba matematickou hrou, ktorá nemá nič spoločné s reálnym svetom. Avšak z pohľadu pozitivistickej filozofie sa nedá povedať, čo je reálne. Môžeme iba zistiť, ktoré matematické modely opisujú vesmír, v ktorom žijeme. Ukazuje sa, že matematický model s imaginárnym časom predpovedá nielen efekty, ktoré sme už pozorovali, ale aj javy, ktoré



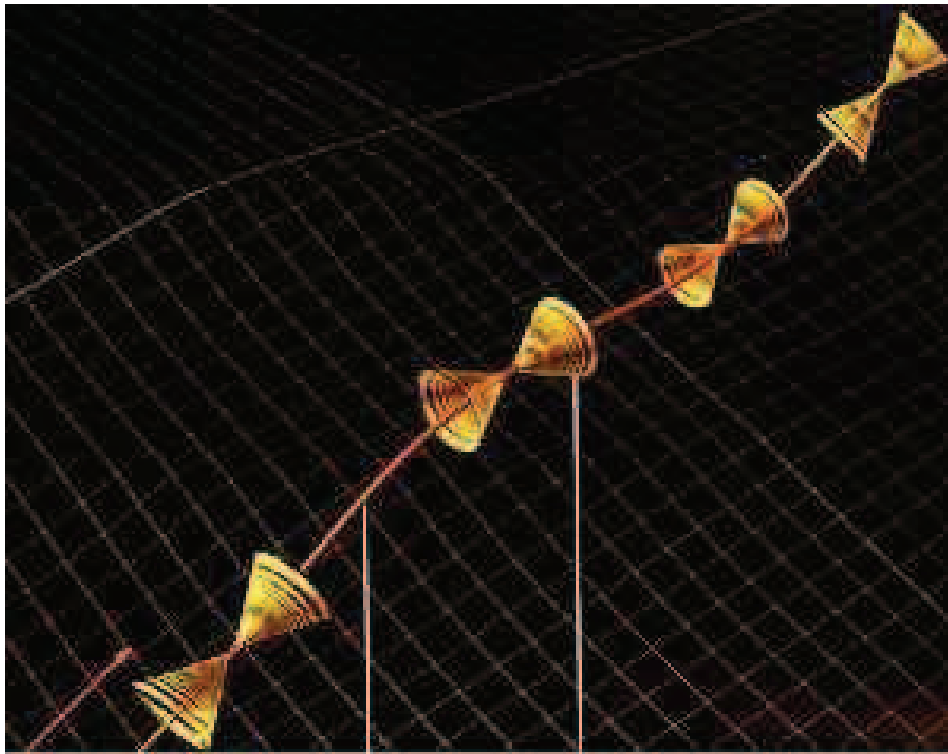
(OBR 2,17) Môžeme si vytvoriť matematický model, v ktorom je smer imaginárneho času kolmý na smer bežného reálneho času. Taký model má pravidlá určujúce históriu v imaginárnom čase prostredníctvom histórie v reálnom čase a naopak.



(OBR. 2.18) Imaginárne čísla sú matematickou konštrukciou. Nemôžete mať imaginárny účet ku kreditnej karte.

ešte nie sme schopní merať, aj keď veríme v ich existenciu z iných dôvodov. Takže, čo je reálne a čo je imaginárne? Je rozdiel medzi jedným a druhým iba v našich myšliach?

Einsteinova klasická (t. j. nekvantová) všeobecná teória relativity spojila reálny čas a tri priestorové dimenzie do štvorrozmerného priestoročasu. Smer reálneho času je tu však odlišný od smeru troch priestorových rozmerov; svetočiara alebo história pozorovateľa stále rastie v smere reálneho času (teda času, ktorý plynie vždy z minulosti do budúcnosti), ale môže rásť *alebo klesať* v ktoromkoľvek z troch priestorových smerov. Inými slovami, človek môže obrátiť smer v priestore, ale nie v čase (obr. 2.19).



(OBR. 2.19)

V priestoročase klasickej všeobecnej relativity s reálnym časom je čas odlišný od priestorových smerov, pretože môže pozdĺž histórie pozorovateľa iba rásť, zatiaľ čo priestorové smery môžu pozdĺž tejto histórie rásť aj klesať. Na druhej strane, smer imaginárneho času v kvantovej teórii je ako ďalší priestorový smer, takže môže rásť aj klesať.

Na druhej strane, pretože imaginárny čas je kolmý na reálny čas, správa sa ako štvrtý priestorový smer. Preto poskytuje oveľa bohatší okruh možností než je železničná trať reálneho času, ktorý môže mať iba počiatok alebo koniec, alebo obiehať po kružniciach. V tomto imaginárnom zmysle má teda čas tvar.

Aby sme pochopili tieto možnosti, predstavme si priestoročas s imaginárnym časom, ktorý je sférou, podobne ako povrch Zeme. Predpokladajme, že imaginárny čas sú stupne zemepisnej šírky (obr. 2.20). História vesmíru v imaginárnom čase by potom začínala na južnom póle. Bolo by nezmyslom pýtať sa „Čo sa stalo pred počiatkom?“ Také časy jednoducho nie sú definované o nič viac, ako body južnejšie od južného pólu. Južný pól je celkom bežný bod zemského povrchu a platia tam tie isté zákony ako na ostatných miestach povrchu. To nasvedčuje, že počiatok vesmíru v imaginárnom čase môže byť obyčajným bodom priestoročasu a že na počiatku môžu platiť rovnaké zákony ako vo zvyšku vesmíru.

(Kvantový vznik a evolúcia vesmíru bude predmetom v nasledujúcej kapitole.)

Iné možné správanie dostaneme, ak si imaginárny čas predstavíme ako stupne zemepisnej dĺžky. Všetky čiary konštantnej zemepisnej dĺžky sa stretávajú na severnom a južnom póle (obr. 2.21). Tam čas stojí v tom zmysle, že pri náraste imaginárneho času, čiže stupňov zemepisnej dĺžky, stále zotrývame v tom istom bode. Je to veľmi podobné, ako keď na horizonte čiernej diery stojí obyčajný čas. Zistilo sa, že toto zastavenie reálneho a imaginárneho času (buď stoja oba, alebo ani jeden) znamená, že priestoročas má teplotu, ako som to objavil pri čiernych dierach. Čierna diera nemá

(OBR.2.20) IMAGINÁRNY ČAS

V imaginárnom priestoročase, ktorý má tvar povrchu gule, by vzdialenosť od južného pólu mohla predstavovať smerovanie imaginárneho času. Keď sa pohybujeme na sever kružnice zemepisných šírok (rovnobežky) sa v konštantných odstupoch od južného pólu zväčšujú, čo zodpovedá vesmíru, ktorý sa rozpína v imaginárnom čase. Vesmír dosiahne maximálny rozmer na rovníku a potom sa začne pri narastajúcom imaginárnom čase opäť zmršťovať až do jedného bodu na severnom póle. A hoci má vesmír na póloch nulový rozmer nie sú tieto body singularitami, ale celkom obyčajnými bodmi priestoročasu, takými, ako sú aj severný a južný pól na zemskom povrchu. To naznačuje, že okamih vzniku vesmíru v imaginárnom čase môže byť obyčajným bodom priestoročasu.

(OBR.2.21)

Namiesto stupňov zemepisnej šírky môžu smer imaginárneho času vo sférickom priestoročase znázorňovať aj stupne zemepisnej dĺžky. Pretože sa všetky čiary zemepisných dĺžok (poludníky) stretávajú na severnom a na južnom póle, čas na póloch stojí: nárast imaginárneho času nás necháva stále na tom istom mieste, presne tak, ako keď na severnom póle. Zeme pri postupe smerom na západ stále zostávame na severnom póle.



J

Imaginárny čas ako stupne zemepisnej šírky

S



Imaginárny čas ako stupne zemepisnej dĺžky, ktoré sa pretínajú na severnom a na južnom póle

informácia padajúca
do čiernej diery

obnovená
informácia

Vzorec plochy pre entropiu - počet vnútorných stavov - čiernej diery naznačuje, že informácia o tom, čo padá do čiernej diery, môže byť zaznamenaná, podobne ako zvuk na platňu, a potom spätne „prehraná“, keď sa čierna diera vyparuje.



$$S = \frac{Akc^2}{4\hbar G}$$

vzorec pre entropiu
čiernej diery

- A** plocha horizontu udalostí čiernej diery
- ħ** Planckova konštanta
- k** Boltzmannova konštanta
- G** Newtonova gravitačná konštanta
- c** rýchlosť svetla
- S** entropia

iba teplotu, ale dá sa charakterizovať aj veličinou, ktorá sa nazýva entropia. Entropia je miera počtu vnútorných stavov (spôsobov vnútorného usporiadania), v ktorých čierna diera vyzerá rovnako pre vonkajšieho pozorovateľa schopného pozorovať iba jej hmotnosť, rotáciu a náboj. Táto entropia čiernej diery je daná veľmi jednoduchým vzťahom, ktorý som objavil v roku 1974. Rovná sa ploche horizontu čiernej diery: existuje jeden bit informácie o vnútornom stave čiernej diery na každú fundamentálnu jednotku plochy horizontu. To poukazuje na to, že existuje hlboká spojitosť



Aj drobný kúsok dvojrozmernej holografickej platne obsahuje dostatok informácie na to, aby sa dal znovu vytvoriť úplný trojrozmerný obraz jablka.

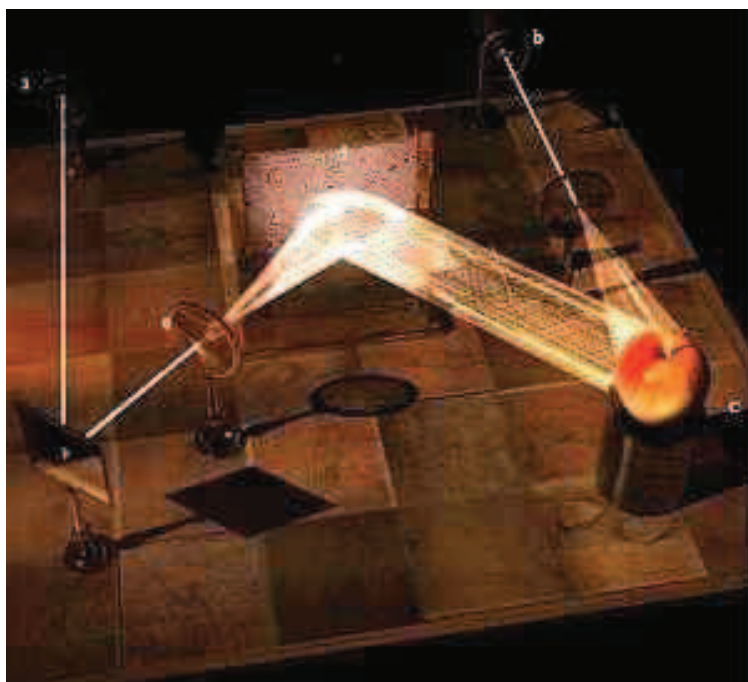


PRINCÍP HOLOGRAFIE

Zistenie, že plocha horizontu obklopujúceho čiernu diery je mierou jej entropie, viedlo ľudí k tvrdeniu, že maximálna entropia akejkoľvek uzavretej oblasti priestoru nemôže prevýšiť štvrtinu obsahu plochy, ktorá ju obopína. Fakt, že entropia nie je nič viac ako miera celkovej informácie, ktorú systém obsahuje, naznačuje, že informácia spojená so všetkými javmi v troj-rozmernom svete môže byť zaznamenaná na jeho dvojrozmernej hranici ako holografický obraz. V istom zmysle by mohol byť svet dvojrozmerný.

medzi kvantovou gravitáciou a termodynamikou, vedou o teple (ktorá zahŕňa aj štúdium entropie). Tiež to naznačuje, že v kvantovej gravitácii sa môže prejavovať niečo, čo sa nazýva holografia (obr. 2.22).

Informácia o kvantových stavoch v akejkol'vek oblasti priestoročasu môže byť nejakým spôsobom zašifrovaná na hranici oblasti, ktorá má o dve dimenzie menej. Je to podobné, ako keď hologram zaznamenáva trojrozmerný obraz na dvojrozmernú plochu. Ak kvantová gravitácia zahŕňa princíp holografie, môže to znamenať, že vieme zistiť, čo sa nachádza vnútri čiernych dier. Je to podstatné, ak máme byť schopní predpovedať druh žiarenia, ktoré prichádza z čiernych dier. V opačnom prípade nebudeme schopní predikovať budúcnosť tak vierohodne, ako sme si to predstavovali. Tento problém rozoberáme v 4. kapitole. Holografiou sa znova zaoberáme v 7. kapitole. Zdá sa, že možno žijeme na 3-bráne - štvorrozmernej (tri priestorové a jeden časový rozmer) ploche, ktorá je hranicou päťrozmernej oblasti so silne zvinutými zostávajúcimi dimenziami. V stave sveta na bráne je zakódované, čo sa deje v päťrozmernej oblasti.



(OBR. 2.22)

Holografia je v podstate jav interferencie vlnových obrazcov. Hologramy vznikajú, keď sa svetlo z jedného lasera rozštiepi na dva oddelené lúče (a) a (b). Jeden (b) sa odráža od objektu (c) na svetlocitlivú platňu (d). Druhý lúč (a) prechádza šošovkou (e), spája sa s odrazeným svetlom lúča (b) a vytvára na platni interferenčný obrazec. Ak laser osvieti vyvolanú platňu, objaví sa kompletný trojrozmerný obraz pôvodného objektu. Pozorovateľ sa môže pohybovať okolo tohto holografického obrazu a je schopný vidieť všetky skryté časti objektu, ktoré bežná fotografia nemôže ukázať.

Dvojrozmerný povrch platne vľavo, na rozdiel od bežnej fotografie, má takú pozoruhodnú vlastnosť že akýkoľvek drobný kúsok jej povrchu obsahuje všetky informácie potrebné na rekonštrukciu úplného obrazu.

3. KAPITOLA

VESMÍR V ORECHOVEJ ŠKRUPINKE

Vesmír má rozmanité histórie, z ktorých je určená drobným orieškom.



*Ó, Bože! I keby ma zatvorili do orechovej škrupinky,
bol by som schopný považovať sa za pána nekonečného priestoru...*

- Shakespeare. Hamlet,
druhé dejstvo, druhý obraz

HAMLET MAL MOŽNO NA MYSLI TO, že aj keď sme my, ľudské bytosti fyzicky veľmi obmedzené, naša myseľ môže slobodne skúmať celý vesmír a zájsť trúfalo tam, kam sa bojí vstúpiť aj *Star Trek* - ak zlé sny dovoľia.

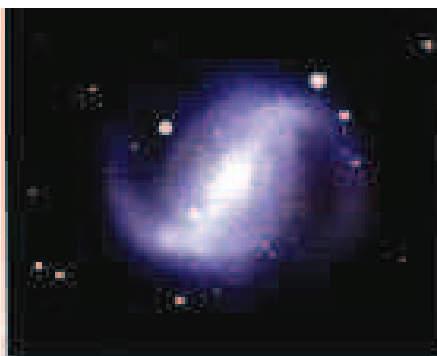
Je vesmír skutočne nekonečný, alebo iba veľmi veľký? A je večný, alebo iba dlho existuje? Ako môže naša konečná myseľ pochopiť nekonečný vesmír? Nie je to od nás príliš opovážlivé čo i len pokúsiť sa o to? Nekoledujeme si tým o osud Prometea, ktorý podľa klasickej mytológie ukradol Diovi oheň, aby ho dal ľuďom, a za svoju odvahu bol potrestaný pripútaním ku skale, kde mu orol kľuval do pečene?

Aj napriek tejto varovnej legende verím, že sa môžeme a máme pokúšať o pochopenie vesmíru. V tomto smere už sme urobili pozoruhodný pokrok, zvlášť za posledných pár rokov. Nemáme ešte o ňom úplný obraz, ale už nám k tomu veľa nechýba.

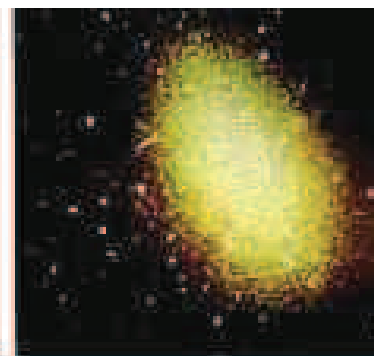
Najzrejmějšía vec na priestore je, že pokračuje stále ďalej a ďalej, a ďalej. Potvrdili nám to aj najnovšie prístroje ako Hubblov vesmírny ďalekohľad, ktoré nám umožňujú nahliadnuť hlboko do vesmíru. Vidíme tam miliardy galaxií rôznych tvarov a veľkostí (obr. 3.1). Každá galaxia obsahuje nespočetné miliardy hviezd, z ktorých mnohé majú okolo seba planéty. Žijeme na planéte krúžiacej okolo hviezdy v jednom z vonkajších ramien špirálovej galaxie nazývanej Mliečna cesta. Prach v špirálových ramenách nám zabláňa výhľad do vesmíru v rovine Galaxie, ale voľné zorné pole máme v kužeľových výsekoch po oboch stranách roviny Galaxie, v ktorých môžeme dobre zmapovať polohy vzdialených galaxií (obr. 3.2). Zistujeme, že galaxie sú v priestore zhruba rovnomerne roztrúsené, s určitými,



Špirálová galaxia
NGC 4414

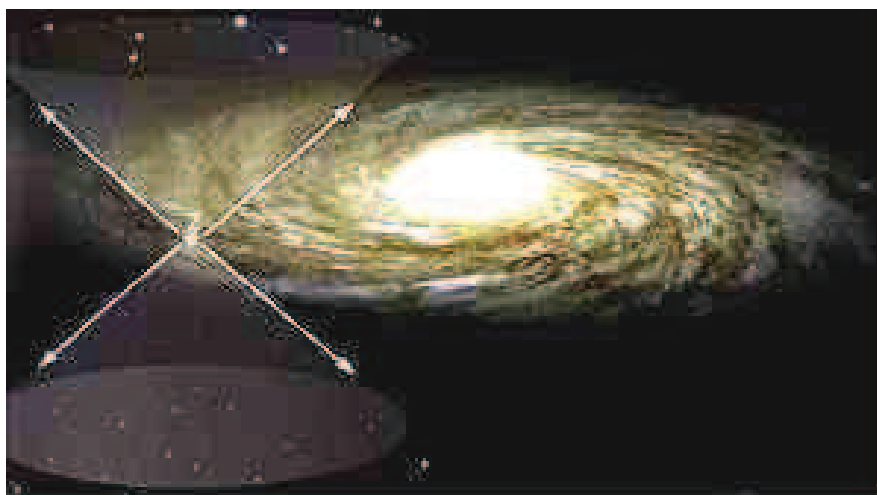


Špirálová galaxia s priečkou
NGC 4314



Eliptická galaxia
NGC 147

(OBR 3,1 hore) Keď nazrieme do hĺbky vesmíru, uvidíme mnoho miliárd galaxií. Galaxie môžu mať rozmanité tvary a rozmery, môžu byť eliptické alebo špirálové ako naša vlastná Mliečna cesta.

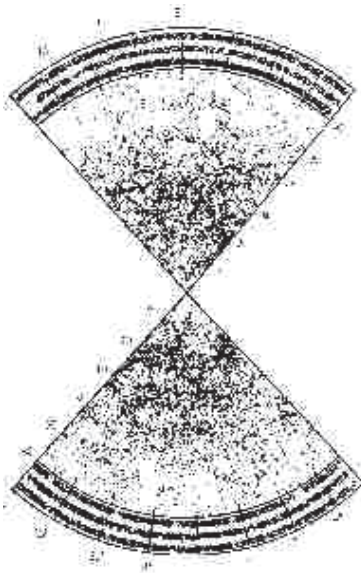


(OBR. 3.2)

Naša planéta Zem (Z) obieha okolo Slnka vo vonkajšej oblasti Mliečnej cesty. Keď sa pozeráme v smere roviny Galaxie, v rozhlade nám prekáža medzihviezdny prach v špirálových ramenách, ale dobrý výhľad máme na obe strany smerom von z tejto roviny.

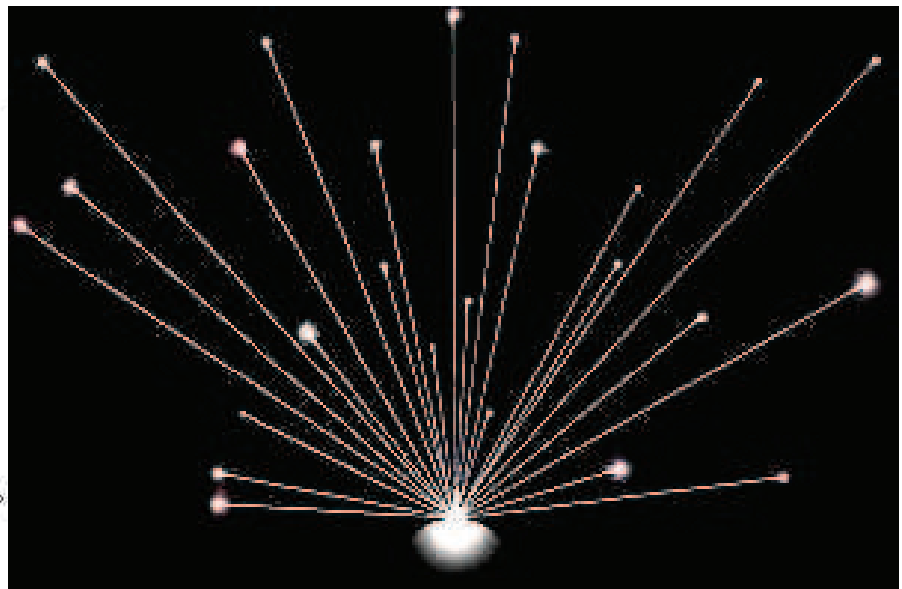
striedajúcimi sa lokálnymi zhusteniami a relatívne prázdnyimi oblasťami. Priestorová hustota galaxií vo veľmi veľkých vzdialenostiach klesá, ale zdá sa, že príčinou je ich obrovská vzdialenosť a malá jasnosť, kvôli ktorej ich nevidíme. Pokiaľ vieme posúdiť, vesmír je v priestore neobmedzene rozľahlý (obr. 3.3).

Hoci sa vesmír v každom mieste zdá viac-menej rovnaký, určite sa mení s časom. To sme si uvedomili až na začiatku 20. storočia. Dovedy si ľudia mysleli, že vesmír je v čase v podstate nemenný. Možno existoval nekonečne dlho, ale to by podľa všetkého viedlo k absurdným záverom. Ak by hviezdy vyžarovali energiu po nekonečný čas, zohriali by vesmír na svoju teplotu. Aj v noci by bola celá obloha jasná ako Slnko, pretože každý zorný lúč by končil buď na hviezde, alebo na prachovom mraku, ktorý by sa zohrieval až dovedy, kým by nebol rovnako horúci ako hviezdy (obr. 3.4).



(OBR. 3.3 vľavo)

Až na určité lokálne zhustenia zisťujeme, že galaxie sú v priestore rozložené približne rovnomerne.



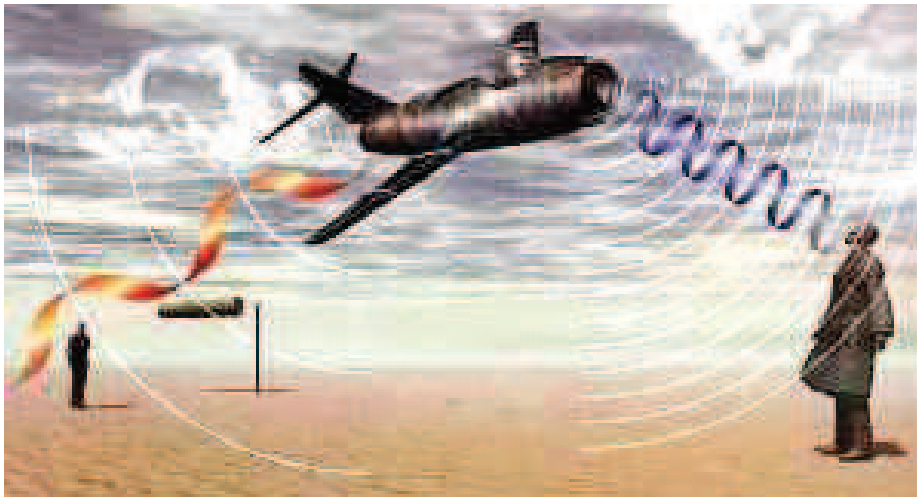
(OBR. 3.4 vpravo)

Ak by bol vesmír statický a vo všetkých smeroch nekonečný, každý zorný lúč by končil na hviezde, a teda nočná obloha by bola rovnako jasná ako Slnko.

Nám všetkým zrejme skúsenosť, že obloha je v noci tmavá, je veľmi dôležitý fakt. Plynie z neho, že vesmír nemohol existovať večne v stave, ako ho vidíme dnes. V minulosti sa muselo prihodiť niečo, vďaka čomu sa hviezdy rozžiarili pred konečným časom, takže svetlo z veľmi vzdialených hviezd k nám ešte nestačilo doraziť. To by vysvetlilo, prečo v noci nežiari celá obloha.

Ak by hviezdy existovali od večnosti, prečo by sa náhle rozžiarili iba pred pár miliardami rokov? Čo to boli za hodiny, ktoré im povedali, že už je čas svietiť? Ako sme videli, touto záhadou si lámali hlavu filozofovia ako Immanuel Kant, ktorí verili, že vesmír existoval večne. Pre väčšinu ľudí to bolo v súlade s predstavou, že vesmír bol stvorený v podstate taký, aký je dnes, a to iba pred pár tisíckami rokov.

Avšak ťažkosti s touto predstavou nastali po pozorovaniach Vesta Sliphera a Edwina Hubblea v druhom desaťročí 20. storočia. Hubble v roku 1923 objavil, že mnohé matné škvrnky svetla, nazývané hmloviny, sú v skutočnosti cudzie galaxie, teda obrovské zhluky hviezd podobných nášmu Slnku, avšak vo veľkej vzdialenosti od nás. Keďže sa javia také malé a hmlisté, musia byť tak ďaleko, že



DOPPLEROV EFEKT

Vzťah medzi rýchlosťou a vlnovou dĺžkou, ktorý sa nazýva Dopplerov efekt, je predmetom každodennej skúsenosti.

Počúvajte zvuk lietadla nad nami: keď sa približuje, hluk jeho motorov je naladený na vyšší tón, a keď nás míňa a mizne, na nižší.

Vyšší tón zodpovedá zvukovým vlnám s kratšou vlnovou dĺžkou (vzdialenosť medzi vrcholmi dvoch po sebe nasledujúcich vln) a vyššou frekvenciou (počet vln za sekundu).

Je to preto, lebo lietadlo blížiac sa k nám v priebehu vyslania dvoch po sebe nasledujúcich hrebeňov vln skrúti aj vzdialenosť, ktorá ho od nás delila v okamihu vyslania prvého hrebeňa.

Podobne, keď sa lietadlo vzdaluje, vlnové dĺžky narastajú a tón, ktorý vnímate, je nižší.

CHRONOLÓGIA SLIPHEROVÝCH A HUBBLOVÝCH OBJAVOV V ROKOCH 1910 až 1930

1912 - Slipher skúmal svetlo štyroch hmlovín a zistil, že tri z nich majú v spektre červený posun, ale Veľká hmlovina v Andromede ho má modrý. Jeho vysvetlenie bolo také, že hmlovina v Andromede sa k nám približuje, zatiaľ čo ostatné hmloviny sa od nás vzdalujú.

1912 - 1914 - Slipher zmeral 12 ďalších hmlovín. Všetky okrem jednej mali červený posun.

1914 - Slipher svoje objavy prezentoval v Americkej astronomickej spoločnosti. Hubble si to vypočul.

1918 - Hubble začal skúmať hmloviny

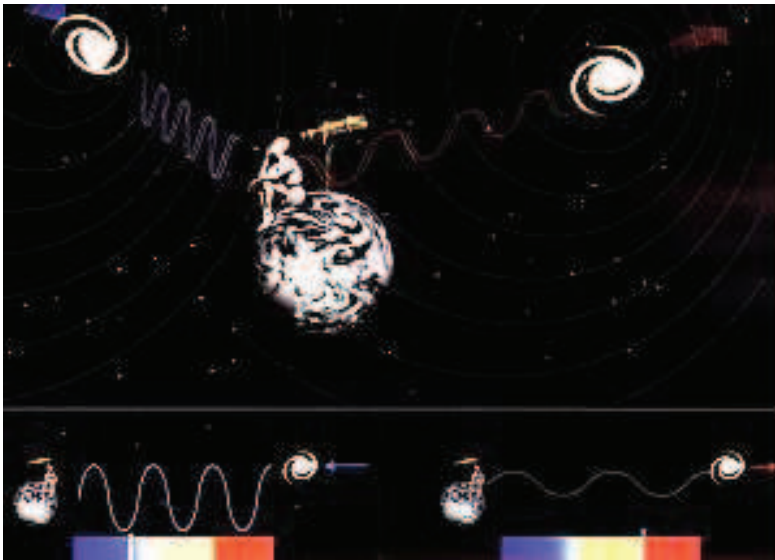
1923 - Hubble zistil že špirálové hmloviny (vrátane tej v súhvezdí Andromedy) sú cudzie galaxie.

1914 - 1925 - Slipher a iní pokračovali v meraniach dopplerovských posunov.

Pomer v roku 1925 bol 43 červených posunov k 2 modrým.

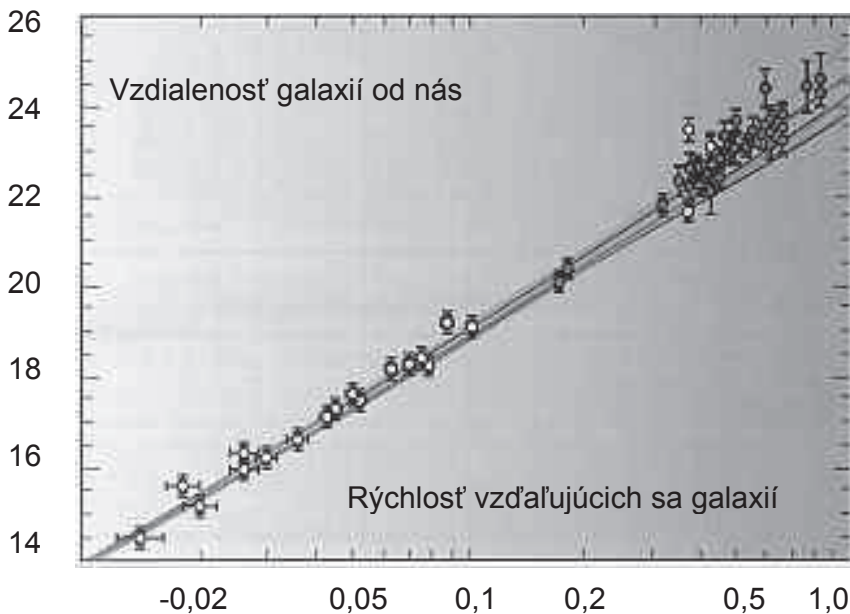
1929 - Hubble a Milton Humason

—po ďalších meraniach dopplerovských posunov a objave, že na veľkých škálach sa každá galaxia vzdaluje od každej inej - oznámili svoj objav, že sa vesmír rozpína.



(OBR. 3.5)

Dopplerov efekt nastáva aj pri svetelných vlnách. Ak zostáva galaxia v konštantnej vzdialenosti od Zeme, charakteristické čiary v jej spektre sa nachádzajú na obvyklom, štandardnom mieste. Ak sa však galaxia od nás vzdáľuje, budú sa vlny natáhať a typické čiary v spektre sa posunú k jeho červenému koncu (vpravo). Ak sa galaxia k nám približuje, potom sa budú vlny javiť stlačené a čiary budú posunuté k modrému koncu spektra (vľavo).



(OBR. 3.6) HUBBLOV ZÁKON

Rozborom svetla cudzích galaxií v 20. rokoch minulého storočia Edwin Hubble objavil, že takmer všetky galaxie sa od nás vzdáľujú, pričom ich rýchlosť V je úmerná ich vzdialenosti od Zeme R , takže $V = H \times R$. Toto dôležité zistenie, známe ako Hubblov zákon, vedie k záveru, že vesmír sa rozpína, pričom rýchlosť expanzie udáva Hubblova konštanta H .

ich svetlo by k nám malo putovať milióny, dokonca aj miliardy rokov. To znamenalo, že počiatok vesmíru nemohol nastať iba pred pár tisíckami rokov.

Druhá vec, ktorú Hubble objavil, bola ešte pozoruhodnejšia. Astronómom bolo známe, že analýzou svetla vzdialených galaxií je možné zmerať, či sa pohybujú smerom k nám, alebo od nás (obr. 3.5). Na svoje veľké prekvapenie zistili, že takmer všetky galaxie sa od nás vzdáľujú. A navyše, čím sú od nás ďalej, tým sa pohybujú rýchlejšie. Bol to práve Hubble, ktorý si uvedomil úžasný dôsledok

tohto objavu: vo veľkých mierkach sa každá galaxia vzdáľuje od každej inej galaxie. Vesmír sa teda rozpína (obr. 3.6).

Objav expanzie vesmíru bol jednou z veľkých intelektuálnych revolúcií dvadsiateho storočia. Bolo to nesmierne prekvapenie a úplne to zmenilo diskusiu o pôvode vesmíru. Ak sa Galaxie od seba vzdáľujú, museli byť v minulosti k sebe bližšie. Podľa súčasnej rýchlosti expanzie môžeme odhadovať, že asi pred desiatimi až pätnástimi miliardami rokov boli všetky galaxie skutočne veľmi tesne pri sebe. Ako píšem v poslednej kapitole, Roger Penrose a ja sme boli schopní ukázať, že Einsteinova všeobecná teória relativity vedie k záveru, že vesmír i samotný čas museli mať počiatok v obrovskom výbuchu. Hľa, tu je vysvetlenie, prečo je v noci obloha tmavá: žiadna hviezda nemohla žiariť dlhšie než desať až pätnásť miliárd rokov, čo je čas od veľkého tresku.

Zvykli sme si na myšlienku, že udalosti sú zapríčinené predchádzajúcimi udalosťami a tie ešte skoršími udalosťami. Existuje reťaz kauzálnych príčin siahajúca späť do hlbokéj minulosti. Ale predpokladajme, že táto reťaz má začiatok, a takisto, že existovala prvá udalosť. Čo *ju* zapríčinilo? Nebola to otázka, na ktorú by si veľa vedcov želalo odpovedať. Pokúšali sa ju obísť buď tak, že tvrdili, ako ruskí vedci, že vesmír nemal počiatok, alebo tak, že prehlásili, že otázka pôvodu vesmíru neleží vo sfére vedy, ale patrí do ríše metafyziky a náboženstva. Podľa môjho názoru by takýto postoj nemal zaujať žiadny skutočný vedec. Ak zákony vedy zlyhávajú v počiatkoch vesmíru, nemôžu zlyhať aj v iných okamihoch? Zákony nie sú zákonmi, ak platia iba niekedy. *Musíme sa usilovať o porozumenie vzniku vesmíru založené na vede. Môže to byť úloha nad naše sily, ale mali by sme sa o to aspoň pokúsiť.*

Teorémy, ktoré sme s Penrosom dokázali, ukazujú, že vesmír musel mať počiatok, nedávajú však veľa informácií o povahe tohto počiatku. Ukazujú, že vesmír vznikol vo veľkom tresku (big bangu), v stave, keď bol celý so všetkým, čo obsahoval, stlačený do jediného bodu s nekonečnou hustotou (do singularity). V tomto singulárnom bode Einsteinova všeobecná teória relativity zlyháva, preto nemôže poskytnúť odpoveď, akým spôsobom vesmír vznikol.

Singularita Big bangu	Planckova éra exotické zákony fyziky
10^{-43} sekundy	Éra teórie veľkého zjednotenia (GUT, Grand Unification Theory). Rovnováha hmoty/antihmoty sa narušuje v prospech hmoty.
10^{-35} sekundy	Éra elektroslabých interakcií s dominujúcimi kvarkami a antikvarkami.
10^{-10} sekundy	Éra hadrónov a leptónov. Kvarky sú uväznené v zmesi protónov, neutrónov, mezónov a byryónov.
1 sekunda	Protóny a neutróny sa spájajú a vytvárajú jadrá vodíka, hélia, lítia a deutéria.
3 minúty	Hmota a žiarenie sa spájajú a tvoria sa prvé stabilné jadrá.
300 000 rokov	Oddelenie hmoty a energie. Opticky hustý vesmír sa stáva priehľadným pre žiarenie kozmického pozadia.
1000 miliónov rokov	Zo hlučiny vznikajú kvazary, hviezdy a protogalaxie. Vo hviezdach sa začínajú syntetizovať ťažké jadrá.
15 000 miliónov rokov	Vznikajú galaxie a v nich kondenzáciou látky planetárne sústavy. Atómy sa spájajú do organických molekúl.

HORÚCI BIG BANG

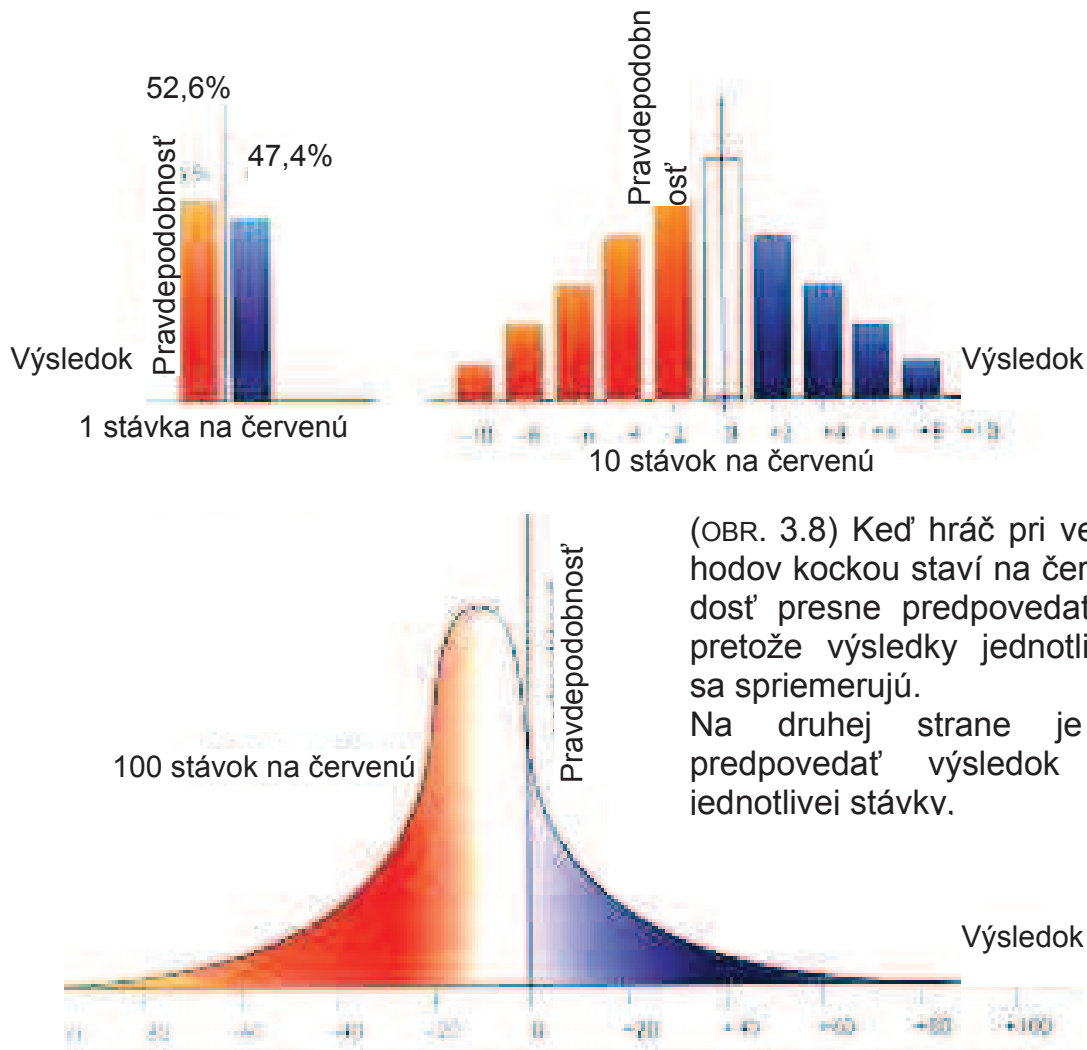
Ak má všeobecná teória relativity pravdu, vesmír sa začal vyvíjať zo singularného stavu veľkého tresku pri nekonečnej teplote a hustote. Keď sa rozpínal, teplota žiarenia postupne klesala. Asi stotinu sekundy po veľkom tresku mala teplota hodnotu 100 miliárd stupňov a vesmír obsahoval najmä fotóny, elektróny a neutrína (mimoriadne ľahké častice), ako aj ich antičastice, a malé množstvo protónov a neutrónov. Počas nasledujúcich troch minút, keď vesmír ochladol asi na jednu miliardu stupňov, mohli sa začať protóny a neutróny spájať a vytvárať jadrá hélia, vodíka a iných ľahkých prvkov.

O stovky tisíce rokov neskôr, keď teplota poklesla na zopár tisícok stupňov, elektróny spomalili svoj pohyb do takej miery, že ľahké jadrá ich už mohli zachytiť a vytvoriť atómy. Avšak ťažšie prvky, ako je uhlík a kyslík, z ktorých sme zložení aj my, sa mohli vytvoriť až o miliardu rokov neskôr, pri horení hélia v jadrách hviezd.

