

NÁŠ VESMÍRNÝ ODKAZ: DALŠÍ MILIARDA LET, A JEŠTĚ VÍC

Naše spekulace končí u supervilizace, syntézy veškerého života Sluneční soustavy, která se neustále vylepšuje a rozšiřuje a expanduje dál od Slunce, přičemž mění neživou hmotu v mysl.

Hans Moravec, *Děti mysli*

Pro mě osobně je nejinspirativnějším vědeckým objevem všech dob skutečnost, že jsme dramaticky podcenili potenciál, který život skýtá do budoucna. Naše sny a ambice se nemusejí omezovat jen na sto let dlouhý život poznamenaný nemocemi, chudobou a zmatky. Místo toho má s pomocí technologie život potenciál vzkvétat miliardy let, nejen v naší Sluneční soustavě, ale po celém vesmíru. Může být velkolepější a podnětější, než si naši předkové představovali. Ani nebesa nepředstavují hranici.

To je skvělá zpráva pro živočišný druh, který celé věky inspiruje pokořování hranic. Olympijské hry oslavují posouvání limitů síly, rychlosti, obratnosti a vytrvalosti. Věda překračuje hranice poznání a chápání a literatura s uměním jsou oslavou stále výjimečnějšího tvoření krásných zážitků, které obohacují život. Řada lidí, organizací a národů vítá růst zdrojů, území a délky života. Vezmeme-li v úvahu lidskou posedlost limity, je příhodné, že nejprodávanejší knihou všech dob chráněnou autorskými právy je *Guinnessova kniha světových rekordů*.

Pokud tedy může technologie rozbít staré hranice života, jak jsme je dosud chápali, kde potom leží hranice *nejzazší*? Jak velká část našeho vesmíru může oživnout? Jak daleko může život dosáhnout a jak dlouho to může trvat? Kolik hmoty může život využít a kolik energie, informací a výpočtů z toho může vytěžit? Tato konečná omezení neurčuje naše chápání, nýbrž samotné fyzikální zákony. Paradoxně je tak v mnoha ohledech snazší analyzovat vzdálenou budoucnost života než jeho budoucnost v dohledné době.

Kdyby se 13,8 miliardy let historie našeho vesmíru vměstnalo do jednoho týdne, pak by ono 10 000 let trvajících drama z posledních dvou kapitol uplynulo za méně než vteřinu a půl. To znamená, že ačkoli nedokážeme předpovědět, zda a jak inteligentní exploze proběhne a jaké bude mít bezprostřední následky, je veškeré to pozdvižení pouhým okamžikem v dějinách vesmíru, jehož podrobnosti nemají na konečné meze života žádný vliv. V případě, že život po této explozi bude stejně posedlý usilováním o dosažení hranic jako dnešní lidstvo, vytvoří technologii, která

skutečně těchto limitů *dosáhne*, protože může. V této kapitole prozkoumáme, o jaké hranice se jedná, čímž zhlédneme záblesk toho, jak by vzdálená budoucnost života mohla vypadat. Protože se tyto limity zakládají na našem současném porozumění fyzice, měli bychom je chápat jako nižší meze možností – vědecké objevy, které teprve přijdou, mohou otevřít příležitosti pro další zlepšení.

Víme ovšem, že život bude v budoucnu skutečně tak ambiciózní? Ne, to nevíme. Možná zlhostejní jako člověk závislý na heroinu nebo jako povaleč, který jen z gauče sleduje nekonečná pokračování své reality show. Máme však důvod předpokládat, že ambice jsou spíše generickým rysem pokročilejších forem života. Téměř bez ohledu na to, jestli se život bude snažit maximalizovat inteligenci, dlouhověkost, vědomosti nebo zajímavost prožitků, neobejde se bez zdrojů. Proto je nucen posouvat svou technologii až k nejzazším hranicím možného, aby co nejlépe využil zdroje, jimiž disponuje. Až těchto hranic dosáhne, musí překročit k získávání dalších zdrojů – expandováním do stále větší části vesmíru.

Navíc ve vesmíru může život vzniknout nezávisle na více místech. Pak se zákonitě méně ambiciózní civilizace jednoduše stanou pro vesmír irelevantními a stále větší části vesmírného odkazu převezmou ty nejcílevědomější formy života. Přírozený výběr proto probíhá i v kosmickém měřítku a po čase bude skoro veškerý existující život ambiciózní. Sečteno a podtrženo, pokud nás zajímá, do jaké míry může náš vesmír vůbec oživnout, měli bychom zkoumat, jaká omezení kladou ambicím fyzikální zákony. Nejdříve se zaměříme na hranice toho, jak lze využívat zdroje (jako třeba hmotu a energii) v naší Sluneční soustavě, a pak se podíváme na cesty, jak jich získat více průzkumem a kolonizací vesmíru.

ZÍSKAT ZE SVÝCH ZDROJŮ CO NEJVÍC

Zatímco dnes supermarkety i komoditní burzy prodávají desítky tisíc předmětů, jimž říkáme „zdroje“, budoucímu životu, který dosáhl vrcholné technologie, bude stačit v podstatě jediná základní surovina: takzvaná *baryonová hmota*, to znamená cokoli, co se skládá z atomů nebo jejich částí (kvarků a elektronů). Ať je tato hmota v jakékoli podobě, vyspělá technologie může změnit její uspořádání a vytvořit z ní požadované látky nebo předměty, včetně elektráren, počítačů a pokročilých forem života. Začněme proto zkoumáním limitů energie, jež pohání vyspělý život a zpracování informací, které mu dovoluje myslet.

STAVBA DYSONOVÝCH SFÉR

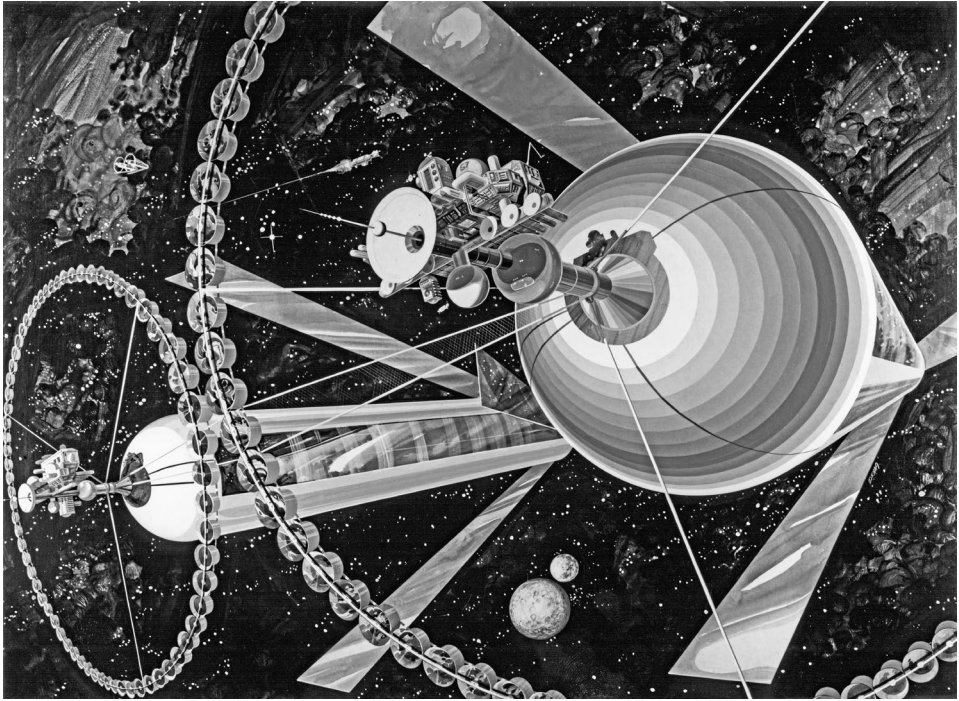
Pokud jde o budoucnost života, jedním z neoptimističtějších vizionářů je Freeman Dyson. Mám tu čest a také štěstí, že se s ním znám už dvacet let, ale při našem prvním setkání jsem z toho byl nervózní. Byl jsem krátce po doktorátu a jedl s kamarády oběd v kantýně Ústavu pro pokročilá studia v Princetonu, když se tam z ničeho nic objevil tenhle světoznámý fyzik, který osobně znal Einsteina a Gödela, představil se a zeptal, jestli si může přisednout! Moje nervozita se rychle rozplynula, když

vysvětlil, že raději obědvá s mladými lidmi než se zkostnatělými starými profesory. I když je mu teď, když tahle slova píšu, devadesát tři let, má Freeman mladšího ducha než většina lidí, které znám. A darebácký klukovský třpyt v jeho očích odhaluje, že mu vůbec nezáleží na formalitách, akademické hierarchii ani konvenční moudrosti. Čím odvážnější myšlenka, tím je nadšenější.

Když přišla řeč na využití energie, posmíval se tomu, jak nízké ambice my lidé máme, a podotkl, že bychom mohli uspokojit veškeré své dnešní energetické potřeby kolektory slunečního záření o rozloze menší než 0,5 % Sahary. Proč se ale zastavovat tady? Proč se spokojit se zachytáváním jen těch slunečních paprsků, které dopadají na Zemi, a nechat všechny ostatní zářit do prázdna? Proč jednoduše nezužítkovat pro život *všechnu* energii ze Slunce?