Tento scenár hustej, horúcej etapy vývoja raného vesmíru prvýkrát predložil Geoge Gamow v roku 1948 v článku napísanom spolu s Ralphom Alpherom, v ktorom vyslovili pozoruhodnú predpoveď, že zvyšok žiarenia z tejto horúcej ranej fázy vesmíru by sa ešte aj dnes mohol nachádzať okolo nás. Ich predpoveď v roku 1965 potvrdili fyzici Arno Penzias a Robert Wilson, keď pozorovali mikrovlnové žiarenie kozmického pozadia.

Človek má dojem, že počiatok vesmíru je zjavne mimo kompetencie vedy.

Toto nebol záver, nad ktorým by mali vedci jasat'. Ako upozorňujem v 1. a 2. kapitole, príčina, že všeobecná teória relativity v blízkosti big bangu zlyháva, spočíva v tom, že neobsahuje princíp neurčitosti, prvok náhodilosti kvantovej teórie, s ktorým Einstein nesúhlasil, lebo vraj „Boh nehrá kocky“. Avšak všetko nasvedčuje tomu, že Boh je v skutočnosti veľký hráč. Vesmír si môžeme predstaviť ako obrovské kasíno, kde sa vrhá kockami alebo sa roztáča koleso rulety pri každej príležitosti. Môžete si myslieť, že prevádzkovať kasíno je veľmi riskantná činnosť, pretože vždy riskujete stratu peňazí, keď sa vrhajú kocky alebo sa roztáča ruleta. Po veľkom počte stávk sa výhry a straty spriemerujú do výsledku, ktorý *možno* predpovedať, aj keď výsledok akejkolvek jednotlivej hry sa predpovedať nedá (obr. 3.8).



(OBR. 3.8) Keď hráč pri veľkom počte hodov kockou staví na červenú, dá sa dosť presne predpovedať jeho zisk, pretože výsledky jednotlivých vrhov sa spriemerujú. Na druhej strane je nemožné predpovedať výsledok akejkolvek jednotlivej stávky.

Majitelia kasín dokážu zabezpečiť, že sa šance spriemerujú v ich prospech. Preto sú majitelia kasín takí zamožní ľudia. Jedinou šancou, ako nad nimi zvíťaziť, je staviť všetky svoje peniaze na zopár vrhov kockami alebo roztočení rulety.

Rovnako je to s vesmírom. Pokiaľ je vesmír veľký ako teraz, existuje aj veľký počet vrhov kockami a výsledky sa spriemerujú na niečo, čo sa dá predpovedať. Preto pre veľké systémy platia klasické zákony fyziky. Keď je však vesmír veľmi malý, ako to bolo blízko big bangu, počet hodov kociek je malý a princíp neurčitosti sa stáva významným faktorom.

Pretože vesmír stále pokračuje v „hádzaní kociek“, aby videl, čo sa má následne stať, nemá iba jednu históriu, ako by si to mohol niekto myslieť. Namiesto toho musí mať všetky možné histórie, každú so svojou vlastnou pravdepodobnosťou. Musí medzi nimi byť história vesmíru, v ktorej maličký štátik Belize získal na olympijských hrách všetky zlaté medaily, hoci pravdepodobnosť takejto histórie je asi dosť malá.

Táto predstava, že vesmír má viaceré dejiny, môže vyznievať ako vedecká fantastika, ale dnes sa prijíma ako vedecký fakt. Sformuloval ju Richard Feynman, ktorý bol nielen veľký fyzik, ale aj skutočná osobnosť.

Teraz pracujeme na spojení Einsteinovej všeobecnej teórie relativity s Feynmanovou ideou rozličných histórií do úplne zjednotenej teórie, ktorá bude opisovať všetky deje vo vesmíre. Táto zjednotená teória nám umožní vypočítať, ako sa bude vesmír vyvíjať, ak vieme ako jednotlivé histórie začali. Samotná zjednotená teória nám ale nepovie, ako vesmír vznikol alebo aký bol jeho počiatkový stav. Na to potrebujeme niečo, čomu sa hovorí okrajové podmienky, pravidlá, ktoré nám hovoria, čo sa deje na hraniciach vesmíru, na okrajoch priestoru a času.

Ak by bola hranica vesmíru iba obyčajný bod priestoru a času, mohli by sme ho obísť a vyhlásiť oblasť za ním za časť vesmíru. Na druhej strane, ak by bola hranica vesmíru na akomsi zubatom ostrí, kde by sa priestor a čas zrútili a hustota látky by bola nekonečná, bolo by veľmi ťažké zdefinovať nejaké zmysluplné okrajové podmienky.



Tabuľa v Caltechu v čase Feynmanovej smrti v roku 1988

Richard Feynman

FEYNMANOVE HISTÓRIE (A HISTORKY)

Richard Feynman sa narodil v roku 1918 v Brooklyne, v štáte Nevv York a vedeckú hodnosť PhD. získal pod vedením Johna Wheelera na Princetonskej univerzite v roku 1942. Krátko nato sa zapojil do Projektu Manhattan. Tam bol známy tak svojou neviazanou povahou a kanadskými žartíkmi - v laboratóriách v Los Alamos sa zabával otváraním nedobytných trezorov s prísne tajným obsahom - ,ako aj povestou výnimočného fyzika: prispel kľúčovým spôsobom k teórii atómovej bomby Feynmanov záujem o svet bol základom jeho bytia. Nebol to iba hnací motor jeho vedeckých úspechov, ale doviedol ho k mnohým neuveriteľným výkonom aj v iných oblastiach, ako bolo rozlúštenie mayských hieroglyfov.

V rokoch po 2. svetovej vojne našiel Feynman nový efektívny spôsob chápania kvantovej mechaniky za ktorý v roku 1965 získal Nobelovu cenu. Spochybnil základný klasický predpoklad, že každá častica má jednu konkrétnu históriu, a nahradil ho predstavou, že častica sa priestoročasom presúva z jedného miesta na druhé po všetkých možných trajektoriách. Každé trajektorii Feynman priradil dvojicu čísel, jedno pre veľkosť vlny - amplitúdu - a jedno pre jej fázu - či je na vrchole alebo v údolí vlny. Pravdepodobnosť že častica prejde z bodu A do bodu B, je daná súčtom vln, ktoré priradíme všetkým možným trajektoriám prechádzajúcim bodmi A a B.

Pravda, každodenná skúsenosť nás učí že telesá postupujú po jedinej trajektorii medzi východiskovým a konečným bodom svojej dráhy. To je v súlade s Feynmanovou myšlienkou mnohonásobnej histórie (alebo sčítavania cez histórie), pretože pre veľké telesá jeho pravidlo o priradení čísel ku každej trajektorii zaručuje, že všetky trajektorie okrem jednej sa eliminujú, keď sa ich príspevky spočítajú. Iba jednu z nekonečného počtu ciest má význam považovať za pohyb makroskopického objektu. a práve táto trajektória je tou, ktorá vychádza z klasických Newtonových pohybových zákonov.

S kolegom Jimom Hartlom sme si však uvedomili, že tu existuje aj tretia možnosť. Možno vesmír nemá žiadnu hranicu v priestore ani v čase. Na prvý pohľad sa zdá, že to je v priamom rozpore s teorémami, ktoré sme s Penrosom dokázali a podľa ktorých vesmír musel mať počiatok, teda ohraničenie v čase. No ako sme v 2. kapitole vysvetlili, existuje ešte iný druh času, nazývaný imaginárny čas - druh času kolmý na náš bežný reálny čas, ktorého plynutie si všetci uvedomujeme. História vesmíru v reálnom čase určuje jeho históriu v imaginárnom čase a naopak, ale tieto dva druhy histórie

môžu byť veľmi odlišné. Konkrétne, v imaginárnom čase vesmír nemusí mať nijaký počiatok alebo koniec. Imaginárny čas sa správa iba ako ďalší rozmer v priestore. Takto si možno histórie vesmíru v imaginárnom čase predstaviť ako zakrivené plochy, ako loptu, rovinu alebo sedlo, lenže so štyrmi rozmermi namiesto dvoch (pozri obr. 3.9).



(OBR. 3.9) HISTÓRIE VESMÍRU

Ak by sa histórie vesmíru správali v nekonečne ako sedlová plocha, bol by problém zadať, aké sú tam okrajové podmienky. Ak sú všetky histórie vesmíru v imaginárnom čase uzavretými plochami, ako je aj povrch Zeme, potom sa okrajové podmienky vôbec nemusia zadávať.

ZÁKONY ČASOVÉHO VÝVOJA A POČIATOČNÉ PODMIENKY

Zákony fyziky predpisujú, ako sa počiatkový stav vyvíja v čase. Napríklad, ak do vzduchu vyhodíme kameň, zákony gravitácie presne predpíšu jeho nasledujúci pohyb.

Z týchto zákonov však nevieme predpovedať, kam kameň dopadne. Na to musíme poznať jeho rýchlosť a smer, keď opúšťa našu ruku. Inými slovami, musíme poznať počiatkové podmienky - okrajové podmienky - pohybu kameňa.

Kozmológia sa pokúša opísať vývoj celého vesmíru pomocou fyzikálnych zákonov. Musíme sa teda pýtať aké boli počiatkové podmienky vesmíru, na ktoré by sme mali tieto zákony aplikovať.

Počiatkový stav možno mal zásadný dosah na základné charakteristiky vesmíru, azda aj na vlastnosti elementárnych častíc a síl, ktoré boli rozhodujúcimi faktormi pre vývoj biologického života.

Jeden návrh je *podmienka „bez hraníc“*, teda podmienka, že čas a priestor sú konečné a tvoria uzavretú plochu bez hraníc, práve tak ako je povrch Zeme konečnej veľkosti, ale nemá žiadne hranice. Návrh „bez hraníc“ je založený na Feynmanovej myšlienke mnohých histórií, ale história častice vo Feynmanovej sume je teraz nahradená celým priestoročasom, ktorý reprezentuje históriu vesmíru v celku. Presnejšie povedané, podmienka „bez hraníc“ je vymedzenie možných histórií vesmíru na tie priestoročasy, ktoré nemajú v imaginárnom čase žiadnu hranicu. Povedané ešte inak, okrajová podmienka vesmíru je, že nemá žiadny okraj. Kozmológovia v súčasnosti skúmajú, či sa počiatkové konfigurácie, ktoré vyhovujú podmienke „bez hraníc“, možno skombinovanej so slabým antropickým princípom, vyvinú na taký vesmír, aký práve pozorujeme.

Ak by sa histórie vesmíru rozprestierali do nekonečna, podobne ako sedlovitá plocha alebo rovina, mali by sme problém zadať, aké sú v nekonečne okrajové podmienky. Požiadavke definovať okrajové podmienky v nekonečne sa však môžeme úplne vyhnúť, pokiaľ sú histórie vesmíru v imaginárnom čase uzavreté plochy, akou je napríklad povrch Zeme. Povrch Zeme nemá nijaké hranice alebo okraje. Neexistujú žiadne spoľahlivé správy o ľuďoch, ktorí by cez ne prepadli.

Ak by boli histórie vesmíru v imaginárnom čase skutočne uzavretými plochami, ako sme to s Hartlom navrhli, malo by to zásadný dosah na filozofiu aj na našu predstavu o tom, odkiaľ sme prišli. Vesmír by bol úplne sebestačný; nepotreboval by zvonka nič, čo by natiahlo jeho hodinový stroj a spustilo ho. Namiesto toho by všetko vo vesmíre bolo určené zákonmi vedy a hrou s kockami vnútri vesmíru. Môže to vyznieť trúfalo, ale to je to, v čo ja a mnohí iní vedci veríme.

Aj keď okrajovou podmienkou vesmíru je, že nemá žiadny okraj, nebude mať iba jedinú históriu. Bude mať mnohé histórie, ako to navrhoval Feynman. Bude existovať história v imaginárnom čase, zodpovedajúca každej možnej uzavretej ploche, a každá história v imaginárnom čase bude určovať históriu v reálnom čase. Takto máme pre vesmír prebytok možností. Čo však vybralo práve ten vesmír, v ktorom žijeme, zo súboru všetkých možných vesmírov? Jedna vec, ktorú si môžeme všimnúť, je, že mnohé potenciálne histórie vesmíru neprejdú fázou postupného formovania galaxií a hviezd, ktorá bola podstatná pre náš vlastný vývoj. Zatiaľ sa zdá nepravdepodobné, že sa živé bytosti môžu vyvinúť bez galaxií a hviezd, i keď to nie je vylúčené. Teda už holá skutočnosť, že existujeme ako bytosti, i ktoré si môžu položiť otázku „Prečo je vesmír taký, aký je?“, je obmedzenie na históriu, v ktorej žijeme. Z tejto skutočnosti totiž plynie, že naša história je jedna z malého počtu

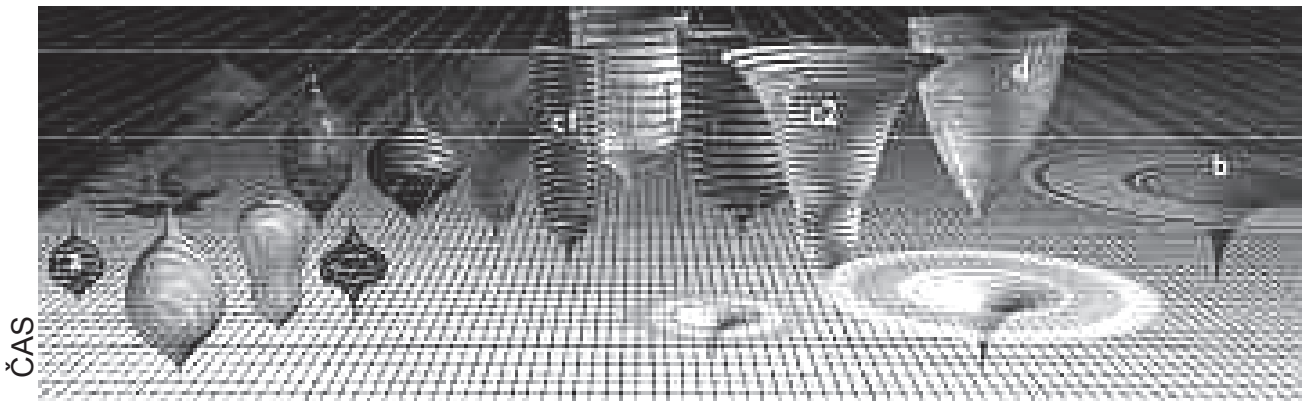
histórií, v ktorých sa vyskytujú galaxie a hviezdy. To je príklad toho, čo sa nazýva antropický princíp. Antropický princíp hovorí, že vesmír musí byť viac-menej taký, aký ho vidíme, pretože ak by bol iný, nebol by tu nikto, kto by ho pozoroval (obr. 3.10). Mnoho vedcov neoblubuje antropický princíp, pretože sa zdá pomerne vágny a nemá dosť predikatívnej sily. Možno ho však presne

(OBR. 3.10, dole)

Na ľavom okraji obrázka sú tie vesmíry **(a)**, ktoré skolabovali samy do seba a uzatvorili sa. Na pravom okraji sú tie otvorené vesmíry **(b)**, ktoré budú v rozpínaní pokračovať navždy.

Tie kritické vesmíry ktoré sú na hranici medzi stavom spätného zrútenia sa samých do seba a pokračujúcim rozpínaním, ako **(c1)**, alebo vesmíry s dvojitou infláciou **(c2)**, by mohli byť živnou pôdou inteligentnej formy života. Náš vlastný vesmír **(d)** je vybalansovaný tak, aby zatiaľ pokračoval v rozpínaní. Dvojitá inflácia by mohla byť živnou pôdou inteligentného života.

Inflácia nášho vlastného vesmíru pokračuje jeho súčasnou expanziou.



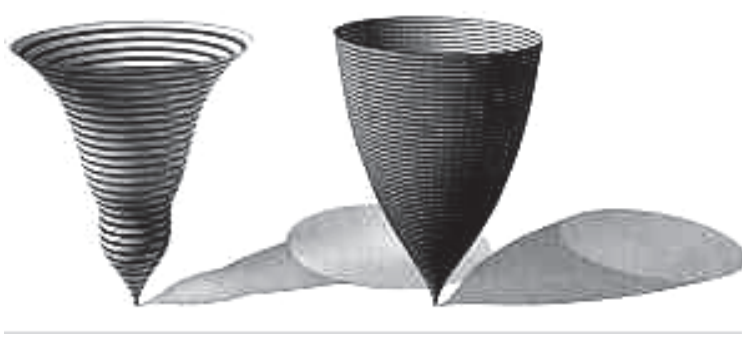
VEĽKOSŤ EXPANZIE

ANTROPICKÝ PRINCÍP

Zhruba povedané, antropický princíp hovorí, že vesmír vidíme taký, aký je, aspoň do istej miery, pretože existujeme. To je postoj, ktorý diametrálne odporuje snu o úplne prediktívnej zjednotenej teórii, v ktorej sú prírodné zákony úplné a svet je taký, aký je, pretože inakší by ani nemohol byť. Existuje viacero verzií antropického princípu, od natoľko slabých, až sú triviálne, až po také silné, že sú absurdné. Aj keď sa väčšina vedcov zdráha prijať silnú verziu antropického princípu, málokto vedie spory o užitočnosť niektorých slabých antropických argumentov.

Slabý antropický princíp sa redukuje na vysvetlenie, v ktorých rôznych možných érach by sme sa mohli objaviť, alebo ktoré časti vesmíru by sme mohli obývať. Napríklad dôvod, prečo došlo k big bangu asi pred 10 000 až 15 000 miliónmi rokov spočíva v tom, že vesmír musí byť dosť starý, aby niektoré hviezdy stihli ku koncu svojho vývoja vyprodukovať prvky ako kyslík a uhlík z ktorých sme zložení, ale dosť mladý na to, aby niektoré hviezdy mohli ešte stále uvoľňovať energiu potrebnú na udržanie života.

V rámci podmienky „bez hraníc“ možno použiť Feynmanovo pravidlo o priradení čísel každej histórii vesmíru, aby sa zistilo, ktoré vlastnosti bude vesmír pravdepodobne mať. V tomto kontexte antropický princíp znamená požiadavku, aby histórie obsahovali inteligentný život. Samozrejme, človek by sa cítil s antropickým princípom šťastnejší, ak by mohol ukázať, že množstvo rozdielnych počiatočných konfigurácií vesmíru sa pravdepodobne vyvinie tak, že výsledný vesmír sa podobá na ten, čo pozorujeme. To by znamenalo, že počiatočný stav časti vesmíru, ktorú obývame, nemusel byť vybraný príliš starostlivo.



Dvojitá inflácia by mohla byť živnou
pôdou inteligentného života

Inflácia nášho vlastného vesmíru
pokračuje jeho súčasnou expanziou.

sformulovať a zdá sa byť dôležitý, keď ide o pôvod vesmíru. M-teória, opísaná v 2. kapitole, pripúšťa veľký počet možných histórií vesmíru. Väčšina z nich nie je vhodná na vývoj rozumného života; sú prázdne, majú príliš krátke trvanie, sú príliš zakrivené alebo nevyhovujú nejakým iným spôsobom. Podľa myšlienky Richarda Feynmana o mnohonásobných históriách však môžu mať tieto neobývané histórie dosť vysokú pravdepodobnosť výskytu.

V skutočnosti vôbec nezáleží na tom, koľko je histórii bez inteligentných bytostí. Zaujímame sa iba o podmnožinu tých histórií, v ktorých sa vyvíja inteligentný život. Tento inteligentný život nemusí byť v ničom podobný ľuďom. Mohli by to byť rovnako dobre i malí zelení mužíčkovia. Pre naše účely sú dokonca vhodnejší, keďže ľudské pokolenie nie je práve vychýrené tým, že by sa správalo inteligentne. Aby sme ukázali silu antropického princípu, uvažujme o počte rozmerov v priestore. Ako vieme z každodennej skúsenosti, žijeme v trojrozmernom priestore. To znamená, že polohu bodu v priestore môžeme zadať pomocou troch čísel, napríklad zemepisnej šírky, dĺžky a nadmorskej výšky. Prečo je však priestor trojrozmerný? Prečo nemá dva alebo štyri, alebo nejaký iný počet rozmerov, ako je to vo vedeckej fantastike? V M-teórii má priestor deväť alebo desať rozmerov, ale predstava je taká, že šesť alebo sedem z nich je zvinutých do veľmi malej oblasti, a iba zostávajúce tri sú veľké a takmer ploché (obr. 3.11).

Prečo nežijeme v histórii, v ktorej je nadrobno zvinutých osem rozmerov a existujú iba dva, ktoré vnímame? Dvojrozmerný živočích by mal veľký problém s trávením potravy. Ak by mal črevo, ktoré by prechádzalo celým jeho telom, rozdelilo by ho na dve časti a úbohý tvor by sa rozpadol. Preto dve ploché dimenzie nepostačujú na nič, čo je také zložité ako inteligentná bytosť. Na druhej strane zasa, ak

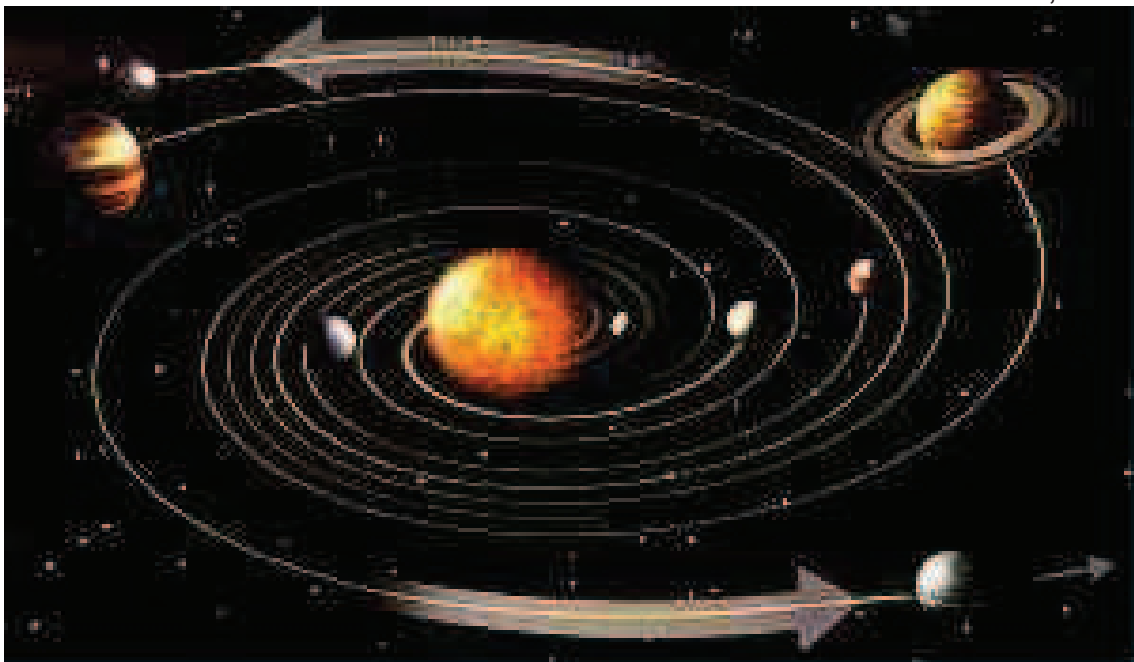


(OBR. 3,11)
Z diaľky vyzerá slamka na pitie
ako jednorozmerná priamka.

OBR 3,12A



OBR 3,12B



by existovali štyri alebo aj viac takmer plochých rozmerov, gravitačná sila medzi dvoma telesami by pri ich približovaní vzrastala rýchlejšie ako v trojrozmernom priestore. To by znamenalo, že planéty by okolo svojich slnk nemohli mať stabilné dráhy. Museli by buď spadnúť na svoje slnko (obr. 3.12A), alebo uniknúť do okolitej tmy a chladu (obr. 3.12B).

Podobne by neboli stabilné ani orbity elektrónov v atómoch a neexistovala by hmota v tej podobe, ako ju poznáme. Teda, aj keď idea viacnásobných histórií dovoľuje ľubovoľný počet málo zakrivených rozmerov, jedine histórie s troma plochými rozmermi budú obsahovať rozumné bytosti. Iba v takých históriách sa bude klásť otázka: „Prečo má priestor tri rozmery?“

Najjednoduchšia história vesmíru v imaginárnom čase je okrúhla sféra podobná povrchu Zeme, ale s dvoma rozmermi navyše (obr. 3.13). Tá určuje históriu vesmíru v reálnom čase, ktorý



(OBR. 3.13)
Najjednoduchšia história v imaginárnom čase bez hraníc je sféra (povrch gule). Tá určuje históriu v reálnom čase, ktorá expanduje v inflačnom režime.



(OBR. 3.14)

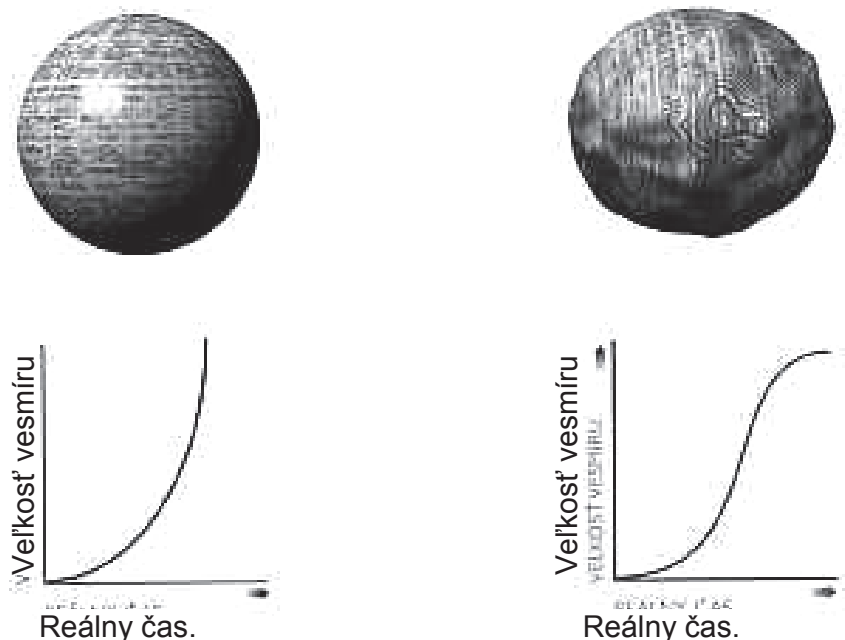
prežívame, a táto história vyzerá tak, že vesmír je v nej rovnaký v každom bode priestoru a s časom sa rozpína. V tom sa podobá vesmíru, v ktorom žijeme. Rýchlosť rozpínania je však veľmi veľká a stále sa zväčšuje. Takáto zrýchľujúca sa expanzia sa nazýva inflácia, pretože sa podobá neustálemu stúpaniu cien čoraz väčšou rýchlosťou.

Inflácia v peňažníctve sa zvyčajne považuje za zlú vec, ale v prípade vesmíru je veľmi prospešná. Veľká miera expanzie vyrovná akékoľvek nerovnosti a hrbolčeky, ktoré sa mohli vyskytnúť v ranom vesmíre. Keď sa vesmír rozpína, požíčiava si energiu gravitačného poľa na vytvorenie ďalšej hmoty. Kladná energia hmoty je presne vyvážená zápornou gravitačnou energiou, takže celková energia sa rovná nule. Keď vesmír zdvojnásobí svoju veľkosť, zdvojnásobia sa aj obe energie, hmoty i gravitácie — dvakrát nula je stále nula. Keby bol aj svet financií taký jednoduchý (obr. 3.14)!

Keby história vesmíru v imaginárnom čase bola dokonale okrúhla guľa, história v reálnom čase by zodpovedala vesmíru, ktorý by sa rozpínal inflačným spôsobom po celý čas. Kým sa vesmír nachádza v inflačnej fáze, hmota sa v ňom nemôže zhlukovať a vytvárať galaxie a hviezdy, takže život a tým skôr jeho inteligentná forma podobná nám, sa nemôže vyvinúť. Teda aj keď teória mnohonásobných histórií pripúšťa histórie vesmíru v imaginárnom čase ako perfektné gule, nie sú takéto vesmíry príliš zaujímavé. Avšak histórie v imaginárnom čase, ktoré sú trochu sploštené na južnom póle príslušných sfér, sú pre nás omnoho významnejšie (obr. 3.15).

V takom prípade bude zodpovedajúca história spočiatku v reálnom čase expandovať v zrýchlenom, inflačnom režime, potom sa však rozpínanie začne spomaľovať a budú môcť vzniknúť galaxie. Aby sa mohla vyvinúť inteligentná forma života, musí byť sploštenie na južnom póle veľmi malé. Bude to znamenať, že rozmery vesmíru sa na začiatku rozpínania nesmierne zväčšia. Pri rekordnej úrovni peňažnej inflácie, ktorá postihla Nemecko medzi svetovými vojnami, stúpili ceny miliárdkrát — ale rozmery vesmíru sa pri inflácii museli zväčšiť prinajmenšom miliardu miliárd miliárdkrát (obr. 3.16).

Podľa princípu neurčitosti neexistuje iba jedna história vesmíru, ktorá obsahuje inteligentný život. Namiesto toho histórie v



(OBR. 3.15 hore) INFLAČNÝ VESMÍR

V modeli horúceho big bangy nebol v ranom vesmíre dostatok času, aby sa dostalo teplo z jednej oblasti do inej. Bez ohľadu na smer pozorovania však zisťujeme, že teplota mikrovlnového žiarenia pozadia je všade rovnaká. To znamená, že v počiatočnom stave musel mať vesmír všade presne rovnakú teplotu.

Pri pokuse nájsť model, v ktorom by sa z mnohých rozdielnych počiatočných konfigurácií mohlo vytvoriť niečo, čo je podobné súčasnému vesmíru, sa dospelo k záveru, že raný vesmír mal asi aj obdobie veľmi prudkej expanzie. Tomuto rozpínaniu sa hovorí inflačné, pretože prebieha neustále sa zvyšujúcim tempom, a nie klesajúcim, ako sme toho boli dlho svedkami. Takáto inflačná fáza vo vývoji raného vesmíru by mohla vysvetliť problém, prečo je vesmír vo všetkých smeroch rovnaký, pretože v jeho prvom štádiu by zostalo pre svetlo dosť času, aby sa dostalo z jedného jeho miesta na iné.

Ak sa vesmír rozpína imflačným spôsobom po celý čas, zodpovedajúcou históriou v imaginárnom čase je dokonalá sféra. No v našom vlastnom vesmíre sa inflačné rozpínanie spomalilo po zlomku sekundy, a tak mohli vzniknúť galaxie. V imaginárnom čase to znamená, že história nášho vesmíru je guľa s maličkým sploštením na južnom póle.

VEĽKOOBCHODNÝ CENOVÝ INDEX INFLÁCIA A HYPERINFLÁCIA

Júl 1914	1,0
Január 1919	2,6
Júl 1919	3,4
Január 1920	12,6
Január 1921	14,4
Júl 1921	14,3
Január 1922	37,6
Júl 1922	100,6
Január 1923	2 785,0
Júl 1923	194 000,0
November 1923	726 000 000 000,0

(OBR. 3.16 vľavo)

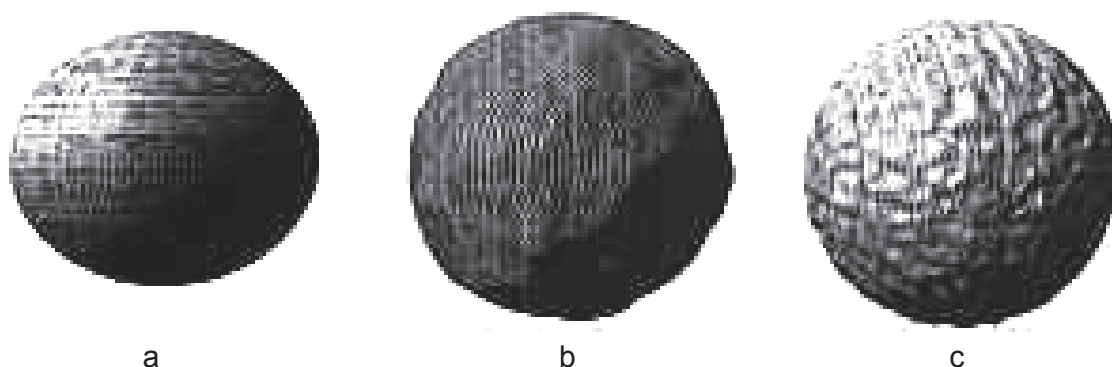
INFLÁCIA MÔŽE BYŤ ZÁKONOM PRÍRODY

Inflácia v Nemecku po skončení vojny stúpala mierne až do februára 1920, keď úroveň cien bola päťnásobkom cien oproti roku 1918. Po júli 1922 nastúpilo obdobie hyperinflácie. Stratila sa všetka dôvera v peňažnú menu a cenový index po dobu 15 mesiacov rástol čoraz rýchlejšie, predstihujúc tlačiarenské lisy, ktoré nestačili tlačiť peniaze tak rýchlo, ako sa znehodnocovali. Na sklonku roku 1923 pracovalo na výrobe bankoviek 300 papierní s maximálnym výkonom a 150 tlačiarenských spoločností malo 2 000 tlačiarenských strojov, ktoré chrlili bankovky deň i noc.

imaginárnom čase budú tvoriť celú rodinu mierne deformovaných gúľ, z ktorých každá korešponduje s históriou v reálnom čase, v ktorej je vesmír vo fáze inflácie po dlhý čas, ale nie donekonečna. Potom sa môžeme pýtať, ktorá z týchto prípustných histórií je najpravdepodobnejšia. Ukazuje sa, že histórie s najväčšou celkovou pravdepodobnosťou nie sú úplne hladké, ale majú drobné hrbolčky a výmole (obr. 3.17). Záhyby na najpravdepodobnejších históriách sú ozaj nepatrné. Odchýlky od úplne hladkej plochy sú rádovo jedna ku stotisíc. Aj keď sú také nesmierne maličké, dokážeme ich spozorovať ako malé fluktuácie v mikrovlnovom žiarení, ktoré k nám prichádza z kozmu zo všetkých smerov. Družica COBE (Cosmic Background Explorer), ktorú vypustili v roku 1989, zhotovila mapu oblohy v oblasti mikrovln.

Rôzne farby predstavujú rôzne teploty, ale celá škála farieb od červenej po modrú predstavuje rozdiel v teplote približne iba jednu desaťtisícinu stupňa. Napriek tomu sú príslušné rozdiely hustoty medzi rôznymi oblasťami raného vesmíru dosť veľké na to, aby zvýšená príťažlivá sila v hustejších oblastiach nakoniec zastavila ich rozpínanie a prinútila ich opäť kolabovať vďaka svojej vlastnej gravitácii a vytvárať galaxie a hviezdy. Takže aspoň v princípe je mapa družice COBE náčrtkom všetkých štruktúr vo vesmíre.

Aké bude ďalšie správanie najpravdepodobnejších histórií vesmíru, ktoré sú kompatibilné s výskytom inteligentných bytostí?



(OBR. 3.17)

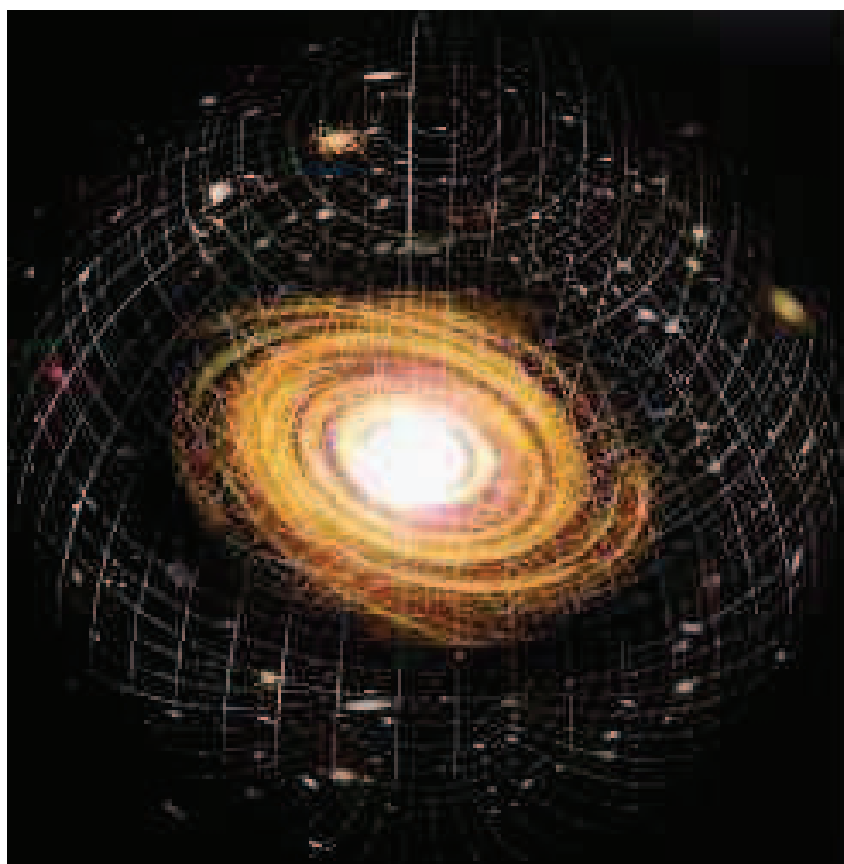
PRAVDEPODOBNÉ A NEPRAVDEPODOBNÉ HISTÓRIE

Hladké histórie ako **(a)** sú najpravdepodobnejšie, ale je ich málo.

Aj keď sú histórie s drobnými nepravidelnosťami **(b)** a **(c)** menej pravdepodobné, je ich také veľké množstvo, že histórie vesmíru s najväčšou celkovou pravdepodobnosťou budú mať malé odchýlky od hladkosti.

Zdá sa, že tu existuje viacero možností v závislosti od toho, koľko hmoty vesmír obsahuje. Ak jej je viac ako určité kritické množstvo, príťažlivé pôsobenie medzi galaxiami bude ich rozbiehanie spomaľovať, až ho nakoniec zastaví. Potom sa galaxie začnú navzájom približovať, až sa všetky zrazia vo veľkom krachu, čo bude koniec histórie vesmíru v reálnom čase (pozri obr. 3.18).

Ak je koncentrácia hmoty vo vesmíre pod kritickou hodnotou, gravitácia bude príliš slabá na to, aby zabránila večnému vzájomnému vzdľavovaniu galaxií. Všetky hviezdy raz vyhoria a vesmír bude čoraz prázdnejší a chladnejší. A tak opäť veci budú spieť k svojmu zániku, ale menej dramatickým spôsobom. Tak či onak, vesmír bude existovať ešte dobrých pár miliárd rokov (obr. 3.19).



(OBR. 3.18, hore)

Jeden možný koniec vesmíru je veľký krach, v ktorom bude všetka hmota vsatá späť do obrovskej, zničujúcej gravitačnej jamy.



(OBR. 3,19, hore)

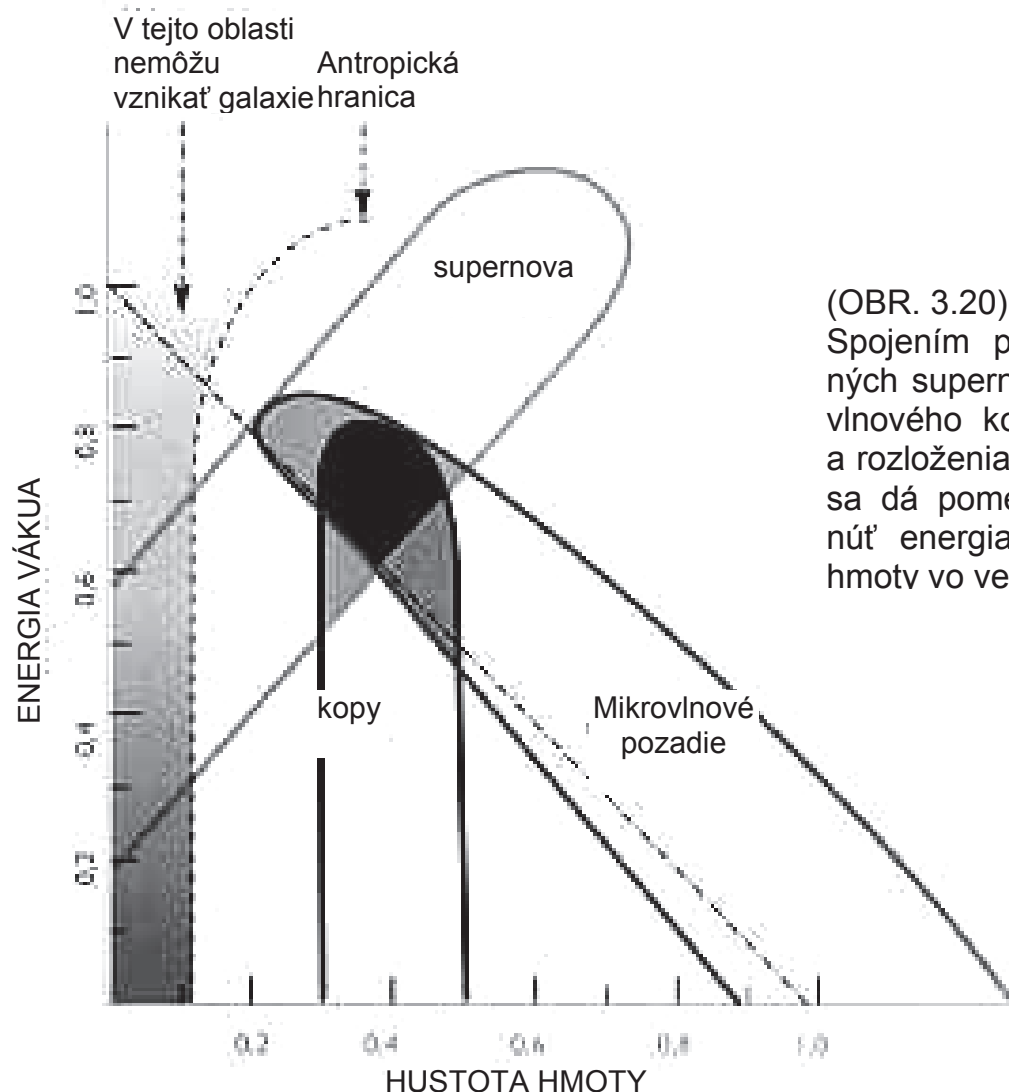
Dlhé chladné kňučanie, v ktorom sa všetko zastavuje a posledné hviezdy s vyčerpaným palivom pohasínajú.