Inspiroval se klasickou sci-fi *Star Maker* (Tvůrce hvězd) Olafa Stapledona z roku 1937, v níž prstence umělých světů obíhají okolo své mateřské hvězdy, a v roce 1960 publikoval popis čehosi, čemu se začalo říkat *Dysonova sféra*.¹ Freeman přišel s myšlenkou přestavět Jupiter na biosféru v podobě kulové skořápky kolem Slunce, kde by naši potomci měli k dispozici 100miliardkrát více hmoty a bilionkrát více energie, než kolik využívá lidstvo dnes.² Tvrdil, že je to přirozený krok: „Dá se očekávat, že několik tisíc let od začátku fáze průmyslového vývoje bude každý inteligentní druh obývat umělou biosféru, která zcela obklopuje jeho mateřskou hvězdu.“ Když budete žít uvnitř Dysonovy sféry, nikdy v ní nenastane noc, Slunce vám neustále bude svítit nad hlavou a přes celé nebe se sluneční svit bude odrážet od zbytku sféry – tak jako nyní od Měsíce, který vidáte i ve dne. A pokud se budete chtít podívat na hvězdy, jednoduše projdete slupkou sféry směrem od Slunce a podíváte se na vesmír vně.

Technicky nejjednodušší způsob je vytvořit částečnou Dysonovu sféru, tedy umístit prsteneц habitátů na kruhovou orbitu okolo Slunce. Kdybyste Slunce chtěli obklopit úplně, stačilo by přidat další prstence, které Slunce obíhají pod různými úhly a v mírně odlišných vzdálenostech, aby nedošlo ke kolizi. Bude ovšem nepříjemné, že rychle se pohybující prstence nelze navzájem rozumně propojit, což komplikuje dopravu i komunikaci. Proto by se místo toho dala postavit jednolitá stacionární Dysonova sféra ve vzdálenosti, kde je gravitační působení Slunce směrem dovnitř vyváжено tlakem slunečního záření směrem ven. Průkopníky této myšlenky byli Robert L. Forward a Colin McInnes. Sféru by šlo budovat postupným přidáváním dalších „statitů“, stacionárních satelitů, které místo odstředivými silami vyrovnávají gravitační působení Slunce radiačním tlakem. Obě tyto síly klesají s druhou mocninou vzdálenosti od Slunce, což znamená, že pokud se dají vyvážit v jedné vzdálenosti od Slunce, lze je bez obtíží umístit do rovnovážného postavení i v jakékoli jiné vzdálenosti. To nám dává svobodu zaparkovat kdekoli v naší Sluneční soustavě. Je nutné, aby statity byly nesmírně lehké pláty o hmotnosti jen 0,77 gramu na metr čtvereční, čili asi stokrát méně než obyčejný papír, to však nebude zásadní problém. Například vrstvička grafenu (jediná vrstva atomů uhlíku uspořádaných do šestiúhelníků, jako zahradní pletivo) je ještě tisíckrát lehčí. Když bude Dysonova sféra

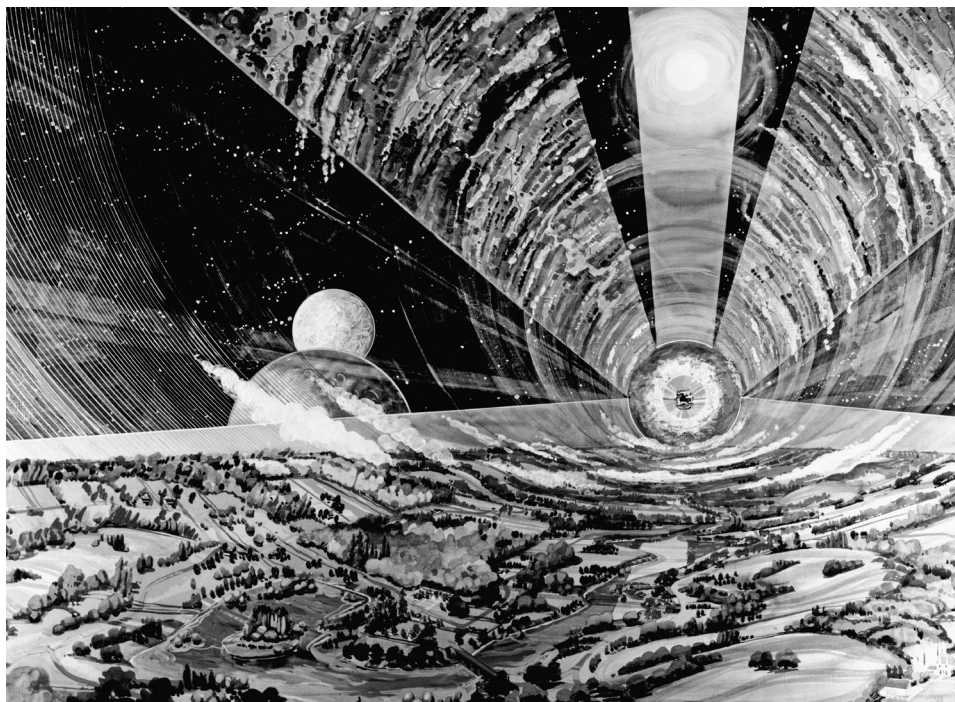


Obrázek 6.1: Dvojice protiběžně rotujících O’Neillových válců může lidem poskytovat příjemné prostředí pro život podobné pozemskému, pokud budou při oběhu kolem Slunce vždy obrácené přímo k němu. Odstředivá síla vznikající jejich rotací vytváří umělou gravitaci a tři skládací zrcadla vysílají dovnitř sluneční světlo ve 24hodinovém cyklu. Menší habitaty uspořádané do prstence jsou určeny pro zemědělství. Ilustrace přetištěna s laskavým svolením Ricka Guidice / NASA.

zkonstruována tak, aby většinu světla odrážela, místo aby ho pohlcovala, pak celková intenzita světla odrážejícího se uvnitř razantně vzroste, čímž se zvýší radiční tlak a také hmotnost, kterou sféra dokáže unést. Mnoho jiných hvězd má tisíckrát, dokonce i milionkrát větší zářivý výkon než naše Slunce, a mohly by tedy kolem sebe mít mnohem těžší stacionární Dysonovy sféry.

Kdybychom takovou těžkou a pevnou statickou Dysonovu sféru chtěli vybudovat ve Sluneční soustavě, budeme kvůli gravitaci Slunce potřebovat ultrapevné materiály, které vydrží desetitisíckrát vyšší tlaky, než jaké působí na základy nejvyšších mrakodrapů světa, a přitom se neohnou ani neroztečou. Aby Dysonova sféra vydržela dlouho, musela by být dynamická a inteligentní a neustále upravovat svou polohu vůči Slunci. Také bude muset občas otevřít obrovské otvory, aby mohly neškodně proletět asteroidy a komety. Je tu ovšem i možnost, že si s takovými narušiteli poradí systém aktivní ochrany, který je zachytí a jejich hmotu využije pro potřeby sféry.

Pro dnešního člověka by byl život na Dysonově sféře přinejlepším matoucí, spíše však přímo nemožný, ale to nemůže zabránit budoucím biologickým i nebiologickým formám života, aby se jim tam dařilo. Obíhající varianta bude mít prakticky



Obrázek 6.2: Pohled z vnitřku jednoho z O'Neillových válců z předchozího obrázku. Při průměru 6,4 kilometru a rotaci jednou za dvě minuty budou lidé na jeho vnitřním povrchu vážit stejně jako na Zemi. Slunce je za vašimi zády, ovšem zdá se, jako byste ho měli nad sebou, to kvůli zrcadlu, které se nachází mimo válec a na noc se skládá. Atmosféru udržují uvnitř válce vzduchotěsná okna. Ilustrace přetištěna s laskavým svolením Ricka Guidice / NASA.

nulovou gravitaci a po té stacionární byste mohli chodit jen po vnější, zastíněné straně, kde bude gravitace 10 000krát slabší, než na co jste zvyklí. Uvnitř nebude žádné přirozené magnetické pole, které by vás chránilo před proudem nebezpečných částic ze Slunce. Na druhé straně nám Dysonova sféra vzdálená od Slunce stejně jako Země nabízí asi 500milionkrát větší životní prostor než Země.

Dobrou zprávou je, že prostředí vhodné pro lidi by se v případě potřeby vytvářelo o poznání snadněji než Dysonova sféra. Obrázky 6.1 a 6.2 ukazují návrh válcového habitatu, s nímž přišel americký fyzik Gerard K. O'Neill - nabízí umělou gravitaci, ochranu před kosmickým zářením, čtyřicetihodinový cyklus střídání dne a noci a atmosféru i ekosystémy podobné pozemským. Takové habitaty by mohly volně obíhat uvnitř Dysonovy sféry, nebo by v upravené podobě mohly být připoutané k jejímu vnějšímu plášti.

POSTAVIT LEPŠÍ ELEKTRÁRNY

Přestože Dysonovy sféry jsou z pohledu dnešních technických standardů při zpracování energie účinné, ani zdaleka se neblíží hranicím stanoveným fyzikálními zákony.

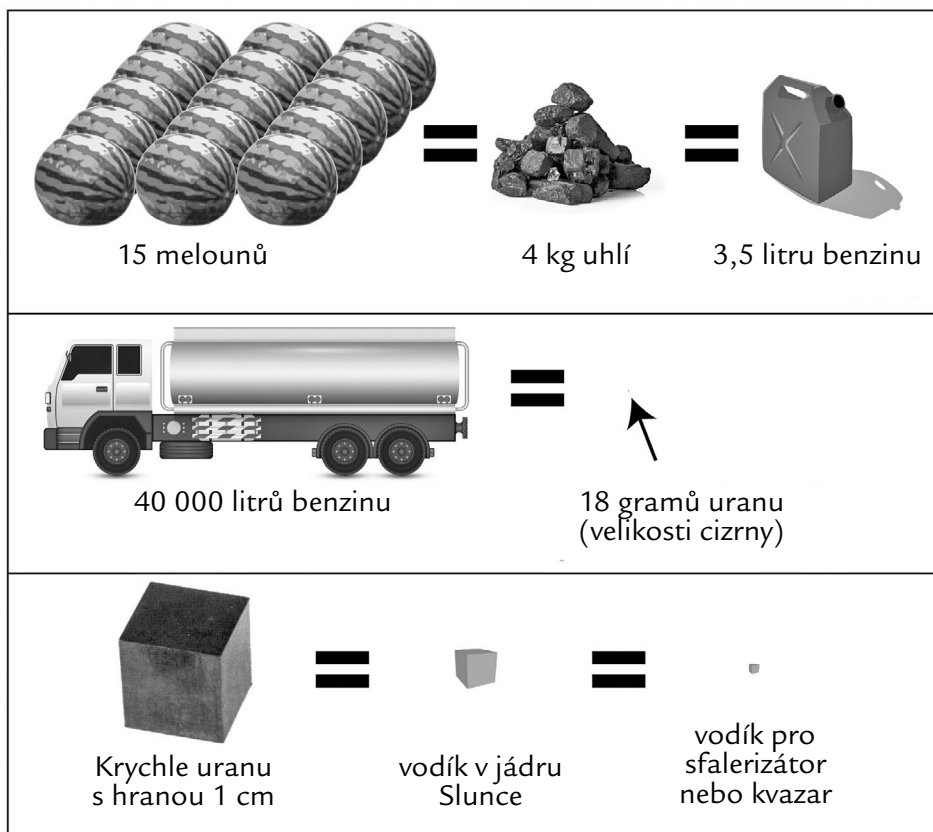
Metoda	Účinnost
Trávení čokoládové tyčinky	00,000 000 01 %
Spalování uhlí	00,000 000 03 %
Spalování benzínu	00,000 000 05 %
Štěpení uranu 235	00,08 %
Dysonova sféra kolem Slunce	00,08 %
Fúze vodíku na helium	00,7 %
Motor z rotující černé díry	29 %
Dysonova sféra kolem kvazaru	42 %
Sfalerizátor	50 %
Vypařování černé díry	90 %

Tabulka 6.1: Účinnost přeměny hmoty na použitelnou energii v poměru k teoretické hodnotě $E = mc^2$. Jak se vysvětluje v textu, lze sice získat 90% účinnost, když dodáme černé díře hmotu a budeme čekat, než se vypaří, je to ale bohužel příliš pomalé, a tedy k ničemu. Proces lze urychlit, to však účinnost značně snižuje.

Einstein nás naučil, že při přeměně hmoty na energii s účinností 100 %* nám hmota o hmotnosti m poskytne energii E podle Einsteinovy známé rovnice $E = mc^2$, kde c je rychlost světla. Protože c má velmi vysokou hodnotu, může malé množství hmoty uvolnit obrovskou energii. Kdybychom měli bohatou zásobu antihmoty (což nemáme), pak by byla hračka postavit 100% účinnou elektrárnu. Jednoduše bychom čajovou lžičku anti-vody nalili do obyčejné vody a uvolnili energii odpovídající 200 000 tunám TNT, síle typické vodíkové bomby. To by stačilo uspokojit celosvětovou spotřebu energie po přibližně sedm dalších minut.

Dnes vyrábíme energii zoufale neefektivním způsobem, jak je patrné ze shrnutí v tabulce 6.1 a obrázku 6.3. Při strávení čokoládové tyčinky dosahuje účinnost pouhých 0,000 000 01 % v tom smyslu, že uvolňuje jen desetibiliontinu energie mc^2 . Kdyby byl váš žaludek účinný z 0,001 %, na celý zbytek života by vám stačilo jediné jídlo. Ve srovnání s jídlem je spalování uhlí a benzínu pouze třikrát a pětikrát efektivnější. Dnešní jaderné reaktory si při štěpení atomů uranu vedou výrazně lépe, ale stále se jim nedaří získávat více než 0,08 % jejich energie. Jaderný reaktor v jádru Slunce je ještě o řád účinnější a fúzí vodíku na helium získává 0,7 % energie mc^2 . Nicméně i kdyby se nám zdařilo uzavřít Slunce v dokonalé Dysonově sféře, nikdy nepřeměníme na užitečnou energii více než přibližně 0,08 % jeho hmoty. Jakmile totiž spotřebuje asi desetinu svých zásob vodíku, ukončí svůj život normální hvězdy, rozepne se, stane se rudým obrem a začne umírat. Jiné hvězdy nedopadnou o mnoho lépe – během svého hlavního života spotřebují velmi malé hvězdy 4 % a i ty největší nejvýše 12 % svého vodíku. I kdyby se nám podařilo přimět umělý fúzní reaktor,

* Pokud pracujete v energetice, jste možná zvyklí definovat místo toho účinnost jako podíl energie v použitelné formě na celkové uvolněné energii..



Obrázek 6.3: Pokročilá technologie může z hmoty získat o poznání více energie, než kolik získáme jejím snědením nebo spálením, avšak i jaderná fúze získává 140krát méně energie, než jsou limity stanovené fyzikálními zákony. Elektrárny vytěžující sfalerony, kvazary nebo vypařování černých děr mohou být mnohem účinnější.

aby využil 100 % všeho dodaného vodíku, stále bychom zůstali na ostudně nízké účinnosti 0,7 % z energie mc^2 . Čím to vylepšit?

ODPAŘOVÁNÍ ČERNÝCH DĚR

Ve své knize *Stručná historie času* navrhl Stephen Hawking elektrárnu z černé díry.* Může to znít paradoxně, dlouho se přece mělo za to, že černé díry jsou pastmi, z nichž nemůže nikdy nic uniknout – dokonce ani světlo ne. Hawking nicméně proslul objevem, že kvůli kvantové gravitaci se černá díra chová jako horké těleso

* Pokud se v blízkém vesmíru nenajde žádná vhodná přirozenou cestou vzniklá černá díra, lze vytvořit novou nahromaděním obrovského množství hmoty na dostatečně malém prostoru.

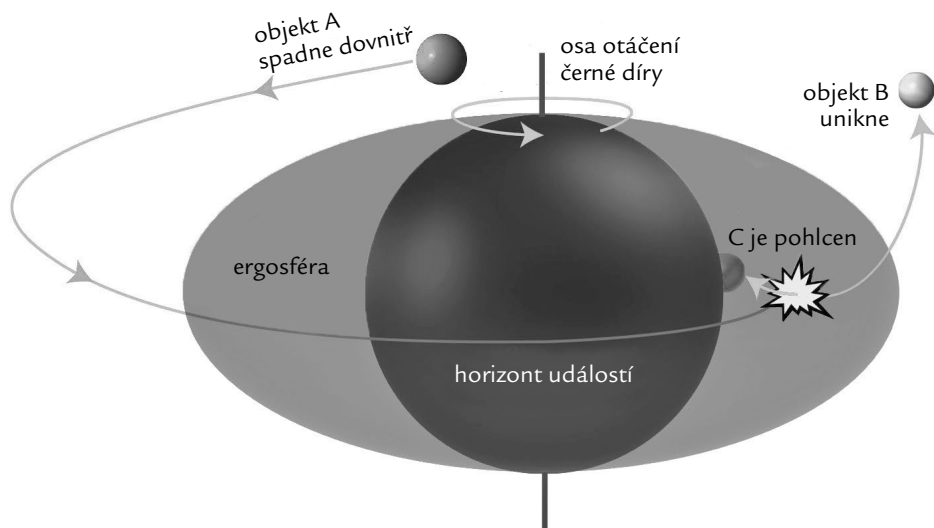
(čím menší, tím teplejší), které vyzařuje teplo, jemuž se dnes říká *Hawkingovo záření*. To znamená, že černá díra postupně ztrácí energii a vypařuje se. Jinými slovy: ať vhodíte do černé díry jakoukoli hmotu, nakonec vyjde ven jako tepelné záření. Ve chvíli, kdy se černá díra odpaří docela, jste přeměnili svou hmotu na energii s téměř 100% účinností.*

Problém s využíváním odpařování černé díry jako zdroje energie spočívá v tom, že pokud není její velikost mnohem menší než atom, je to zoufale zdlouhavý proces. Odpaření energetického ekvivalentu jediné svíčky trvá déle, než je současný věk našeho vesmíru. Produkce energie se snižuje s druhou mocninou velikosti černé díry - a proto fyzici Louis Crane a Shawn Westmoreland navrhli použít černou díru asi tisíckrát menší než proton, jež by měla zhruba hmotnost velké zámořské lodě.³ Chtěli použít motor z černé díry k pohánění kosmické lodi (k tomuto tématu se ještě vrátíme), a tak je více zajímala přenosnost než účinnost. Dále navrhovali „vykrmit“ černou díru pomocí laseru, čímž by se vyhnuli přeměně energie na hmotu. Dokonce i kdybychom ji mohli dodávat hmotu místo záření, bude obtížné zaručit vysokou účinnost - aby se totiž protony vůbec dostaly do takové černé díry (tisíckrát menší než ony samy), musel by je na ni vystřelovat stroj o výkonu Velkého hadronového urychlovače LHC, který by jim dodal obrovskou kinetickou (pohybovou) energii. Protože alespoň 10 % oné kinetické energie se pak při odpařování ztratí ve formě gravitonů, museli bychom černé díře dodávat více energie, než kolik z ní lze získat a použít, takže bychom s účinností skončili v záporných číslech. Vyhledky na vytvoření elektrárny z černé díry dále kazí skutečnost, že nám stále chybí důkladná teorie kvantové gravitace, na níž bychom mohli založit své výpočty - ale tato neznalost samozřejmě také může znamenat, že existují nové užitečné jevy kvantové gravitace, které teprve budou objeveny.