Podobne ako hmotu, môže vesmír obsahovať aj to, čomu hovoríme „energia vákua“, teda energiu prítomnú aj v zdanlivo prázdnom priestore. Podľa Einsteinovej slávnej rovnice $E = mc^2$, má táto energia vákua svoju hmotnosť. Znamená to, že má aj gravitačný účinok na expanziu vesmíru. Je dosť pozoruhodné, že účinok energie vákua je opačný ako pôsobenie hmoty. Hmota rozpínanie pribrzdzuje a môže ho nakoniec zastaviť, a dokonca obrátiť. Na druhej strane energia vákua spôsobuje zrýchlenie expanzie ako pri inflácii. Skutočne, energia vákua pôsobí práve ako kozmologická konštanta, spomenutá v 1. kapitole, ktorú Einstein v roku 1917 zaviedol do svojich pôvodných rovníc, lebo si uvedomil, že tieto rovnice nepripúšťajú riešenie predstavujúce stacionárny vesmír. Po Hubblovom objave expanzie vesmíru pohnútkou na zavedenie tohto členu do rovníc pominula a Einstein kozmologickú konštantu zavrhol ako chybu.

Možno to však chyba vôbec nebola. Ako opisujeme v 2. kapitole, vieme, že kvantová teória vedie k priestoročasu vyplnenému kvantovými fluktuáciami. Podľa teórie supersymetrie sa nekonečné kladné a záporné energie fluktuácií základných stavov

vynulujú medzi časticami s rôznym spinom. Nedá sa však očakávať, že sa kladné a záporné energie vynulujú úplne a že tam nezostane malý zvyšok energie vákua, pretože vesmír sa nenachádza v supersymetrickom stave. Jediným prekvapením je, že energia vákua je natoľko tesne pri nulovej hodnote, že sme ju pred nejakým časom vôbec neregistrovali. Možno je to ďalší príklad antropického princípu. V histórii s väčšou energiou vákua by sa nevytvorili galaxie, a tak by ani nemohli obsahovať bytosti, ktoré by sa mohli pýtať: „Prečo má energia vákua práve pozorovanú hodnotu?“

Množstvo hmoty a energie vákua vo vesmíre sa môžeme pokúsiť určiť z rôznych pozorovaní. Môžeme uviesť ich výsledky na grafe, kde je hustota hmoty vynesená na vodorovnej osi a energia vákua na zvislej osi. Prerušovaná čiara označuje hranicu oblasti, v ktorej sa mohol vyvinúť inteligentný život (obr. 3.20).



(OBR. 3.20)

Spojením pozorovaní vzdialených supernov, žiarenia mikrovlnového kozmického pozadia a rozloženia hmoty vo vesmíre, sa dá pomerne dobre odhadnúť energia vákua a hustota hmoty vo vesmíre.

Na tomto diagrame sú zakreslené oblasti týkajúce sa pozorovania supernov, vytvárania kôp a mikrovlnového kozmického pozadia. Našťastie všetky tri oblasti majú spoločný prienik. Ak hustota hmoty a energia vákua ležia v tomto prieniku, znamená to, že sa expanzia vesmíru po dlhom období spomaľovania začala opäť zrýchľovať. Zdá sa, že inflačné rozpínanie môže byť prírodný zákon.

V tejto kapitole sme videli, ako sa dá pochopiť správanie obrovského vesmíru pomocou vyjadrenia jeho histórie v imaginárnom čase, ktorá je drobnou, mierne sploštenou guľou. Je ako Hamletova orechová škrupinka. Tento orech však má v sebe zašifrované všetko, čo sa deje v reálnom čase. Takže Hamlet mal úplnú pravdu. Mohli by sme byť uzatvorení v orechovej škrupinke, a aj tak sa považovať za pánov nekonečného priestoru.

4. KAPITOLA

PREDPOVEDANIE BUDÚCNOSTI

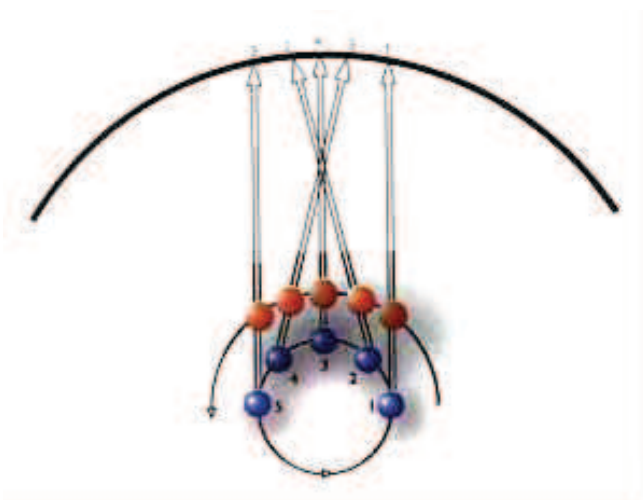
Ako môže strata informácie v čiernych dierach obmedziť našu schopnosť predpovedať budúcnosť.



LUDSKÉ POKOLENIE CHCELO VŽDY OVLÁDAŤ budúcnosť, alebo aspoň predpovedať, čo sa stane. To je dôvod, prečo je astrológia taká populárna. Astrológia tvrdí, že udalosti na Zemi majú súvis s pohybmi planét po oblohe. Toto je vedecky testovateľná hypotéza, alebo bola by, keby astrológovia išli s kožou na trh a vyslovovali konkrétne predpovede, ktoré by sa dali overiť. Oni však majú rozum a svoje predpovede formulujú tak nejasne, že sa dajú považovať za splnené, nech sa to skončí akokoľvek. Tvrdenia typu, že „osobné vzťahy sa môžu prehľbiť“ alebo „budete mať finančne výhodnú príležitosť“ nemožno nikdy vyvrátiť.

Skutočný dôvod, prečo väčšina vedcov neverí astrológii, nie je vo vedeckom dôkaze alebo v jeho absencii, ale v tom, že astrológia nie je zlučiteľná s inými teóriami, ktoré boli overené experimentom. Keď Kopernik a Galileo objavili, že planéty obiehajú okolo Slnka, a nie okolo Zeme, a Newton objavil zákony, ktorými sa tento pohyb riadi, stala sa astrológia úplne neprijateľným učením. Prečo by mali mať polohy vzdialených planét na nebeskom pozadí akékoľvek korelácie s makromolekulami na malej planéte, ktoré samy seba nazvali inteligentný život (obr. 4.1)? Práve v toto nás astrológia nabáda veriť. Pre niektoré teórie opisované v tejto knihe neexistuje nijaký experimentálny dôkaz, rovnako ako pre astrológiu, ale veríme im, pretože sú v súlade s teóriami, ktoré boli úspešne overené.

Úspešnosť Newtonových zákonov a iných fyzikálnych teórií viedla k predstave vedeckého determinizmu, ktorú prvýkrát vyjadril na začiatku 19. storočia francúzsky učenec markíz de Laplace.



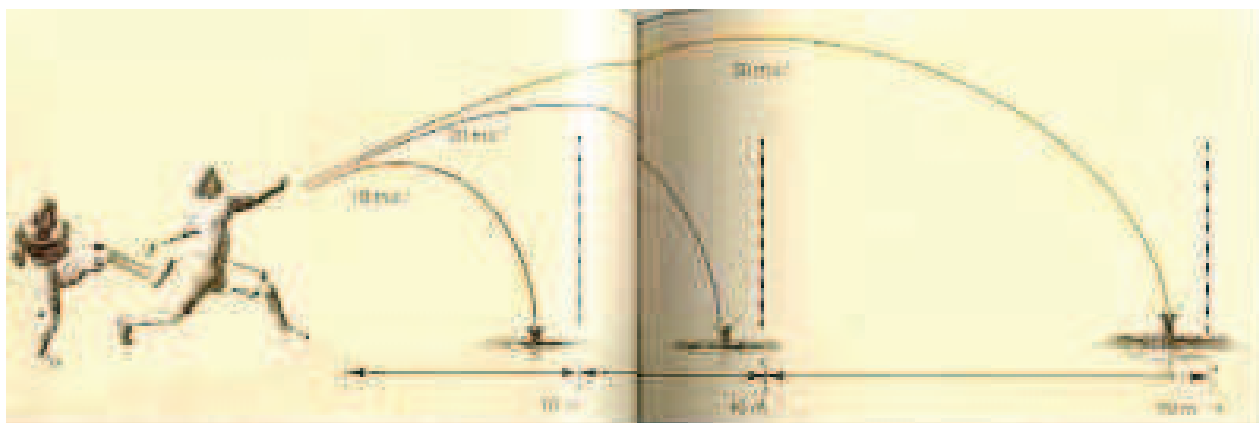
(OBR. 4.1)

Pozorovateľ na Zemi (modrá) obiehajúcej okolo Slnka pozoruje Mars (červený) na pozadí súhvezdí. Zložitý zdanlivý pohyb planét po oblohe sa dá vysvetliť Newtonovými zákonmi a nemá nijaký vplyv na osudy ľudí.

Laplace tvrdil, že ak by sme poznali polohy a rýchlosti všetkých častíc vo vesmíre v jednom okamihu, zákony fyziky by nám dovoľovali predpovedať, aký by bol stav vesmíru v ľubovoľnom čase v minulosti, alebo aj v budúcnosti (obr. 4.2).

Inými slovami, ak by platil vedecký determinizmus, boli by sme v princípe schopní predpovedať budúcnosť a nepotrebovali by sme astrológiu. Samozrejme, v praxi aj niečo také jednoduché ako Newtonova teória gravitácie vedie k rovniciam, ktoré pre viac ako dve častice nevieme presne vyriešiť. Navyše, rovnice často obsahujú niečo, čo je známe ako chaos, takže malá zmena polohy alebo rýchlosti v jednom momente môže viesť k úplne rozdielnemu správaniu sledovaného systému v neskoršom čase. Tí, čo videli *Jurský park*, vedia, ako drobná porucha na jednom mieste môže spôsobiť veľkú zmenu na inom mieste. Zamávanie krídel motýľa v Tokiu môže vyvolať lejak v Centrálnom parku v New Yorku (obr. 4.3). Problém je v tom, že následnosť udalostí je neopakovateľná. Keď motýľ znova zamáva krídlami, množstvo iných faktorov, ktoré tiež budú ovplyvňovať počasie, bude už iné. To je dôvod, prečo sú predpovede počasia také nespoľahlivé.

Takto by sme neboli veľmi úspešní pri predpovedaní správania človeka z matematických rovníc, aj keby nám zákony kvantovej



(OBR. 4.3)

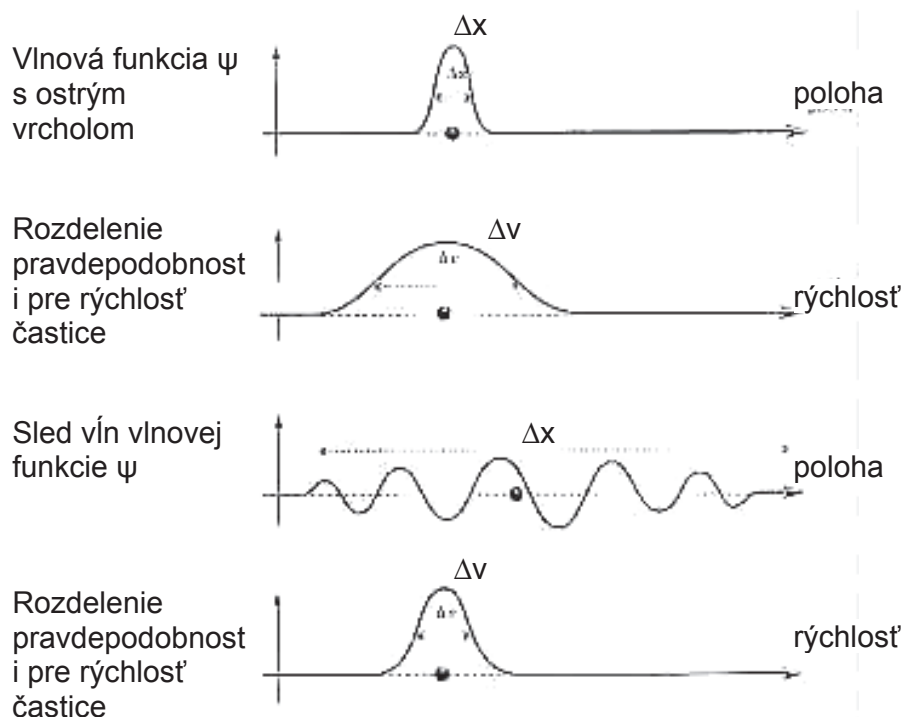
(OBR. 4.2, hore)

Ak viete, kde a akou rýchlosťou bola bejzbalová loptička hodená, môžete predpovedať, kam dopadne.

elektrodynamiky v chémii a biológii v podstate dovoľovali vypočítať všetko. Napriek týmto praktickým ťažkostiam sa väčšina vedcov utešovala myšlienkou, že budúcnosť je v princípe predpovedateľná.

Na prvý pohľad by sa aj mohlo zdať, že determinizmus je ohrozený princípom neurčitosti, ktorý hovorí, že súčasne nemôžeme presne zmerať aj polohu, aj rýchlosť častice. Čím presnejšie zmeriame polohu, tým menšiu presnosť môžeme dosiahnuť v určení rýchlosti, a platí to aj naopak. Laplaceova verzia vedeckého determinizmu tvrdí, že ak poznáme polohy a rýchlosti častíc v jednom momente, mohli by sme určiť ich polohy a rýchlosti v ľubovoľnom minulom i budúcom čase. Ako by sme mohli vôbec začať, keď nám princíp neurčitosti bráni presne poznať v jednom momente aj polohu, aj rýchlosti? Hoci máme aj ten najlepší počítač, ak ho nakrmíme mizernými údajmi, aj na výstupe dostaneme biedne predpovede.

Avšak determinizmus *bol* v modifikovanej forme vzkriesený v novej teórii nazvanej kvantová mechanika, ktorá obsahuje princíp neurčitosti. V kvantovej mechanike sa dá, zhruba povedané, presne určiť polovica toho, čo by sa dalo predpovedať z pozície klasickej teórie Laplacea. V kvantovej mechanike nemá častica presne definovanú polohu alebo rýchlosť, ale jej stav sa *môže* reprezentovať tým, čo sa nazýva vlnová funkcia (obr. 4.4).



(OBR. 4.4)
 Vlnová funkcia určuje pravdepodobnosti rôznych polôh a rýchlostí častice takým spôsobom, že neurčitosti Δx a Δv splňajú princíp neurčitosti.

Vlnová funkcia je číslo, ktoré pre každý bod priestoru udáva, s akou pravdepodobnosťou sa v ňom častica nachádza. Rýchlosť, akou sa vlnová funkcia mení od bodu k bodu, nám zasa hovorí, aké pravdepodobné sú rôzne rýchlosti častice. Niektoré vlnové funkcie majú ostré maximum v určitom bode priestoru. Potom existuje iba malá neurčitosť v polohe častice. Z grafu tiež môžeme vidieť, že vlnová funkcia sa v blízkosti takého bodu prudko mení, na jednej strane stúpa smerom nahor a na druhej klesá dolu. Znamená to, že rozdelenie pravdepodobnosti pre rýchlosť je rozťahnuté doširoka alebo, inými slovami, neurčitosť v rýchlosti je veľká. Vezmime si na druhej strane spojitý rad vln. Teraz je veľká neurčitosť v polohe, ale malá v rýchlosti. Preto opis častice vlnovou funkciou nemá dobre definovanú polohu ani rýchlosť. Splňa princíp neurčitosti. Musíme si uvedomiť, že vlnová funkcia je vlastne *všetko*, čo sa dá dobre definovať. Dokonca sa nemôžeme ani domnievať, že častica má nejakú polohu a rýchlosť, ktoré pozná iba Boh, ale pred nami sú skryté. Takéto teórie so „skrytými parametrami“ predpovedajú výsledky, ktoré nesúhlasia s pozorovaním. Aj Boh je viazaný princípom neurčitosti, a nemôže poznať súčasne polohu aj rýchlosť. Môže poznať len vlnovú funkciu.

Rýchlosť časovej zmeny vlnovej funkcie je daná niečím, čo sa nazýva Schrödingerova rovnica (obr. 4.5). Ak poznáme vlnovú funkciu v jednom čase, môžeme použiť Schrödingerovu rovnicu a vypočítať ju pre ľubovoľný iný čas v minulosti alebo budúcnosti. Preto aj v kvantovej teórii existuje determinizmus, ale platí v

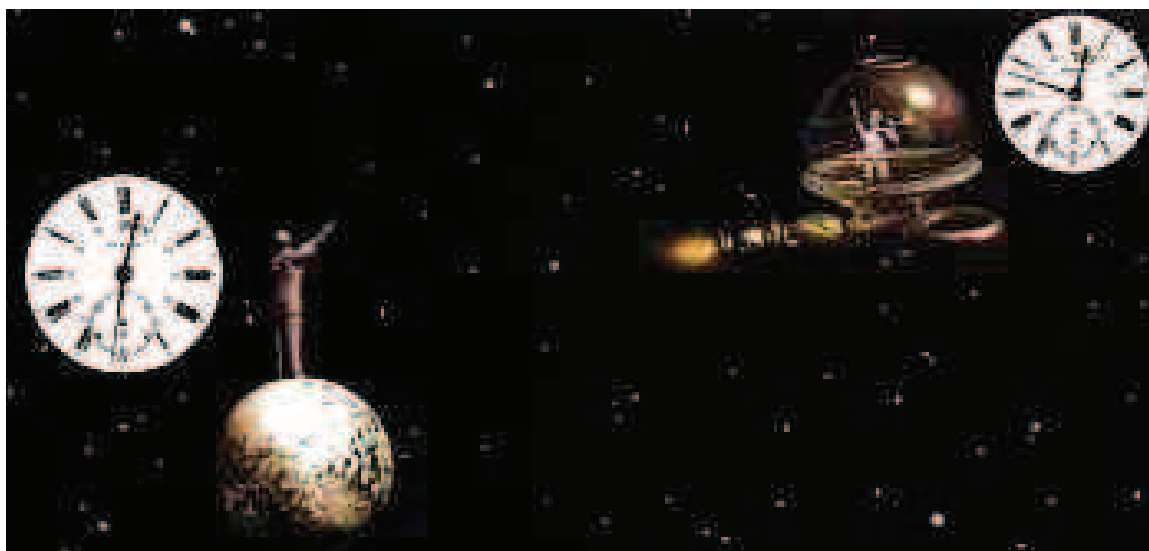
$$\Psi_0 = \sqrt{\frac{m}{h}} e^{-z(\sqrt{2} \vec{x}_i^2 + A)}$$

$$i\hbar \frac{d}{dt} \Psi(\vec{x}, t) = H \Psi(\vec{x}, t)$$

(OBR. 4.5)
 SCHRÖDINGEROVA
 ROVNICA
 Vývoj vlnovej funkcie Ψ v čase je daný Hamiltonovým operátorom H , ktorý súvisí s energiou skúmaného fyzikálneho systému.

zredukovanej miere. Namiesto toho, aby sme boli schopní predpovedať aj polohy, aj rýchlosti, môžeme predpovedať iba vlnovú funkciu. To nám síce dovoľuje predpovedať buď polohy, alebo rýchlosti, ale nie obe veličiny presne. V kvantovej teórii je teda schopnosť robiť presné predpovede iba polovičná v porovnaní s klasickým Laplaceovým svetonázorom. Avšak v tomto obmedzenom zmysle stále možno tvrdiť, že determinizmus existuje.

Pravda, pri využití Schrödingerovej rovnice na určenie časového vývoja vlnovej funkcie (teda na predpoveď, čo sa stane v budúcnosti) sa implicitne predpokladá, že čas plynie rovnomerne všade a vždy. To bola určite pravda v newtonovskej fyzike. Čas sa považoval za absolútnu veličinu, teda každej udalosti v histórii vesmíru sa priradilo číslo nazvané čas, a postupnosť týchto časových značiek sa menila spojito od nekonečnej minulosti do nekonečnej budúcnosti. To je to, čo sa dá nazvať pohľad zdravého rozumu na čas, a takúto predstavu času má väčšina ľudí, dokonca aj fyzikov. Avšak ako sme videli, v roku 1905 koncepciu absolútneho času prekonal špeciálna teória relativity, ktorej čas už nie je nezávislou veličinou so samostatnou existenciou, ale iba jedným z rozmerov štvorrozmerného kontinua nazvaného priestoročas. V špeciálnej teórii relativity sa rôzni pozorovatelia cestujúci rôznymi rýchlosťami



(OBR. 4.6)

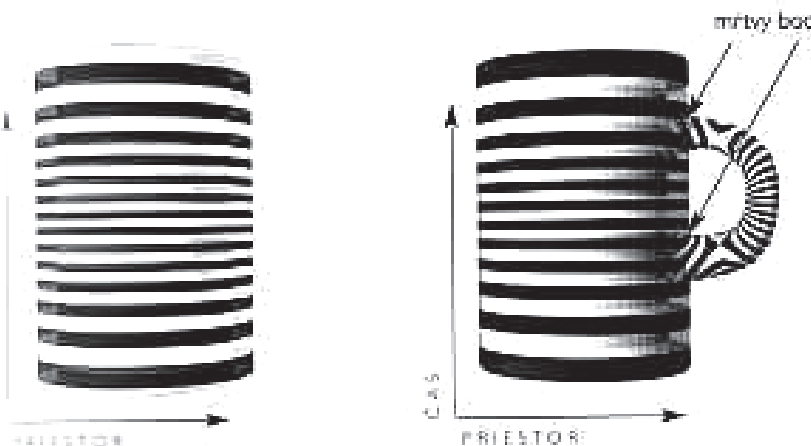
V plochom priestoročase špeciálnej relativity pozorovatelia pohybujúci sa rôznymi rýchlosťami budú mať odlišné miery času, ale ktorúkoľvek z nich môžeme použiť, aby sme pomocou Schrödingerovej rovnice predpovedali, ako bude vlnová funkcia vyzeráť v budúcnosti.

pohybujú priestoročasom po rôznych dráhach. Každý pozorovateľ má pozdĺž dráhy, po ktorej sa pohybuje, svoju vlastnú mieru času, a medzi udalosťami namerajú rôzni pozorovatelia rôzne časové intervaly (obr. 4.6).

V špeciálnej teórii relativity neexistuje teda nijaký univerzálny, absolútny čas, ktorý by sme mohli použiť na chronologické označenie jednotlivých udalostí. Priestoročas je však v špeciálnej relativite plochy. To znamená, že v rámci špeciálnej relativity čas meraný akýmkoľvek voľne sa pohybujúcim pozorovateľom v priestoročase plynulo narastá z mínus nekonečna v nekonečnej minulosti do plus nekonečna v nekonečnej budúcnosti. Hociktorú z týchto časových mier môžeme použiť v Schrödingerovej rovnici na určenie časového vývoja vlnovej funkcie. V špeciálnej relativite preto ešte stále máme kvantovú verziu determinizmu.

Iná situácia panuje vo všeobecnej teórii relativity, v ktorej priestoročas nie je plochý, ale zakrivený a deformovaný hmotou a energiou, ktorú obsahuje. Krivosť priestoročasu je v našej slnečnej sústave taká malá, aspoň na makroskopickej úrovni, že vôbec nenaruša našu vžitú predstavu o čase. V tejto situácii môžeme čas ešte stále použiť na to, aby sme zo Schrödingerovej rovnice určili deterministicky vývoj vlnovej funkcie. Avšak keď už raz dovoľíme, aby bol priestoročas zakrivený, otvárajú sa dvere pre možnosť, že má štruktúru, ktorá nepripúšťa čas narastajúci rovnomerne pre každého pozorovateľa, ako by sme mohli očakávať od rozumnej časovej miery.

Predpokladajme napríklad, že priestoročas by mal podobu zvislého valca (obr. 4.7).



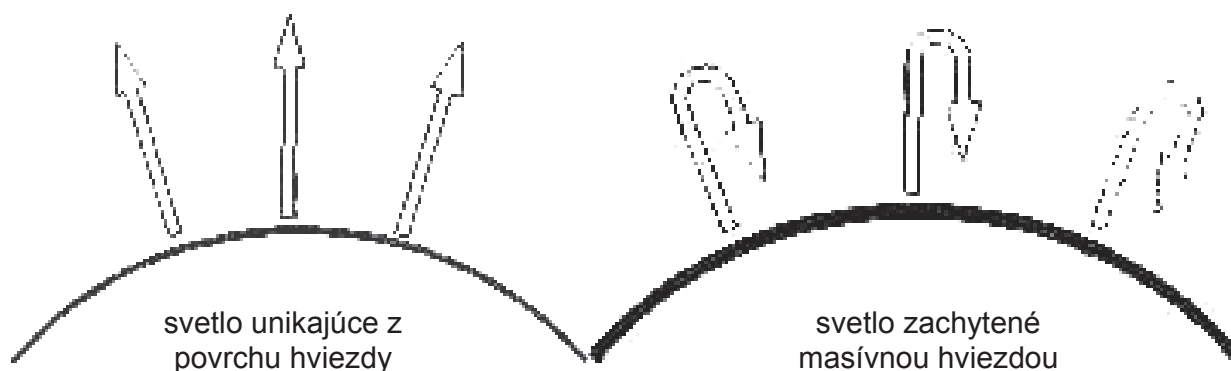
(OBR. 4.7) ČAS STOJÍ
 Časová miera má nevyhnutne mŕtve body v miestach, kde je ucho pripojené k hlavnému valcu: body, v ktorých čas stojí. V týchto bodoch čas nepribúda v žiadnom smere. Preto sa Schrödingerova rovnica nedá použiť na predpoveď, aká bude vlnová funkcia v budúcnosti.

Smerom nahor po valci sa meria čas, ktorý narastá pre každého pozorovateľa a plynie od mínus nekonečna do plus nekonečna. Avšak predstavte si namiesto toho, že priestoročas vyzerá ako valec s uchom (alebo s „červou dierou“), ktoré sa oddeľuje od valca a potom sa opäť k nemu pripája. Akákoľvek časová miera má nevyhnutne mŕtve body v miestach, kde je ucho prichytené k telu valca: body, kde čas stojí. V týchto bodoch čas neplynie pre nijakého pozorovateľa. V takomto priestoročase by sme nemohli použiť Schrödingerovu rovnicu, aby sme získali deterministický vývoj pre vlnovú funkciu. Dávajte si pozor na červie diery: nikdy neviete, čo z nich môže vyliezť!

Dôvodom, prečo si myslíme, že čas nerastie nutne pre všetkých pozorovateľov, sú čierne diery. Prvá diskusia o čiernych dierach sa objavila v roku 1783. Niekdajší rektor univerzity v Cambridgei, John Michell, vtedy použil nasledujúci príklad. Ak niekto vystrelí časticu, napríklad delovú guľu, kolmo nahor, jej výstup bude spomaľovať gravitácia, až sa nakoniec jej pohyb smerom nahor zastaví a ona začne padať späť. Ak je počiatočná rýchlosť v smere nahor väčšia ako určitá kritická hodnota, nazývaná úniková rýchlosť, gravitácia nebude dosť silná na to, aby časticu zastavila, a tá unikne z jej dosahu. Pre Zem je úniková rýchlosť asi 12 km.s^{-1} a pre Slnko približne 618 km.s^{-1} .

Obe tieto únikové rýchlosti sú omnoho vyššie ako rýchlosti skutočných delových guľí, ale sú malé v porovnaní s rýchlosťou svetla, ktorá je $300\,000 \text{ km.s}^{-1}$. Preto sa svetlo zo Zeme alebo Slnka dostane preč bez veľkých ťažkostí. Avšak Michell tvrdil, že by mohli existovať hviezdy, ktoré sú omnoho hmotnejšie ako Slnko, a majú únikovú rýchlosť väčšiu, ako je rýchlosť svetla (obr. 4.9). Takéto hviezdy by sme nemohli vidieť, pretože akékoľvek svetlo, ktoré by vyslali, by ich gravitácia pritiahla späť. Preto by boli, podľa Michellovho pomenovania, tmavými hviezdami. Dnes im hovoríme čierne diery.

Michellova predstava tmavých hviezd bola založená na Newtonovej fyzike, podľa ktorej je čas absolútny a plynie bez ohľadu na to, čo sa deje. Preto v klasickom newtonovskom ponímaní tieto hviezdy neovplyvnia našu schopnosť predvídať budúcnosť.



OBR. 4.9 hore

SCHWARZSCHILDHOVA ČIERNA DIERA

V roku 1916 našiel nemecký astronóm Karl Schwarzschild riešenie Einsteinovej teórie relativity, ktoré predstavuje sférickú čiernu dieru. Schwarzschildova práca odhalila senzačné dôsledky všeobecnej teórie relativity. Ukázala, že ak je hmota hviezdy sústredená do dostatočne malej oblasti, gravitačné pole na povrchu hviezdy bude také silné, že z nej už neunikne ani svetlo. To je to, čo dnes nazývame čiernu dieru, oblasť priestoročasu ohraničená tzv. horizontom udalostí, z ktorého sa nemôže nič, vrátane svetla, dostať k vzdialenému pozorovateľovi.

Po dlhú dobu väčšina fyzikov vrátane Einsteina bola skeptická v otázke, či by sa vôbec mohli takéto extrémne stavy hmoty vyskytovať v reálnom vesmíre. Dnes však vieme, že hocikaká dostatočne hmotná nerotujúca hviezda s ľubovoľne zložitým tvarom a vnútornou stavbou, ktorá vyčerpá svoje jadrové palivo, nevyhnutne skolabuje na dokonale sférickú Schwarzschildovu čiernu dieru. Polomer horizontu udalostí čiernej diery (**R**), závisí iba od jej hmotnosti a je daný vzťahom:

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

V tomto vzorci symbol (**c**) predstavuje rýchlosť svetla, (**G**) Newtonovu gravitačnú konštantu a (**M**) hmotnosť čiernej diery. Čierna diera s takou istou hmotnosťou ako má slnko by napríklad mala polomer iba tri kilometre!

Úplne iná situácia panuje vo všeobecnej teórii relativity, v ktorej masívne objekty priestoročas zakrivujú.

V roku 1916, krátko potom, ako bola prvýkrát sformulovaná všeobecná teória relativity, našiel Karl Schwarzschild (ktorý čoskoro na to na ruskom fronte počas prvej svetovej vojny ochorel a zomrel) riešenie rovníc poľa všeobecnej relativity, ktoré predstavovalo čiernu dieru. To, čo Schwarzschild objavil, ostatní nechápali a nevedeli oceniť ešte dlhé roky. Sám Einstein nikdy neveril na čierne diery, a s jeho postojom súhlasila aj väčšina starej gardy zástancov všeobecnej relativity. Spomínam si na cestu do Paríža, kde som mal seminár o svojom objave, že podľa kvantovej teórie čierne diery nie sú úplne

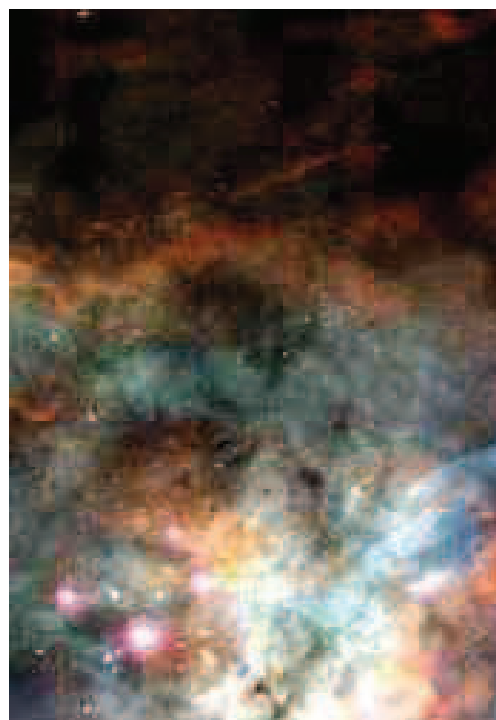
čierne. Môj seminár sa skončil dosť biedne, pretože v tom čase v Paríži takmer nikto na čierne diery neveril. Francúzom sa tiež zdalo, že ich názov vo francúzštine, *trou noir*, má pochybný sexuálny podtón a mal by byť nahradený výrazom *astre occlu*, teda „skrytá hviezda“. Avšak ani tento, ani iné navrhované názvy nezaujali predstavivosť verejnosti natoľko, ako výraz *čierna diera*, ktorý prvýkrát použil John Archibald Wheeler, americký fyzik, čo podnietil mnoho súčasných prác na tomto poli.

Objav kvazarov v roku 1963 priniesol explóziu teoretických prác o čiernych dierach a observačných pokusov o ich nájdenie (obr. 4.10). Tu je celkový obraz, ktorý odtiaľ vzišiel. Uvažujme o histórii hviezdy, ktorej hmotnosť by bola dvadsaťnásobkom hmotnosti Slnka. Také hviezdy vznikajú z plynných mrakov, aké sa nachádzajú vo Veľkej hmlovine v Orióne (obr. 4.11).



(OBR.4.10)

Kvazar 3C 273, prvý objavený kvázistelárny rádiový zdroj, vydáva obrovské množstvo energie z malej oblasti. Zdá sa, že látka padajúca do čiernej diery je jediný mechanizmus, ktorý môže vysvetliť takúto vysokú svietivosť.



(OBR. 4.11)

Hviezdy vznikajú v plynoprachových mrakoch podobných mrakom vo Veľkej hmlovine v Orióne.

JOHN WHEELER

John Archibald Wheeler sa narodil v roku 1911 v Jacksonville na Floride. Vedeckú hodnosť Ph.D. získal na Johns Hopkins University v roku 1933 za svoju prácu o rozptyle svetla na atóme hélia. V roku 1938 pracoval s dánskym fyzikom Nielsom Bohrom na teórii jadrového štiepenia. Potom sa na chvíľu so svojím postgraduálnym študentom Richardom Feynmanom sústredil na štúdium elektrodynamiky; ale krátko po vstupe Ameriky do 2. svetovej vojny odišli obaja pracovať na projekte Manhattan.

Na začiatku 50. rokov minulého storočia vplyvom práce Roberta Oppenheimera (z roku 1939) o gravitačnom kolapse masívnych hviezd obrátil Wheeler svoju pozornosť na Einsteinovu všeobecnú teóriu relativity. V tom čase bola väčšina fyzikov zamestnaná výskumami v jadrovej fyzike a všeobecná relativita sa nepovažovala v pravom zmysle slova za podstatnú pre fyzikálny svet. Ale na princetonskej univerzite takmer osamotený Wheeler zmenil túto oblasť tak svojím výskumom, ako aj svojimi prednáškami o relativite.

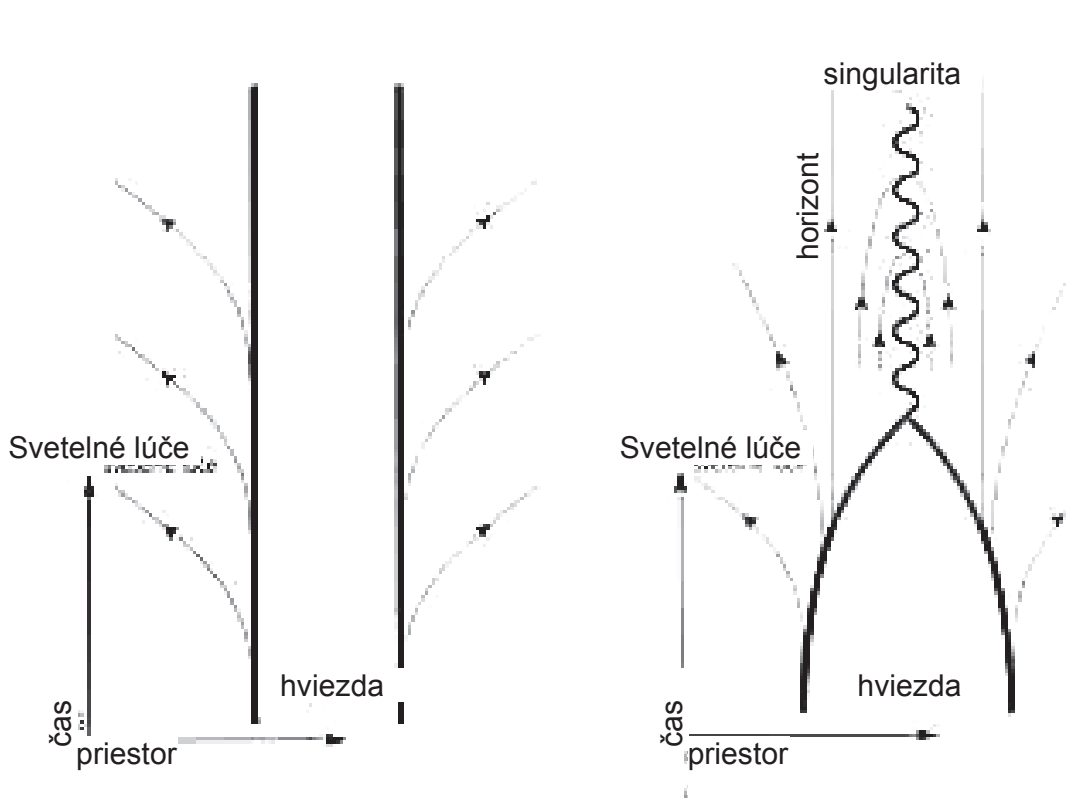
Omnoho neskôr, v roku 1969, zaviedol názov čierna diera pre skolabovaný stav hmoty o ktorom iba zopár ľudí verilo, že je reálny. Povzbudený prácou Vernera Israela vyslovil domnienku, že čierna diera je „bez vlasov“, čo znamenalo, že skolabovaný stav akejkoľvek nerotujúcej veľmi hmotnej hviezdy musí v skutočnosti opísať Schwarzschildovo riešenie.

Keď sa mraky plynu pôsobením vlastnej gravitácie zmršťujú, plyn sa zahrieva až nakoniec získa dostatočne vysokú teplotu na to, aby sa spustila jadrová syntéza, pri ktorej sa mení vodík na hélium. Teplo vznikajúce týmto procesom vytvára tlak, ktorý udržiava hviezdu v rovnováhe proti vlastnej gravitácii a zabraňuje jej ďalšiemu zmršťovaniu. Hviezda v tomto stave zotrvá dlho a po celý čas spaľuje vodík a vyžaruje svetlo.

Gravitačné pole hviezdy bude pôsobiť na dráhy svetelných lúčov, ktoré z nej vychádzajú. Môžeme si nakresliť diagram, kde si nanesieme vo zvislom smere čas a vo vodorovnom vzdialenosti od stredu hviezdy (pozri obr. 4.12). Na tomto diagrame povrch hviezdy predstavujú dve zvislé čiary, jedna na jednej strane od stredu a druhá na druhej. Môžeme si zvoliť, že čas budeme merať v sekundách a vzdialenosť vo svetelných sekundách — v jednotkách definovaných ako vzdialenosť, ktorú prejde svetlo za sekundu. Keď použijeme tieto jednotky, potom rýchlosť svetla je 1, t. j. rýchlosť svetla je jedna svetelná sekunda za sekundu. To znamená, že ďaleko od hviezdy a jej gravitačného poľa je na diagrame dráha svetelného lúča čiara odklonená od vertikály o 45 stupňov. Avšak v blízkosti hviezdy zakrivenie priestoročasu spôsobené hmotnosťou hviezdy zmení

dráhy svetelných lúčov a zapríčiní, že budú s vertikálou zvierat' menší uhol.