ROTUJÍCÍ ČERNÉ DÍRY

Naštěstí existují i další způsoby, kterak zužitkovat černé díry jako elektrárny, a obějdeme se při tom bez kvantové gravitace nebo jiné fyziky, které příliš nerozumíme. Například mnoho existujících černých děr velmi rychle rotuje - obvodová rychlost jejich horizontu událostí se bezmála rovná rychlosti světla - a tuto rotační energii lze vytěžit. Horizont událostí černé díry je kulová plocha vymezující oblast, z níž neunikne dokonce ani světlo, protože gravitační přitažlivost uvnitř už je příliš silná. Obrázek 6.4 ukazuje, že z vnější strany horizontu událostí má rotující černá díra oblast nazývanou *ergosféra*, kde s sebou černá díra strhává okolní prostor tak rychle, že není možné, aby částice zůstala v klidu a nezačala se pohybovat spolu s ní. Pokud tedy vhodíte do ergosféry nějaký předmět, zvýší se při rotaci kolem černé díry jeho

* To je mírně zjednodušené, protože Hawkingovo záření také obsahuje některé částice, z nichž není snadné získat užitečnou práci. Velké černé díry jsou účinné jen z 90 %, protože asi desetina energie je vyzařována v podobě gravitonů, nesmírně stydlivých částic, které téměř nelze detekovat, o získání užitečné práce ani nemluvě. Jak se černá díra postupně odpařuje a zmenšuje, účinnost klesá ještě víc, neboť Hawkingovo záření začne obsahovat neutrina a další masivní částice.

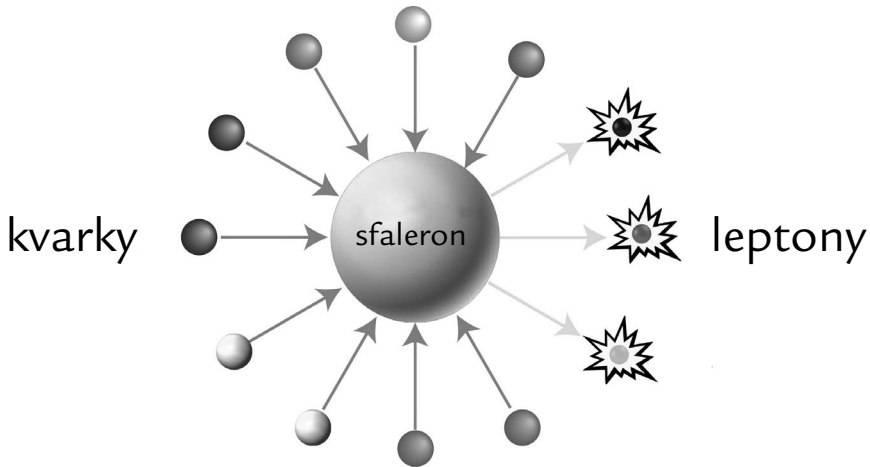


Obrázek 6.4: Část kinetické energie rotující černé díry lze získat vhozením objektu A do blízkosti černé díry tak, aby se rozštěpil na část C, která je pohlcena, a část B, která unikne s vyšší energií, než jakou měl objekt A na začátku.

rychlost. Černá díra takovou částici rychle pohltí a ona navždy zmizí za horizontem událostí, získat z ní nějakou energii se nám tedy nepodaří. Roger Penrose ovšem přišel na to, že když těleso vhodíme ve správném úhlu a způsobíme, aby se rozdělilo na dvě části (jak vidíme na obrázku 6.4), bude pohlcena jen jedna část a ta druhá černé díře unikne, a to s vyšší energií, než jakou měla na začátku. Jinak řečeno – úspěšně jsme přeměnili část rotační energie černé díry na užitečnou energii. Pokud tento proces budeme opakovat, můžeme z černé díry vysát *veškerou* její rotační energii, takže se přestane otáčet a její ergosféra zmizí. V případě, že se černá díra zpočátku otáčela tak rychle, jak přírodní zákony dovolují, a tedy že se její horizont událostí pohyboval rychlostí světla, můžeme touto strategií přeměnit na energii až 29 % její hmoty. Stále panuje značná nejistota, jak rychle rotují černé díry na naší noční obloze, ale zdá se, že se řada těch nejlépe prozkoumaných otáčí poměrně rychle – mezi 30 % a 100 % možného maxima. Obří černá díra uprostřed naší galaxie (s hmotností čtyř milionů Sluncí) patrně také rotuje, takže i kdyby se na užitečnou energii dalo přeměnit jen 10 % její hmoty, bylo by to, jako bychom hmotu 400 000 Sluncí přeměnili na energii se 100% účinností – nebo kolik energie bychom získali z Dysonových sfér kolem 500 milionů Sluncí za miliardu a více let do konce jejich života.

KVAZARY

Další zajímavou možností je získávat energii nikoli z černé díry samotné, ale z hmoty, jež do ní padá. Příroda už sama objevila, jak na to: kvazar. Jak se plyn otáčí stále



Obrázek 6.5: Podle standardního modelu částicové fyziky může devět kvarků s patřičnou vůní a spinem interagovat a přeměnit se na tři leptony přes mezistav, jemuž se říká sfaleron. Celková hmotnost kvarků (společně s energií gluonů, které je doprovázejí) je daleko vyšší než hmotnost leptonů, a proto tento proces uvolní energii a doprovázejí ho záblesky.

blíž černé díře, vytváří disk ve tvaru koláče, jehož nevnitřnější část černá díra postupně pohlcuje, disk se při tom extrémně rozžhaví a vydává velké množství záření. Plyn při pádu do černé díry zrychluje a přeměňuje svou gravitační potenciální energii na energii pohybovou (tak jako těleso při volném pádu), jeho pohyb se stává čím dál komplikovanějším, to jak složité víření mění koordinovaný pohyb masy plynu na náhodný pohyb ve stále menším měřítku, dokud spolu nezačnou prudce kolidovat jednotlivé atomy. Přesně takový náhodný pohyb znamená, že je nějaké těleso horké, a tyto prudké srážky přeměňují pohybovou energii v záření. Stavba Dysonovy sféry okolo celé černé díry (samozřejmě v bezpečné vzdálenosti) umožní tuto energii ze záření zužitkovat. Čím rychleji černá díra rotuje, tím víc nabývá tento proces na účinnosti – nejrychleji se otáčející černá díra vydává energii se závratnou účinností 42 %.* Černé díry o hmotnosti běžné hvězdy vydávají většinu energie ve formě rentgenového záření, zatímco supermasivní černé díry, jaké nacházíme ve středu galaxií, vydávají větší část energie v pásmu infračerveného, viditelného a ultrafialového světla.

Jakmile nám dojde palivo, jímž černou díru krmíme, můžeme přejít na získávání její kinetické energie rotujícího tělesa, jak jsme se o tom bavili výše.** Příroda i zde

* Poznámka pro fanoušky Douglase Adamse: Toto je elegantní problém, který je vyřešen odpovědí na základní otázku života, vesmíru a vůbec. Přesněji řečeno účinnost činí $1 - 1/\sqrt{3} \approx 42,26\%$.

** Pokud „krmíme“ rotující černou díru tak, že kolem ní vytvoříme mrak plynu, který se pomalu otáčí tímž směrem, bude se onen plyn při tom, jak bude vtahován dovnitř a pohlcován, otáčet čím dál rychleji. Tím bude zvyšovat rotaci černé díry, stejně jako když se krasobruslačka roztočí rychleji, když přitáhne paže. To může udržet rychlost rotace černé díry na maximu a vám dovolí vytěžit nejprve 42 % energie plynu a poté 29 % zbytku, čímž celková účinnost dosáhne $42\% + (1 - 42\%) \times 29\% \approx 59\%$.

nalezla způsob, jak to částečně realizovat, a sice zvyšováním radiace z plynu akrečního disku magnetickým jevem, který je znám jako Blandfordův-Znajekův proces. Kdyby se chytré použila magnetická pole a další komponenty, bude docela dobře možné pomocí technologie zvýšit účinnost získávání energie dál nad 42 %.

SFALERONY

Známe ještě jednu cestu, jak přeměňovat hmotu na energii, a ta černé díry nezahrnuje vůbec – proces se *sfalery*. Ten může zničit kvarky a vytvořit z nich leptony: elektrony, jejich těžší bratrance miony a tauony a dále neutrino, případně ještě příslušné antičástice.⁴ Na obrázku 6.5 vidíme (v souladu s předpoklady standardního modelu částicové fyziky), jak se devět kvarků s patričníou vůní a spinem přiblíží k sobě a přemění se na tři leptony přes mezistav, jemuž se říká sfaleron. Protože hmota na počátku je vyšší než na konci, musí se rozdíl hmot přeměnit na energii podle Einsteinovy rovnice $E = mc^2$.