Veľmi hmotné hviezdy budú spaľovať svoj vodík na hélium omnoho rýchlejšie ako Slnko. Znamená to, že sa ich zásoby vodíka môžu minúť už za pár stoviek miliónov rokov a hviezdy budú čoskoro čeliť kríze. Svoje hélium môžu spáliť aj na ťažšie prvky, ako je uhlík a kyslík, ale v týchto jadrových reakciách sa už neuvolňuje veľa energie, preto hviezdy začnú strácať teplo a tlak, ktorý im pomáhal vzdorovať vlastnej gravitácii. Výsledok je, že sa začnú zmenšovať. Ak majú približne viac ako dvojnásobok hmotnosti Slnka, vnútorný tlak nikdy nezastaví ich zmršťovanie. Také hviezdy sa scvrknú na nulovú veľkosť s nekonečnou hustotou a vytvoria to, čo sa nazýva singularita (obr. 4.13). Na diagrame, kde na jednu os

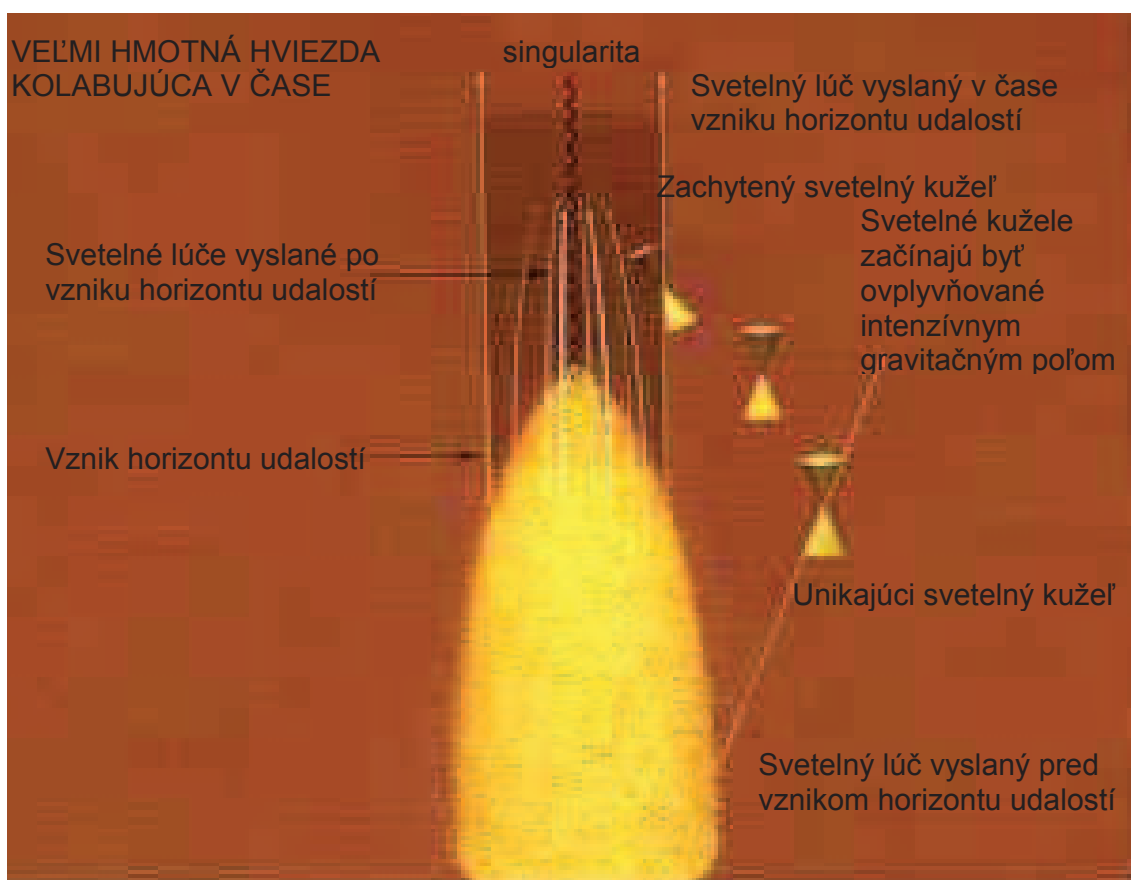


(OBR. 4.12) Priestoročas okolo nekolabujúcej hviezdy. Lúče svetla môžu unikat' z povrchu hviezdy (červené zvislé čiary). Ďaleko od hviezdy sú svetelné lúče naklonené pod 45 stupňovým uhlom vzhľadom na vertikálu, ale v blízkosti hviezdy zakrivenie priestoročasu spôsobí, že odklon od vertikály je menší.

(OBR. 4.13) Keď sa hviezda rúca (červené čiary stretávajúce sa v jednom bode), zakrivenie je už také silné, že lúče svetla neďaleko povrchu sa začnú pohybovať smerom dovnútra. Vzniká čierna diera, z ktorej už svetlo nemôže uniknúť

vynášame čas a na druhú vzdialenosť od stredu, budú pri kontrakcii hviezdy dráhy svetelných lúčov opúšťať hviezdu pod čoraz menším uhlom k zvislému smeru. Keď hviezda dosiahne určitý kritický polomer, dráha lúča bude na diagrame zvislá, čo znamená, že svetlo sa bude vznášať v konštantnej vzdialenosti od stredu hviezdy a nikdy sa nedostane preč. Táto kritická dráha svetla vytvorí plochu zvanú horizont udalostí, oddeľujúcu oblasť priestoročasu, z ktorej svetlo môže uniknúť, od tej, z ktorej to nedokáže. Akékoľvek svetlo vyžiarené hviezdou po prechode horizontom udalostí bude krivosťou priestoročasu nútené vrátiť sa späť dovnútra hviezdy. Hviezda sa tak stane jednou z Michellových „tmavých hviezd“, alebo ako im hovoríme dnes, čiernou dierou.

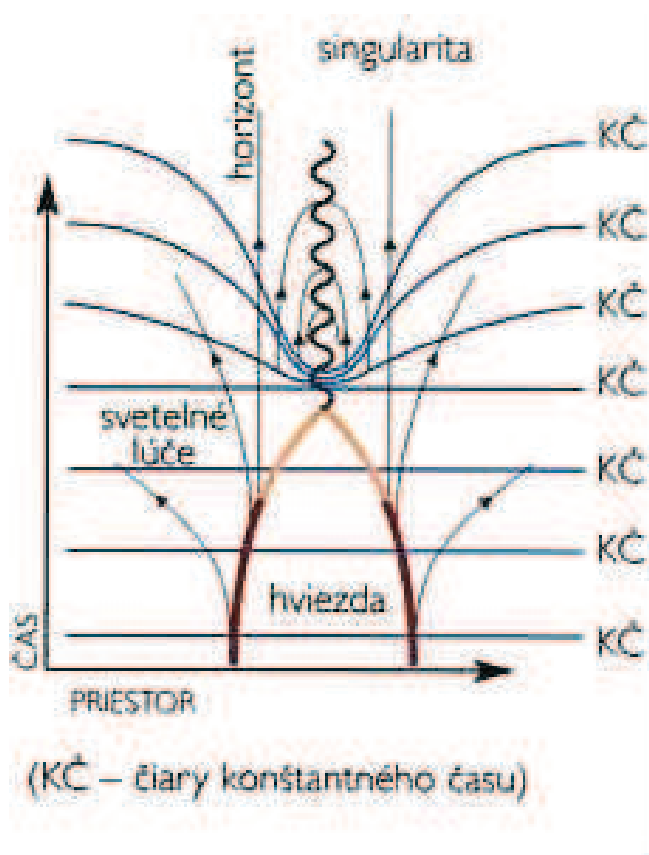
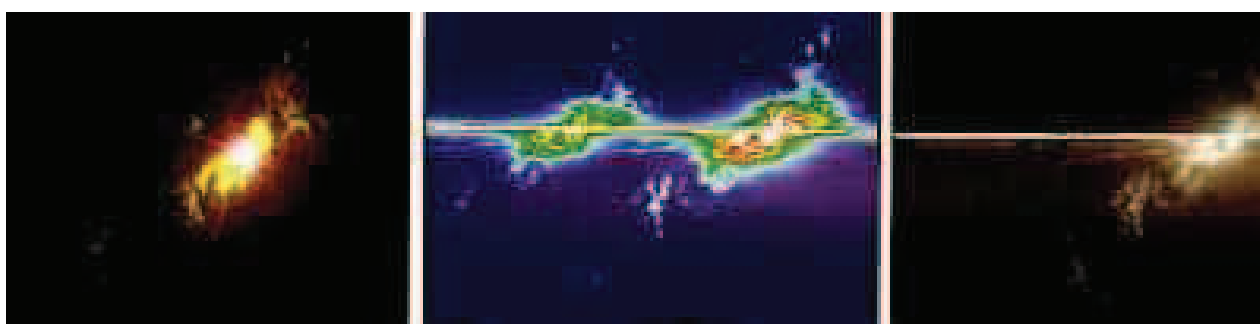
Ako môžeme pozorovať čiernu dieru, ak sa z nej nemôže dostať von žiadne svetlo? Odpoveď je taká, že čierna diera stále pôsobí tou istou gravitačnou silou na susediace objekty, akou pôsobilo teleso, ktoré sa zrútilo. Keby bolo Slnko čiernou dierou, a podarilo by sa mu prejsť kolapsom bez straty hmotnosti, planéty by okolo neho obiehali stále tak, ako obiehajú dnes.



Horizont, vonkajšiu hranicu čiernej diery, vytvárajú lúče svetla, ktoré len tak-tak že neunikli preč od čiernej diery a vznášajú sa v konštantnej vzdialenosti od stredu.

Preto jeden zo spôsobov hľadania čiernych dier je pátrať po hmote, ktorá obieha okolo čohosi, čo sa javí ako neviditeľný kompaktný masívny objekt. Takýchto systémov bolo pozorovaných už mnoho. Azda najimpozantnejšie sú obrovské čierne diery v stredoch galaxií a kvazarov (obr. 4.15).

Vlastnosti čiernych dier, o ktorých bola reč doteraz, nespôsobujú nijaké veľké ťažkosti s determinizmom. Čas pre astronauta, ktorý spadne do čiernej diery a narazí na singularitu, prestane existovať. Avšak v rámci všeobecnej relativity môže človek merať čas rôznou rýchlosťou na rôznych miestach. Keď sa bude astronaut približovať k singularite, jeho hodinky by sme mohli zrýchliť tak, aby predsa len zaznamenali nekonečný časový interval.



(OBR. 4.15 hore)

ČIERNA DIERA V STREDE GALAXIE
Vľavo: Galaxia NGC 4151 zobrazená širokouhlou planetárnou kamerou.

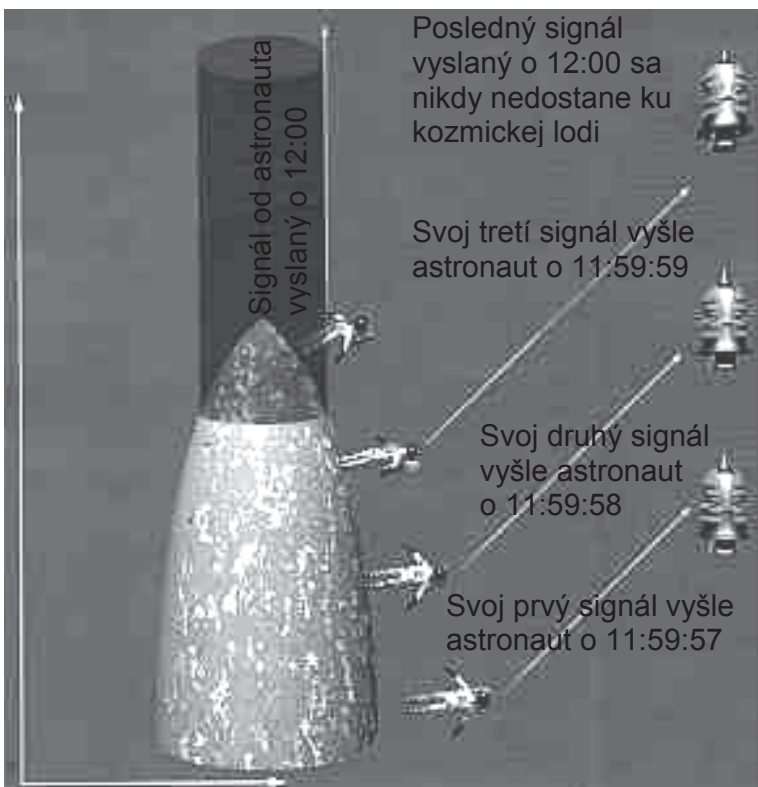
V strede; Vodorovná čiara prechádzajúca stredom snímky pochádza zo svetla produkovaného čiernou dierou v strede galaxie NGC 4151.

Vpravo: Snímka znázorňuje rýchlosť emisií kyslíka. Všetko poukazuje na to, že galaxia NGC 4151 obsahuje čiernu dieru s hmotnosťou asi sto miliónov našich Slnk.

(OBR. 4.14 vľavo)

Na diagrame čas verzus vzdialenosť (obr. 4.14) sa budú všetky plochy s konštantnými hodnotami tohto nového času nahusťovať v strede, pod bodom, kde sa objavila singularita. Budú však súhlasit' s bežne meraným časom v takmer plochom priestoročase ďaleko od čiernej diery.

Tento čas môžeme použiť v Schrödingerovej rovnici na výpočet vlnovej funkcie pre neskoršie časy, ak ju poznáme na začiatku. Takto tu ešte stále máme determinizmus. Treba si však všimnúť, že po dostatočne dlhom čase bude časť vlnovej funkcie vnútri čiernej diery, kde ju nikto zvonka nemôže pozorovať. Takto pozorovateľ, ktorý má dosť rozumu na to, aby nespadol do čiernej diery, nemôže nechať plynúť čas v Schrödingerovej rovnici naspäť a vypočítať vlnovú funkciu v predchádzajúcich časoch. Aby to spravil, potreboval by poznať tú časť vlnovej funkcie, ktorá je vnútri čiernej diery. Tá obsahuje informácie o tom, čo popadalo do diery. Potenciálne je to veľmi veľké množstvo informácií, pretože čierna diera s určitou hmotnosťou a rýchlosťou rotácie môže byť zložená z veľkého počtu rôznych súborov častíc; čierna diera nezávisí od väčšiny vlastností telesa, ktorého kolapsom vznikla. Tento výsledok John Wheeler zhrnul do vety, že „čierna diera nemá vlasy (chlpy).“ Pre Francúzov to bolo len potvrdením ich podozrení.



Obrázok znázorňuje astronauta, ktorý pristáva na kolabujúcej hviezde o 1 1.59.57 a pripojí sa k hviezde, ktorá s zmršťuje pod kritický polomer kde už je gravitácia taká silná, že odtiaľ nemôže uniknúť nijaký signál. Astronaut pravidelne vysiela z hodinek signály k lodi obiehajúcu okolo hviezdy.

Ak niekto z diaľky pozoruje hviezdu, neuvidí ju nikdy prekročiť horizont udalostí a vstúpiť do čiernej diery. Namiesto toho sa mu bude zdať, že sa hviezda vznáša tesne nad kritickým polomerom a že hodiny na jej povrchu sa spomaľujú, až sa zastavia.

Problém s determinizmom sa vynoril, keď som objavil, že čierne diery nie sú úplne čierne. Ako sme videli v 2. kapitole, podľa kvantovej teórie nemôžu byť všetky polia presne rovné nule, dokonca ani vo vákuu. Ak by boli nulové, mali by jednak presnú veľkosť alebo polohu nastavenú na nulu, jednak presnú rýchlosť časovej zmeny alebo rýchlosť pohybu, takisto nulovú. To by bolo porušenie princípu neurčitosti, ktorý hovorí, že polohu a rýchlosť nemožno súčasne presne určiť. Namiesto nulových hodnôt musia mať všetky polia určité množstvo niečoho, čomu hovoríme fluktuácie vákua (presne ako v 2. kapitole, keď kyvadlo muselo mať fluktuácie nulového bodu). Fluktuácie vákua sa dajú interpretovať niekoľkými spôsobmi, ktoré sa zdajú byť rozdielne, ale v skutočnosti sú matematicky ekvivalentné. Z pozitivistického hľadiska človek môže použiť ten obraz, ktorý je z hľadiska jeho problému najvýhodnejší, nech už vyzerá akokoľvek. V našom prípade je vhodné predstaviť si fluktuácie vákua ako páry virtuálnych častíc, ktoré sa spolu objavia v určitom bode priestoročasu, rozdelia sa, opäť sa stretnú a zaniknú vo vzájomnej anihilácii. Termín „virtuálne“ znamená, že tieto častice sa nedajú priamo pozorovať, ale ich nepriame účinky už *môžeme* zmerať a výsledky súhlasia s teoretickými predpoveďami s pozoruhodnou presnosťou (obr. 4.16).

Ak je naporúdzi čierna diera, jeden člen z dvojice častíc môže do nej spadnúť a nechať svojho partnera, aby voľne unikol do nekonečna (obr. 4.17). Pre pozorovateľa veľmi ďaleko od čiernej diery unikajúce častice vyzerajú, ako by ich vyžiarila čierna diera.

TEPLOTA ČIERNEJ DIERY

Čierna diera vyžaruje žiarenie ako horúce teleso s teplotou (**T**), ktorá závisí iba od jej hmotnosti. Presnejšie povedané, teplota je daná nasledujúcim vzťahom:

$$T = \frac{\hbar c^2}{8\pi kGM}$$

V tomto vzťahu označuje symbol (**c**) rýchlosť svetla, (**ħ**) Planckovu konštantu, (**G**) Newtonovu gravitačnú konštantu a (**k**) Boltzmannovu konštantu.

A nakoniec (**M**) predstavuje hmotnosť čiernej diery. Preto čím je čierna diera menšia, tým je jej teplota vyššia. Tento vzorec nám hovorí, že čierna diera s hmotnosťou niekoľkých Sínk, má teplotu iba okolo milióntiny stupňa nad absolútnou nulou.

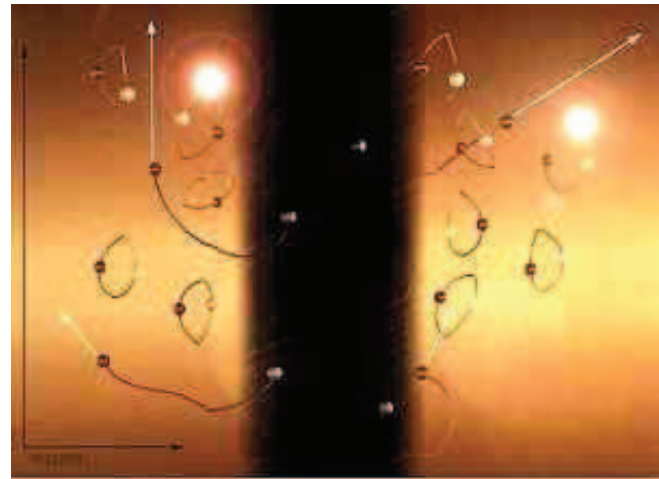
Spektrum žiarenia čiernej diery je presne také, aké by sme očakávali od horúceho telesa s teplotou úmernou gravitačnému poľu na horizonte — hranici — čiernej diery. Inými slovami, teplota čiernej diery závisí od jej veľkosti.

Čierna diera s hmotnosťou niekoľkých Slnk by mala teplotu asi milióntinu stupňa nad absolútnou nulou, a väčšia diera ešte nižšiu. Preto je všetko kvantové žiarenie z takýchto čiernych dier úplne prekryté žiarením s teplotou 2,7 stupňa, ktoré zostalo po horúcom veľkom tresku - žiarením kozmického pozadia, o ktorom sme hovorili v 2. kapitole. Bolo by možné zachytiť žiarenie z omnoho menších a horúcejších čiernych dier, ale nezdá sa, že takých je okolo nás veľa. Škoda. Ak by aspoň jednu niekto objavil, dostal by som Nobelovu cenu. Pre toto žiarenie máme však nepriamy observačný dôkaz, ktorý pochádza z ranej etapy vývoja vesmíru. Ako sme opísali v 3. kapitole, predpokladá sa, že vo svojej veľmi dávnej histórii prešiel vesmír inflačnou fázou, počas ktorej sa rozpínal neustále narastajúcou rýchlosťou. Expanzia počas tohto obdobia bola taká prudká, že niektoré objekty sa od nás dostali príďaleko na to, aby ich svetlo mohlo niekedy doraziť k nám; vesmír sa rozpínal v príliš veľkom meradle a príliš prudko, keď svetlo putovalo k nám. Preto by mal byť vo vesmíre horizont podobný horizontu čiernej diery,



(OBR 4,16)

Páry častíc sa v prázdnom priestore objavujú na krátku chvíľu a potom navzájom anihilujú.



(OBR 4,17)

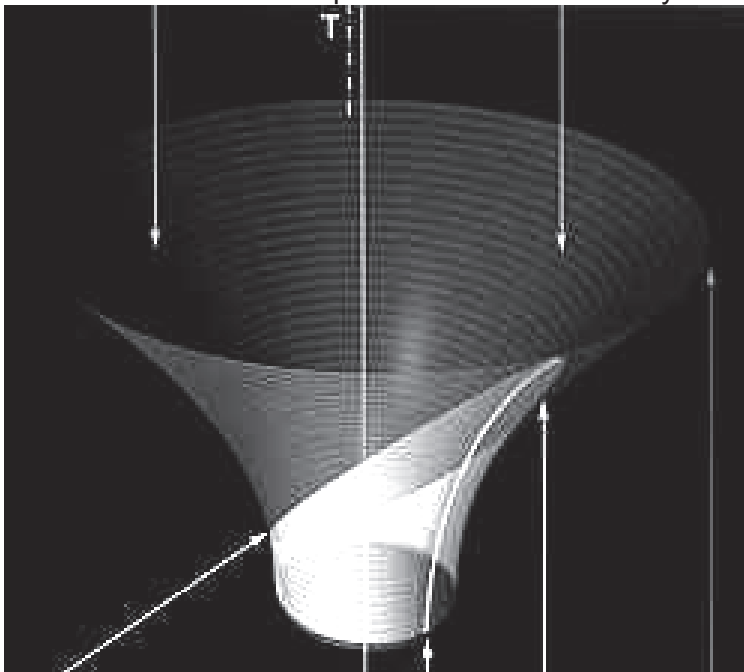
Virtuálne častice sa objavujú a navzájom anihilujú, tesne pri horizonte udalosti čiernej diery. Jeden člen páru padá do čiernej diery, zatiaľ čo jeho dvojča môže uniknúť. Pozorovateľovi mimo horizontu udalostí sa to javí tak, že čierna diera vyžaruje unikajúce častice

oddeľujúci oblasť, z ktorej nás svetlo môže dosiahnúť, od oblasti, z ktorej to už možné nie je (obr. 4.18).

Veľmi podobné argumenty ukazujú, že by malo existovať tepelné žiarenie z tohto horizontu, rovnako ako existuje žiarenie z horizontu čiernej diery. Pri tepelnom žiarení očakávame charakteristické spektrum fluktuácií hustoty. V našom prípade fluktuácie hustoty expandovali spolu s vesmírom. Keď ich dĺžková škála presiahla rozmer horizontu udalostí, došlo k ich zmrazeniu, takže ich dnes môžeme pozorovať ako malé variácie teploty žiarenia kozmického pozadia, ktoré je reliktom raného vesmíru. Pozorovania týchto variácií súhlasia s predpoveďami tepelných fluktuácií s pozoruhodnou presnosťou.

Aj keď je svedectvo o žiarení čiernych dier trochu nepriame, každý, kto skúmal tento problém, súhlasí, že toto žiarenie musí existovať, aby sme dosiahli zhodu s inými teóriami, ktoré sú potvrdené pozorovaniami. Má to významné dôsledky pre determinizmus. Vyžarovanie čiernej diery bude z nej odčerpávať energiu, čo musí viesť k tomu, že čierna diera bude strácať hmotu a bude sa zmenšovať. To bude ďalej znamenať, že jej teplota sa bude zvyšovať a vzrastie rýchlosť vyžarovania. Nakoniec hmotnosť čiernej diery klesne na nulovú hodnotu. Nevieme vypočítať, čo sa stane v tomto bode, ale zdá sa, že jediný prirodzený a racionálny záver by bol, že čierna diera úplne zmizne. A čo sa stane potom s

Udalosti ktoré pozorovateľ neuvidí nikdy



(OBR. 4.18)

De Sitterovo riešenie rovníc podľa všeobecnej teórie relativity predstavuje vesmír, ktorý sa rozpína inflačným spôsobom. V diagrame je čas vyznačený smerom nahor a veľkosť vesmíru v horizontálnom smere. Priestorové vzdialenosti narastajú tak rýchlo, že svetlo vzdialených galaxií nás nikdy nedostihne, a tak vzniká horizont udalostí, hranica oblasti, ktorú nemôžeme pozorovať - podobný ako horizont čiernej diery.

Horizont udalostí pozorovateľa

Horizont udalostí

Plocha konštantného času

História pozorovateľa pozorovateľa

časťou vlnovej funkcie vnútri čiernej diery a s informáciou, ktorú táto časť vlnovej funkcie nesie o tom, čo popadalo do čiernej diery? Prvý odhad môže byť taký, že táto časť vlnovej funkcie a informácia, ktorú nesie, by sa mohla objaviť, keď sa čierna diera definitívne stratí. Avšak informácia sa nemôže prenášať zadarmo, čo si človek uvedomí, keď dostane účet za telefón.

Informácia si vyžaduje na svoj prenos energiu a v konečných štádiách čiernej diery je už energie v jej vnútri veľmi málo. Jediný vhodný spôsob, ako by sa mohla informácia znútra dostať von by bol, že by nepretržite unikala so žiarením a nečakala na záverečnú fázu vývoja čiernej diery. Ak je však správna predstava, že jeden člen z virtuálneho páru častíc padá do čiernej diery a druhý z nej uniká, nedá sa očakávať, že by unikajúca častica súvisela s tým, čo padlo do diery, alebo by o tom niesla informáciu. Preto jedinou odpoveďou zrejme je, že informácia obsiahnutá v časti vlnovej funkcie vnútri čiernej diery sa stráca (obr. 4.19).

Takáto strata informácie má vážne dôsledky pre determinizmus. Na začiatku sme podotkli, že aj keď poznáme vlnovú funkciu po zmiznutí čiernej diery, nemohli by sme so Schrödingerovou rovnicou postupovať naspäť v čase a vypočítať, aká bola vlnová funkcia pred vznikom čiernej diery. Aká bola, to by čiastočne záviselo od toho kúska vlnovej funkcie, ktorá sa stratila v čiernej diere. Zvykli sme si myslieť, že minulosť dokážeme presne spoznať. No ak sa informácie strácajú v čiernych dierach, tak to neplatí. Mohlo sa stať čokoľvek.



(OBR. 4. 19)

Tepelné žiarenie odnáša z horizontu čiernej diery kladnú energiu, čím sa hmotnosť čiernej diery znižuje. Keď však čierna diera stráca hmotnosť, jej teplota rastie a stúpa i rýchlosť vyžarovania, preto sa hmota stráca rýchlejšie. Nevieme, čo sa stane, keď už bude jej hmotnosť extrémne malá, ale najpravdepodobnejší záver je ten, že čierna diera sa stratí úplne.

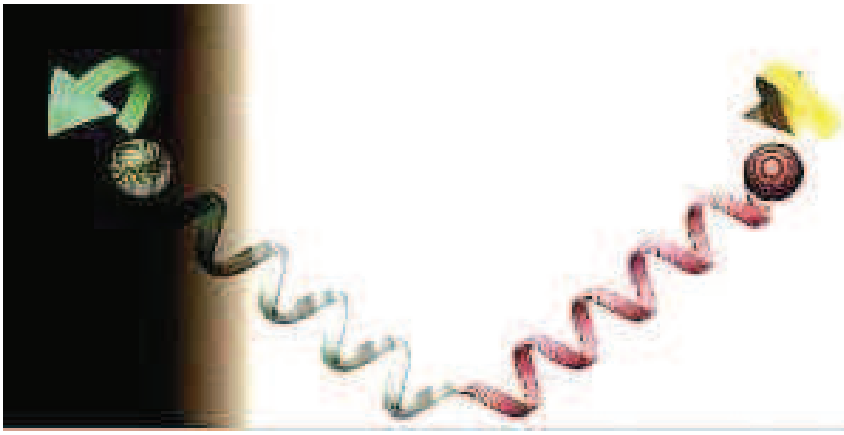
Vo všeobecnosti sa ľudia ako astrológovia a tí, čo sa s nimi radia, zaujímajú viac o predpovedanie budúcnosti, ako o spätný pohľad do minulosti. Na prvý pohľad sa môže zdať, že strata časti vlnovej funkcie v útrobach čiernej diery by nám nemala zabrániť v tom, aby sme predpovedali tvar vlnovej funkcie mimo čiernej diery. Ukazuje sa však, že táto strata znemožňuje takú predpoveď, ako možno vidieť, keď zoberieme do úvahy myšlienkový experiment, ktorý v 30. rokoch minulého storočia navrhli Albert Einstein, Boris Podolsky a Nathan Rosen.

Predstavme si, že sa rádioaktívny atóm rozpadáva a vysiela v opačných smeroch dve častice s opačným spinom. Pozorovateľ, ktorý sa díva iba na jednu časticu, nemôže určiť, či sa bude otáčať doprava alebo doľava. Ale ak pozorovateľ zistí, že sa jedna častica otáča doprava, môže s istotou predpovedať, že druhá sa bude otáčať doľava, a naopak (obr. 4.20). Einstein si myslel, že to dokazuje absurdnosť kvantovej teórie: druhá častica by mohla byť vtedy už na opačnej strane galaxie a napriek tomu by pozorovateľ okamžite vedel, ktorým smerom sa otáča. Avšak väčšina iných vedcov sa zhodne na tom, že to bol Einstein, nie kvantová teória, kto sa mýlil. Einsteinov-Podolského-Rosenov myšlienkový experiment nedokazuje, že sme schopní vyslať informáciu rýchlejšie ako svetlo. To by bola absurdná vec. Človek si nemôže *vybrať*, že na svojej častici nameria spin doprava, preto nemôže ani stanoviť, aby častica vzdialeného pozorovateľa rotovala doľava.



(OBR. 4.20)

V Einsteinovom-Podolského-Rosenovom myšlienkovom experimente pozorovateľ, ktorý zmeral spin jednej častice, bude poznať aj orientáciu spinu druhej častice.



(OBR. 4.21)

Virtuálny pár má vlnovú funkciu, ktorá predpovedá, že častice budú mať vzájomne opačný spin. Ak však jedna častica spadne do čiernej diery, nie je možné s istotou predpovedať spin zostávajúcej častice.

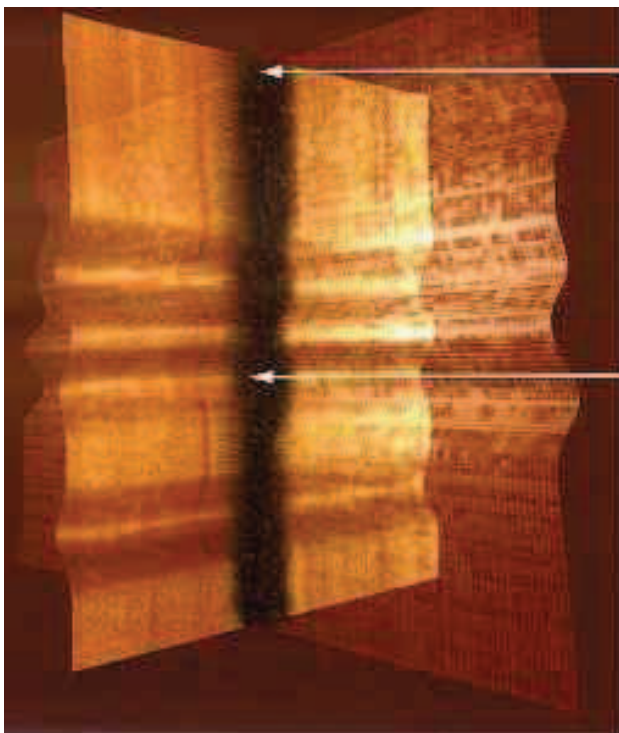
V skutočnosti je tento myšlienkový experiment presne tým, čo sa deje so žiarením čiernej diery. Virtuálny pár častíc má vlnovú funkciu, ktorá predpovedá, že členovia páru majú zaručene opačný spin (obr. 4.21). Radi by sme predpovedali spin a vlnovú funkciu unikajúcej častice, čo by sme zvládli, ak by sme mohli pozorovať časticu, ktorá spadla do čiernej diery. Ale tá je teraz v čiernej diere, kde sa spin a vlnová funkcia nedá zmerať. Preto nie je možné určiť spin ani vlnovú funkciu unikajúcej častice. Môže mať rôzne spiny a rozdielne vlnové funkcie s odlišnými pravdepodobnosťami, ale jednoznačne určený spin alebo vlnovú funkciu nemá. Preto sa zdá, že naša schopnosť predvídať budúcnosť je ešte obmedzenejšia než sme si mysleli. Klasická idea Laplacea, že človek by mohol predpovedať aj polohy, aj rýchlosti častíc, musela byť modifikovaná, keď sa podľa princípu neurčitosti dokázalo, že zmerať presne polohy aj rýchlosti sa nedá. No ešte stále sa dá merať vlnová funkcia a použiť Schrödingerova rovnica na predpoveď toho, aká bude v budúcnosti. To nám umožňuje s istotou určiť jednu kombináciu polohy a rýchlosti — to je polovica toho, čo by sme mohli predpovedať podľa Laplaceových predstáv. S istotou môžeme predpovedať, že častice majú opačný spin, ale ak jedna častica padá do čiernej diery, neexistuje žiadna predpoveď ktorú môžeme s istotou vysloviť o druhej častici. To znamená, že neexistuje žiadne meranie spoza hraníc čiernej diery, ktorého výsledok by nám prinášal predikčnú istotou: naša schopnosť robiť jednoznačné predpovede klesla na nulu. Takže možno astrológia nepredpovedá budúcnosť o nič horšie ako prírodné zákony.

Mnohým fyzikom sa táto redukcia determinizmu nepáčila, preto tvrdili, že informácia uväznená v čiernej diere sa z nej môže nejakým

spôsobom dostať von. Po dlhé roky bolo iba zbožným želaním, aby sa našiel nejaký spôsob na záchranu tejto informácie. V roku 1996 dosiahli Andrew Strominger a Cumrun Vafa významný pokrok. Rozhodli sa, že budú nazerať na čiernu dieru, akoby bola vytvorená z početných stavebných prvkov nazývaných p-brány.

Pripomeňme, že jeden spôsob uvažovania o p-bránach je brať ich ako plochy pohybujúce sa v troch priestorových dimenziách a súčasne v siedmich dodatočných dimenziách, ktoré nevnímame (pozri obr. 4.22). V určitých prípadoch sa dá ukázať, že počet vln na p-bránach je rovnaký ako množstvo informácie, o ktorom by sa dalo očakávať, že ho obsahuje čierna diera. Ak častice narazia na p-brány, vybudia na nich ďalšie vlny. Podobne, ak sa vlny pohybujúce sa v rôznych smeroch po p-bránach stretnú v určitom bode, môžu vytvoriť také vysoké maximum, že sa kúsok p-brány odtrhne a pokračuje v pohybe ako častica. Takto môžu p-brány pohlcovať a vyžarovať častice podobne ako čierne diery (obr. 4.23).

P-brány možno pokladať za efektívnu (zástupnú) teóriu; aj keď nemusíme veriť, že skutočne existujú malé plôšky putujúce plochým priestoročasom, čierne diery sa môžu správať, ako by sa skladali z takýchto plôšok. Je to ako voda, ktorá sa skladá z miliárd a miliárd molekúl H_2O so zložitými vzájomnými interakciami. Spojitá kvapalina je tiež veľmi dobrý efektívny model. Matematický model



Pretínajúce sa brány

Čierna diera

(OBR. 4.22)

Čierne diery si možno predstaviť ako priesečníky p-brán v dodatočných rozmeroch priestoročasu. Informácia o vnútornom stave čiernych dier sa zachová v podobe vln na p-bránach.



(OBR. 4.23)

Časticu padajúcu do čiernej diery si možno predstaviť ako uzavretú slučku struny narážajúcu na p-bránu (1). V p-bráne bude excitovať vlny (2). Tieto vlny sa môžu pospájať a spôsobiť, že sa časť p-brány odštiepi ako uzavretá struna (3). To by bola častica vyžiarená čiernou dierou.

čiernych dier skladajúcich sa z p-brán dáva podobné výsledky, ako to bolo pri predstave párov virtuálnych častíc, o ktorej sme hovorili predtým. Z hľadiska pozitivizmu je to teda rovnako dobrý model, prinajmenšom pre určité typy čiernych dier. Pre takéto typy dostávame z modelu s p-bránami presne takú predpoveď intenzity vyžarovania, ako z modelu s párami virtuálnych častíc. Avšak existuje tu jeden dôležitý rozdiel: v modeli s p-bránami bude informácia o tom, čo padá do čiernej diery uchovaná vo vlnovej funkcii pre vlny na p-bránach. P-brány sa berú ako plochy v *plochom* priestoročase a z tohto dôvodu bude čas rovnomerne plynúť smerom dopredu, dráhy svetelných lúčov sa nebudú ohýbať a informácia vo vlnách sa nestratí. Namiesto toho sa informácia z čiernej diery nakoniec vynorí v podobe žiarenia z p-brán. Takto v modeli p-brán môžeme použiť Schrödingerovu rovnicu na výpočet budúceho tvaru vlnovej funkcie. Nič sa nestratí a čas bude rovnomerne plynúť. V kvantovom zmysle tu bude platiť úplný determinizmus.

Takže, ktorá z týchto predstáv je správna? Stratí sa časť vlnovej funkcie hlboko v čiernej diere, alebo sa celá informácia dostane z nej opäť von, ako to naznačuje model p-brán? To je dnes jedna z otvorených otázok teoretickej fyziky. Podľa mnohých ľudí posledné práce naznačujú, že sa informácia nestráca. Svet je bezpečný a predpovedateľný a nič neočakávané sa nestane. Nie je to však celkom zrejmé. Ak niekto berie Einsteinovu všeobecnú teóriu relativity vážne, musí pripustiť možnosť, že samotný priestoročas sa

zauzlí a informácia sa v jeho záhyboch stratí. Keď vesmírna loď *Enterprise* prešla cez červiu dieru, stalo sa niečo neočakávané. Viem to, pretože som bol na jej palube a hral som poker s Newtonom, Einsteinom a s Datom. Čakalo ma veľké prekvapenie. Len sa pozrite, kto sa mi objavil na kolenách!



5. KAPITOLA

OCHRANA MINULOSTI

Je možné cestovanie v čase?
Mohla by sa vyspelá civilizácia vrátiť a zmeniť minulosť?



Vzhľadom na to, že Stephen Hawking (ktorý v tejto veci predchádzajúcu stávkou prehral, pretože nepožadoval generičnosť [typickosť] stále pevne verí, že nahé singularity sú kliatbou a na základe zákonov klasickej fyziky ich treba zakázať,

a keďže John Preskill a Kip Thorne (ktorí predchádzajúcu stávkou vyhrali) stále považujú nahé singularities za objekty kvantovej gravitácie, ktoré by mohli existovať nezahalené horizontmi tak, aby ich videl celý vesmír, preto Hawking navrhuje a Preskill sThornom prijímajú stávkou, že *ak akákoľvek forma klasickej hmoty alebo poľa, ktorá sa nemôže stať singulárnou v plochom priestoročase, interaguje s relativistickou gravitáciou podľa klasických Einsteinových rovníc, potom dynamická evolúcia z generických počiatkových podmienok (t. j. z otvorenej množiny počiatkových údajov) nemôže nikdy vytvoriť nahú singularitu (nulovú geodetiku z I^+ neúplnú smerom do minulosti).*

Porazený odmení víťaza oblečením na zahalenie jeho nahoty. Na oblečení bude vyšíty vhodný výrok jasne priznávajúci prehru.

Stephen W. Hawking John P. Preskill & Kip S. Thorne

Pasadena, Kalifornia, 5. február 1997

MÔJ PRIATEĽ A KOLEGA KIP THORNE, s ktorým som uzavrel mnoho stávk, nepatrí medzi tých, ktorí by sledovali prijaté trendy vo fyzike iba preto, že tak robia aj ostatní. Preto sa stal prvým serióznym vedcom diskutujúcim o praktickej možnosti cestovania v čase.

Špekulovať otvorene o cestovaní v čase je chýlostivé. Človek sa vystavuje buď protestu, že mňa verejné financie na niečo také smiešne, alebo požiadavke, aby sa výskum utajil pre vojenské účely. Napokon, ako by sme sa mohli chrániť pred niekým so strojom času? Mohol by zmeniť dejiny a ovládnuť svet. Je medzi nami iba zopár odvážlivcov dostatočne bláznivých na to, aby pracovali na téme, ktorá sa považuje medzi fyzikmi za natoľko odporujúcu politickej korektnosti. Zastierame skutočnosť používaním odborných výrazov, ktoré sú krycím menom pre cestovanie v čase.

Základom všetkých súčasných diskusií o cestovaní v čase je Einsteinova všeobecná teória relativity. Ako sme videli v predchádzajúcich kapitolách, Einsteinove rovnice urobili z priestoru a času dynamické veličiny tým, že opisujú ako ich hmota a energia vo vesmíre zakrivuje a deformuje. Vo všeobecnej relativite osobný čas každého človeka, meraný jeho náramkovými hodinkami, stále rastie, práve tak, ako v Newtonovej teórii alebo v plochom

priestoročase v špeciálnej relativite. Teraz tu však existuje možnosť, že priestoročas je tak silno zakrivený, že sa vydáte na cestu v kozmickej lodi a prídete naspäť skôr, ako ste sa na cestu vydali (obr. 5.1).

Jeden spôsob, ako by sa to mohlo stať, je, že by existovali červie diery, trubice v priestoročase, spomínané v 4. kapitole, ktoré spájajú rôzne oblasti priestoru a času. Idea spočíva v tom, že svoju kozmickú loď nasmerujete do jedného ústia červej diery a vyjdete druhým ústím do iného priestoru a v inom čase (obr. 5.2.).

Červie diery, keby existovali, by tiež vyriešili problém obmedzenej rýchlosti vo vesmíre: kozmickej lodi by trvalo aj desiatky tisíce rokov, než by prešla naprieč Galaxiou, ak sa má podľa požiadavky teórie relativity pohybovať podsvetelnou rýchlosťou. Avšak cez červiu dieru sa môžete dostať na druhú stranu Galaxie a ešte stihnete večeru. Pravda, ak červie diery existujú, môžeme ukázať, že sa dajú tiež využiť na váš návrat späť ešte predtým, ako ste odišli. Takto si môžete predstaviť, že by ste urobili niečo také, ako vyhodili raketu do vzduchu na odpaľovacej rampe, a tým v prvom rade zabránili vášmu štartu. Je to akási obmena paradoxu starého otca: čo sa stane, ak sa vrátite späť a zabijete svojho starého otca ešte predtým, než bol splodený váš otec? (pozri obr. 5.3.)



Kozmická loď pokračuje v ceste po slučke zakriveným priestoročasom

Kozmická loď putuje po veľkej slučke deformovaným priestoročasom.

OBR 5,1

Kozmická loď sa vracia o 11:45, 15 minút predtým, ako má podľa plánu odštartovať

Kozmická loď štartuje o 12:00 hodine



(OBR. 5.2) ĎALŠIA VARIÁCIA NA PARADOX DVOJČIAT

(1)

Ak by existovala červia diera s dvoma koncami tesne pri sebe, mohli by ste cez ňu prejsť a vyjsť v tom istom čase.

(2)

Môžeme si predstaviť, že vezmeme jeden koniec červej diery na dlhú cestu kozmickou loďou, zatiaľ čo druhý koniec zostane na Zemi.

(3)

Podľa paradoxu dvojčiat keď sa kozmická loď vracia, pre ústie na jej palube uplynulo menej času, ako pre ústie, ktoré zostalo na Zemi. To znamená, že ak by ste vstúpili do pozemského ústia, mohli by ste vyjsť z kozmickej lode v skoršom čase.



(OBR. 5.4)

Pripúšťa priestoročas časopodobné krivky, ktoré sú uzavreté, teda sa vracajú opäť a opäť do svojho východiskového bodu?



(OBR. 5.3)

Môže guľka vpálená do červej diery zasiahnuť človeka ktorý ju predtým vystrelil?

Samozrejme, že toto je paradox, iba ak veríte, že po návrate v čase máte slobodnú vôľu vykonať to, čo sa vám páči. Táto kniha nebude zachádzať do filozofickej dišputy o slobodnej vôli. Namiesto toho sa sústredíme na to, či zákony fyziky pripúšťajú také zakrivenie priestoročasu, že by sa makroskopické telesá, akým je aj kozmická loď, mohli vrátiť do svojej vlastnej minulosti. Podľa Einsteinovej teórie sa kozmická loď nevyhnutne pohybuje podsvetelnou rýchlosťou a sleduje to, čo sa nazýva časupodobná trajektória v priestoročase. A tak otázku môžeme položiť s použitím odbornej terminológie: sú v priestoročase prípustné uzavreté časupodobné krivky — teda také, ktoré sa opätovne vracajú do svojho východiskového bodu? Takéto krivky budem označovať „časové slučky“.

Existujú tri úrovne, na ktorých sa môžeme pokúsiť odpovedať na túto otázku. Po prvé, je to Einsteinova všeobecná teória relativity, ktorá predpokladá, že vesmír má dobre definovanú históriu bez akýchkoľvek neurčitostí. O tejto klasickej teórii máme dost' ucelenú predstavu. Ako sme však videli, nemôže byť táto teória celkom správna, pretože pozorujeme, že hmota podlieha neurčitosti a kvantovým fluktuáciám.

Preto si môžeme položiť otázku o cestovaní v čase na druhej úrovni, ktorá je poloklasickou teóriou. V nej predpokladáme, že hmota sa správa podľa kvantovej teórie s neurčitosťou a kvantovými fluktuáciami, ale priestoročas je dobre definovaný a klasický. Tu už

KOZMICKÉ STRUNY

Kozmické struny sú dlhé, ťažké objekty s nepatrným prierezom, ktoré možno vznikali počas prvých etáp vzniku vesmíru. Ak sa raz kozmické struny vytvorili, rozpínaním vesmíru sa budú ďalej naťahovať, a teraz by mohla jedna kozmická struna prechádzať naprieč celým pozorovateľným vesmírom.

Výskyt kozmických strún predpokladajú moderné teórie častíc, ktoré predpovedajú, že v horúcich počiatkových etapách vesmíru bola látka v symetrickej fáze, podobne ako tekutá voda - ktorá je symetrická: rovnaká v každom bode a v každom smere - nie ako ľadové kryštáliky ktoré majú diskkrétne štruktúru.

Keď vesmír chladol, mohla byť symetria z ranej fázy vo vzdialených oblastiach narušená rôznym spôsobom v rôznych oblastiach. Následkom toho sa látka v týchto oblastiach mohla dostať do rôznych základných stavov (stavov s najnižšou energiou). Kozmické struny sú konfigurácie hmoty na hraniciach medzi týmito oblasťami. Ich vytvorenie bolo preto nevyhnutným dôsledkom skutočnosti, že rôzne oblasti sa mohli odlišovať svojimi základnými stavmi.

obraz nie je celkom úplný, ale prinajmenšom ešte tušíme, ako postupovať ďalej.

A nakoniec je tu úplná kvantová teória gravitácie, nech už je to čokoľvek. V tejto teórii, kde nielen hmota, ale aj samotný čas a priestor sú neurčité a podliehajú fluktuáciám, nie je jasné ani to, ako máme otázku o možnosti cestovania v čase vôbec formulovať. Azda najlepšie, čo môžeme urobiť, je zistiť, ako by ľudia interpretovali svoje merania v oblastiach, kde je priestoročas takmer klasický a bez neurčitosti. Mysleli by si, že v oblastiach so silnou gravitáciou a veľkými kvantovými fluktuáciami sa uskutočnilo cestovanie v čase?

Začnime s klasickou teóriou: ani plochý priestoročas špeciálnej teórie relativity (relativita bez gravitácie), ale ani zakrivené priestoročasy, ktoré boli známe už skôr, neumožňujú cestovanie v čase. Preto bol Einstein veľmi prekvapený, keď v roku 1949 Kurt Gödel — ten istý, ktorý sa preslávil Gödelovou vetou (pozri rámček) — objavil priestoročas, ktorý predstavoval vesmír vyplnený rotujúcou látkou s časovými slučkami v každom bode (obr. 5.4).

Gödelovo riešenie si vyžadovalo prítomnosť kozmologickej konštanty, ktorá môže, ale nemusí, v prírode existovať, no následne sa našli iné riešenia aj bez kozmologickej konštanty. Obzvlášť zaujímavý je prípad, keď sa dve kozmické struny navzájom míňajú vysokou rýchlosťou.

Kozmické struny by sme si nemali pliesť so strunami, ktoré vystupujú v teórii strún, hoci istý súvis medzi nimi je. Sú to objekty, ktoré majú konečnú dĺžku, ale zanedbateľný prierez. Ich existenciu

GODELOVA VETA O NEÚPLNOSTI

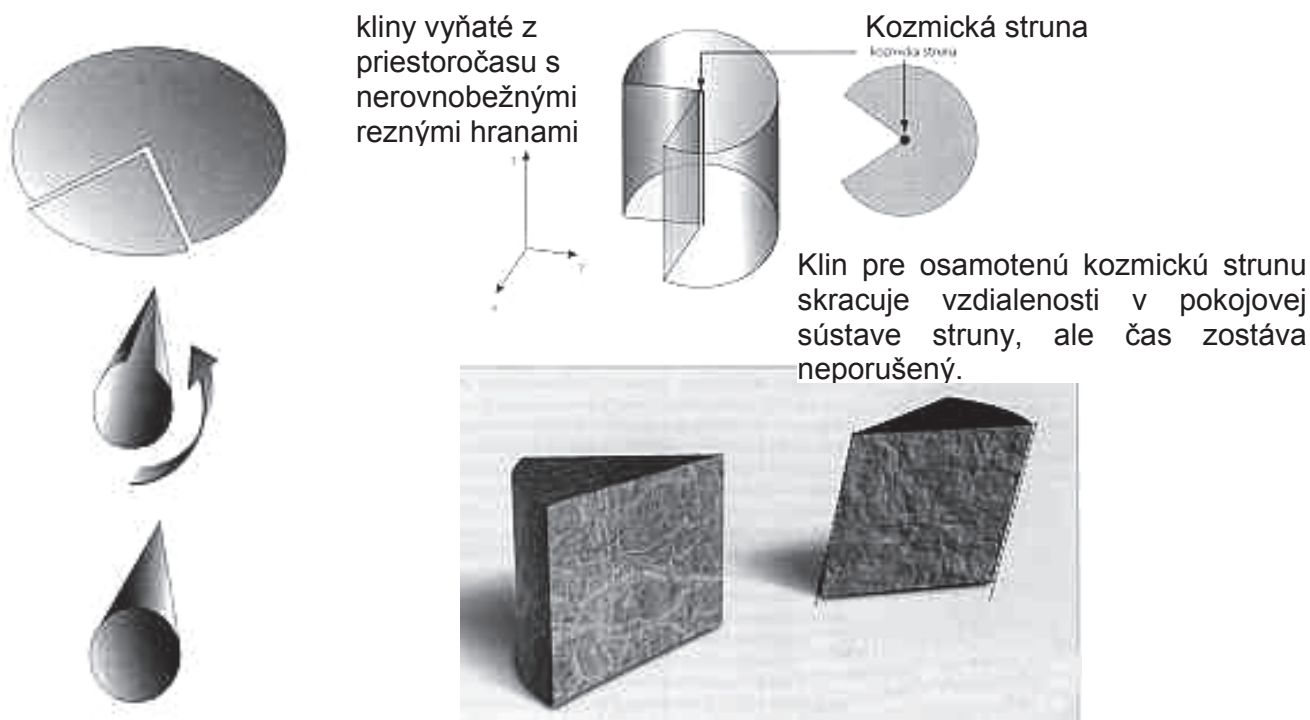
V roku 1931 dokázal matematik Kurt Gödel svoju preslávenú vetu o neúplnosti, ktorá sa týka povahy matematiky. Veta tvrdí, že v rámci akéhokoľvek formálneho systému axióm, akým je aj súčasná matematika, vždy budú existovať výroky ktoré sa nedajú ani dokázať, ani vyvrátiť iba na základe axióm, ktorými je definovaný samotný systém. Inými slovami, Gödel ukázal, že existujú problémy ktoré sa nemôžu vyriešiť pomocou žiadneho súboru pravidiel alebo postupov.

Gödelova veta znamenala fundamentálne obmedzenie matematiky. Pre vedeckú komunitu bola veľkým šokom, pretože rozbila všeobecne rozšírenú vieru, že matematika je koherentný a úplný systém spočívajúci na jednotnom logickom základe. Gödelova veta, Heisenbergov princíp neurčitosti a praktická nemožnosť sledovať vývoj dokonca aj deterministického systému, ak prešiel do chaotického režimu, tvoria jadro ohraničení vedeckého poznania, ktoré sme si uvedomili iba v priebehu dvadsiateho storočia.

predpovedajú niektoré teórie elementárnych častíc. Priestoročas mimo osamotenej kozmickej struny je plochý. Je to však plochý priestoročas s vykrojeným klinom, ktorého ostrý špic sa nachádza na strune. Vyzerá ako kužeľ: vezmite si papier v tvare kruhu a vystrihnite z neho časť podobnú kúsku torty, teda klin s vrcholom v strede kruhu. Potom zahod'te kus papiera, ktorý ste vystrihli a zlepte vystrihnuté okraje na zvyšnom kuse dokopy tak, aby ste dostali kužeľ. To predstavuje priestoročas, v ktorom existuje kozmická struna (obr. 5.5).

Poznamenajme, že povrch kužeľa je ten istý plochý hárok papiera, z ktorého sme začínali (bez vystrihnutého klinu), a teda stále ho môžete nazývať „plochý“ s výnimkou vrcholu. Môžete zistiť, že vo vrchole existuje zakrivenie, podľa toho, že kružnica okolo vrcholu má menší obvod, ako kružnica nakreslená v rovnakej vzdialenosti okolo stredu pôvodného kruhového hárku papiera. Inými slovami, kružnica okolo vrcholu je kvôli chýbajúcej ploche kratšia, ako by sme očakávali pri kružnici s rovnakým polomerom v plochom priestore (obr. 5.6).

Podobne je to aj v prípade kozmickej struny: klin, ktorý je odstránený z plochého priestoročasu, skraca kružnice okolo struny, ale neovplyvňuje čas alebo vzdialenosti pozdĺž struny. To znamená, že priestoročas okolo osamotenej struny neobsahuje žiadne časové



OBR 5,6 vľavo
OBR 5,7 vpravo

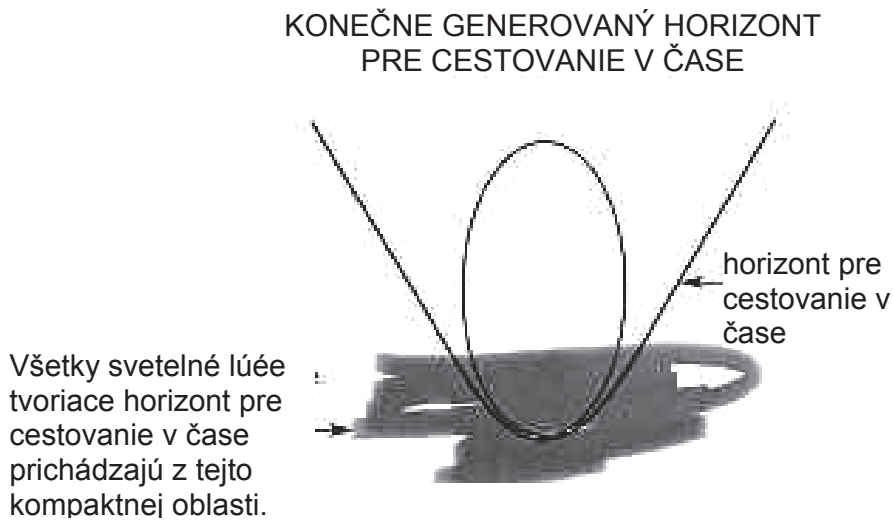
Druhý klin, vykrojený z priestoročasu pohybujúcej sa kozmickej struny, bude v pokojovej sústave prvej kozmickej struny skracať vzdialenosti tak v priestore, ako aj v čase.

slučky, takže cestovať do minulosti nie je možné. Ak je tu však druhá kozmická struna, ktorá sa vzhľadom na prvú pohybuje, smer jej času bude kombinácia smeru času a priestorových smerov prvej struny. To značí, že klin, vykrojený pri druhej strune, bude skracovať priestorové aj časové intervaly namerané pozorovateľom, ktorý sa pohybuje spolu s prvou strunou (obr. 5.7). Ak sa kozmické struny vzhľadom na seba pohybujú takmer rýchlosťou svetla, úspora času pri obídení oboch strún môže byť taká veľká, že sa človek vráti skôr ako odíde. Inými slovami, existujú časové slučky, po ktorých sa dá vydať na cestu do minulosti.

Priestoročas kozmickej struny obsahuje hmotu, ktorá má kladnú hustotu energie a je v súlade so súčasnou fyzikou. Avšak deformácia, vďaka ktorej vznikajú časové slučky, pokračuje do nekonečna v priestore a späť do nekonečnej minulosti v čase. Tieto priestoročasy boli teda už vytvorené tak, aby sa v nich dalo cestovať v čase. Nemáme žiadny dôvod veriť, že náš vlastný vesmír vznikol v takejto deformovanej forme, a nemáme žiadny spoľahlivý dôkaz o návštevníkoch z budúcnosti. (Neberiem vážne konšpiračné teórie, že UFO sú objekty z budúcnosti, a že vláda o nich vie a tají to. Z minulosti je známe, že jej schopnosť utajovania by na to sotva stačila.) Preto budem predpokladať, že vo vzdialenej minulosti, alebo presnejšie, v minulosti nejakej plochy v priestoročase, ktorú budem označovať P, neexistovali žiadne časové slučky. Potom je tu otázka: mohla by nejaká vyspelá civilizácia zhotoviť stroj času? Mohla by teda modifikovať priestoročas v budúcnosti P (na diagrame nad plochou P) tak, že by sa časové slučky objavili v konečnej oblasti? Hovorím v konečnej oblasti, pretože bez ohľadu na to, akou dokonalou sa táto civilizácia stane, bude pravdepodobne schopná ovládať iba konečnú časť vesmíru.

Vo vede je často správna formulácia problému kľúčom k jeho riešeniu, a toto je dobrý príklad. Aby som zadefinoval, čo treba rozumieť pod konečným strojom času, vrátim sa späť k jednej svojej skoršej práci. Cestovanie v čase je možné v oblasti priestoročasu, kde existujú časové slučky, teda dráhy, kde sa pohyb deje podsvetelnou rýchlosťou, napriek tomu sa však v dôsledku zakrivenia priestoročasu vracia späť do miesta a času, kde sa začal. Keďže som prijal predpoklad, že vo vzdialenej minulosti sa nevyskytovali žiadne časové slučky, muselo existovať niečo, čo som nazval „horizont“

cestovania v čase, teda hranica oddeľujúca oblasť časových slučiek od oblasti bez nich (obr. 5.8).



(OBR. 5.8)

Aj najvyspelejšie civilizácie môžu deformovať priestoročas iba v ohraničenej oblasti. Horizont pre cestovanie v čase, teda hranica časti priestoročasu v ktorej by ľudia mohli cestovať do svojej minulosti, tvoria svetelné lúče, ktoré prichádzajú z konečnej oblasti.

Horizonty pre cestovanie v čase sa dosť podobajú horizontom čiernych dier. Zatiaľ čo horizont čiernej diery tvoria lúče svetla, ktoré sa len tak-tak vyhlia pádu do čiernej diery, horizont pre cestovanie v čase vytvárajú lúče svetla, ktoré sa len tak-tak vyhnú stretnutiu samých so sebou. Potom ako svoje kritérium pre stroj času beriem to, čo nazývam konečne generovaný horizont — teda horizont zložený zo svetelných lúčov, ktoré všetky prichádzajú z ohraničenej oblasti. Inými slovami, neprichádzajú z nekonečna alebo singularity, ale majú pôvod v ohraničenej oblasti obsahujúcej časové slučky — v tom druhu oblasti, ktorý, predpokladajme, je schopná vytvoriť naša vyspelá civilizácia.

Ak prijmeme túto definíciu ako charakteristiku stroja času, môžeme výhodne využiť postup, ktorý sme vyvinuli s Rogerom Penrosom na štúdium singularít a čiernych dier. Aj bez použitia Einsteinových rovníc som schopný vo všeobecnosti ukázať, že konečne generovaný horizont bude obsahovať svetelný lúč, ktorý sa v skutočnosti stretne sám so sebou — teda lúč, ktorý sa opakovane vracia do toho istého bodu. Vždy, keď svetlo obletí dookola, posunie sa jeho frekvencia čoraz viac do modrej oblasti spektra, takže obrazy budú čoraz modrejšie. Hrebene kmitajúcej svetelnej vlny sa budú posúvať čoraz bližšie k sebe a svetlo bude obiehať čoraz v kratších intervaloch vlastného času. V skutočnosti by mala častica svetla iba konečnú históriu, keď ju definujeme jej vlastnou mierou času, aj keď

putovala neustále dookola v konečnej oblasti a nenarazila na singularitu krivosti.

Skutočnosť, že častica svetla zavŕši svoju históriu v konečnom čase, by nás nemusela trápiť. Môžem dokázať aj to, že existujú dráhy, po ktorých sa pohyb uskutočňuje pomalšie ako rýchlosťou svetla a ktoré majú iba konečné trvanie. Mohli by to byť histórie pozorovateľov, ktorí uviazli v konečnej oblasti pred horizontom a pohybovali sa stále dookola a čoraz rýchlejšie, až kým za konečný čas nedosiahnú rýchlosť svetla. Preto ak vás nádherná mimozemšťanka v lietajúcom tanieri pozve do svojho stroja času, vchádzajte opatrne. Mohli by ste spadnúť do jednej z týchto opakujúcich sa uzavretých histórií, ktoré majú iba konečné trvanie (obr. 5.9).

Tieto výsledky nie sú závislé od Einsteinových rovníc, ale iba od spôsobu, akým by sa musel priestoročas deformovať, aby v ohraničenej oblasti vznikali časové slučky. Teraz sa však môžeme pýtať, akým druhom hmoty by musela vyspelá civilizácia disponovať, aby sa jej podarilo zakriviť priestoročas až tak, že by vznikol stroj času s konečnými rozmermi. Môže mať všade kladnú hustotu energie ako v priestoročase kozmickej struny, ktorú som opísal vyššie? Priestoročas kozmickej struny nespĺňal moju požiadavku, aby sa časové slučky objavovali v konečnej oblasti. Avšak niekto môže namietat, že to bolo iba preto, že kozmické struny boli nekonečne dlhé. Môžeme si predstaviť, že sa dá zostrojiť konečný stroj času, využívajúci konečné slučky kozmických strún, ktorý má všade kladnú hustotu energie. Je večná škoda sklamať ľudí



(OBR. 5,9) Nebezpečenstvo cestovania v čase

ako je Kip, ktorí sa chcú vrátiť do minulosti, ale žiaľ, nedá sa to uskutočniť. Môžem dokázať, že na zostrojenie konečného stroja času potrebujeme zápornú energiu.

V klasickej teórii je hustota energie vždy kladná, preto sú stroje času konečných rozmerov na tejto úrovni vylúčené. Situácia je odlišná v poloklasickej teórii, kde sa predpokladá, že sa hmota správa podľa zákonov kvantovej teórie, ale priestoročas je dobre definovaný a je klasický. Ako sme videli, podľa princípu neurčitosti kvantovej teórie polia vykazujú fluktuácie i v zdanlivo prázdnom priestore a majú nekonečnú hustotu energie. Aby sme dostali konečnú hustotu energie, ktorú vo vesmíre pozorujeme, musíme odčítať nekonečnú veličinu. Toto odčítanie môže po sebe zanechať zápornú hustotu energie, prinajmenšom lokálne. Dokonca aj v plochom priestore sa dajú nájsť kvantové stavy, v ktorých je hustota energie lokálne záporná, hoci celková energia je kladná. Niekoľko môže mať pochybnosti, či tieto záporné hodnoty spôsobia, aby sa priestoročas skutočne zakrivil vhodným spôsobom, aby sa vytvoril konečný stroj času, ale zdá sa, že to tak musí byť. Ako sme videli v 4. kapitole, kvantové fluktuácie znamenajú, že aj zdanlivo prázdny priestor je vyplnený dvojicami virtuálnych častíc, ktoré sa objavujú spoločne, vzdiaľujú sa od seba, a potom sa k sebe vrátia a zaniknú vo vzájomnej anihilácii (obr. 5.10). Jeden člen virtuálneho páru častíc bude mať kladnú energiu, druhý člen zápornú. Ak je prítomná čierna diera, člen so zápornou energiou môže do nej spadnúť a jeho partner s kladnou energiou môže uniknúť do nekonečna, kde sa javí ako žiarenie, ktoré z čiernej diery unáša preč kladnú energiu. Častice so zápornou energiou, ktoré spadli do čiernej diery, spôsobia, že diera stráca hmotnosť a pomaly sa odparuje, pričom sa jej horizont znižuje (obr. 5.11).

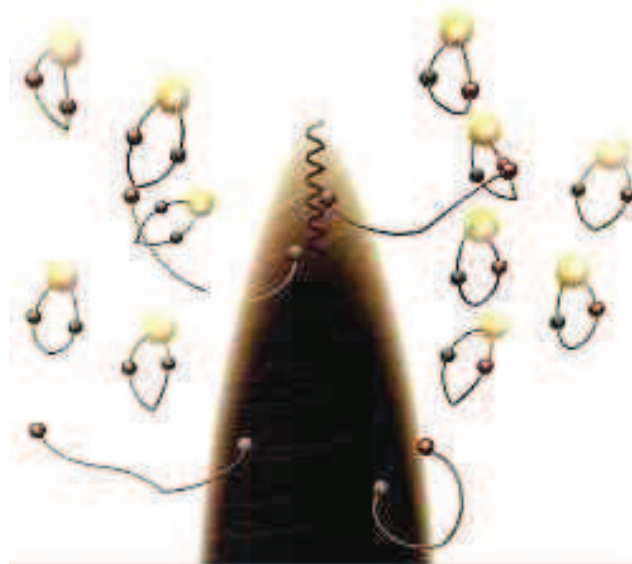
Bežná hmota s kladnou hustotou energie má prít'azlivý gravitačný účinok a deformuje priestoročas tak, že sa svetelné lúče ohýbajú smerom k sebe — práve tak ako v 2. kapitole guľa na gumenej podložke spôsobila, že sa dráhy menších ložiskových guľôčok zakrivovali smerom k nej, ale nikdy nie opačne.

Odtiaľ plynie, že povrch horizontu čiernej diery sa s časom môže iba zväčšovať, nikdy nie scvrkávať. Aby sa veľkosť horizontu čiernej diery znižovala, musí byť hustota energie na horizonte



(OBR. 5.10)

Predpoveď, že čierne diery vyžarujú a strácajú hmotu, nesie so sebou dôsledok, že vďaka kvantovej teórii sa do čiernej diery cez horizont dostáva záporná energia. Aby sa rozmer čiernej diery zmenšoval, musí byť hustota energie na horizonte záporná, čo je to, čo sa vyzáduje pre konštrukciu stroja času.



(OBR. 5.11)

záporná a deformovať priestoročas tak, aby sa lúče svetla navzájom od seba rozbíhali. Bolo to čosi, čo som si prvýkrát uvedomil, keď som sa dostal do postele čoskoro po narodení svojej dcéry. Nepoviem, ako dávno sa to stalo, ale teraz mám už vnuka.

Vyparovanie čiernych dier ukazuje, že na kvantovej úrovni môže byť niekedy hustota energie záporná a zdeformovať priestoročas takým smerom, ako je potrebné na vytvorenie stroja času. Preto si môžeme predstaviť, že nejaká veľmi vyspelá civilizácia by mohla vytvoriť natoľko zápornú hustotu energie, aby vznikol stroj času, ktorý by mohli využiť makroskopické objekty, ako sú kozmické lode. Existuje však dôležitý rozdiel medzi horizontom čiernej diery, ktorý vytvárajú svetelné lúče, čo postupujú dopredu, a horizontom v stroji času, ktorý obsahuje uzavreté svetelné lúče putujúce stále dookola. Virtuálna častica pohybujúca sa po takejto uzavretej dráhe by svoju energiu základného stavu prinášala opakovane späť do toho istého bodu. Človek by preto mohol očakávať, že na horizonte — na hranici stroja času, teda oblasti, v ktorej sa dá cestovať do minulosti — bude hustota energie

nekonečná. To sa potvrdilo priamymi výpočtami v niekoľkých prípadoch, ktoré boli dostatočne jednoduché na presné odhady. Tento výsledok znamená, že osobu alebo kozmickú sondu pokúšajúcu sa dostať cez horizont do stroja času by zahubil záblesk žiarenia (obr. 5.12). Takže budúcnosť cestovania v čase vyzerá čierno — alebo malo by sa povedať, že oslepujúco žiarivo?

Hustota energie hmoty závisí od stavu, v ktorom sa hmota nachádza. Preto je možné, že vyspelá civilizácia bude schopná urobiť z hustoty energie na hranici stroja času konečnú veličinu „zmrazením“ alebo odstránením virtuálnych častíc, ktoré neustále krúžia dookola po uzavretej slučke. Nie je však jasné, či by bol takýto stroj času stabilný: najnepatrnejšia porucha, ako napríklad, keď niekto prejde horizontom, aby sa dostal do stroja času, môže vybudieť krúžiacie virtuálne častice a spustiť údery blesku. To je otázka, ktorú by mali fyzici posudzovať bez toho, aby sa druhí nad nimi pohrdavo usmievali. Aj keby sa ukázalo, že cestovanie v čase je nemožné, bolo by dôležité pochopiť, prečo je to tak.

Aby sme otázku vyriešili s definitívnou platnosťou, potrebujeme vziať do úvahy nielen fluktuácie hmotných polí, ale aj samotného priestoročasu. Možno očakávať, že tieto spôsobia isté rozmazanie dráh svetelných lúčov aj samotného pojmu časového usporiadania. Skutočne, žiarenie unikajúce z čiernych dier sa dá považovať za istý druh presakovania, keďže v dôsledku kvantových fluktuácií priestoročasu horizont nie je presne definovaný. Pretože ešte nemáme k dispozícii úplnú teóriu kvantovej gravitácie, je ťažké

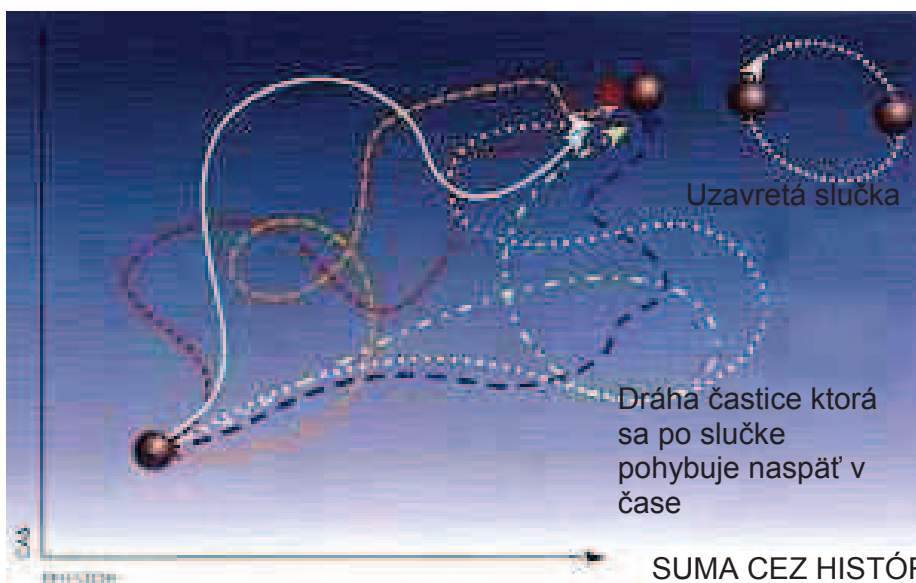


(OBR. 5.12)
Človeka môže zahubiť záblesk žiarenia pri prekročení horizontu cestovania v čase.

povedať, aké by mohli byť účinky priestoročasových fluktuácií. Pravda, môžeme dúfať, že určitou pomôckou nám bude Feynmanova teória súm cez histórie, ktorú sme opísali v 3. kapitole.

Každá história bude zakriveným priestoročasom, obsahujúcim hmotné polia. Pretože sme predpokladali sumáciu cez všetky možné histórie, a nie iba cez tie, ktoré vyhovujú niektorým rovniciam, suma musí zahŕňať aj priestoročasy, ktorých krivosť postačuje na cestovanie do minulosti (obr. 5.13). Takže otázka je, prečo sa cestovanie v čase neodohráva všade? Odpoveď je, že cestovanie v čase na mikroskopickú škálu naozaj prebieha, lenže my to nevnímame. Ak človek aplikuje Feynmanovu myšlienku súčtov cez histórie na časticu, musia tam byť obsiahnuté aj histórie, v ktorých sa častica pohybuje rýchlejšie ako svetlo, a dokonca aj späť v čase. Medziiným budú existovať histórie, v ktorých bude častica neustále obiehať dookola po uzavretej slučke v čase i priestore. Je to ako vo filme *Na Hromnice o deň viac*, v ktorom televízny reportér musel prežívať ten istý deň znovu a znovu (obr. 5.14).

Častice s takýmito históriami typu uzavretej slučky sa nedajú zachytiť nijakým časticovým detektorom, avšak ich nepriame účinky sa pozorovali v mnohých experimentoch. Jedným z takých účinkov je malý posun vo svetle, ktoré vysielaajú atómy vodíka, spôsobený elektrónmi pohybujúcimi sa po uzavretých slučkách. Iným efektom je malá sila vznikajúca medzi rovnobežnými kovovými platňami, spôsobená tým, že existuje o niečo menej histórií s uzavretými slučkami, ktoré sa môžu vtisnúť medzi platne, v porovnaní s



(OBR. 5.13)

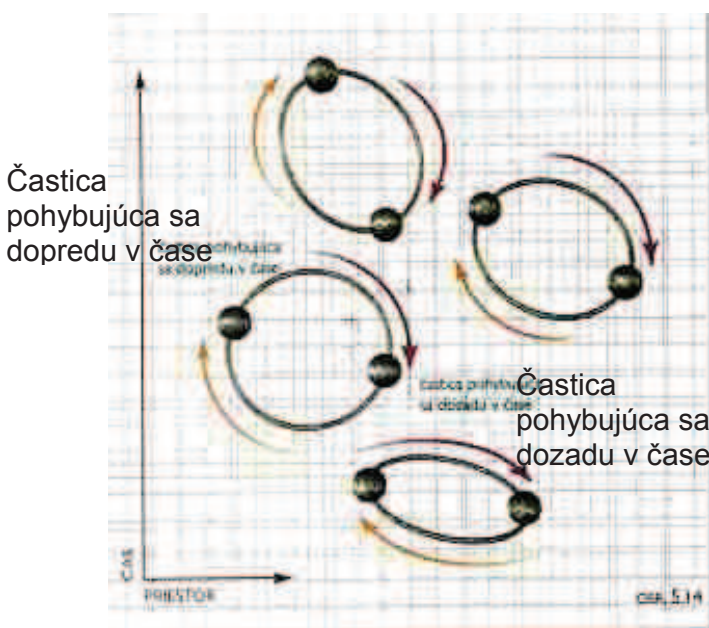
Feynmanova sumácia cez histórie musí obsahovať histórie, v ktorých sa častice pohybujú dozadu v čase, a dokonca aj histórie, ktoré sú uzavretými slučkami v čase i priestore.

oblasťou mimo nich - čo je iná, rovnocenná interpretácia Casimirovho efektu. Teda existencia histórií s uzavretými slučkami bola potvrdená aj experimentálne (obr. 5.15).

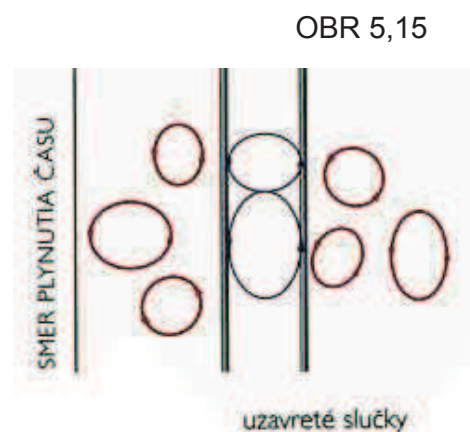
Dá sa diskutovať o tom, či histórie častice typu uzavretej slučky majú niečo spoločné so zakrivovaním priestoročasu, pretože sa vyskytujú aj na pevne daných pozadiach, ako je plochý priestor. V posledných rokoch sme zistili, že javy vo fyzike majú často dva rôzne, rovnako dobré opisy. Človek môže rovnako dobre tvrdiť, že častica sa pohybuje po uzavretej slučke na pevne danom pozadí, ako aj to, že častica je nehybná a priestor i čas okolo nej fluktuujú. Je to iba otázka toho, či najprv urobíte sumáciu dráh častice a až potom sumáciu zakrivených priestoročasov, alebo naopak.

Preto sa zdá, že kvantová teória na mikroskopickej úrovni cestovanie v čase umožňuje. Nedá sa to však veľmi využiť na zámery vedeckej fantastiky, ako je návrat v čase a vražda vášho starého otca. Otázka preto znie: môže dosiahnuť pravdepodobnosť v sume cez histórie maximum okolo priestoročasov s makroskopickými časovými slučkami?

Táto otázka sa dá skúmať tak, že sa pozrieme na sumu cez histórie hmotných polí v postupnosti priestoročasových pozadí, ktoré sa stále viac blížia k priestoročasu s časovými slučkami. Očakávalo by sa, že sa stane niečo dramatické, keď sa objavia prvé časové slučky, a to sa aj potvrdilo v jednoduchom prípade, ktorý so mnou skúmal môj študent Michael Cassidy.



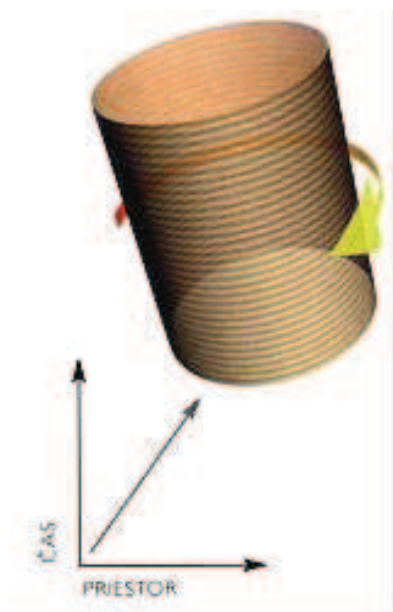
OBR 5,14



OBR 5,15

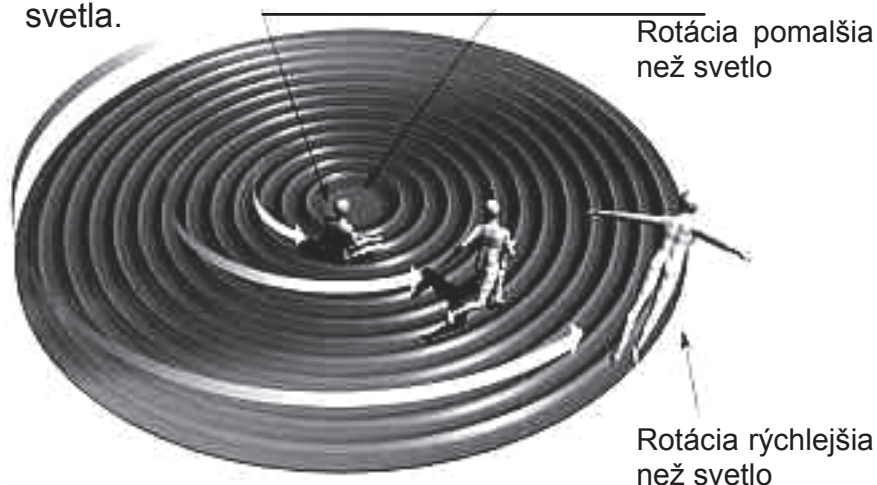
V postupnostiach, ktoré sme vyšetrovali, boli priestoročasové pozadia v úzkom vzťahu k tomu, čo sa nazýva Einsteinov vesmír, teda k priestoročasu, ktorý navrhol Einstein v čase, keď sa domnieval, že vesmír je statický a nemenný v čase, a teda sa ani nerozpína, ani nezmršťuje (pozri 1. kapitolu). V Einsteinovom vesmíre čas plynie od nekonečnej minulosti k nekonečnej budúcnosti. Priestorové rozmery sú však konečné a uzavreté samy do seba ako povrch Zeme, len s jedným rozmerom navyše. Takýto priestoročas si človek môže predstaviť ako valec, ktorého os je časový rozmer a ktorého priečnym prierezom sú tri priestorové dimenzie (obr. 5.16).

Einsteinov vesmír nereprezentuje vesmír, v ktorom skutočne žijeme, pretože sa nerozpína. Napriek tomu sa hodí ako príklad priestoročasového pozadia na diskusiu o cestovaní v čase, lebo je dostatočne jednoduchý na to, aby sa dali robiť súčty cez histórie. Zabudnime na chvíľu na cesty v čase a predstavme si hmotu v Einsteinovom vesmíre, ktorý rotuje okolo niektorej osi. Ak by ste sa nachádzali priamo na rotačnej osi, ostávali by ste po celý čas v tom istom bode priestoru práve tak, ako keď sa postavíte do stredu detského kolotoča. Ak ale nie ste na osi, budete sa pri rotácii pohybovať. Čím budete od osi ďalej, tým rýchlejšie sa budete pohybovať (obr. 5.17). Preto ak by bol vesmír priestorovo nekonečný, body dostatočne vzdialené od osi by sa museli



(OBR.5.17 vpravo dolu)

Ďaleko od osi otáčania bude v plochom priestore obvodová rýchlosť tuhého disku väčšia ako rýchlosť svetla.



(OBR. 5.16 vľavo hore)

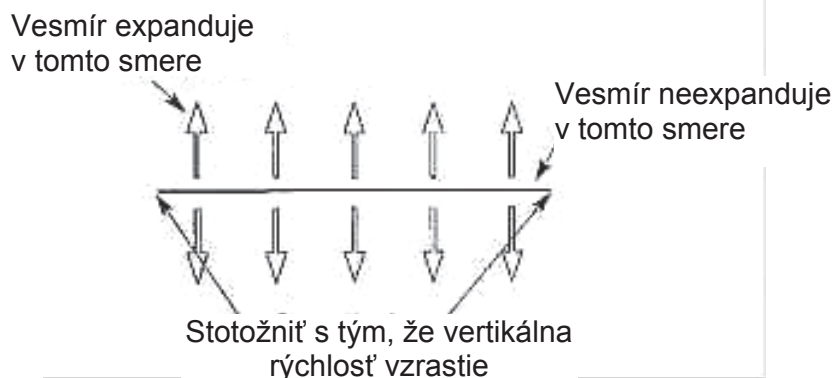
Einsteinov vesmír sa podobá valcu: je priestorovo konečný a jeho rozmery sa s časom nemenia. V dôsledku svojej konečnej veľkosti môže všade rotovať pomalšie ako rýchlosťou svetla.

pohybovať rýchlosťou väčšou ako je rýchlosť svetla. Keďže Einsteinov vesmír má priestorové dimenzie konečné, existuje kritická rýchlosť rotácie, pod ktorou sa žiadna časť vesmíru nepohybuje rýchlejšie ako svetlo.

Pozrime sa na sumu cez histórie častice v rotujúcom Einsteinovom vesmíre. Ak je rotácia pomalá, existuje množstvo dráh, po ktorých sa častica môže pohybovať s daným množstvom energie. Teda na takomto pozadí suma cez všetky histórie častice dá vo výsledku veľkú amplitúdu, a pravdepodobnosť pozadia bude v sume cez všetky histórie zakrivených priestoročasov vysoká — pozadie bude patriť k pravdepodobnejším históriám. Keď sa však rýchlosť rotácie Einsteinovho vesmíru priblíži ku kritickej hodnote až natoľko, že jeho vonkajšie okraje sa pohybujú rýchlosťou blížiacou sa rýchlosti svetla, bude existovať iba jediná dráha častice, ktorá je klasicky prípustná na tomto okraji, a to tá, na ktorej sa častica pohybuje rýchlosťou svetla. To ale znamená, že suma cez histórie častice bude malá, preto bude nízka aj pravdepodobnosť príslušných pozadí v sumácii cez všetky histórie zakrivených priestoročasov. Čiže sú najmenej pravdepodobné.