Inteligentní život by tedy v budoucnosti mohl postavit cosi, co budeme nazývat *sfalerizátor*: je to generátor energie, který se chová jako diesellový motor na steroidech. Tradiční diesellový motor stlačuje směs vzduchu a nafty, dokud teplota nestoupne tak vysoko, že se spontánně vznítí a shoří. Následně se horká směs začne opět rozpínat, přičemž vykonává užitečnou práci, třeba stlačuje píst. Oxid uhličitý a další plyny vzniklé spalováním váží přibližně o 0,000 000 05% méně, než kolik se v pístu nacházelo původně. Tento rozdíl v množství hmoty se přemění na tepelnou energii, která motor pohání. Sfalerezátor by stlačoval obyčejnou hmotu na několik miliard stupňů a poté, co sfalery odvedly svou práci, by ji nechal znovu rozpínat a chladnout.* Výsledky tohoto experimentu již známe, protože mladý vesmír ho za nás provedl zhruba před 13,8 miliardy let, kdy takovou teplotu měl. Téměř 100 % hmoty se přeměnilo na energii a zůstala méně než miliardtina částic, a sice ty, z nichž se skládá obyčejná hmota: kvarky a elektrony. Bylo to tedy něco jako diesellový motor, jen více než miliardkrát účinnější! Další výhodou je, že nemusíme být vybíraví, pokud jde o palivo – funguje to s čímkoli, co se skládá z kvarků, tedy s jakoukoli běžnou hmotou.

Kvůli těmto procesům za vysokých teplot vyprodukoval náš čerstvě narozený vesmír více než bilionkrát tolik záření (fotonů a neutrin) než hmoty (kvarků a elektronů, jež se později shlukly v atomy). V následujících 13,8 miliardy let se odehrála velká segregace, kdy se atomy shromažďovaly do galaxií, hvězd a planet, zatímco většina fotonů zůstala v mezigalaktickém prostoru a stala se reliktním zářením (kosmickým mikrovlnným pozadím), pomocí něhož se pořizují fotografie našeho vesmíru v plenkách. Jakákoli vyspělá forma života v galaxii (nebo v jiném shluku hmoty) může proto proměnit většinu dostupné hmoty zpět na energii a resetovat procentuální zastoupení hmoty zpět na onu mizivou úroveň z počátku vesmíru. Stačilo by

* Potřebuje se dostatečně rozžhavit, aby znovu spojila elektromagnetickou a slabou jadernou interakci – to se děje, když se částice pohybují asi tak rychle, jako když je urychlí 200 miliard voltů v urychlovači částic.

ty žhavé a husté podmínky na kratičký okamžik znovu vytvořit uvnitř sfalerizátoru.

Abychom zjistili, jak účinný by ve skutečnosti sfalerizátor mohl být, potřebujeme vyřešit klíčové praktické detaily, například jak veliký musí být, aby během stlačování neuniklo ven větší množství fotonů a neutrin. S určitostí však můžeme prohlásit, že energetické vyhlídky života v budoucnu jsou výrazně lepší, než co nám dovoluje naše současná technologie. Zatím se nám nepodařilo sestrotit ani fúzní reaktor, ovšem budoucí technologie by měly být schopné dosáhnout desetkrát, možná stokrát lepších výsledků.

POSTAVIT LEPŠÍ POČÍTAČE

Jestliže sníst večeři má 10miliardkrát horší energetickou účinnost, než je její fyzikální limit, jak účinné jsou asi dnešní počítače? Jak uvidíme, jsou na tom ještě hůř než ta večeře.

Svého přítele a kolegu Setha Lloyda většinou představuji jako jediného člověka na MIT, který je stejně šílený jako já. Po své průkopnické práci o kvantových počítačích napsal knihu, v níž tvrdí, že celý vesmír je kvantový počítač. Po práci spolu často chodíme na pivo a ještě jsem nepřišel na téma, o němž by Seth nedokázal říct nic zajímavého. Například má mnoho co říct o konečných hranicích výpočetní technologie (kapitola 2). Ve slavném článku z roku 2000 ukázal, že rychlost výpočtů je limitována energií. Provést základní logickou operaci za čas T vyžaduje průměrnou energii $E = h/4T$, kde h je základní fyzikální veličina známá jako Planckova konstanta. Neboli 1 kg počítače může provést nanejvýš 5×10^{50} operací za sekundu - to je o závratných 36 řádů víc, než co dokáže počítač, na němž píšu tato slova. Pokud se bude i nadále výpočetní síla každých pár let zdvojnásobovat (kapitola 2), za pár set let se tam dostaneme. Seth také ukázal, že 1 kg počítače může uložit maximálně 10^{31} bitů, což je asi trilionkrát lepší výkon, než dokáže můj notebook.

Seth jako první člověk uznal, že dosáhnout těchto hranic může být těžkou výzvou i pro superinteligentní život, protože paměť takového kilogramového dokonalého „počítače“ by se podobala termonukleárnímu výbuchu nebo malé části velkého třesku. Zůstává ale optimistou v tom, že praktické meze se tolik neliší od těch nejzazších. Existující prototypy kvantových počítačů už své paměti zminiaturizovaly tím, že ukládají jeden bit na atom, takže by to po zvětšení měřítka dovolilo uložit asi 10^{25} bitů/kg - bilionkrát více než v mém notebooku. Navíc s použitím elektromagnetického záření ke komunikaci mezi těmito atomy bychom se mohli dostat na zhruba 5×10^{40} operací za sekundu, což můj procesor překonává o 31 řádů.

Sečteno a podtrženo: potenciál, který má život v budoucnu pro provádění výpočtů a hledání řešení, je vpravdě ohromující: dnešní nejlepší superpočítače jsou řádově mnohem dál od dokonalého kilogramového počítače než od blinkru na autě, tedy zařízení, které ukládá jen jeden bit informace a zhruba jednou za vteřinu přepne mezi stavem zapnuto a vypnuto.

DALŠÍ ZDROJE

Z pohledu fyziky jsou všechno, co život v budoucnu může chtít vytvořit – od prostředí a strojů po nové formy života – jen elementární částice uspořádané určitým způsobem. Tak jako je plejtvák obecný jen přeuspořádaný kril a kril je jen přeuspořádaný plankton, tvoří celou naši Sluneční soustavu jednoduše vodík přeskupený během 13,8 miliardy let evoluce vesmíru. Gravitace přeskupila vodík do hvězd, které ho přeuspořádaly do těžších atomů, načež gravitace změnila uspořádání oněch atomů na naši planetu, kde z nich chemické a biologické procesy dalším přeskupením vytvořily život.

Budoucí život, jenž dosáhl svého technologického limitu, umí taková přeskupování částic provádět rychleji a efektivněji, neboť nejdříve použije svou výpočetní sílu, aby přišel na nejúčinnější způsob, a pak svoji energii vynaloží na potřebný proces přeuspořádání hmoty. Viděli jsme, jak může být hmota přeměněna na výpočetní stroje i na energii, je proto v jistém smyslu jediným základním zdrojem, který je třeba.* Jakmile život narazí na fyzikální hranice toho, co může se svou hmotou provádět, zůstane pro další růst jediná možnost – získat více hmoty. A to je možné jedině expanzí do vesmíru. Tak tedy vzhůru do kosmu!

ZÍSKÁVÁNÍ ZDROJŮ KOLONIZACÍ VESMÍRU

Jak přesně veliký je náš vesmírný odkaz? Nebo přesněji: jakými horními limity omezují fyzikální zákony množství hmoty, kterou může život využít? Náš vesmírný odkaz je samozřejmě neuvěřitelně veliký, ale jak přesně veliký? Tabulka 6.2 ukazuje některá důležitá čísla. Naše planeta je nyní z 99,999 999 % mrtvá v tom smyslu, že tato její část není součástí naší biosféry a pro život nevykonává téměř nic užitečného – snad kromě toho, že vytváří gravitační působení a magnetické pole. Jen v rámci Země tedy máme potenciál aktivně využít stomilionkrát více hmoty.

Oblast	Počet částic
Naše biosféra	10^{43}
Naše planeta	10^{51}
Naše Sluneční soustava	10^{57}
Naše galaxie	10^{69}
V dosahu cestování polovinou rychlosti světla	10^{75}
V dosahu cestování rychlostí světla	10^{76}
Náš vesmír	10^{78}

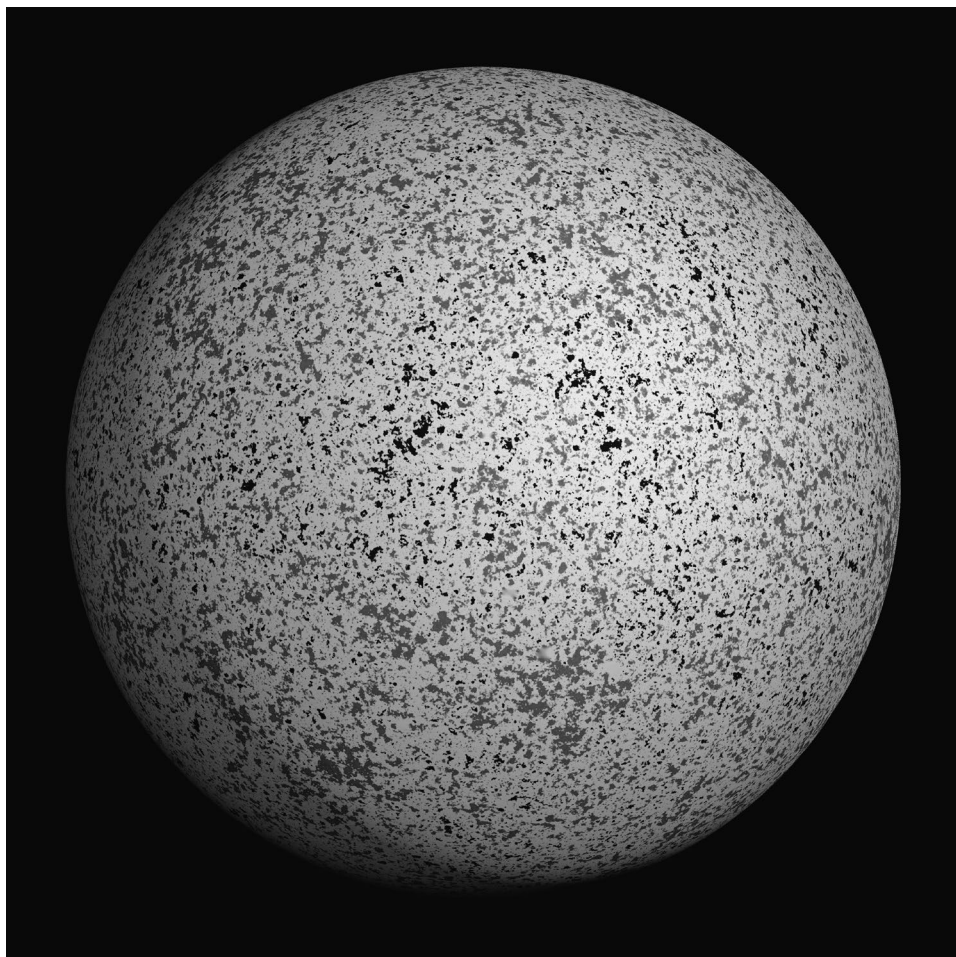
Tabulka 6.2: Přibližný počet částic hmoty (protonů a neutronů), o jejichž využití může život v budoucnu usilovat.

* Výše jsme uvažovali pouze o hmotě sestávající z atomů. Temné hmoty je asi šestkrát tolik, ale velmi obtížně se zachycuje. Běžně prolétává skrze Zemi a teprve se ukáže, jestli je možné, aby ji budoucí život polapil a zužitkoval.

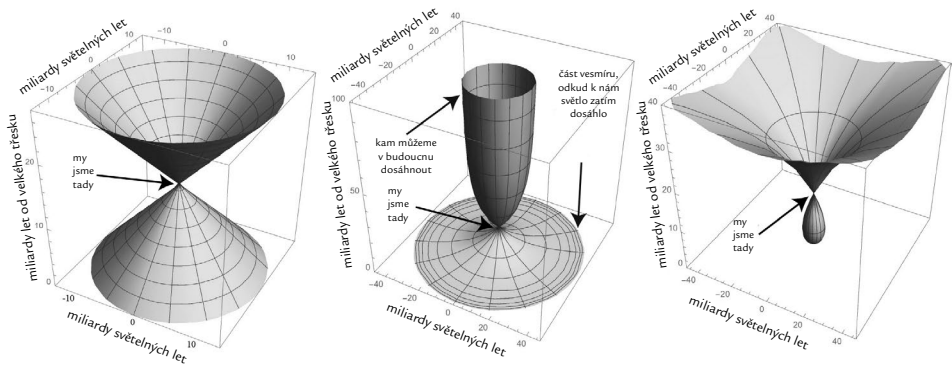
Pokud se nám podaří optimálně zužitkovat veškerou hmotu naší Sluneční soustavy (včetně Slunce), bude jí ještě milionkrát více a osídlením galaxie získáme zdroje ještě bilionkrát vyšší.

JAK DALEKO SE MŮŽEME DOSTAT?

Někomu by se mohlo zdát, že s dostatkem trpělivosti lze osídlit kolik galaxií se nám zachce, a získat tak neomezené zdroje, ale nic takového moderní kosmologie nepotvrzuje. Ano, vesmír sám může být nekonečný a může obsahovat



Obrázek 6.6: Náš vesmír, to znamená část prostoru ve tvaru koule (uprostřed), odkud mělo světlo čas k nám dospět za oněch 13,8 miliardy let od našeho velkého třesku. Skvrnitá plocha je snímkem našeho vesmíru z jeho dětských let, který pořídila družice Planck. Vyplývá z něj, že když byl vesmír starý pouhých 400 000 let, tvořila ho žhavá plazma téměř tak horká jako povrch Slunce. Vesmír se pravděpodobně rozkládá ještě dál a každý rok můžeme spatřit další hmotu.



Obrázek 6.7: V prostoročasovém diagramu je událost bodem, jehož horizontální a vertikální poloha udává, kde a kdy se odehrává. Pokud se vesmír nerozpíná (vlevo), ohraničují dva kužely ty části časoprostoru, které nás na Zemi (vrchol) mohou ovlivnit (spodní kužel) a které můžeme ovlivnit my (vrchní kužel), protože kauzální následek se nemůže pohybovat rychleji než světlo (které za rok urazí vzdálenost jednoho světelného roku). Zajímavější to je v případě, že se vesmír rozpíná (modely vpravo). Podle standardního kosmologického modelu můžeme vidět a ovlivnit jen omezenou část prostoročasu, přestože vesmír sám je nekonečný. Na prostředním obrázku, který připomíná sklenici na šampaňské, použijeme souřadnice, které ukrývají expanzi vesmíru, takže pohyby vzdálených galaxií v čase odpovídají vertikálním čarám. Z našeho současného pohledu, tedy 13,8 miliardy let po velkém třesku, k nám měly světelné paprsky dorazit jen z podstavce skleničky na šampaňské. A i když budeme cestovat rychlostí světla, nikdy nedosáhneme míst nad vrškem sklenice, v nichž se nalézá přes 10 miliard galaxií. Na obrázku vpravo, který vypadá jako kapka vody pod květinou, použijeme běžné souřadnice, takže je vidět, že se vesmír rozpíná. Podstava sklenice se tím ohne do kapkovitého tvaru, protože oblasti na okrajích toho, co můžeme pozorovat, byly v raných fázích velmi blízko sebe.

nekonečný počet galaxií, hvězd a planet. Tak to ostatně předpovídá jedna z nej-jednodušších verzí teorie *inflace* - dnes nejoblíbenější vědecké paradigma vývoje po velkém třesku před 13,8 miliardy let. Nicméně i kdyby galaxií bylo nekonečně mnoho, my můžeme vidět a dosáhnout jen na konečný počet z nich. Viditelných je pro nás asi 200 miliard galaxií a z nich můžeme dosáhnout k osídlení nanejvýš 10 miliard.

Omezuje nás rychlost světla, jež činí jeden světelný rok (přibližně deset bilionů kilometrů) za rok. Obrázek 6.6 ukazuje tu část vesmíru, z níž k nám světlo dosáhlo za 13,8 miliardy let od velkého třesku, kulovou oblast známou jako „naš pozorovatelný vesmír“ nebo zkrátka „naš vesmír“. I kdyby byl vesmír nekonečný, náš vesmír je konečný a čítá „pouze“ kolem 10^{78} atomů. Navíc přibližně 98 % našeho vesmíru funguje v modu „dívat se, ale nesahat“: můžeme ho totiž pozorovat, ale nikdy na něj nedosáhneme, i kdybychom navěky cestovali rychlostí světla. Proč? Vždyť to, kam až dohlédneme, je jednoduše dáno faktem, že náš vesmír není nekonečně starý, takže světlo zatím zdaleka nemělo dostatek času se k nám dostat. Neměli bychom tedy být schopní cestovat do libovolně vzdálených galaxií, když nás nebude omezovat, kolik času můžeme strávit na cestě?

Prvním problémem je fakt, že se náš vesmír rozpíná. To znamená, že se od nás skoro všechny galaxie vzdalují a kolonizace vzdálených galaxií je jako hra na honěnou. Druhý problém tkví v tom, že rozpínání vesmíru se zrychluje kvůli tajemné temné energii, která tvoří přibližně 70 % našeho vesmíru. Abyste pochopili, proč je to problém, představte si, že přijдете na nástupiště vlaku a vidíte, že se váš vlak pomalu rozjíždí směrem pryč, ale jedny dveře jsou lákavě otevřené. I pokud jste dost rychlí a lehkomyšní, povede se vám vlak dohonit? Vlak nakonec dosáhne rychlosti vyšší, než jakou můžete vyvinout vy, a odpověď proto záleží na tom, jak daleko od vlaku se na počátku nacházíte. Jste-li za určitou kritickou vzdáleností, nikdy ho nedostihnete. Stejněmu problému čelíme při snaze dohonit ony vzdálené galaxie, které se od nás čím dál rychleji vzdalují. I kdybychom mohli cestovat rychlostí světla, všechny galaxie za hranicí 17 miliard světelných let zůstávají navždy mimo náš dosah – a to je více než 98 % galaxií našeho vesmíru.

Ale počkat: neříkala Einsteinova speciální teorie relativity, že se nic nemůže pohybovat rychleji než světlo? Jak tedy mohou galaxie předhonit něco, co se pohybuje rychlostí světla? Odpověď zní, že speciální teorii relativity nahrazuje Einsteinova obecná teorie relativity, v níž je „maximální rychlost“ liberálnější: nic nemůže *vesmírem* cestovat rychleji než světlo, ale vesmír samotný se může rozpínat, jak rychle bude chtít. Einstein nám také dal hezký prostředek, jak si tyto rychlostní limity představit, a sice tím, že se na čas budeme dívat jako na čtvrtou dimenzi v *prostorochasu* (obrázek 6.7, kde zobrazení zůstalo trojrozměrné tak, že je vypuštěna jedna ze tří dimenzí prostoru). Kdyby vesmír neexpandoval, paprsky světla by vytvářely zakřivené čáry prostorochasem pod úhlem 45°, a proto jsou oblasti, které odsud můžeme pozorovat a dosáhnout jich, kuželovitého tvaru. Zatímco náš světelný kužel z minulosti je na konci utnut velkým třeskem před 13,8 miliardy let, náš světelný kužel do budoucnosti se bude rozpínat navždy a dává nám přístup k neomezenému vesmírnému odkazu. Naopak prostřední model na obrázku ukazuje, že rozpínající se vesmír s temnou energií (a zdá se, že právě takový vesmír obýváme) ohýbá světelné kužely do tvaru sklenice na šampaňské a provždy omezuje počet galaxií, které můžeme osídlit, na přibližně 10 miliard.