Čo majú rotujúce Einsteinove vesmíry spoločné s cestovaním v čase a časovými slučkami? Odpoveď znie, že sú matematicky rovnocenné iným pozadiam, ktoré pripúšťajú časové slučky. Týmito inými pozadiami sú vesmíry, ktoré expandujú v dvoch priestorových rozmeroch, ale nie v treťom, ktorý má periodický charakter. Takže ak v tomto smere prejdete určitú vzdialenosť, dostanete sa tam, odkiaľ ste vyšli. Avšak zakaždým, keď vykonáte obeh v tretej priestorovej dimenzii, vaša rýchlosť v prvej a druhej dimenzii narastie (obr. 5.18).

(OBR. 5.18) POZADIE S UZAVRETÝMI, ČASUPODOBNÝMI KRIVKAMI



Ak je prírastok rýchlosti malý, nebudú existovať žiadne časové slučky. Predstavme si však postupnosť pozadí so stúpajúcimi prírastkami rýchlostí. Pri určitom kritickom prírastku sa objavia časové slučky. Neprekvapí nás, že táto kritická hodnota prírastku rýchlosti zodpovedá limitnej rotačnej rýchlosti einsteinovských vesmírov. Pretože matematicky sú výpočty súm cez histórie na týchto pozadiach ekvivalentné, prichádzame k záveru, že pravdepodobnosť pozadí klesá k nule, ak sa ich krivosť blíži k hodnote potrebnej pre časové slučky. Inými slovami, pravdepodobnosť výskytu deformácie postačujúcej pre stroj času je nulová. To svedčí v prospech tvrdenia, ktoré som nazval „hypotéza ochrany chronológie“: zákony prírody sa spojili, aby zabránili makroskopickým objektom cestovať v čase.

Hoci suma cez histórie pripúšťa časové slučky, ich pravdepodobnosti sú extrémne nízke. Podľa argumentov duality, ktoré som už spomínal, som odhadol pravdepodobnosť toho, že Kip Thorne by sa mohol vrátiť v čase späť a zabiť svojho dedka na menej ako jedna k desiatke s biliónom biliónov biliónov biliónov nulami za ňou.

Je to strašne malá pravdepodobnosť, ale keď sa bližšie zahľadíte na Kipov obraz, možno si všimnete, že je okolo okrajov zľahka rozmazaný. To zodpovedá nepatrnej možnosti, že sa nejaký vyvrhel vrátil späť z budúcnosti a zabil jeho starého otca, takže on tu v skutočnosti nie je.

Kip a ja ako hazardní hráči by sme radi uzavreli stávkku pri vyhliadke na úspech, ako je táto. Problém je v tom, že ju nemôžeme uzavrieť medzi sebou, pretože sme v tejto otázke obaja na rovnakej strane. A s niekým iným by som stávkku neriskoval. Mohol by byť z budúcnosti a vedieť, že sa dá cestovať časom.

Možno máte podozrenie, že táto kapitola je časťou zastieracieho manévru vlády, tykajúceho sa cestovania časom. Možno máte pravdu.

6. KAPITOLA

NAŠA BUDÚCNOSŤ STAR TREK ÁNO ALEBO NIE

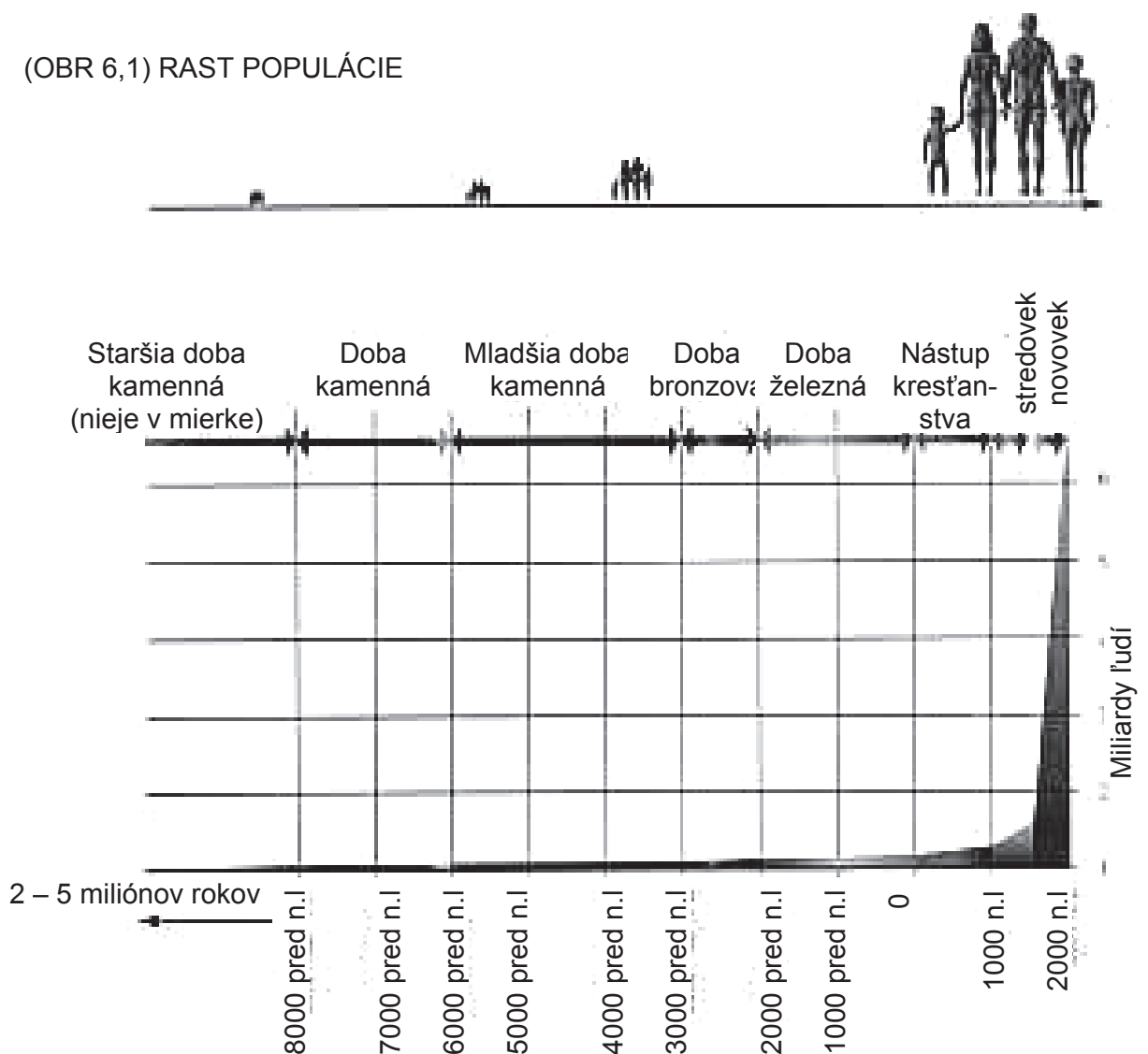
Ako sa bude biologický a elektronický život stále rýchlejšie vyvíjať k čoraz zložitejším štruktúram.



PRÍČINA, PREČO JE SERIÁL *STAR TREK* TAKÝ populárny, spočíva v bezpečnej a utešujúcej predstave budúcnosti. Sám som tak trochu fanúšikom *Star Treku*, preto ma ľahko presvedčili, aby som sa zúčastnil na jednom z jeho pokračovaní, kde hrám poker s Newtonom, Einsteinom a veliteľom Datom. Porazil som všetkých troch, ale, bohužiaľ, bola vyhlásená bojová pohotovosť, a preto som nikdy svoju výhru nezinkasoval.

Star Trek predstavuje spoločnosť, ktorá je ďaleko pred nami vo svojom vedeckom výskume, v technológiách a v politickom usporiadaní. (To posledné možno nie je také ťažké.) V čase medzi „teraz“ a „vtedy“ sa museli udiat veľké zmeny, sprevádzané napätými situáciami a zmätkami, ale v období, v ktorom sme zobrazení, veda, technika a spoločenský poriadok pravdepodobne dosiahli takmer úroveň dokonalosti.

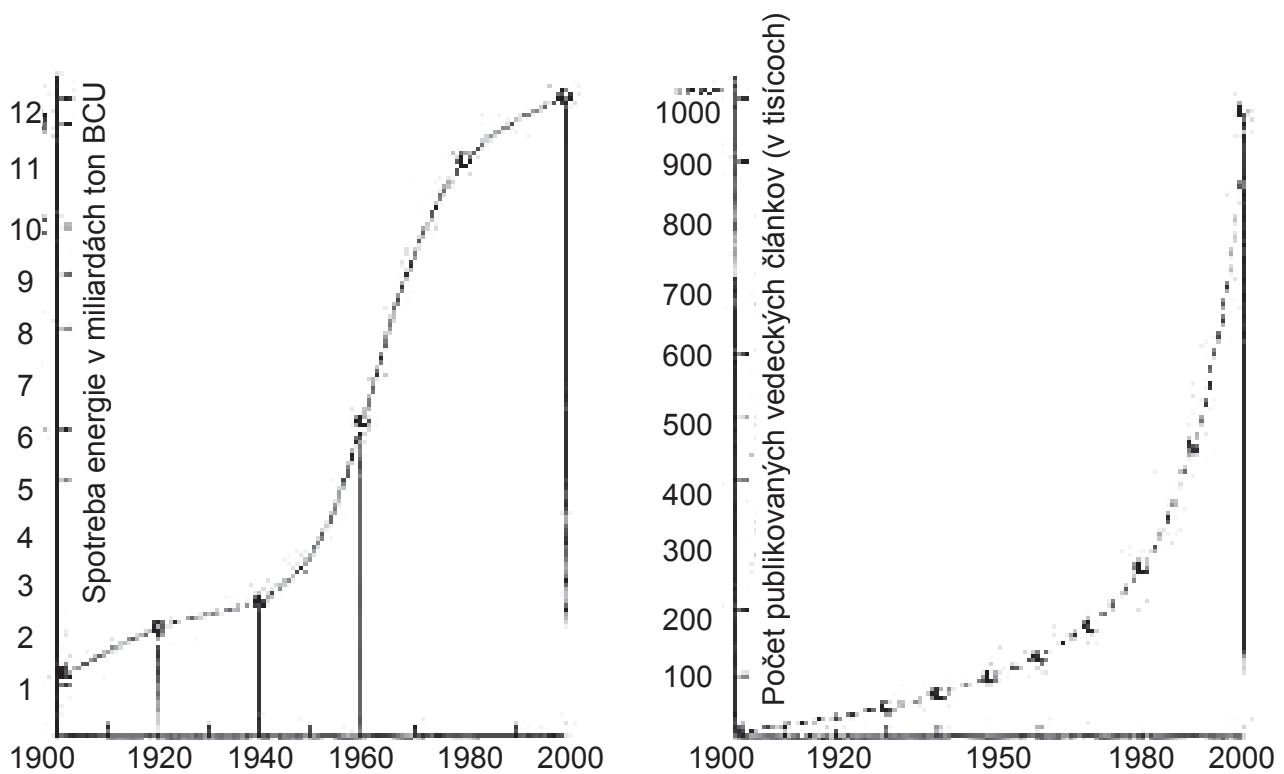
(OBR 6,1) RAST POPULÁCIE



Chcem túto predstavu spochybníť a spýtať sa, ä vôbec niekedy dosiahneme ustálený stav vo vede a technike. Nikdy v priebehu asi desaťtisíc rokov od poslednej doby ľadovej sa ľudstvo nenachádzalo v stave stabilného poznania a nemeniacej sa techniky. Vyskytlo sa zopár úpadkových období, ako bola Doba temna po rozpade Rímskej ríše. Ale veľkosť svetovej populácie, ktorá odráža našu schopnosť uchrániť si vlastný život a zdroje obživy, pravidelne narastala, s výnimkou niekoľkých pohrôm, akou bola veľká morová rana v 14. storočí zvaná čierna smrť (obr. 6.1).

Za posledných dvesto rokov rástla populácia exponenciálne; teda jej prírastok bol percentuálne každý rok rovnaký. V súčasnosti je toto percento ročne asi 1,9. Možno sa to nezdá príliš mnoho, ale znamená to, že za každých štyridsať rokov sa svetová populácia zdvojnásobí (obr. 6.2).

Ďalšou mierou technického pokroku v súčasnej dobe je spotreba elektrickej energie a množstvo vedeckých publikácií. Tieto ukazovatele tiež vykazujú exponenciálny rast, so zdvojnásobením za menej ako štyridsať rokov. Neexistuje žiadny náznak, že sa v blízkej budúcnosti vedecký a technický rozvoj spomalí a zastaví — určite nie do čias *Star Treku*, ktoré, ako predpokladáme, nie sú až také



(OBR. 6.2)

Vľavo: Celková svetová spotreba energie v miliardách ton BCU, kde 1 tona BCU₁ (kamennouhoľná jednotka) = 8,13 MWh.

Vpravo: Počet publikovaných vedeckých článkov za rok. Na zvislej osi je počet článkov v tisícoch. V roku 1900 ich bolo 9 000, okolo roku 1950 už 90 000 a okolo roku 2000 až 900 000.

populácia natlačená plece pri pleci, a spotreba elektriny spraví zo Zeme do červena rozžeravenú guľu.

Ak by ste natesnali všetky nové publikované knihy do radu jednu vedľa druhej, museli by ste sa pohybovať rýchlosťou rovných 145 kilometrov za hodinu, aby ste udržali tempo s kopením kníh na konci takéhoto radu. Samozrejme, že okolo roku 2600 budú umelecké a vedecké práce vychádzať skôr v elektronickej forme ako vo forme papierových kníh a časopisov. Napriek tomu, ak bude exponenciálny rast pokračovať, budem mať onedlho k dispozícii desať prác za sekundu zo svojho odboru — teoretickej fyziky — a žiadny čas na ich prečítanie.

Je zrejmé, že súčasný exponenciálny rast nemôže pokračovať neobmedzene. Tak čo sa stane? Jedna možnosť je, že sa sami úplne vyhubíme pri nejakej katastrofe, napríklad v atómovom konflikte. Ľudia so zmyslom pre čierny humor hovoria, že dôvod, prečo sme sa ešte nestretli s mimozemšťanmi, je v tom, že keby taká civilizácia dosiahla našu úroveň rozvoja, stala by sa labilnou a sama by sa zničila. Som však optimista. Neverím, že ľudské pokolenie dôjde až tak ďaleko, aby sa samo zlikvidovalo práve vtedy, keď veci začali byť zaujímavé.

Vízia budúcnosti typu seriálu *Star Trek* — v ktorej dosiahneme pokročilú, ale v podstate nemennú úroveň — sa môže stať skutočnosťou vzhľadom na naše poznanie základných zákonov, ktorými sa riadi vesmír. Ako opíšem v nasledujúcej kapitole, možno existuje konečná (finálna) teória, ktorú objavíme v nie príliš vzdialenej budúcnosti. Táto finálna teória, ak vôbec existuje, rozhodne o tom, či sa sen zo seriálu *Star Trek* o „deformačnom pohone“ (pohone pomocou zdeformovaného priestoročasu) dá uskutočniť. Podľa súčasných predstáv budeme musieť skúmať Galaxiu pomalým a nudným spôsobom, pomocou kozmických lodí pohybujúcich sa pomalšie ako svetlo, ale keďže ešte nemáme naporiadzi úplnú zjednotenú teóriu, nemôžeme celkom vylúčiť ani „deformačný pohon“ (obr. 6.3).

Na druhej strane poznáme už zákony, ktoré platia všeobecne, s výnimkou veľmi extrémnych situácií: zákony, ktoré riadia posádku



(OBR. 6.3)

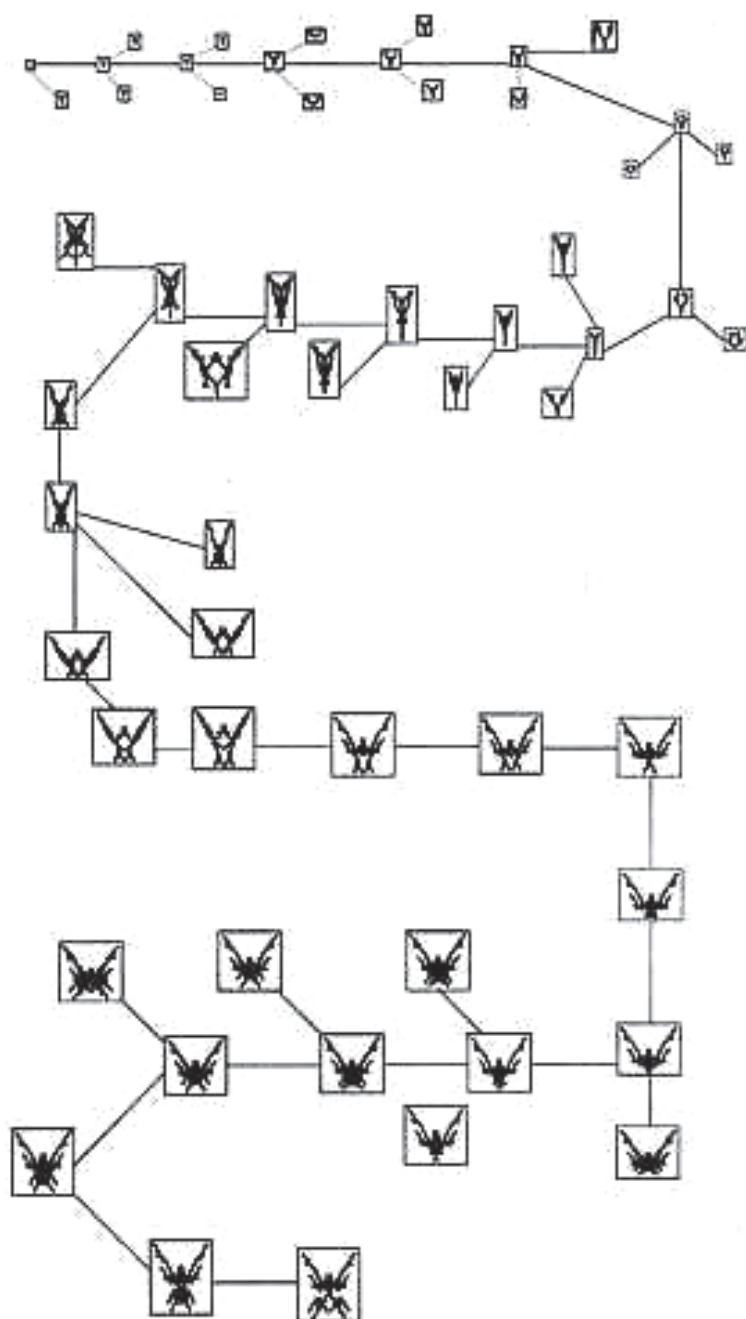
V príbehoch zo seriálu StarTrek vystupuje loď Enterprise a podobné hviezdolety, ako je ten na obrázku, ktoré sú schopné letieť rýchlosťou využívajúcou zakrivenie priestoročasu, podstatne vyššou ako je rýchlosť svetla. Ale ak platí domnienka o ochrane chronológie, budeme musieť skúmať Galaxiu na kozmických lodiach s raketovým pohonom, ktoré budú mať rýchlosť menšiu, než je rýchlosť svetla.

Enterprise, ak už nie aj vesmírnu loď samotnú. Aj tak sa však nezdá, že niekedy dosiahneme ustálený stav pri praktickom využití týchto zákonov alebo pri zvyšovaní zložitosti systémov, vytvorených pomocou nich. A práve touto zložitosťou sa bude zaoberať zvyšok kapitoly.

Najzložitejšími systémami, ktoré máme k dispozícii, sú naše vlastné telá. Život pravdepodobne vznikol v prvotných oceánoch, ktoré pokrývali povrch Zeme pred štyrmi miliardami rokov. Ako k tomu došlo, nevieme. Predpokladáme, že náhodnými vzájomnými zrážkami atómov vznikli makromolekuly, ktoré sa dokázali reprodukovať a vytvárať zložitejšie štruktúry. Vieme iba to, že pred tri a pol miliardami rokov sa objavili veľmi zložité molekuly DNA (používa sa aj skratka DNK).

DNA je základom všetkého živého na Zemi. Má štruktúru dvojzávitnice (dvojitej špirály) podobnej na točité schodište, ktorú v roku 1953 objavili Francis Crick a James Watson z Cavendishovho laboratória v Cambridgei. Dva reťazce dvojzávitnice sú pospájané párami báz ako schodmi točitého schodišťa. V DNA sa nachádzajú štyri bázy: adenín, guanín, tymín a cytozín. Poradie, v ktorom sa objavujú na špirálovom schodišti, nesie genetickú informáciu, ktorá umožňuje, aby DNA okolo seba poskladala organizmus a sama sa reprodukovala. Pri vytváraní jej kópií sa občas vyskytnú chyby v zastúpení alebo v poradí báz pozdĺž špirály. Vo väčšine prípadov chyba v kopírovaní spôsobí, že DNA je buď úplne neschopná, alebo

aspoň menej schopná samoreprodukcie, čo znamená, že takéto genetické chyby, alebo ako ich nazývame mutácie, odumrú. V niektorých prípadoch bude ale chyba alebo mutácia zvyšovať šancu, aby DNA prežila a reprodukovala sa. Takéto zmeny v prepise genetického kódu budú zvýhodnené. Takto sa informácia obsiahnutá v reťazci DNA postupne rozvíja a jej zložitosť sa zvyšuje (pozri obr. 6.4.).



(OBR. 6.4)

EVOLÚCIA V AKCII

Vpravo sú počítačom vytvorené biomorfne štruktúry, ktoré sa vyvíjali podľa programu navrhnutého biológom Richardom Dawkinsom. Schopnosť prežitia jednotlivých druhov závisí od takých jednoduchých vlastností, ako je byť „zaujímavý“, „výnimočný“ alebo „podobný hmyzu“.

Začínajúc v jednom bode na obrazovke, prvé náhodné generácie sa začnú vyvíjať procesom, ktorý sa podobá na prirodzený výber. Dawkins takto „vypestoval“ druh podobný hmyzu za pozoruhodných 29 generácií (s niekoľkými evolučnými slepými uličkami).

Pretože biologická evolúcia je v podstate náhodný proces v priestore všetkých genetických možností, postupuje veľmi pomaly. Zložitosť alebo počet bitov informácie, ktorá je zakódovaná v DNA, je zhruba počet báz v molekule. Približne za prvé dve miliardy rokov musela byť rýchlosť narastania zložitosti rádovo jeden bit informácie za každých sto rokov. Potom tempo narastania zložitosti DNA postupne stúpalo, až počas posledných pár miliónov rokov dosiahlo jeden bit za rok. Potom však, asi pred šiestimi alebo ôsmimi tisícami rokov, došlo k novému veľkému zvratu vo vývoji. Ľudia vynali písmo. Znamenalo to, že informácia sa mohla prenášať z jednej generácie na ďalšiu bez zdĺhavého čakania na náhodné mutácie a prirodzený výber, vďaka ktorým by sa zakódovala do reťazca DNA. Tým nesmierne vzrástla miera zložitosti. Jediný ľúbostný román v mäkkej väzbe môže obsiahnuť také množstvo informácie, aké vykazuje rozdiel medzi DNA opíc a ľudí, a tridsaťzväzková encyklopédia môže opísať celú sekvenciu ľudskej DNA (obr. 6.5).

Ešte dôležitejšie je, že informácie v knihách sa môžu rýchlo aktualizovať. Súčasná rýchlosť, akou sa obnovuje ľudská DNA biologickým vývojom, je asi jeden bit za rok. Každý rok sa ale publikuje dvestotisíc nových kníh, čo predstavuje rýchlosť prísunu nových informácií viac ako milión bitov za sekundu. Samozrejme, že väčšina z toho je odpad, ale aj keby bol použiteľný iba jeden z milióna bitov, bolo by to ešte stále stotisíckrát rýchlejšie ako biologická evolúcia.



OBR 6,5

Tento prenos údajov cez vonkajšie, nebiologické média, doviedol ľudský rod k ovládnutiu sveta a k exponenciálnemu nárastu populácie. Teraz sa však nachádzame na počiatku novej éry, v ktorej budeme schopní zvyšovať zložitosť svojho vnútorného záznamu, DNA, sami, bez toho aby sme museli čakať na zdĺhavý proces biologického vývoja. Zatiaľ čo sa za posledných desaťtisíc rokov v ľudskej DNA neudiala nijaká významná zmena, je pravdepodobné, že za ďalších tisíc rokov ju úplne prebudujeme. Mnohí ľudia budú istotne hovoriť, že genetické inžinierstvo na ľuďoch by malo byť zakázané, ale pochybujem, že taký zákaz budeme schopní uskutočniť. Genetické inžinierstvo rastlín a zvierat bude povolené z ekonomických dôvodov, a určite sa niekto o to pokúsi aj na ľuďoch. Pokiaľ nemáme na svete totalitárny poriadok, nebudeme môcť dosiahnuť, aby niekto niekde nenavrhol a nenaklonoval zdokonalených ľudí.

Je zrejmé, že umelým vytváraním dokonalejších ľudí budú vznikať veľké sociálne a politické problémy vzhľadom na to, že iní vylepšení nebudú. Nie je mojím úmyslom obhajovať genetické inžinierstvo na človeku ako žiadúci vývoj, ale iba povedať, že sa to pravdepodobne uskutoční, či si to už želáme, alebo nie. To je dôvod, prečo neverím takým vedeckým víziám, ako je *Star Trek*, kde ľudia o štyristo rokov budú vyzeráť v podstate tak isto ako my dnes. Myslím si, že zložitosť ľudského pokolenia a jeho DNA bude narastať pomerne rýchlo. Mali by sme sa zmieriť s tým, že sa tak stane, a uvažovať skôr o tom, ako sa s tým vyrovnáme.

V istom zmysle ľudstvo potrebuje vylepšiť svoje mentálne a fyzické kvality, ak sa má vyrovnáť so vzrastajúcou zložitosťou okolitého sveta a novými výzvami, akou je napríklad cestovanie vesmírom. Ľudia potrebujú zvýšiť svoju zložitosť aj preto, aby si biologické systémy udržali svoju prioritu pred elektronickými. Počítače majú momentálne prevahu akurát v rýchlosti, ale nevykazujú nijaký náznak inteligencie. To nie je žiadne prekvapenie, pretože naše súčasné počítače sú jednoduchšie ako mozog dážd'ovky, živočíšneho druhu, ktorý nie je práve preslávený intelektuálnymi schopnosťami.

Počítače sa ale riadia niečím, čo je známe ako Moorov zákon: ich rýchlosť a zložitosť sa zdvojnásobí každých osemnásť mesiacov (obr. 6.6). Je to jeden z tých exponenciálnych nárastov, ktorý zrejme

nemôže pokračovať donekonečna. Bude však pokračovať pravdepodobne až dovtedy, kým zložitosť počítačov nebude podobná ľudskému mozgu. Niektorí ľudia hovoria, že počítače sa nemôžu nikdy vyznačovať skutočnou inteligenciou, nech už to má byť čokoľvek. Mne sa však zdá, že ak môžu veľmi zložité chemické molekuly pôsobiť na ľudí tak, že sa stávajú inteligentnými, potom vďaka rovnako zložitým elektrickým obvodom sa môžu prejavovať inteligentne aj počítače. A keď budú inteligentné, podľa všetkého by mohli vytvoriť ešte zložitejšie a inteligentnejšie počítače.

OBR 6,6 Exponenciálny nárast výpočtovej techniky od roku 1972 po opatrný odhad na rok 2007 podľa jedného výrobcu procesorov. Číslo za jednotlivými čipmi udáva počet operácií za sekundu.

1972	Intel	3 500
1974	Intel 8080	6 000
1978	Intel 8086	29 000
1982	Intel 80286	134 000
1985	Intel 80386	275 000
1989	Intel 80486	1 200 000
1993	Intel Pentium	5 500 500
1995	Intel Pentium II	7 500 000
1999	Intel Pentium III	9 500 000
2000	Intel Pentium IV	28 000 000
2001	Intel Pentium IV	42 000 000
2003	Intel	84 000 000
2005	Intel	200 000 000
2007	Intel 10GHz	400 000 000

Bude tento nárast biologickej a elektronickej zložitosti pokračovať neobmedzene, alebo existuje nejaká prirodzená hranica? Na biologickej úrovni je dodnes obmedzenie ľudskej inteligencie stanovené veľkosťou mozgu, ktorý sa musí dostať cez pôrodné cesty. Zo sledovania pôrodu svojich troch detí som poznal, aké je ťažké, aby sa hlavička novorodenca dostala von. Ale očakávam, že počas nasledujúcich dvesto rokov budeme schopní zabezpečiť vývoj dieťaťa aj mimo ľudského tela, takže toto obmedzenie bude odstránené. Nakoniec však zväčšovanie ľudského mozgu pomocou genetického inžinierstva bude čeliť problému, že chemikálii posli v našom tele, ktorí sú zodpovední za našu mentálnu aktivitu, sú relatívne pomalí. To znamená, že ďalšie zvyšovanie komplexnosti

mozgu sa bude diať na úkor rýchlosti. Môžeme byť pohotoví alebo inteligentní, ale nie oboje naraz. Napriek tomu si myslím, že sa môžeme stať oveľa inteligentnejšími než väčšina ľudí v *Star Treku*, čo zas nie je až také ťažké.

Elektronické obvody majú tiež problém zložitosť verzus rýchlosť, rovnaký ako ľudský mozog. V tomto prípade ide, pravda, o elektrické, nie chemické signály, a tie sa pohybujú rýchlosťou svetla, čo je podstatne viac než rýchlosť chemických procesov. Avšak rýchlosť svetla predstavuje už dnes hranicu, s ktorou treba rátať pri navrhovaní rýchlejších počítačov. Situácia sa dá vylepšiť výrobou miniatúrnejších obvodov, ale nakoniec aj tak prideme k obmedzeniu spočívajúcemu v atomárnej povahe hmoty. Ešte to, pravda, nejaký čas potrvá, kým narazíme na túto bariéru.

Iná cesta, ako sa dá pri elektronických obvodoch zvýšiť ich zložitosť pri zachovaní rýchlosti, spočíva v kopírovaní ľudského mozgu. Mozog nemá jediný centrálny procesor (CPU - central processing unit), ktorý by vydával príkazy postupne, jeden za druhým. Namiesto toho má milióny procesorov, ktoré pracujú súčasne. Takéto masívne paralelné spracovanie príkazov v budúcnosti čaká aj elektronickú inteligenciu.

Za predpokladu, že sa sami v nasledujúcich sto rokoch nezničíme, je pravdepodobné, že sa dostaneme najprv na ostatné planéty slnečnej sústavy a potom k blízkym hviezdám. Ale nebude to ako v *Star Treku* alebo v *Babylone 5*, s novou rasou blízkou ľudským bytostiam v takmer každej hviezdnej sústave. Ľudské pokolenie existuje vo svojej dnešnej podobe iba dva milióny rokov z tých 15 miliárd, ktoré uplynuli od veľkého tresku (obr. 6.7).

Takže keby sa život vyvinul aj na iných planétach, šanca, aby sme ho zaregistrovali v zjavne ľudskom štádiu vývoja, je veľmi malá. Akýkoľvek cudzí život, s ktorým sa stretneme, bude v porovnaní s naším buď omnoho primitívnejší, alebo oveľa vyspelejší. Ak je vyspelejší, prečo sa nerozšíril po Galaxii a nezavítal na Zem? Ak by sem došli mimozemšťania, asi by sme sa o tom dozvedeli: skôr by sa to podobalo na film *Deň nezávislosti* než na *E. T.*



(OBR. 6.7)

Ľudstvo existuje iba zlomok z histórie vesmíru. (Ak by tento nákras zachovával skutočnú časovú mierku a trvanie ľudského rodu by malo dĺžku 7 cm, potom by celá história vesmíru mala viac než jeden kilometer.) Akýkoľvek cudzí život je pravdepodobne v porovnaní s našim omnoho primitívnejší, alebo omnoho vyspelejší.

Ako si teda máme vysvetliť absenciu mimozemských návštevníkov? Možno niekde mimo nás existuje vyspelá civilizácia, ktorá vie o našej existencii, ale nechávajú nás variť sa vo vlastnej primitívnej šťave. Je však otázne, či by boli takí ohľaduplní k nižším formám života: trápi sa väčšina z nás tým, koľko hmyzu a červov rozmliaždime pod svojimi nohami? Rozumnejšie vysvetlenie je, že je veľmi málo pravdepodobné buď to, že sa na iných planétach vôbec vyvinie život, alebo to, že sa vyvinie až do inteligentnej podoby. Pretože tvrdíme o sebe, že sme inteligentní, hoci hádam aj bez vážneho dôvodu, máme sklon nazerať na inteligenciu ako na nevyhnutný dôsledok evolúcie. Dá sa však o tom pochybovať. Nie je napríklad jasné, či je inteligencia výhodou pre čo najdlhšie udržanie života. Baktérii bez inteligencie sa darí veľmi dobre a určite nás prežije, ak nás naša takzvaná inteligencia dovedie k záhube v nukleárnej katastrofe. Preto keď pátrame v Galaxii, môžeme snád' naraziť na primitívny život, ale pravdepodobne nenájdeme bytosti podobné nám.

Budúcnosť vedy nebude taká idylická, ako je to vykreslené v seriáli *Star Trek*: vesmír obývaný mnohými humanoidnými populáciami s vyspelou, ale v podstate nerozvíjajúcou sa vedou a technikou. Namiesto toho si myslím, že budeme aj naďalej osamotení, ale zato budeme prudko zvyšovať svoju biologickú a elektronickú zložitosť. V najbližších sto rokoch sa z toho ešte veľa neudeje, čo je asi tak všetko, čo môžeme spoľahlivo predpovedať. Ku koncu tohto tisícročia, ak sa ho ľudstvo dožije, bude však rozdiel oproti *Star Treku* úplne zásadný.

BIOLOGICKO-ELEKTRONICKÉ ROZHRANIE

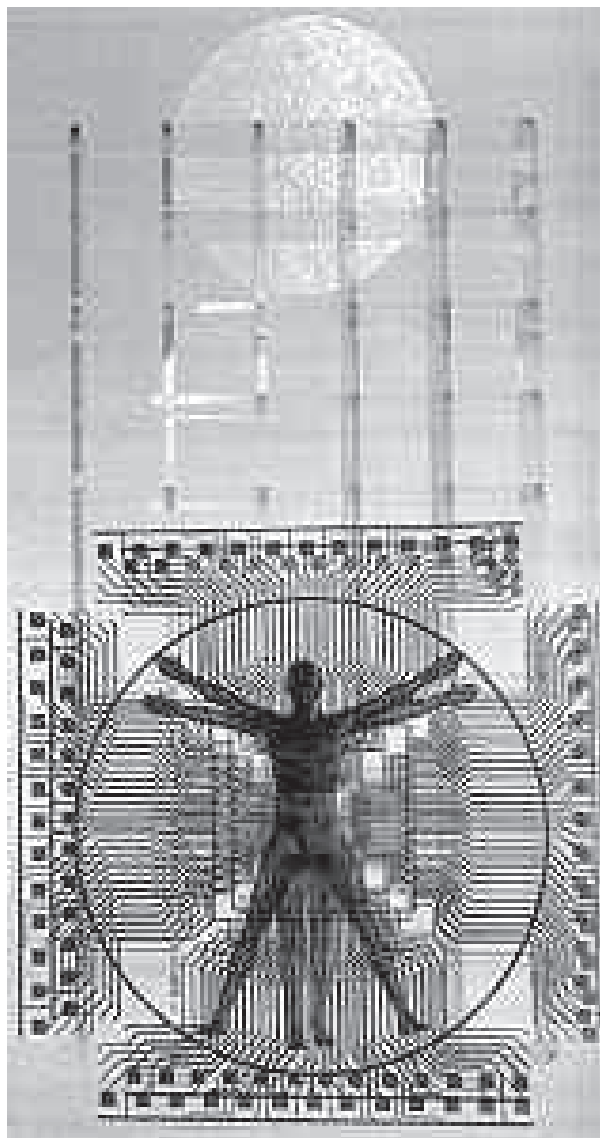
Behom dvoch desaťročí bude tisíc dolárový počítač taký zložitý ako ľudský mozog. Paralelné procesory napodobnia spôsob činnosti nášho mozgu a počítače budú vďaka nim schopné inteligentnej a vedomej činnosti.

Neurálne implantáty snád' umožnia omnoho rýchlejšiu výmenu informácií medzi mozgom a počítačmi, odstraňujú tak priepasť medzi biologickou a elektronickou irteligenciou.

V blízkej budúcnosti sa bude väčšina obchodných transakcií pravdepodobne uskutočňovať medzi cyberosobami prostredníctvom celosvetovej elektronickej siete známej ako World Wide Web (www). Behom desiatich rokov si možno mnohí z nás dokonca zvolia, že chcú žiť vo virtuálnom svete na Sieti, a vytvárať cyberpriateľstvá a vzťahy.

Poznanie nášho ľudského genómu bude nepochybne stimulovať veľké pokroky v medicíne, ale tiež nám umožní podstatne zvýšiť zložitosť štruktúry ľudskej DNA. V nasledujúcich niekoľkých stovkách rokov môže genetické inžinierstvo nahradiť biologickú evolúciu, čím prebuduje ľudské pokolenie a nastolí pred nami úplne nové etické otázky.

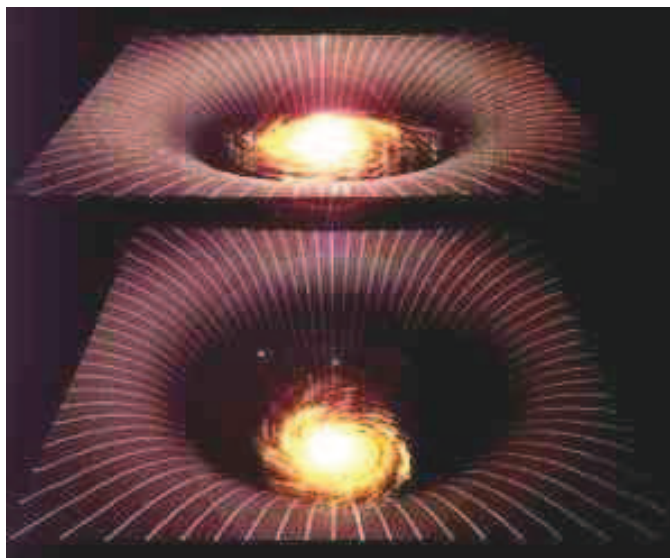
Vesmírne cestovanie za hranice našej slnečnej sústavy bude pravdepodobne vyžadovať ľudí upravených genetickým inžinierstvom, alebo automatické kozmické sondy ovládané počítačmi.



7. KAPITOLA

KRÁSNY BRÁNOVÝ SVET

Žijeme na bráne, alebo sme iba hologramy?



AKO BUDE POKRAČOVAŤ NÁŠ BUDÚCI VÝSKUM?

Budeme úspešní pri hľadaní úplnej, zjednotenej teórie, podľa ktorej sa bude riadiť celý vesmír so všetkým, čo v ňom je? Teóriu všetkého (Theory of Everything - TOE) sme už spomínali v 2. kapitole, a identifikovali ju s M-teóriou. Táto teória sa, aspoň pokiaľ vieme, nedá sformulovať ako jediná teória. Namiesto toho sme objavili sústavu zdanlivo rozdielnych teórií, ktoré sa všetky zdajú byť priblíženiami tej istej základnej, fundamentálnej teórie v rôznych limitách, práve tak, ako je Newtonova teória gravitácie aproximáciou Einsteinovej všeobecnej teórie relativity v limite slabého gravitačného poľa. M-teória je ako známa skladačka: najľahšie je vyhľadať a pospájať dokopy kúsky, ktoré sa nachádzajú pri okrajoch skladačky — na hraniciach M-teórie, kde sa niektoré veličiny dajú považovať za malé. Dnes máme celkom dobrú predstavu o týchto okrajoch, ale ešte stále existuje v skladačke M-teórie rozsiahla diera v jej strede, kde nevieme, čo sa deje (obr. 7.1). Nemôžeme vážne tvrdiť, že sme našli Teóriu všetkého, pokiaľ túto diery nevyplníme.

Čo je v strede M-teórie? Objavíme tam drakov (alebo niečo rovnako podivné), ako ich objavujeme na starých mapách neprebádaných území? Naše minulé skúsenosti hovoria, že keď rozšírimo okruh svojich pozorovaní do menších rozmerov,



(OBR.7.1)

M-teória je ako detská skladačka. Lahko sa dajú nájsť a pospájať kúsky okolo okrajov, ale nemáme dostatočnú predstavu, čo sa deje v strede, kde sa nedá použiť priblíženie, že niektorá z veličín je malá.

pravdepodobne narazíme na neočakávané javy. Na začiatku dvadsiateho storočia sme pochopili chod prírody na škálach klasickej fyziky, ktorá je spoľahlivá v rozpätí od medzihviezdnych vzdialeností po asi stotiny milimetra. Klasická fyzika predpokladá, že látka je spojité prostredie s takými vlastnosťami ako pružnosť a viskozita, ale časom sa začali objavovať dôkazy, že látka nemá hladkú štruktúru, ale skôr zrnitú: tvoria ju drobné stavebné kamene, nazývané atómy. Názov atóm pochádza z gréčtiny a znamená „nedeliteľný“. Čoskoro sa ale zistilo, že atómy sa skladajú z elektrónov, obiehajúcich okolo jadra, ktoré pozostáva z protónov a neutrónov (obr. 7.2).

Pokroky atómovej fyziky v prvej tridsiatke rokov minulého storočia posunuli naše znalosti až približne k dĺžkam milióntiny milimetra. Potom sme zistili, že aj protóny a neutróny sa skladajú z ešte menších častíc, nazvaných kvarky (obr. 7.3).