V případě, že ve vás tato hranice vyvolává pocit kosmické klaustrofobie, třeba vás povzbudí možná skulina: výpočty předpokládají, že se množství temné hmoty v čase nemění (a naznačují to i nejnovější měření). Stále však nemáme ani ponětí, co temná energie ve skutečnosti je, a to nechává jiskřičku naděje, že množství temné energie jednou klesne (asi jako u podobné substance, která byla postulována, aby vysvětlila inflaci vesmíru). Pokud toto nastane, zrychlení (akcelerace) ustoupí *zpomalení* (deceleraci) a to by mohlo budoucím formám života umožnit osídlování nových galaxií, pokud tam ještě budou.

JAK RYCHLE SE DÁ CESTOVAT?

Zabývali jsme se tu tím, kolik galaxií by civilizace mohla kolonizovat, kdyby se šířila do všech směrů rychlostí světla. Obecná teorie relativity tvrdí, že rakety do vesmíru

rychlostí světla vyslat nelze, protože by to vyžadovalo nekonečné množství energie. Jakou rychlostí tedy mohou rakety letět reálně?*

Sonda NASA jménem *New Horizons* překonala rychlostní rekord, když v roce 2006 odstartovala směrem k Plutu rychlostí přibližně 45 kilometrů za sekundu. *Solar Probe Plus* v roce 2018 (rovněž od NASA) má v plánu letět ještě čtyřikrát rychleji (rychlost nabere blízkým průletem kolem Slunce), i to je však pouhá tisícina rychlosti světla. Rychlejší a lepší rakety se snažily vytvořit některé z nejbystřejších myslí uplynulého století a k tomuto tématu existuje mnoho fascinující literatury. Proč je tak obtížné dosáhnout vyšší rychlosti? Jsou zde dva hlavní problémy: prvním je, že konvenční rakety spotřebují většinu paliva jednoduše na to, aby dodaly zrychlení palivu, které s sebou nesou, a zadruhé je dnešní raketové palivo zoufale neúčinné. Ten zlomek hmoty přeměněné na energii není o mnoho lepší než oněch 0,000 000 05 % energie benzínu, jak jsme viděli v tabulce 6.1. Jedním očividným vylepšením by byl přechod na efektivnější palivo. Například Freeman Dyson spolu s dalšími pracoval v NASA na projektu Orion, jehož cílem bylo nechat vybuchnout na 300 000 jaderných bomb v průběhu 10 dnů, aby se dosáhlo přibližně 3 % rychlosti světla s kosmickou lodí, která by byla dostatečně velká na to, aby lidi během sto let trvající cesty donesla do jiné sluneční soustavy.⁵ Jiní chtěli jako palivo použít antimotou, jelikož jejím zkombinováním s obyčejnou hmotou se uvolňuje energie s bezmála 100% účinností.

Další oblíbenou myšlenkou je postavit raketu, která si nemusí nést palivo - například díky tomu, že mezihvězdný prostor není dokonalé vakuum, ale občas se v něm najde nějaký osamělý proton: atom vodíku, který přišel o svůj elektron. V roce 1960 to fyzikovi Robertu Bussardovi vniklo ideu, na níž stojí takzvaný *Bussardův ramjet*. Ten by takové ionty po cestě sbíral a používal jako raketové palivo do fúzního reaktoru na palubě. Nedávné práce sice zpochybnily, že by to mohlo v praxi fungovat, nicméně je tu ještě jeden nápad, kdy se nenese žádné palivo a který se zdá pro účely technologicky vyspělé civilizace cestující vesmírem proveditelný: plachtění pomocí laseru.

Na obrázku 6.8 je znázorněn chytrý návrh rakety s laserovou plachtou, s nímž poprvé přišel v roce 1984 Robert Forward - tentýž fyzik, který vymyslel statity, o nichž jsme hovořili v souvislosti s Dysonovou sférou. Tak jako se molekuly vzduchu odrážejí od plachty plachetnice a posouvají ji vpřed, budou se částice světla (fotony) odrážet od zrcadla, čímž budou raketu pohánět. K vyslání silného laserového paprsku na obrovskou superlehkou plachtu, která bude připoutaná k vesmírnému plavidlu, budeme moci využít energii našeho vlastního Slunce, a dodáme tak raketě vysokou rychlost. Jak ji ale zastavíme? Dlouho jsem na to nemohl přijít, dokud jsem si Forwardův výborný článek nepřečetl. Na obrázku 6.8 vidíme, že

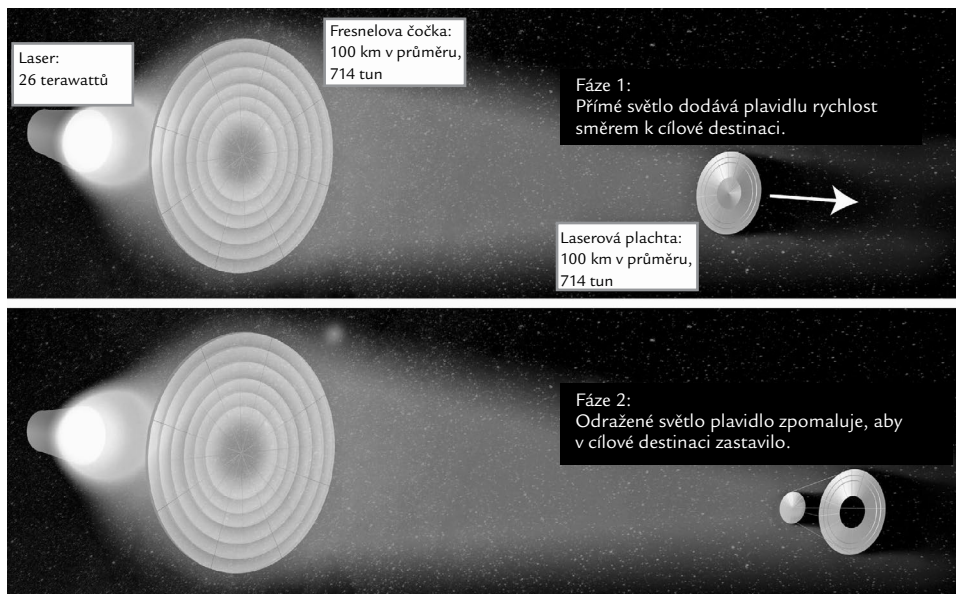
* Kosmická matematika je překvapivě jednoduchá. Pokud civilizace expanduje rozpínajícím se vesmírem nikoliv rychlostí světla c , ale nějakou nižší rychlostí v , klesne počet jí osídlených galaxií na násobek koeficientem $(v/c)^3$. To znamená, že pomalá civilizace bude přísně penalizována - a ten, kdo se rozpíná desetkrát pomaleji, nakonec osídlí 1 000krát méně galaxií.

se vnější část laserové plachty oddělí a přesune před plavidlo – pak bude odrážet náš laserový paprsek zpět a loď se zbytkem plachty zpomalí.⁶ Forward spočítal, že tímto způsobem by lidé mohli zvládnout cestu do hvězdného systému α Centauri dlouhou čtyři světelné roky za pouhých čtyřicet let. Jakmile se tam dostanete, postavíte nový obrovský laserový systém, a tak můžete skákat dál od hvězdy k hvězdě celou naší galaxii.

Proč se však zastavovat už tam? V roce 1964 sovětský astronom Nikolaj Semjonovič Kardašov navrhl ohodnotit civilizace podle toho, kolik energie dokážou využít. Spoutání energie planety, hvězdy (dejme tomu Dysonovou sférou) a galaxie odpovídá na Kardašovově škále civilizacím typu I, II, a III. Později bylo navrženo rozšíření o typ IV, který dokáže hospodařit s energií celého dostupného vesmíru. Od té doby přišly pro ambiciózní formy života dobré i špatné zprávy. Špatnou zprávou je, že existuje temná energie, což omezuje náš dosah. Dobrou zprávou je dramatický pokrok umělé inteligence. I optimističtí vizionáři jako Carl Sagan považovali šanci, že člověk dosáhne jiných galaxií, za víceméně nulovou – vzhledem k našemu sklonu umřít během prvního století cesty, která by trvala miliony let, třebaže bychom cestovali bezmála rychlostí světla. Přesto se odmítali vzdát a zvažovali varianty, že astronauty zmrazí, aby jim prodloužili život, že zpomalí jejich stárnutí tím, že poletí rychlostí blízkou rychlosti světla, nebo že vyšlou celou komunitu, která poletí desítky tisíc generací (což je mimochodem déle, než existuje samo lidstvo).

Možnost vytvořit superinteligenci zcela mění situaci, která je tak pro lidi s touhou po mezigalaktickém cestování mnohem slibnější. Tím, že nebude nutné převážet rozměrné systémy podpory života lidí a že přibudou technologie vyvinuté AI, se mezigalaktické osídlování náhle zdá poměrně jednoduché. Forwardovy laserové plachetnice budou mnohem levnější, jakmile bude stačit jen tak velké plavidlo, aby se do něj vešla „zárodečná sonda“, tedy robot schopný přistát na asteroidu nebo planetě v cílové sluneční soustavě a vybudovat novou civilizaci od nuly. Nemusí mít ani přesné pokyny, stačí mu pouze postavit dostatečně velkou anténu, kterou bude od mateřské civilizace přijímat podrobnější nákresy a instrukce dodávané rychlostí světla. Až bude hotovo, použije své nově sestrojené lasery k vyslání dalších zárodečných sond, aby pokračovaly v kolonizaci galaxie jednu sluneční soustavu za druhou. Dokonce i nezměrné temné oblasti mezi galaxiemi často skýtají značný počet mezigalaktických hvězd (kdysi vyvržených ze svých domovských galaxií), které mohou fungovat jako svého druhu odpočívadla. To umožní mezigalaktickým laserovým plachetnicím cestovat takovými „přískoky“ na obrovské vzdálenosti.