Naše nedávne výskumy jadra a fyzika vysokých energií nás priviedli k dĺžkovým rozmerom, ktoré sú ešte miliárdkrát menšie. Môže sa zdať, že takto by sa dalo pokračovať čoraz ďalej a odhaľovať štruktúru hmoty na čoraz menších dĺžkových škálach. V tomto postupe existuje však hranica, podobne ako je ohraničený aj počet matriošiek vnútri najväčšej z nich (obr. 7.4).



(OBR. 7.3 vľavo)

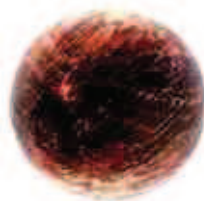
Hore; Protón pozostáva z dvoch u-kvarkov s kladným dvojtretinovým elektrickým nábojom a jedného d-kvarku, ktorý má záporný tretinový náboj. Dolu: Neutrón sa skladá z dvoch d-kvarkov, z ktorých každý nesie záporný tretinový elektrický náboj, a jedného u-kvarku s kladným dvojtretinovým nábojom.

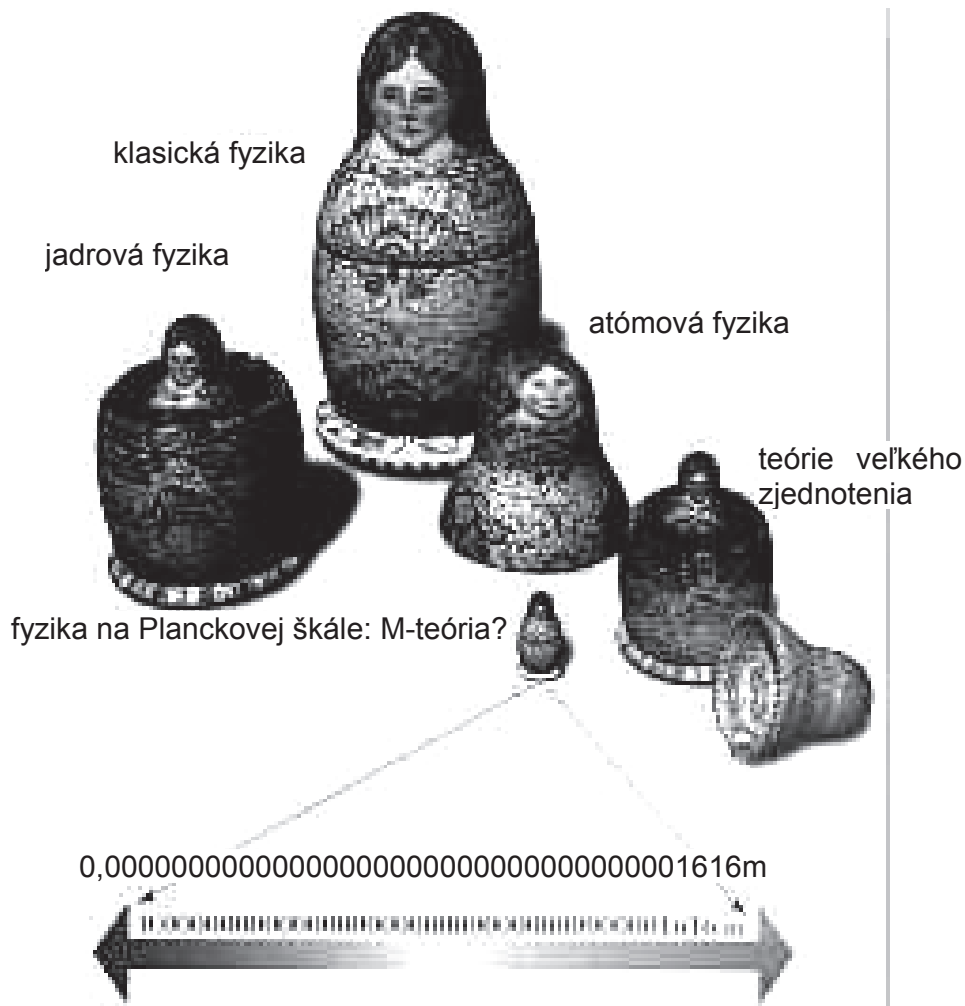


(OBR. 7.2 dole)

Vľavo - Klasický nedeliteľný atóm.

Vpravo - Atóm, v ktorom okolo jadra zloženého z protónov a neutrónov obiehajú elektróny.

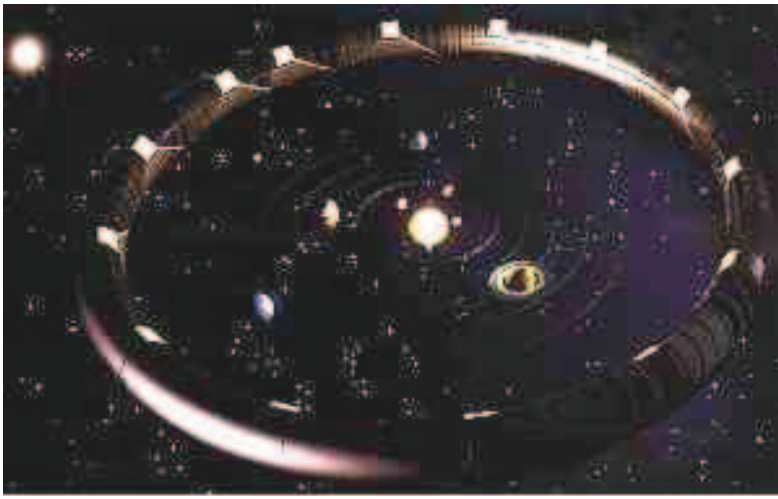




(OBR. 7.4) Každá matrioška predstavuje teoretické pochopenie prírody po určitú škálu dĺžok. Každá matrioška obsahuje menšiu, ktorá zodpovedá teórii opisujúcej štruktúru prírody na menšej škále. Vo fyzike ale existuje najmenšia, fundamentálna dĺžka, nazývaná Planckova dĺžka, čo je škála, na ktorej je azda príroda opísaná M-teóriou.

Nakoniec sa človek dostane k najmenšej bábike, ktorá sa už nedá ďalej rozobrať. Táto najmenšia matrioška sa vo fyzike nazýva Planckova dĺžka. Aby sme prenikli k ešte kratším rozmerom, boli by potrebné častice s takou veľkou energiou, že by sa museli zrútiť do čiernych dier. Nevieme presne, čo je fundamentálnou Planckovou dĺžkou v M-teórii, ale možno je taká malá ako milimeter vydelený stotisícim miliárd miliárd miliárd. Neuvažujeme zatiaľ o budovaní časticových urýchľovačov, ktoré dokážu skúmať hmotu na takých malých vzdialenostiach. Museli by byť väčšie ako slnečná sústava a je nepravdepodobné, že by boli podobné projekty pri súčasnej ekonomickej situácii schválené (obr. 7.5).

Existuje však nová, vzrušujúca idea, ktorá nám azda pomôže ľahšie (a lacnejšie) objaviť aspoň nejakých drakov v M-teórii. Ako



(OBR. 7.5)

Aby sme sa dostali k takým malým rozmerom, ako je Planckova dĺžka, potrebovali by sme urýchľovač, ktorého rozmery by boli väčšie ako priemer slnečnej sústavy.

sme vysvetlili v 2. a 3. kapitole, v sústave matematických modelov M-teórie má priestoročas desať alebo jedenásť rozmerov. Až donedávna sa myslelo, že všetkých šesť alebo sedem dodatočných dimenzií je zvinutých do veľmi malej oblasti. Podobalo by sa to na ľudský vlas (obr. 7.6).

Ak sa pozriete na ľudský vlas cez zväčšovacie sklo, zbadáte, že má hrúbku, ale pri pozorovaní voľným okom sa javí iba ako čiara s dĺžkou bez ďalšieho rozmeru. S priestoročasom to môže byť podobné: na úrovni ľudských či atomárnych dĺžkových mier, alebo aj na úrovni jadrovej fyziky sa môže priestoročas javiť ako štvorrozmerný a takmer plochý. Ak by sme sa však prostredníctvom častíc s extrémne vysokou energiou dostali na veľmi krátke vzdialenosti, uvideli by sme, že priestoročas má desať alebo aj jedenásť rozmerov.

Ak by boli všetky dodatočné dimenzie veľmi malé, bolo by ich veľmi ťažké pozorovať. Avšak nedávno bola predložená hypotéza, že jeden alebo aj viac dodatočných rozmerov môže byť značne veľkých, alebo aj nekonečných. Tento nápad má veľkú výhodu (prinajmenšom pre pozitivistu, ako som ja) v tom, že môže byť testovateľný budúcou generáciou urýchľovačov častíc alebo citlivými meraniami gravitačnej sily na malých vzdialenostiach. Takéto merania by mohli teóriu buď vyvrátiť, alebo existenciu ďalších rozmerov experimentálne potvrdiť.

Veľké dodatočné dimenzie sú novým vzrušujúcim pokrokom pri hľadaní konečného modelu alebo teórie. Keby existovali, znamenalo

Ak by mali sondy dostatočne vysokú energiu, mohli by ukázať že priestoročas je mnohorozmerný.



(OBR. 7.6)

Voľným okom vidíme ľudský vlas ako čiaru; zdá sa, že jeho jediným rozmerom je dĺžka. Podobne priestoročas môže vyzeráť ako štvorrozmerný, ale sondy využívajúce vysokoenergetické častice môžu odhaliť jeho desať- alebo jedenásťrozmernosť.

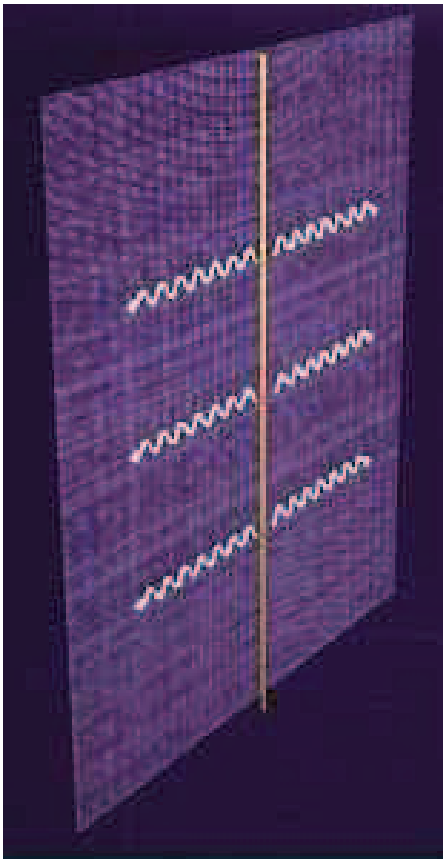
by to, že žijeme vo svete tvorenom bránou, teda na štvorrozmernej ploche alebo bráne vo viacrozmerom priestoročase.

Hmota a negravitačné sily, akou je napríklad elektrická sila, by boli obmedzené na bránu. Takto by sa všetko, čo nie je spojené s gravitáciou, správalo, akoby to bolo v štyroch dimenziách. Špeciálne by elektrická sila pôsobiaca medzi jadrami atómov a elektrónmi obiehajúcimi okolo nich klesala so vzdialenosťou takým spôsobom, že by sa stabilita atómov zachovala a elektróny by nepopadali na jadrá (obr. 7.7).

To by bolo v súlade s antropickým princípom, podľa ktorého musí byť vesmír usporiadaný na jestvovanie inteligentného života: ak by totiž neexistovali stabilné atómy, neboli by sme tu ani my a nemohli by sme pozorovať vesmír, ani sa pýtať, prečo sa nám javí ako štvorrozmerný.

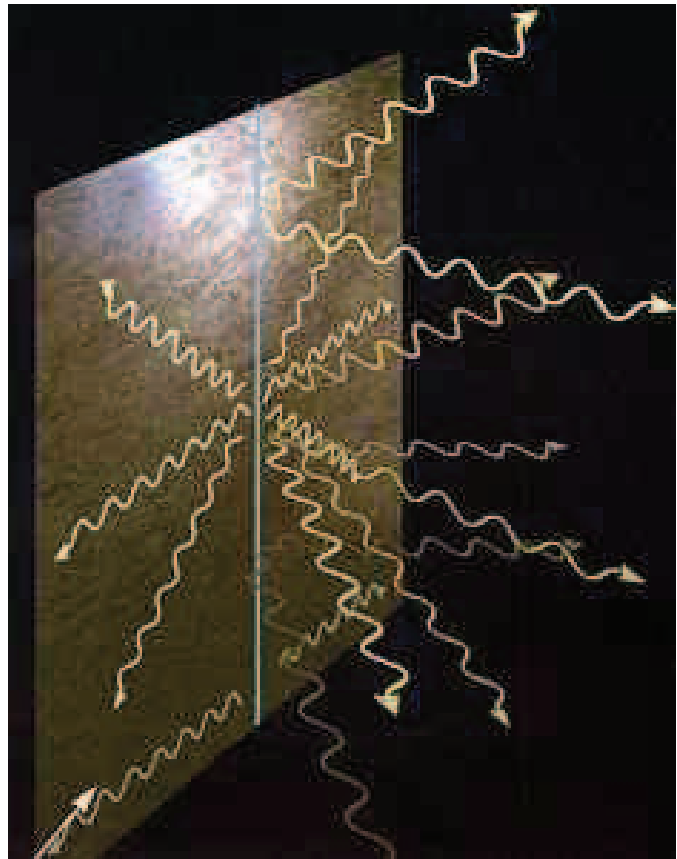
Na druhej strane by gravitácia vo forme zakriveného priestoru prenikala celým viacrozmerým priestoročasom. To znamená, že gravitácia by sa prejavovala inak ako ostatné sily, ktoré poznáme: keďže by pôsobila v dodatočných dimenziách, klesala by so vzdialenosťou rýchlejšie, ako by sme očakávali (obr. 7.8).

Keby gravitačné pôsobenie klesalo rýchlejšie až po astronomickú škálu vzdialeností, zbadali by sme to na dráhach planét. V skutočnosti by boli nestabilné, ako sme spomenuli v 3.



(OBR.7.7) BRÁNOVÉ SVETY

Elektrická sila je obmedzená na bránu a klesá vhodnou rýchlosťou, aby sa zachovala stabilita dráh elektrónov obiehajúcich okolo iadier atómov.



(OBR. 7.8)

Gravitácia sa šíri v dodatočných rozmeroch rovnako ako pozdĺž brány, a slabne so vzdialenosťou rýchlejšie, ako by sa to dialo iba pri štvorch rozmeroch.

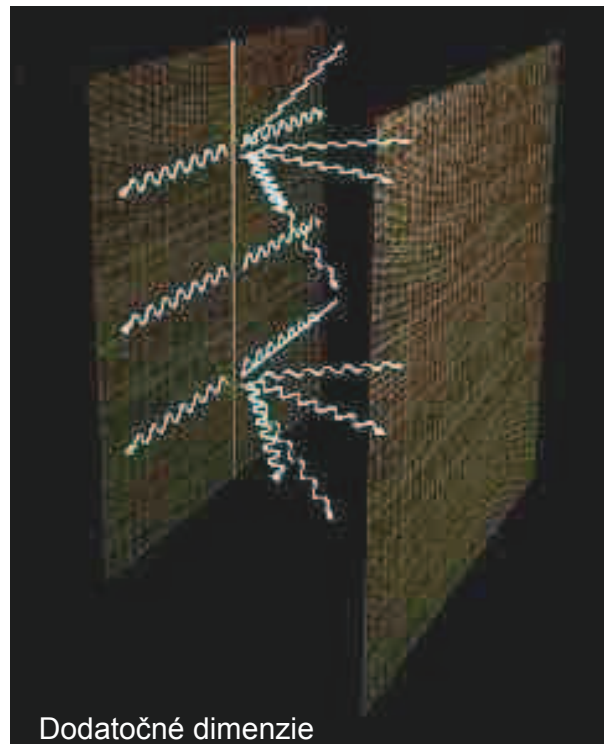
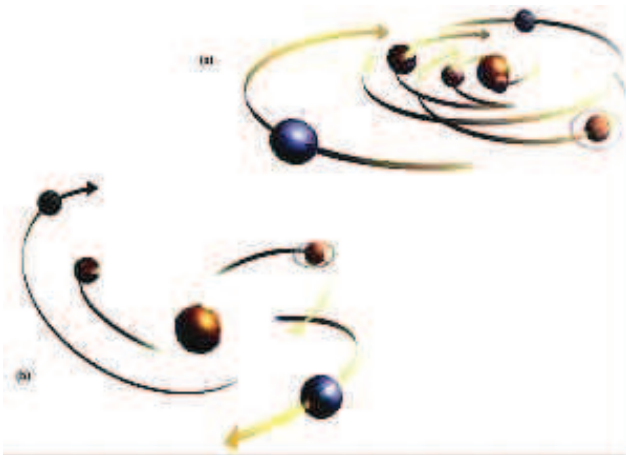
kapitole: planéty by museli buď popadať na Slnko, alebo uniknúť do tmavého a chladného medzihviezdneho priestoru (obr. 7.9).

To by sa však nestalo, ak by sa dodatočné rozmery končili na inej bráne, nie veľmi vzdialenej od brány, na ktorej žijeme. Potom by sa gravitácia na škále vzdialeností väčších ako vzdialenosť brán nebola schopná voľne šíriť, ale bola by čo do výsledného efektu obmedzená na našu bránu rovnako ako elektrické sily a klesala by so vzdialenosťou vhodným tempom na to, aby mohli existovať planetárne dráhy (obr. 7.10).

Na druhej strane na vzdialenostiach menších ako je odstup medzi bránami by sa gravitácia menila rýchlejšie. V laboratóriu sa medzi ťažkými objektmi presne namerala veľmi malá gravitačná sila, ale experimenty, ktoré sa robili doteraz, neboli schopné zachytiť účinky brán vzdialených menej ako pár milimetrov. Teraz sa

(OBR. 7.9 vľavo dole)

Rýchlejší pokles gravitačnej interakcie na veľkých vzdialenostiach by znamenal nestabilitu planetárnych dráh. Planéty by buď popadali na Slnko (a), alebo by úplne unikli zo sféry jeho príťažlivosti (b).



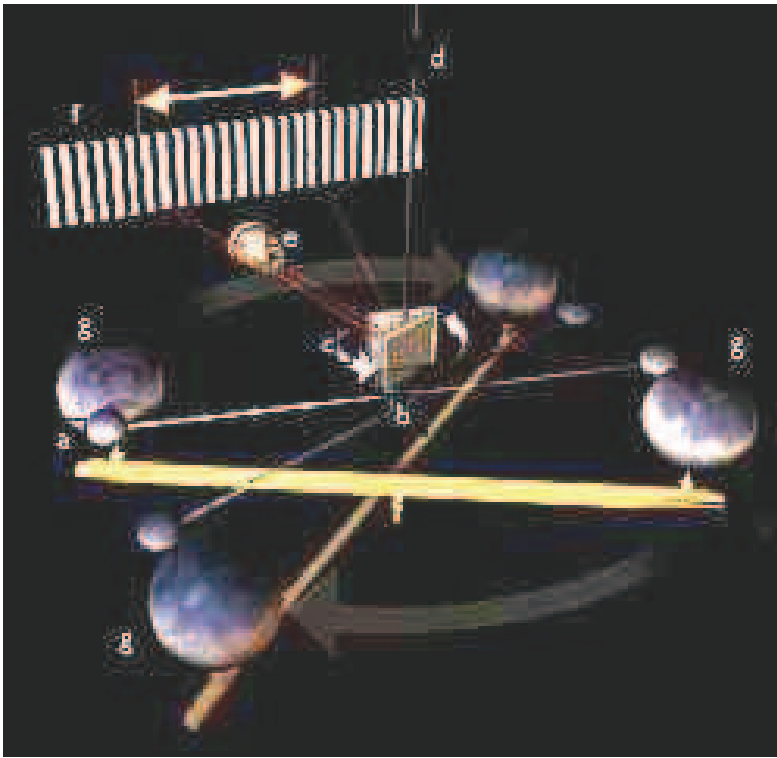
(OBR. 7.10 vpravo hore)

Druhá brána v blízkosti brány nášho sveta by bránila gravitácii šíriť sa príliš ďaleko v dodatočných rozmeroch, a to by znamenalo, že vo vzdialenostiach väčších ako rozstup medzi bránami by gravitácia slabla tak, ako sa očakáva v štvorrozmernom prípade

uskutočňujú nové merania na takýchto krátkych vzdialenostiach (obr. 7.11).

V tomto bránovom svete by sme žili na jednej bráne, ale neďaleko by existovala iná, „tieňová“ brána. Pretože svetlo by bolo obmedzené na brány a nešírilo by sa priestorom medzi nimi, nemohli by sme tento tieňový svet vidieť. Mohli by sme ale registrovať gravitačné pôsobenie hmoty na tieňovej bráne. V našej bráne by sa takéto sily javili ako pochádzajúce zo zdrojov, ktoré by boli skutočne „tmavé“, keďže by sa dali odhaliť jedine vďaka svojim gravitačným účinkom (obr. 7.12). A skutočne, na vysvetlenie rýchlostí, ktorými obiehajú hviezdy okolo stredu našej Galaxie, je, zdá sa, nutné predpokladať, že v Galaxii je viac hmoty, než koľko jej pozorujeme.

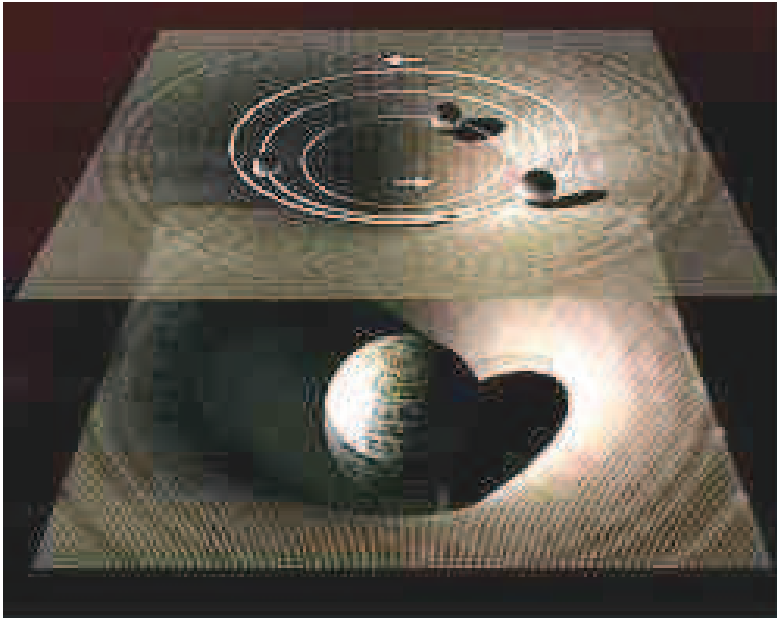
Túto chýbajúcu hmotu môžu tvoriť niektoré exotické typy častíc z nášho sveta, ako sú napríklad WIMPy (z anglického Weakly Interacting Massive Particles - slabo interagujúce masívne častice), alebo axióny (veľmi ľahké elementárne častice). Ale chýbajúca hmota by mohla byť tiež dôkazom existencie tieňového sveta vyplneného látkou. Možno obsahuje nie príliš bystré ľudské bytosti,



(OBR. 7.11) CAVENDISHOV EXPERIMENT

Laserový lúč (e), ktorý sa premieta na kalibrované tienidlo (f), registruje akékoľvek pootočenie činky. Dve malé olovené guľôčky (a) spojené na spôsob činky (b) s malým zrkadlom (c) sú voľne zavesené na torznej niti (d).

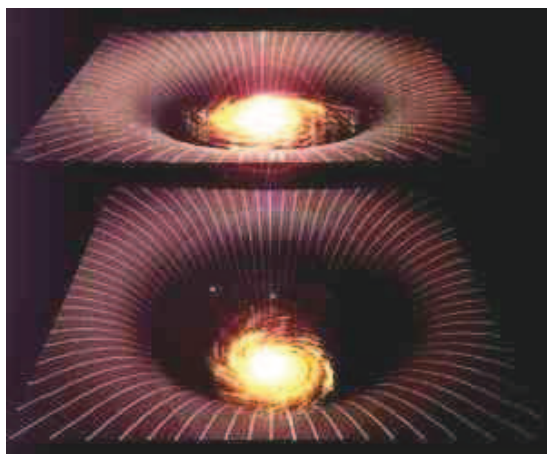
Dve veľké olovené gule (g) sú umiestnené neďaleko malých na otočnom ramene. Keď sa väčšie olovené gule otočia kolmo na pôvodnú polohu, činka chvíľu osciluje a potom sa ustáli v novej polohe.



(OBR. 7.12) V scenári bránového sveta môžu planéty obiehať okolo tmavej hmoty na tieňovej bráne, pretože gravitačná interakcia sa šíri do dodatočných dimenzií

čo žasnú nad hmotou, ktorá akoby chýbala v ich svete, aby sa dali vysvetliť dráhy tieňových hviezd okolo stredu tieňovej galaxie (obr. 7.13).

Namiesto toho, že by dodatočné rozmery končili na druhej bráne, je tu aj možnosť, že sú síce nekonečné, ale veľmi zakrivené, pričom sa podobajú na sedlo (obr. 7.14). Lisa Randallová a Raman Sundrum ukázali, že tento typ zakrivenia by pôsobil dosť podobne ako nejaká druhá brána: gravitačné pôsobenie objektu na bráne by bolo obmedzené na malé okolie brány a nešírilo by sa v dodatočných



(OBR. 7.1 3)

Tieňovú galaxiu na tieňovej bráne by sme nevideli, pretože svetlo sa nešíri cez dodatočné dimenzie. Gravítácii sa to ale darí, a tak bude rotácia našej Galaxie ovplyvnená tmavou hmotou - hmotou, ktorú nemôžeme vidieť.



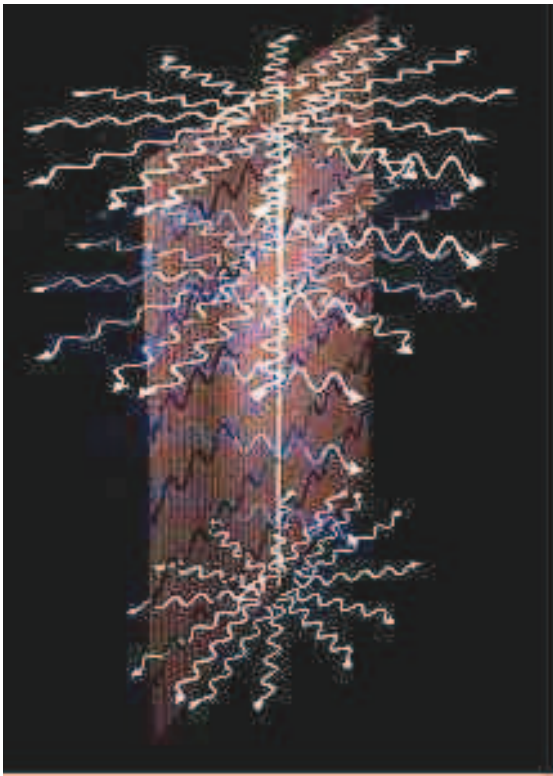
(OBR. 7.1 4)

V Randallovej-Sundrumovom modeli existuje iba jedna brána (znázornená na obrázku iba s jedným rozmerom). Dodatočné rozmery siahajú do nekonečna, ale sú zakrivené do tvaru sedla. Toto zakrivenie bráni gravitačnému poľu hmoty na bráne rozšíriť sa ďaleko do dodatočných rozmerov.

dimenziách donekonečna. Preto, takisto ako v modeli s tieňovou bránou, by bol pokles gravitačného poľa na veľkej škále vzdialeností taký, aby sa dali vysvetliť dráhy planét a laboratórne merania gravitačnej sily, ale na krátkych vzdialenostiach by sa gravitácia menila prudšie.

Existuje však podstatný rozdiel medzi týmto Randallovej-Sundrumovým modelom a modelom s tieňovou bránou. Telesá, ktoré sa pohybujú pôsobením gravitácie, vysielať gravitačné vlny, malé sčerenia krivosti, ktoré sa šíria priestoročasom rýchlosťou svetla. Podobne ako elektromagnetické svetelné vlny, aj gravitačné vlny by mali prenášať energiu. Túto predpoveď potvrdili pozorovania dvojitého pulzaru PSR1913+16.

Ak skutočne žijeme na bráne v priestoročase s dodatočnými rozmermi, gravitačné vlny generované pohybom telies po bráne by postupovali do iných dimenzií. Ak by tam bola druhá tieňová brána, gravitačné vlny by sa odrazili späť a uviazli by medzi dvoma bránami. Na druhej strane, ak by existovala iba jediná brána a dodatočné rozmery by pokračovali bez obmedzenia ako v modeli Randallovej a Sundruma, gravitačné vlny by mohli úplne uniknúť a odčerpať energiu z brány nášho sveta (obr. 7.15).



(OBR. 7.15)

V Randallovej-Sundrumovom modeli môžu gravitačné vlny s krátkou vlnovou dĺžkou odnášať energiu zo zdrojov na bráne, čo zdanlivo narušuje zákon zachovania energie.

Zdalo by sa, že neplatí jeden zo základných princípov fyziky - zákon zachovania energie —, ktorý hovorí, že celkové množstvo energie zostáva nezmenené. Toto tvrdenie sa však zdá byť porušené len preto, že náš pohľad je obmedzený na dianie na bráne. Anjel, ktorý by mohol vidieť dodatočné dimenzie, by zistil, že energia je stále tá istá, iba viac rozptýlená.

Gravitačné vlny, ktoré vznikajú vzájomným obehom hviezd, by mali vlnové dĺžky omnoho dlhšie ako je polomer krivosti sedla v dodatočných rozmeroch. Znamenalo by to, že by mali tendenciu obmedzovať sa na malé okolie brány — ako gravitačná sila — a nešírili by sa príliš po dodatočných rozmeroch, ani by neodnášali veľa energie z brány. Na druhej strane, gravitačné vlny, ktoré by boli kratšie ako je škála, na ktorej sú zakrivené dodatočné rozmery, by ľahko unikli z blízkeho okolia brány.

Jedinými zdrojmi väčšieho množstva krátkych gravitačných vln sú pravdepodobne čierne diery. Čierna diera na bráne pokračuje ako čierna diera aj do dodatočných rozmerov. Ak je čierna diera malá, bude takmer guľová; t. j., bude siahať asi tak ďaleko do dodatočných rozmerov, aká je jej veľkosť na bráne. Na druhej strane, veľká čierna diera na bráne pokračuje mimo nej ako „čierny lievanec“, ktorý je



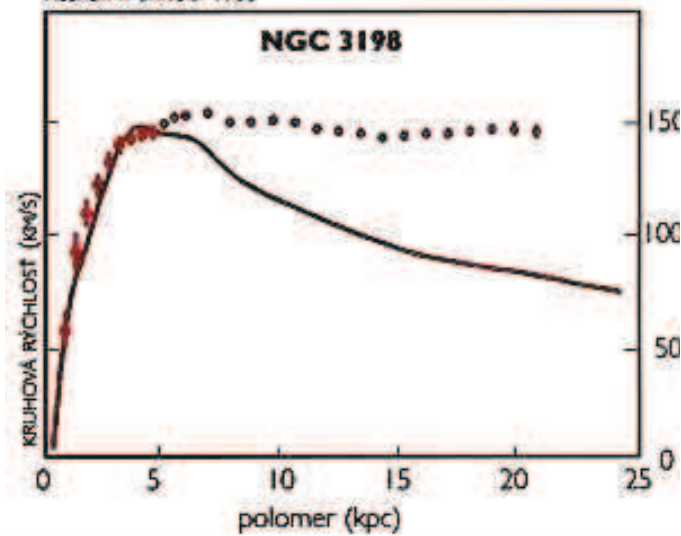
SVEDECTVO O TMAVEJ HMOTE

Rôzne kozmologické pozorovania výrazne svedčia o tom, že v našej i v iných galaxiách existuje omnoho viac hmoty, než jej vidíme. Najpresvedčivejšie sú pozorovania hviezd na periférii špirálových galaxií, podobných našej Mliečnej ceste, ktoré sa pohybujú na svojich obežných dráhach príliš rýchlo na to, aby sa na nich udržali iba pôsobením príťažlivých síl všetkých hviezd, ktoré pozorujeme (pozri dole).

Už od 70. rokov minulého storočia vieme, že existuje nezrovnalosť medzi pozorovanými rotačnými rýchlosťami hviezd vo vonkajších oblastiach špirálových galaxií (na diagrame vyznačené bodkami) a obežnými rýchlosťami, ktoré by sme očakávali podľa Newtonových zákonov vzhľadom na rozloženie viditeľných hviezd v galaxii (plná čiara na grafe). Tento rozpor naznačuje, že vo vonkajších oblastiach špirálových galaxií by malo byť oveľa viac hmoty.

ROTAČNÁ KRIVKA ŠPIRÁLOVEJ GALAXIE NGC 3198

ALBADA & SANCIS: 1986





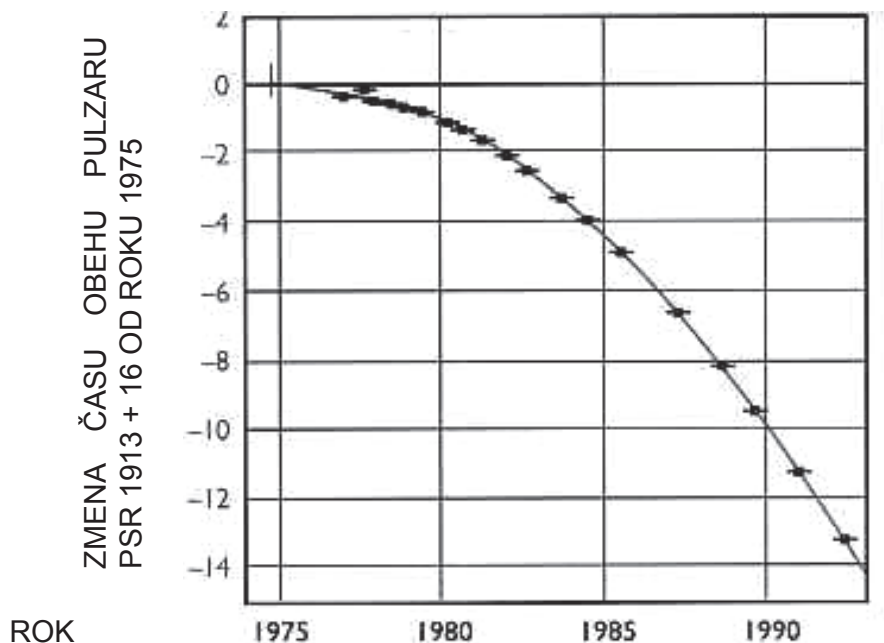
PODSTATA TMAVEJ HMOTY

Kozmológovia dnes veria, že zatiaľ čo v centrálnych oblastiach špirálových galaxií sú prevažne bežné hviezdy, v ich periférnych častiach prevláda tmavá hmota, ktorú priamo vidieť nemôžeme. Jedným z fundamentálnych problémov je ale odhaliť podstatu prevažujúcej formy tmavej hmoty v týchto odľahlých oblastiach galaxií. Do roku 1980 sa bežne predpokladalo, že táto tmavá hmota je obyčajná hmota zložená z protónov, neutrónov a elektrónov, nachádzajúca sa v nejakej ťažko registrovateľnej forme: azda ako plynné mraky, alebo ako objekty MACHO - „masívne kompaktné halové objekty“ (Massive Compact Halo Objects), akými sú napríklad biele trpaslíky, neutrónové hviezdy alebo aj čierne diery

Avšak nedávne štúdie vzniku galaxií priviedli kozmológov k viere, že podstatnú časť tmavej hmoty musí tvoriť niečo, čo sa líši od foriem bežnej hmoty. Pravdepodobne pozostáva z veľmi ľahkých elementárnych častíc, ako sú axióny alebo neutrína. Môžu ju tvoriť aj exotickéjšie typy častíc, ako sú WIMPy - „slabo interagujúce masívne častice“ (Weakly Interacting Massive Particles) - ktoré sa vyskytujú v súčasných teóriách elementárnych častíc, experimentálne potvrdené však ešte neboli.



Dve kompaktné neutrónové hviezdy ktoré sa k sebe približujú po špirálach



BINÁRNE PULZARY

Všeobecná teória relativity predpovedá, že veľmi hmotné telesá pohybujúce sa v gravitačnom poli vyžarujú gravitačné vlny. Podobne ako svetelné vlny, aj gravitačné vlny oberajú telesá, ktoré ich vysielajú, o určité množstvo energie. Avšak rýchlosť straty energie je obyčajne mimoriadne nízka, a preto sa dá iba veľmi ťažko pozorovať. Vyžarovanie gravitačných vln spôsobuje napríklad, že Zem sa pomaly po špirále blíži k Slnku, no trvalo by to 10^{27} rokov, kým by sa tieto telesá zrazili!

V roku 1975 ale Russell Hulse a Joseph Taylor objavili dvojité pulzar PSR1913 + 16, systém pozostávajúci z dvoch kompaktných neutrónových hviezd, ktoré sa navzájom obiehajú s maximálnym odstupom iba jedného slnečného polomeru. Podľa všeobecnej teórie relativity rýchly pohyb tohto systému znamená, že čas obehu by mal klesať na omnoho kratšej časovej škále v dôsledku vyžarovania intenzívneho gravitačného vlnového signálu. Zmena predpovedaná všeobecnou relativitou je vo vynikajúcej zhode s Hulsovými a Taylorovými precíznymi pozorovaniami orbitálnych parametrov dvojitého pulzaru. Ukázalo sa že čas obehu sa od roku 1975 skrátil o viac než desať sekúnd. Za toto potvrdenie všeobecnej teórie relativity získali autori v roku 1993 Nobelovu cenu.

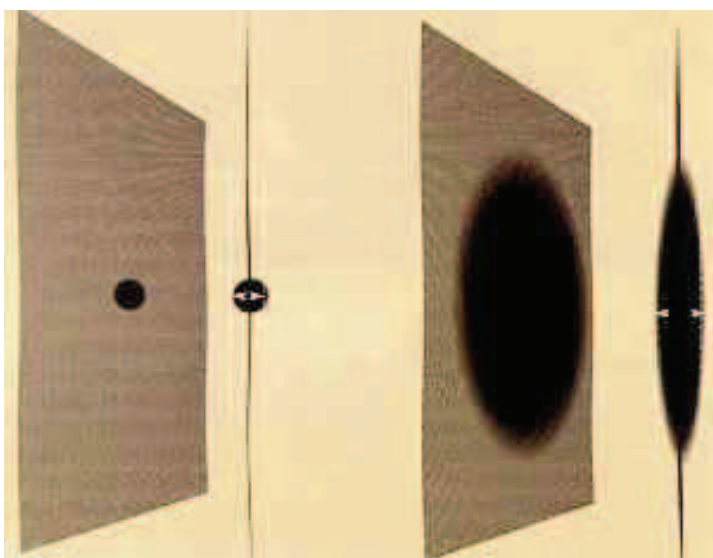
obmedzený na blízke okolie brány a má omnoho menšiu hrúbku (v dodatočných rozmeroch) ako šírku (na bráne) (obr. 7.16).

Ako sme objasnili v 4. kapitole, podľa kvantovej teórie čierne diery nie sú úplne čierne: vysielajú častice a žiarenie všetkého druhu ako horúce telesá. Častice a žiarenie typu svetla postupujú pozdĺž brány, pretože hmota a negravitačné sily, ako je elektrostatická interakcia, sú obmedzené na bránu. Avšak čierne diery vysielajú aj gravitačné vlny, ktoré nie sú obmedzené na bránu, ale šíria sa aj v dodatočných dimenziách. Ak bude čierna diera veľká a bude vyzeráť ako lievanec, gravitačné vlny zostanú neďaleko brány. To znamená,

že čierna diera bude strácať energiu (a preto aj hmotu podľa vzťahu $E = mc^2$) tak rýchlo, ako by sa očakávalo pre čiernu dieru v štvorrozmernom priestoročase. Čierna diera sa preto bude pomaly vyparovať a zmršťovať, až kým sa nestane menšou, ako je polomer krivosti dodatočných dimenzií, ohnutých do tvaru sedla. V tomto okamihu začnú gravitačné vlny vyžarované čiernou dierou voľne unikať do dodatočných dimenzií. Pre obyvateľa brány čierna diera — alebo tmavá hviezda, ako ju nazýval Michell (pozri 4. kapitolu) — vyzerá akoby vysielala tmavé žiarenie, ktoré nemôžeme pozorovať priamo na bráne, ale prítomnosť ktorého je zrejmá z toho, že čierna diera stráca hmotu.

Znamenalo by to, že konečný záblesk žiarenia z vyparujúcej sa čiernej diery by sa zdal menej intenzívny než v skutočnosti bol. To by mohol byť dôvod, prečo sme nepozorovali záblesky gama žiarenia, ktoré by mohli byť pripísané umierajúcim čiernym dieram, aj keď iné, prozaickejšie vysvetlenie znie, že neexistuje mnoho čiernych dier s dostatočne malou hmotnosťou, aby sa stačili vypariť počas trvania vesmíru.

Žiarenie z čiernych dier bránového sveta vzniká kvantovými fluktuáciami častíc na bráne a mimo nej, ale brány, ako všetko vo vesmíre, budú tiež podliehať kvantovým fluktuáciám. Tie môžu spôsobiť, že sa brány spontánne objavia i zmiznú. Kvantový vznik brány sa bude tak trochu podobat' tvorbe bubliniek pary vo vriacej vode. Voda v kvapalnom skupenstve sa skladá z miliárd molekúl H_2O natesnaných dokopy pomocou väzieb medzi najbližšími susedmi. Keď vodu zahrievame, molekuly zrýchľujú svoj pohyb a



(OBR. 7.16)

Čierna diera v našom svete na bráne by pokračovala aj v dodatočných rozmeroch. Ak je čierna diera malá, bola by takmer guľová, ale veľká čierna diera na bráne by sa pretiahla v dodatočných dimenziách do tvaru lievanca.

navzájom do seba narážajú. Pri týchto zrážkach občas získajú také vysoké rýchlosti, že skupina molekúl unikne zo svojich väzieb a vytvorí malú bublinu pary obkolesenú vodou. Bublina bude potom narastať, alebo sa zmršťovať náhodným spôsobom, vďaka tomu, že viac molekúl prechádza z kvapaliny do pary, alebo naopak. Väčšina malých bubliniek pary skolabuje opäť na kvapalinu, ale zopár ich bude narastať až po určitý kritický rozmer, za ktorým už bude ich ďalšie zväčšovanie prakticky nevyhnutné. To sú tie veľké expandujúce bubliny, ktoré pozorujeme vo vriacej vode (obr. 7.17).

Správanie bránových svetov bude podobné. Princíp neurčitosti umožňuje takým svetom vynoriť sa z ničoho ako bubliny, ktorých povrch tvorí brána a ich vnútro je viacrozmerový priestor. Veľmi malé bubliny majú tendenciu zrútiť sa opäť do ničoty, ale bubliny, ktoré sa už vďaka kvantovým fluktuáciám dostali za určitý kritický rozmer, budú so značnou pravdepodobnosťou pokračovať vo svojom raste. Ľudia (takí ako my) žijúci na bráne, teda na povrchu bubliny, si budú myslieť, že sa vesmír rozpína. Je to ako s galaxiami nakreslenými na povrchu balónika, ktorý nafukujeme. Galaxie sa od seba navzájom vzdiaľujú, ale ani jedna sa nedá považovať za stred expanzie. Zostáva dúfať, že neexistuje nikto s kozmickým špendlíkom, čo by takúto bublinu prepichol.



(OBR. 7.17)

Vznik bránového sveta by sa mohol podobieť na vznik bubliniek pary vo vriacej vode

Podľa hypotézy „bez hraníc“, opísanej v 3. kapitole, spontánny vznik bránového sveta by mal históriu v imaginárnom čase, ktorá by bola ako orechová škrupinka: bola by to teda štvorrozmerná guľa ako povrch zemegule, ale s dvoma rozmermi navyše. Dôležitý rozdiel je ten, že orechová škrupinka v 3. kapitole bola v podstate dutá: štvorrozmerná sféra nebola hranicou ničoho a všetkých ďalších šesť alebo sedem rozmerov priestoročasu, ktoré predpovedá M-teória, bolo zvinutých dokonca na menší rozmer ako orechová škrupinka. Avšak v obraze nového bránového sveta by orechová škrupina bola plná: bráne, na ktorej žijeme, by prislúchala história v imaginárnom čase, ktorou by bola štvorrozmerná guľa ako hranica päťrozmernej bubliny, so zvyšnými piatimi alebo šiestimi rozmermi zvinutými do veľmi malej oblasti (obr. 7.18).

Táto história brány v imaginárnom čase by určovala jej históriu v reálnom čase. V reálnom čase by brána expandovala v zrýchlenom inflačnom režime, ako sme opísali v 3. kapitole. Najpravdepodobnejšou históriou bubliny v imaginárnom čase by bola dokonale hladká a guľatá orechová škrupinka. Zodpovedala by však bráne, ktorá by sa v reálnom čase inflačným spôsobom rozpínala večne. Na takejto bráne by sa nevytvorili galaxie, a preto by sa nemohla vyvinúť ani inteligentná forma života. Na druhej strane, histórie v imaginárnom čase, ktoré by neboli úplne hladké a

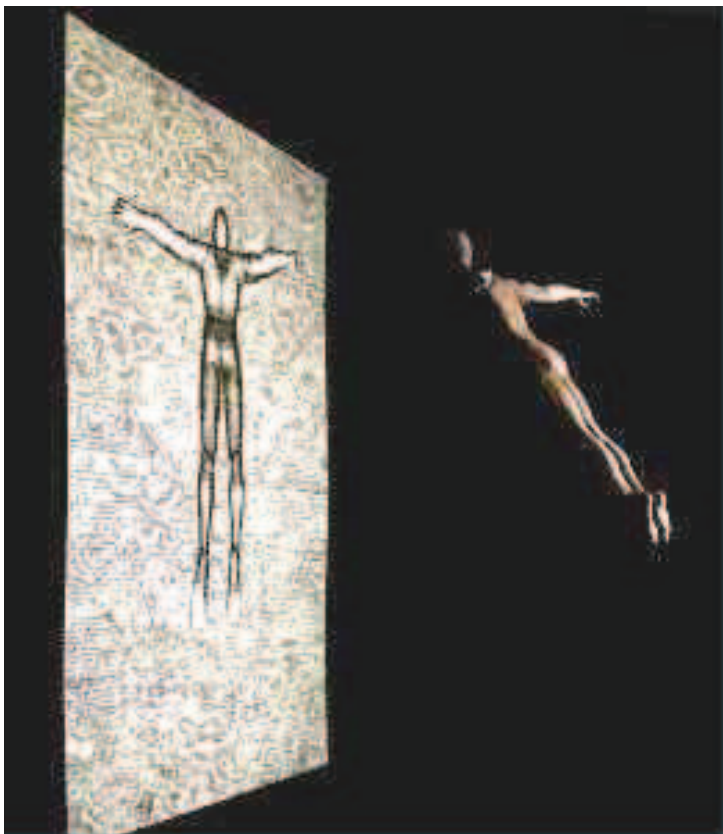


OBR.7.18)

Predstava vzniku vesmíru v modeli bránového sveta sa líši od predstavy uvedenej v 3. kapitole, pretože mierne sploštená štvorrozmerná guľa alebo orechová škrupinka už nie je dutá, ale ju vyplňa piaty rozmer.

okružle, by mali o niečo menšiu pravdepodobnosť výskytu, ale zodpovedali by v reálnom čase takému správaniu, v ktorom brána mala spočiatku fázu inflačne zrýchleného rozpínania, ale neskôr sa začala spomaľovať. Počas tejto etapy spomalenej expanzie mohli vzniknúť galaxie a mohol sa vyvinúť aj inteligentný život. Takto podľa antropického princípu, spomínaného v 3. kapitole, budú to iba orechové škrupinky s mierne drsným povrchom, ktoré budú pozorovať inteligentné bytosti, kladúce si otázku, prečo nebol vznik vesmíru dokonale hladký.

Keď sa brána rozpína, bude objem viacrozmerného priestoru vnútri nej narastať. Nakoniec bude z toho obrovská bublina obklopená bránou, na ktorej žijeme. Ale skutočne žijeme na bráne? Podľa princípu holografie, ktorý sa spomínal v 2. kapitole, informácia o tom, čo sa odohráva v určitej oblasti priestoročasu, môže byť zakódovaná na hranici tejto oblasti. Tak si možno myslíme, ŽE žijeme v štvorrozmernom svete, pretože sme tieňmi vrhnutými na bránu, ktoré odrážajú dianie vnútri bubliny. Avšak z pozitivistického hľadiska sa človek nemôže pýtať, čo je skutočnosť, brána či bublina? Oboje sú matematickými modelmi, ktoré opisujú pozorovania. Človek si môže slobodne zvoliť najvhodnejší model.



HOLOGRAFIA

Holografia zakóduje informáciu v danej oblasti priestoru na plochu s počtom rozmerov o jednotku menším. Zdá sa, že je to vlastnosť gravitácie, ktorá sa prejavuje tým, že plocha horizontu udalosti je mierou množstva vnútorných stavov čiernej diery. V modeli bránového sveta by holografia bola jednoznačným zobrazením medzi stavmi v našom štvorrozmernom svete a stavmi vo svete s viacerými rozmermi. Z pozitivistického pohľadu sa nedá rozlíšiť, ktorý opis je primárny

(OBR. 7,19.)

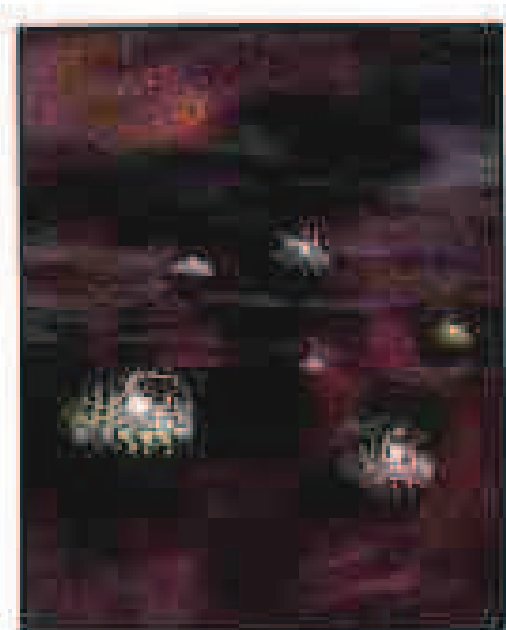


I. Brána-bublina s viacrozmerným priestorom vnútri s prázdnotou vonku.

Stotožniť



2. Možnosť, že sa vonkajšok brány bubliny prilepí na vonkajšok inej bubliny.



3. Brána-bublina sa rozpína do priestoru, ktorý nie je zrkadlovým obrazom toho, čo je vnútri. V takomto scenári by mohli vzniknúť a expandovať aj ďalšie bubliny.

Čo je z vonkajšej strany brány? Existuje niekoľko možností (obr. 7.19).

1. Možno zvonku brány neexistuje nič. Aj keď bublina pary má okolo seba vodu, je to iba pomocná analógia k predstave vzniku vesmíru. Možno si predstaviť matematický model, ktorým je brána s viacrozmerným vnútrom, zvonku ktorej nie je absolútne nič, ani prázdny priestor. Dá sa vypočítať, čo takýto matematický model, v ktorom neberieme do úvahy okolie, predpovedá.

2. Je možný aj matematický model, v ktorom je vonkajšok bubliny prilepený na vonkajšiu stranu podobnej bubliny. Matematicky je tento model v skutočnosti rovnocenný možnosti, o ktorej bola reč vyššie, keď okolo bubliny neexistuje nič, ale je tu psychologický rozdiel: ľudia sa cítia šťastnejší, keď ich umiestnime do stredu priestoročasu, a nie na jeho okraj; pre pozitivistu sú ale možnosti 1 a 2 rovnaké.

3. Bublina sa môže rozpínať do priestoru, ktorý nie je zrkadlovým obrazom toho, čo je vnútri bubliny. Táto možnosť sa líši od oboch alternatív preberaných vyššie a podobá sa viac na prípad vriacej vody. Mohli by sa vytvárať a expandovať aj ďalšie bubliny. Ak by sa zrazili a splynuli s bublinou, na

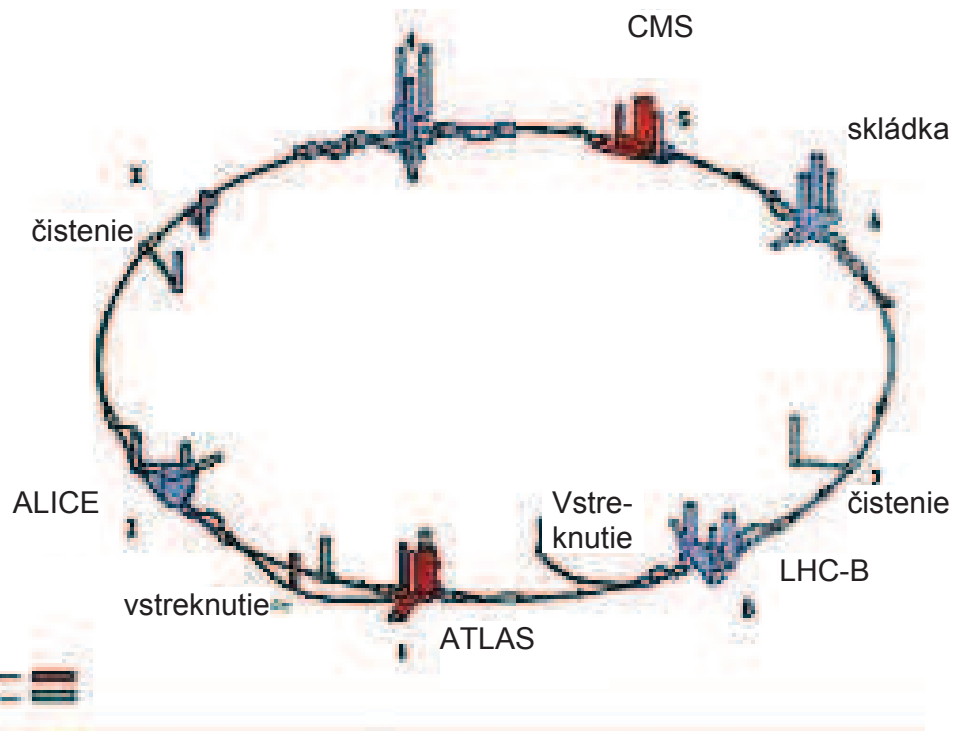
ktorej žijeme, dôsledky by mohli byť katastrofické. Tvrdí sa dokonca, že samotný veľký tresk bol snád' dôsledkom zrážky brán.

Takéto modely bránového sveta sú horúcou témou výskumu. Sú veľmi špekulatívne, ale ponúkajú nové druhy fyzikálneho správania sa, ktoré možno overiť pozorovaniami. Mohli by napríklad vysvetliť, prečo je gravitácia taká slabá. Gravitácia by mohla byť veľmi silná vo fundamentálnej teórii, ale šírenie sa gravitačnej sily do dodatočných rozmerov by viedlo k tomu, že na škále veľkých vzdialeností na našej bráne by bola už slabá.

Dôsledkom toho by Planckova dĺžka, najmenšia vzdialenosť, do ktorej sa môžeme dostať bez vytvorenia čiernej diery, bola oveľa väčšia než by sme predpokladali podľa slabého účinku gravitácie na našej štvorrozmernej bráne. Najmenšia matrioška by nakoniec nebola až taká drobnučká a mohla by byť v dosahu časticových urýchľovačov budúcnosti. V skutočnosti sme už najmenšiu matriošku — fundamentálnu Planckovu dĺžku — mohli objaviť, ak by USA nezakúsili záchvat pocitu vlastnej chudoby v roku 1994 a nezrušili výstavbu Supravodivého superurýchľovača (SSC — Superconducting Super Collider), aj keď bol už spolovice postavený. Iné urýchľovače častíc, ako LHC (Large Hadron Collider — Veľký hadrónový urýchľovač) v Ženeve sú teraz vo výstavbe (obr. 7.20).

(OBR, 7.20)

Vzhl'ad tunela Veľkého elektrónovo-positrónového urýchľovača (LEP - Large electron-positron collider), so znázornením existujúcej infraštruktúry a budúcich stavieb patriacich k Veľkému hadrónovému urýchľovaču v Ženeve.



Pomocou výsledkov z nich a ďalších pozorovaní, akým je napríklad výskum mikrovlnového žiarenia kozmického pozadia, možno budeme schopní rozhodnúť, či žijeme na bráne, alebo nie. Ak áno, bude to pravdepodobne preto, že antropický princíp si vyberá modely brán z obrovskej ZOO vesmírov, ktoré pripúšťa M-teória. Celkom dobre by sme mohli parafrázovať Mirandu zo Shakespeareovej hry *Búrka*:

*Ó krásny bránový svet,
že máš takých tvorov!*

To je vesmír v orechovej škrupinke.

Slovník

Absolútna nula

Najnižšia možná teplota, pri ktorej látky neobsahujú žiadnu tepelnú energiu; je to približne -273 °C alebo 0 na Kelvinovej stupnici.

Absolútny čas

Myšlienka, že môžu existovať univerzálne hodiny. Einsteinova teória relativity ukázala, že žiaden takýto pojem existovať nemôže.

Amplitúda

Maximálna výška vrcholu (hrebeňa) vlny, alebo maximálna hĺbka jej údolia.

Antičastica

Každý druh hmotných častíc má zodpovedajúcu antičasticu. Keď sa častica zrazí so svojou antičasticou, obe anihilujú a zanechajú po sebe len energiu.

Antropický princíp

Myšlienka, že vesmír vidíme taký aký je, pretože ak by bol v akomkoľvek ohľade odlišný, neboli by sme tu, aby sme ho mohli vidieť.

Atóm

Základná jednotka bežnej hmoty, zložená z nepatrného jadra (pozostávajúceho z protónov a neutrónov) a z elektrónov obiehajúcich okolo neho.

Bozón

Častica alebo typ vibrácie struny s celočíselným spinom.

Brána

Objekt, ktorý je základnou zložkou M-teórie. Môže mať rôzny počet priestorových dimenzií. Vo všeobecnosti p-brána má dĺžku v p smeroch; 1-brána je struna, 2-brána je plocha alebo membrána atd.

Bránový svet

Štvorrozmerná plocha alebo brána vo viacrozmernom priestoročase.

Casimirov efekt

Príťažlivá sila vznikajúca medzi dvoma rovinnými, rovnobežnými kovovými platňami umiestnenými vo vákuu

veľmi blízko seba. Sila vzniká v dôsledku toho, že počet virtuálnych častíc je v priestore medzi platňami menší než mimo neho.

Časová slučka

Iný názov pre uzavretú časupodobnú krivku.

Červený posun

Sčervenanie žiarenia vyslaného objektom, ktorý sa vzdáľuje od pozorovateľa, spôsobené Dopplerovým javom.

Červia diera

Úzka trubica priestoročasu spájajúca vzdialené oblasti vesmíru. Červie diery môžu tiež spájať paralelné alebo detské vesmíry a poskytujú možnosť cestovania v čase.

Čierna diera

Oblasť priestoročasu, z ktorej nič, dokonca ani svetlo, nemôže uniknúť, pretože gravitácia vnútri nej je taká silná.

Dilatácia času

Efekt teórie relativity spočívajúci v tom, že tok času sa spomalí, ak sa pozorovateľ pohybuje alebo ak sa nachádza v silnom gravitačnom poli.

DNA

Deoxyribonukleová kyselina, zložená z fosforu, cukru a štyroch základných báz: adenínu, guanínu, tymínu a cytozínu. Dve vlákna DNA tvoria dvojzávitnicu (dvojitú špirálu), ktorá pripomína točité schodište. DNA nesie všetky informácie potrebné na reprodukciu buniek a hrá významnú úlohu v mechanizme dedičnosti.

Dopplerov efekt

Posun frekvencie a vlnovej dĺžky zvukových alebo svetelných vln, ktoré vníma pozorovateľ, ak sa zdroj vzhľadom k nemu pohybuje.

Druhý zákon termodynamiky

Zákon hovorí, že celková entropia sústavy vždy narastá a nikdy nemôže klesať.

Dualita

Vzťah medzi zdanlivo odlišnými teóriami, ktoré majú tie isté fyzikálne dôsledky.

Elektrický náboj

Vlastnosť, vďaka ktorej častica odpudzuje (alebo priťahuje) častice s rovnakým (alebo opačným) nábojom.

Elektromagnetická sila

Sila, ktorá vzniká medzi časticami s rovnakým (alebo opačným) elektrickým nábojom.

Elektromagnetická vlna

Modulácia elektrického poľa v podobe vlny. Všetky vlny elektromagnetického spektra, napríklad viditeľné svetlo, röntgenové lúče, mikrovlny, infračervené svetlo atd., sa pohybujú rýchlosťou svetla,

Elektrón

Častica so záporným nábojom, ktorá obieha okolo jadra atómu.

Elementárna častica

Častica, o ktorej si myslíme, že sa ďalej nedá rozdeliť.

Energia vákua

Energia, ktorá je prítomná dokonca aj v zdanlivo prázdnom priestore. Má pozoruhodnú vlastnosť, že jej prítomnosť na rozdiel od prítomnosti hmoty vyvoláva zrýchlenie expanzie vesmíru.

Entropia

Miera neusporiadanosti fyzikálneho systému, daná počtom rozdielnych mikroskopických konfigurácií systému, pri ktorých je makroskopický stav systému rovnaký.

Éter

Hypotetické nemateriálne médium, o ktorom sa kedysi predpokladalo, že vyplňa celý priestor. Myšlienka, že takéto médium je potrebné na šírenie elektromagnetického žiarenia, je z dnešného hľadiska neudržateľná.

Fermión

Častica alebo typ vibrácie struny s poločíselným spinom.

Fotoelektrický jav

Spôsob, akým svetlo vyráža elektróny z niektorých kovov.

Fotón

Kvantum svetla, najmenší balík elektromagnetického poľa.

Frekvencia

Pre vlny je to počet úplných cyklov za sekundu.

Grassmanove čísla

Druh čísel, ktoré nekomutujú. Pri obyčajných reálnych číslach neprekáža, v akom poradí sa vynásobia: $A \times B = C$ a $B \times A = C$. Avšak Grassmanove čísla *antikomutujú*, takže $A \times B$ je to isté ako $-B \times A$.

Gravitačná sila

Najslabšia zo štyroch základných síl prírody.

Gravitačná vlna

Modulácia gravitačného poľa podobná vlne.

Gravitačné pole

Spôsob, akým gravitácia prenáša svoje účinky.

Hmotnosť

Množstvo hmoty v telese; jeho zotrvačnosť, čiže odpor voči zrýchľovaniu vo voľnom priestore.

Holografická teória

Myšlienka, že kvantové stavy systému v danej oblasti priestoročasu môžu byť zakódované na jej hranici.

Horizont udalostí

Okraj čiernej diery; hranica oblasti, z ktorej nemožno uniknúť do nekonečna.

Hypotéza ochrany chronológie

Myšlienka, že zákony fyziky majú taký tvar („spolčili sa“), aby makroskopickým objektom zabránili v cestovaní v čase.

Imaginárne číslo

Abstraktná matematická konštrukcia. Reálne a imaginárne čísla si môžeme predstaviť ako čísla označujúce polohy bodov v rovine, pričom imaginárne čísla sa nanášajú kolmo na reálne.

Imaginárny čas

Čas meraný pomocou imaginárnych čísel.

Inflácia

Krátke obdobie zrýchlenej expanzie, počas ktorého sa rozmery veľmi raného vesmíru obrovsky zväčšili.

Interferenčný obrazec

Vlnový obrazec, ktorý vzniká spojením dvoch alebo viacerých vln emitovaných z rozdielnych miest alebo v rozličných časoch.

Jadro

Centrálne časť atómu, pozostávajúca len z protónov a neutrónov, ktoré drží pohromade silná interakcia.

Jadrová syntéza

Proces, pri ktorom sa dve jadrá zrazia a ich spojením vznikne väčšie a ťažšie jadro.

Jadrové štiepenie

Proces, pri ktorom sa jadro štiepi na dve alebo viac menších jadier, pričom sa uvoľňuje energia.

Kelvinova stupnica

Teplotná stupnica, na ktorej sa teploty odčítajú od absolútnej nuly.

Klasická teória

Teória založená na pojmoch zavedených pred vznikom teórie relativity a kvantovej mechaniky. Predpokladá, že objekty majú presne definované polohy a rýchlosti. Ako ukazuje Heisenbergov princíp neurčitosti, tento predpoklad neplatí na veľmi malých škálach.

Kozmická struna

Dlhý, ťažký objekt s nepatrným prierezom, ktorý mohol vzniknúť počas raných etáp vývoja vesmíru. Dnes sa jediná struna môže ťahať cez celý vesmír.

Kozmológia

Veda o vesmíre ako celku.

Kozmologická konštanta

Matematický trik, ktorý použil Einstein, aby vnútil vesmíru vnútornú tendenciu k rozpínaniu, a tým umožnil, aby všeobecná teória relativity predpovedala statický vesmír.

Kvantová gravitácia

Teória, ktorá spája kvantovú mechaniku so všeobecnou teóriou relativity.

Kvantová mechanika

Fyzikálne zákony, ktoré platia pre svet veľmi malých častíc, ako sú atómy, protóny a podobne; je založená na Planckovom kvantovom princípe a Heisenbergovom princípe neurčitosti.

Kvantum (množné číslo: kvantá)

Nedeliteľná jednotka, ktorá určuje, v akých energetických dávkach môžu byť vlny absorbované alebo emitované.

Kvark

Nabitá elementárna častica, ktorá sa podieľa len na silných interakciách. Kvarky existujú v šiestich „vôňach“, horný (u, up), dolný (d, down), podivný (s, strange), pôvabný (c, charmed),

spodný (b, bottom) a vrchný (t, top) a každá vôňa v troch „farbách“, červenej, zelenej a modrej.

Lorentzova kontrakcia

Skrátenie pohybujúcich sa objektov v smere ich pohybu, predpovedané špeciálnou teóriou relativity.

Magnetické pole

Pole zodpovedné za magnetické sily.

Makroskopický

Dostatočne veľký, aby bol videný voľným okom. Zvyčajne sa tak nazývajú škály do 0,01 mm. Priestorové škály pod touto hodnotou označujeme ako mikroskopické.

Maxwellovo pole

Spojenie elektriny, magnetizmu a svetla do dynamických polí, ktoré môžu oscilovať a pohybovať sa priestorom.

Mikrovlnové žiarenie pozadia

Žiarenie z rozžeraveného raného vesmíru. Teraz je natoľko posunuté k červenému koncu spektra, že sa nejaví ako svetlo, ale ako mikrovlny (rádiové vlny s vlnovou dĺžkou niekoľkých centimetrov).

Modrý posun

Skrátenie vlnovej dĺžky žiarenia emitovaného objektmi, ktoré sa pohybujú k pozorovateľovi, spôsobené Dopplerovým efektom.

Moorov zákon

Zákon, ktorý hovorí, že výkon počítačov sa zdvojnásobí každých osemnásť mesiacov. Je zrejmé, že takto to nemôže pokračovať donekonečna.

M-teória

Teória, ktorá zjednocuje všetkých päť strunových teórií, a taktiež supergravitáciu, do jednotného teoretického rámca, ktorému však ešte úplne nerozumieme.

Nahá singularita

Priestoročasová singularita, ktorá nie je obklopená čiernou dierou, a teda ju vidí aj vzdialený pozorovateľ.

Nekonečno

Rozpätie alebo číslo bez hraníc alebo konca.

Neutríno

Druh častice bez náboja, ktorý sa podieľa na slabých interakciách.

Neutrón

Častica bez náboja, veľmi podobná protónu, ktorá predstavuje zhruba polovicu častíc v atómovom jadre. Skladá sa z troch kvarkov (2 d-kvarky, 1 u-kvark).

Newtonova univerzálna teória gravitácie

Teória, ktorá hovorí, že príťažlivá sila medzi dvoma telesami závisí od ich hmotnosti a vzájomnej vzdialenosti; je priamo úmerná súčinu ich hmotností a nepriamo úmerná štvorcu ich vzdialenosti.

Newtonove pohybové zákony

Zákony opisujúce pohyb telies, ktoré sú založené na myšlienke absolútneho priestoru a času. Tieto zákony platili, kým Einstein neobjavil špeciálnu teóriu relativity.

Okrajové podmienky

Počiatočný stav fyzikálneho systému, alebo všeobecnejšie stav systému na hranici v čase alebo priestore.

P-brána

Brána s p rozmermi. *Pozri tiež* Brána.

Planckov čas

Približne 10^{-43} sekundy; čas, za ktorý svetlo prejde vzdialenosť Planckovej dĺžky.

Planckov kvantový princíp

Idea, že elektromagnetické vlny (napr. svetlo) sa môžu vyžiarit' alebo pohltit' len v diskretných kvantách.

Planckova dĺžka

Približne 10^{-35} metra. Veľkosť typickej struny v strunovej teórii.

Planckova konštanta

Základný kameň princípu neurčitosti - súčin neurčitosti v polohe a rýchlosti musí byť väčší ako Planckova konštanta.

Označujeme ju symbolom h .

Počiatočné podmienky

Stav fyzikálneho systému na jeho začiatku.

Podmienka „bez hraníc“

Myšlienka, že vesmír je v imaginárnom čase konečný, ale nemá žiadnu hranicu.

Pole

Niečo, čo existuje v celom priestore a čase. Opak častice, ktorá v danom čase existuje len v jednom bode.

Pozitivistický prístup

Myšlienka, že vedecká teória je matematický model, ktorý opisuje a kodifikuje uskutočnené pozorovania.

Pozitrón

Kladne nabitá antičastica elektrónu.

Pozorovateľ

Osoba alebo zariadenie, ktorých úlohou je merať fyzikálne vlastnosti systému.

Priestoročas

Štvorrozmerný priestor, ktorého bodmi sú udalosti.

Priestorový rozmer

Hociktorý z troch rozmerov priestoročasu, ktoré sú priestorupodobné.

Princíp neurčitosti

Princíp, ktorý sformuloval Heisenberg, hovoriaci, že nikdy nemôžeme presne určiť zároveň polohu aj rýchlosť častice. Čím presnejšie určíme jednu veličinu, tým nepresnejšie určíme druhú.

Protón

Kladne nabitá častica, veľmi podobná neutrónu, ktorá predstavuje zhruba polovicu hmotnosti atómového jadra. Skladá sa z troch kvarkov (2 u-kvarky a 1 d-kvark).

Prvotná čierna diera

Čierna diera, ktorá vznikla v ranom vesmíre.

Rádioaktivita

Spontánna premena jedného typu atómového jadra na iný.

Randallovej-Sundrumov model

Teória, podľa ktorej žijeme na bráne v nekonečnom päťrozmernom priestore so zápornou krivosťou, podobnom na sedlo.

Rýchlosť

Číslo opisujúce rýchlosť a smer pohybu objektu.

Schrödingerova rovnica

Rovnica, ktorá určuje vývoj vlnovej funkcie v kvantovej teórii.

Silná interakcia

Najsilnejšia zo štyroch základných síl prírody, s najkratším dosahom. Drží kvarky vnútri protónov a neutrónov a spája protóny a neutróny do atómových jadier.

Silové pole

Spôsob, akým sila interaguje s okolím.

Singularita

Bod v priestoročase, v ktorom sa zakrivenie stáva nekonečne veľkým.

Slabá interakcia

Druhá najslabšia zo štyroch základných síl, s veľmi krátkym dosahom. Pôsobí na všetky hmotné častice, okrem častíc sprostredkujúcich sily.

Spektrum

Rozloženie vlny podľa frekvencií, ktoré ju tvoria. Viditeľnú časť slnečného spektra môžeme niekedy vidieť ako dúhu.

Spin

Vnútoraná vlastnosť elementárnych častíc, ktorá je podobná bežnému pojmu rotácie okolo osi, nie je s ním však zhodná.

Stacionárny stav

Stav, ktorý sa nemení s časom.

Struna

Základný jednorozmerný objekt v strunovej teórii, ktorá nahrádza elementárne častice bez štruktúry. Rozdielne druhy vibrácií strún predstavujú elementárne častice s rozdielnymi vlastnosťami.

Supergravitácia

Trieda teórií zjednocujúcich všeobecnú teóriu relativity a supersymetriu.

Supersymetria

Princíp symetrie, ktorý dáva do súvislosti vlastnosti častíc s rozdielnym spinom.

Svetelná sekunda

Vzdialenosť, ktorú prejde svetlo za jednu sekundu.

Svetelný kužel

Plocha v priestoročase, ktorá obsahuje dráhy všetkých svetelných lúčov prechádzajúcich danou udalosťou.

Svetelný rok

Vzdialenosť, ktorú prejde svetlo za jeden rok.

Špeciálna teória relativity

Einsteinova teória založená na myšlienke, že prírodovedné zákony musia byť za neprítomnosti gravitačných polí rovnaké pre všetkých pozorovateľov bez ohľadu na to, ako sa pohybujú.

Štandardný model časticovej fyziky

Zjednotená teória troch negravitačných síl a ich pôsobenia na hmotu.

Štandardný model kozmológie

Teória veľkého tresku s využitím štandardného modelu časticovej fyziky.

Teoréma o singularitách

Teoréma, podľa ktorej za určitých okolností musí existovať singularita, teda bod, v ktorom všeobecná teória relativity neplatí. Medziiným aj vývoj vesmíru sa musel začať zo singularity.

Teória strún

Fyzikálna teória, v ktorej sa častice opisujú ako vlny na strunách; zjednocuje kvantovú mechaniku a všeobecnú teóriu relativity. Je tiež známa ako teória superstrún.

Teória veľkého zjednotenia

Teória, ktorá zjednocuje elektromagnetickú, silnú a slabú interakciu.

Termodynamika

Štúdium vzťahu medzi energiou, prácou, teplom a entropiou v dynamickom fyzikálnom systéme.

Tiaž

Sila, ktorou pôsobí na teleso gravitačné pole. Je priamoúmerná hmotnosti, ale nie s ňou totožná.

Tmavá (skrytá) hmota

Hmota v galaxiách a hviezdokopách, a pravdepodobne aj medzi hviezdokopami, ktorú nemôžeme priamo pozorovať, ale môžeme zaznamenať jej prítomnosť vďaka účinkom jej gravitačného poľa. Až deväťdesiat percent hmoty vo vesmíre predstavuje tmavú hmotu.

Udalosť

Bod priestoročasu daný svojou polohou a časom.

Urýchľovač častíc

Zariadenie, ktoré urýchľuje pohybujúce sa nabitú časticu tým, že im dodá energiu.

Uzavretá struna

Typ struny v tvare slučky.

Vedecký determinizmus

Predstava vesmíru ako hodinového stroja, podľa ktorej presná znalosť stavu vesmíru v jednom okamihu umožňuje úplne predpovedať jeho stav v akejkol'vek minulej i budúcej dobe; prišiel s ňou Laplace.

Veľký krach (big crunch)

Pomenovanie jedného z možných scenárov konca vesmíru, v ktorom všetok priestor a hmota skolabuje a vytvorí singularitu.

Veľký tresk (big bang)

Singularita na počiatku vesmíru, asi pred pätnástimi miliardami rokov.

Virtuálna častica

Kvantovomechanická častica, ktorú nemôžeme priamo pozorovať, ale ktorej existencia dáva merateľné efekty. *Pozri tiež Casimirov efekt.*

Vlnová dĺžka

Vzdialenosť medzi dvoma susednými údoliami alebo vrcholmi vlny.

Vlnová funkcia

Základný pojem kvantovej mechaniky; číslo v každom bode priestoru, ktoré súvisí s časticou a určuje pravdepodobnosť toho, že časticu nájdeme v tomto bode.

Vlnovo-časticová dualita

Kvantovomechanická predstava, že medzi vlnami a časticami nie je žiadny rozdiel; častice sa môžu správať ako vlny a vlny ako častice.

Voľný priestor

Časť vákuového priestoru úplne bez polí, t. j. taká, v ktorej neúčinkujú žiadne sily.

Všeobecná teória relativity

Einsteinova teória založená na myšlienke, že prírodovedné zákony musia byť rovnaké pre všetkých pozorovateľov, nezávisle od toho, ako sa pohybujú. Vysvetľuje gravitačnú interakciu pomocou zakrivenia štvorrozmerného priestoročasu.

Vylučovací princíp

Myšlienka, že dve identické častice so spinom $1/2$ nemôžu mať (v hraniciach daných princípom neurčitosti) obe rovnakú polohu a rovnakú rýchlosť.

Tangova-Millsova teória

Rozšírenie Maxwelllovej teórie poľa, ktoré opisuje slabú a silnú interakciu.

Zachovanie energie

Prírodovedný zákon, ktorý hovorí, že energia (alebo jej zodpovedajúca hmota) nemôže byť ani vytvorená, ani zničená.

Základný stav

Stav systému s minimálnou energiou.

Zatmenie Slnka

Obdobie tmy, ktoré nastáva, keď sa Mesiac nachádza medzi Zemou a Slnkom. Jav obyčajne trvá zopár minút. V roku 1919 pozorovanie zatmenia v západnej Afrike potvrdilo teóriu relativity nad všetkú pochybnosť.

Zjednotená teória

Každá teória, ktorá opisuje všetky štyri sily a všetku hmotu v jedinom rámci.

Zrýchlenie

Zmena rýchlosti telesa alebo smeru jeho pohybu. *Pozri tiež* rýchlosť.

Zvinutý rozmer

Priestorový rozmer, ktorý je zakrivený až natoľko, že ho nepozorujeme.

Žiarenie

Energia prenášaná vlnami alebo časticami prázdny priestorom alebo nejakým iným prostredím.

Odporúčaná literatúra

Existuje mnoho populárnych kníh, od veľmi dobrých, ako je *Elegantný vesmír*, až po také, ktoré sú mi ľahostajné (nebudem menovať). Preto som obmedzil svoj zoznam autorov na tých, ktorí významne prispeli k téme — tým vám totiž sprostredkujem autentickú skúsenosť.

Ospravedlňujem sa všetkým, ktorých som vynechal pre svoju nevedomosť. Pridal som aj druhý zoznam „Pre pokročilých“. Je určený tým, ktorí pátrajú po náročnejších textoch.

Einstein, Albert: *The Meaning of Relativity*, Fifth Edition. Princeton, Princeton University Press, 1966.

Feynman, Richard: *The Character of Physical Law*. Cambridge, Mass, MIT Press, 1967.

Greene, Brian: *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. New York, W.W. Norton & Company, 1999.

Guth, Alan H: *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. New York, Perseus Books Group, 2000.

Rees, Martin J: *Our Cosmic Habitat*. Princeton, Princeton University Press, 2001.

Rees, Martin J: *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*. New York, Basic Books, 2000.

Thorne, Kip: *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. New York, W.W. Norton & Company, 1994.

Weinberg, Steven: *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, Second Edition. New York, Basic Books, 1993.

Pre pokročilých

Hartle, James: *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*. Reading, Mass., Addison-Wesley Longman, 2002.

Linde, Andrei D: *Particle Physics and Inflationary Cosmology*. Chur, Switzerland, Harwood Academic Publishers, 1990.

Misner, Charles W, Kip S. Thorne, John A. Wheeler: *Gravitation*. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1973.

Peebles, P. J: *Principles of Physical Cosmology*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1993.

Polchinski, Joseph: *String Theory: An Introduction to the Bosonic String*. Cambridge, Cambridge University Press, 1998.

Wald, Robert M: *General Relativity*. Chicago, University of Chicago Press, 1984.

V slovenskom alebo českom preklade vyšli:

Feynman, Richard: *O povaze fyzikálních zákonů: sedmkrát o rytmech přírodních jevů*. Aurora, Praha 1998.

Greene, Brian: *Elegantní vesmír*. Mladá fronta, Praha 2001.

Hawking, Stephen: *Stručné dejiny času*. Alfa, Bratislava 1991.

Weinberg, Steven: *První tři minuty*. Mladá fronta, Praha 1983, 1999.

Pod'akovanie za obrázky (strany sú uvedené v číslach skutočnej knihy)

strana 3, 19: S láskavým dovolením Archives, California Institute of Technology. Albert Einstein™ s licenciou The Hebrew University of Jerusalem, reprezentovanou Roger Richman Agency, Inc., www.albert-einstein.net; **strana 5:** AKG photo, Londýn; Albert Einstein™ s licenciou The Hebrew University of Jerusalem, reprezentovanou Roger Richman Agency, Inc., www.albert-einstein.net; **strana 13:** S láskavým dovolením Los Alamos National Laboratory; **strana 23:** S láskavým dovolením Science Photo Library; **strana 26:** Albert Einstein™ s licenciou The Hebrew University of Jerusalem, reprezentovanou Roger Richman Agency, Inc., www.albert-einstein.net; **strana 27:** Fotografia Harry Burnett/S láskavým dovolením Archives, California Institute of Technology. Albert Einstein™ s licenciou The Hebrew University of Jerusalem, reprezentovanou Roger Richman Agency, Inc., www.albert-einstein.net; **strana 55:** S láskavým dovolením Neela Shearera; **strana 68:** S láskavým dovolením Space Telescope Science Institute (STScI)/NASA; **strana 69:** Priviazaný Prométeus s orlom, ktorý mu d'obe do pečene, maľba čiernej postavy na etruskej váze. Vatikánske múzeá a galérie, Vatikán, Taliansko/Bridgeman Art Library; **strana 70:** špirálová galaxia NGC 4414, fotografia s láskavým dovolením Hubble Heritage Team, STScI/NASA; špirálová galaxia s priečkou NGC 4314, fotografia s láskavým dovolením University of Texas et al., STScI/NASA; eliptická galaxia NGC 147, fotografia s láskavým dovolením STScI/NASA; Mliečna cesta, fotografia s láskavým dovolením S. J. Maddoxa, G. Efsthathiou, W. Sutherlanda, J. Lovedaya, Department of Astrophysics, Oxford University; **strana 76:** S láskavým dovolením Jasona Warea, galaxyphoto.com; **strana 77:** S láskavým dovolením The Observatories of the Carnegie Institution of Washington; **strana 83:** Fotografia Floyd Clark/ s láskavým dovolením Archives, California Institute of Technology; **strana 107:** S láskavým dovolením Neela Shearera; **strana 112:** S láskavým dovolením NASA/Chandra X-Ray Center/Smithsonian Astrophysical Observatory/H. Marshall et al.; **strana 113:** S láskavým dovolením STScI/NASA; **strana 116:** S láskavým dovolením STScI/NASA; **strana 133, 153:** copyright California Institute of Technology; **strana 147:** S láskavým dovolením Neela

Shearera; **strana 162:** Z *The Blind Watchmaker* od Richarda Dawkinsa, New York: W.W. Norton & Company, 1986; **strana 168:** Hubble Deep Field s láskavým dovolením R. Williams STScI/NASA; **strana 169:** „DEŇ NEZÁVISLOSTI" © 1996 Twentieth Century Fox Film Corporation. Všetky práva vyhradené; E.T. still: Copyright © 2001 Universal Studios Publishing Rights, a Division of Universal Studios Licensing, Inc. Všetky práva vyhradené; **strana 195:** S láskavým dovolením Neela Shearera.

Všetky pôvodné ilustrácie, ktoré nie sú uvedené vyššie, vytvorilo pre túto knihu štúdio Malcolm Godwin of Moonrunner Design Ltd., UK.