Po osídlení další sluneční soustavy nebo galaxie superinteligentní AI už bude snadné doosídlit je lidmi – pokud si tedy dokážou zařídit, aby AI měla tento cíl. Veškeré potřebné informace o osadnících mohou být odvysílány rychlostí světla, načež AI složí kvarky a elektrony do požadovaných lidí. To lze zařídit buď poměrně technicky jednoduchým odvysláním dvou gigabytů informací potřebných ke specifikaci DNA člověka a vypěstováním dítěte v inkubátoru; jeho výchovu pak převezme AI. Technicky náročnější bude složit pomocí nanotechnologie kvarky a elektrony



Obrázek 6.8: Návrh Roberta Forwarda pro misi laserové plachetnice do hvězdného systému α Centauri, vzdáleného 4 světelné roky. Nejdříve silný laser v naší Sluneční soustavě urychlí pohyb plavidla tím, že na jeho laserovou plachtu bude zářením vyvíjet tlak. Aby se před cílem zastavilo, vnější část plachty se oddělí a bude odrážet laserové paprsky zpět na plavidlo.

podle vzoru dospělých lidí, kteří pak budou mít všechny vzpomínky a vědomosti naskenované ze svých předloh na Zemi.

Z toho plyne, že po inteligenční explozi nebude klíčová otázka znít, zda je mezagalaktická kolonizace možná, nýbrž jak rychle může postupovat. Jelikož všechny výše zmíněné nápady vymysleli lidé, měly by být chápány jen jako dolní hranice toho, jak rychle může život expandovat. Ambiciózní superinteligentní život si pravděpodobně povede mnohem lépe, neboť bude velmi motivován se těmito limitům blížit. V závodě proti času a temné energii totiž znamená každé 1% zvýšení průměrné rychlosti osidlování 3% nárůst počtu kolonizovaných galaxií.

Například se soustavou laserových plachet zabere cesta do 10 světelných let vzdáleného hvězdného systému 20 let. Dalších 10 let potrvá ji osídlit a postavit tam nové lasery a zárodečné sondy – a už může začít další cyklus. Z toho plyne, že kolonizované území bude mít zhruba tvar koule, která roste do všech směrů třetinou rychlosti světla. Americký fyzik Jay Olson ve své krásné a podrobné analýze civilizací expandujících vesmírem zvažoval technologicky náročnější alternativu řešení přískoky. Ta by zahrnovala dva odlišné typy sond: *sondy zárodečné* a *sondy expanzivní*.⁷ Zárodečné sondy zpomalí, přistanou a zasejí na nové planetě život. Naopak expanzivní sondy se nikdy nezastaví: za letu budou sbírat hmotu – možná pomocí nějaké vylepšené varianty technologie ramjetu – a používat ji jako palivo i jako surovinu na výrobu dalších zárodečných i expanzivních sond. Tato sebereprodukující

se flotila expanzivních sond bude mírně zrychlovat, aby si vzhledem k blízkým galaxiím udržela konstantní rychlost (řekněme polovinu rychlosti světla). Sondas budou reprodukovat tak často, aby jejich flotila tvořila rozpínající se kulovou plochu s konstantním počtem sond na jednotku plochy.

A v neposlední řadě ještě existuje trochu pirátský přístup „odkop naslepo“, který vede k expanzi ještě rychlejší, než dovolují všechny výše popisované metody. Dobrou ilustrací je podvodný „kosmický spam“ Hanse Moravce z kapitoly 4. Odvyšlaná zpráva lstí přiměje naivní nedávno vyvinuté civilizace k tomu, aby vytvořily superinteligentní stroj, který se jich posléze zmocní. Vysílající civilizace pak může expandovat takřka rychlostí světla, rychlostí, jíž se jejich svůdný zpěv sirén šíří vesmírem. Pro vyspělé civilizace to může být *jediná* cesta, jak ve svém kuželu světla budoucnosti dosáhnout většiny galaxií, a navíc není příliš důvodů, proč by to nezkusily. Proto bychom měli k jakémukoli mimozemskému vysílání přistupovat s krajní obezřetností! V knize Carla Sagana *Kontakt* použijí pozemšťané technickou specifikaci od mimozemšťanů ke stavbě stroje, jemuž nerozumějí. Něco takového rozhodně nelze doporučit.

Abych to shrnul: většina vědců a autorů science fiction byla podle mého názoru ve svých úvahách o vesmírné kolonizaci příliš pesimistická, neboť ignorovali možnosti superinteligence. Omezovali svou pozornost na lidské cestovatele a přecenili obtížnost mezigalaktického cestování. Soustředili se pouze na technologii vynalezenou člověkem, což vedlo k nadsazenému odhadu času potřebného na přiblížení se k fyzikálním hranicím možností.

ZŮSTAT VE SPOJENÍ DÍKY KOSMICKÉ INFRASTRUKTUŘE

Pokud bude temná energie nadále urychlovat vzájemné vzdalování galaxií, jak napovídají nejnovější data z experimentů, budoucímu životu to způsobí značné nepříjemnosti. Znamená to, že i kdyby se nějaké civilizaci podařilo osídlit milion galaxií, rozdrobí temná energie v průběhu desítek miliard let toto kosmické impérium na tisíce různých oblastí neschopných spolu komunikovat. Jestli život nepodnikne žádné kroky, aby tomuto tříštění zabránil, budou největšími baštami života kupy skupiny nanejvýš tisícovky galaxií, jejichž vzájemná gravitace bude dost silná, aby přemohla rozpínavou sílu temné energie.

Pokud si superinteligentní civilizace bude chtít udržet spojení, bude ji to motivovat k budování rozsáhlé kosmické infrastruktury. Do své největší skupiny gravitačně svázaných galaxií bude muset z okolí přesunout co nejvíce hmoty, než ji od něj navždy odřízne temná energie. Jedním způsobem, jak přesunout hvězdu na velkou vzdálenost, je vsunout třetí hvězdu do stabilního binárního systému dvou navzájem se obíhajících hvězd. Stejně jako je tomu v milostných vztazích i zde může příchod třetího partnera situaci destabilizovat a způsobit, že jeden z těch tří bude prudce vymrštěn pryč - v případě gravitačních systémů to může být závratnou rychlostí. Bude-li alespoň jeden z objektů velká černá díra, může být nestabilní trojice použita k vymrštění hvězdy takovou rychlostí, že opustí domovskou

galaxií. Naneštěstí se zdá, že ať se tato technika tří těles aplikuje na hvězdy, černé díry nebo celé galaxie, nedokáže na dostatečně velké vzdálenosti přesunout více než nepatrný zlomek potřebné hmoty.

To pochopitelně neznamená, že superinteligentní život nemůže přijít s lepšími způsoby, třeba přeměnit značnou část hmoty odlehlých galaxií na kosmické plavidlo, které pak zamíří do domovské skupiny hvězd. Jestli se podaří zkonstruovat sfalerizátor, mohl by přeměňovat hmotu na energii, která bude vyslána „domů“ v podobě světla a v domovské skupině pak buď rekonfigurována zpět na hmotu, nebo použita jako zdroj energie.

Vrcholem štěstí bude, jestli se prokáže, že lze vytvořit stabilní a průchodné červí díry. To by umožnilo téměř okamžitou komunikaci a cestování mezi dvěma konci červí díry bez ohledu na jejich vzdálenost. Červí díra je zkratka napříč prostoročase, která vám dovolí přejít z bodu A do bodu B, aniž musíte absolvovat cestu prostorem mezi nimi. I když Einsteinova obecná teorie relativity existenci stabilních červích děr připouští (a objevily se ve filmech jako *Kontakt* a *Interstellar*), vyžadují přítomnost zvláštního hypotetického druhu hmoty se zápornou hustotou, jejíž existence může záviset na dosud neprostudovaných jevech kvantové gravitace. Jinak řečeno: klidně se může ukázat, že použitelné červí díry nemohou existovat – ale pokud mohou, superinteligentní život bude více než motivován k tomu je postavit. Pak budou červí díry nejen znamenat revoluci v rychlé komunikaci uvnitř jednotlivých galaxií, ale navíc záhy spojí odlehlé galaxie s centrální skupinou galaxií. Červí díry tak umožní celému dominiu budoucího života zůstat dlouhodobě propojené a naprosto zmaří pokusy temné energie o cenzuru komunikace. Jakmile budou jednou dvě galaxie spojeny stabilní červí dírou, zůstanou propojené bez ohledu na to, jak jsou od sebe daleko.

Jestli navzdory vši snaze o vytvoření kosmické infrastruktury dospěje budoucí civilizace k závěru, že části z ní budou nevyhnutelně uneseny mimo její dosah, může jim jednoduše popřát hodně štěstí a nechat je jít. Pokud ale má nějaké ambiciózní výpočetní cíle, třeba hledání odpovědí na nějaké komplikované otázky, může se místo toho uchýlit ke strategii „vysátí dividendami“. Promění odlehlé galaxie v obrovské počítače, které budou transformovat hmotu a energii na výpočty s tím, že než temná energie odsune jejich vysáté pozůstatky „za obzor“, odvysílají dlouho hledané odpovědi zpět do mateřské kupy galaxií. Tato strategie vysátí dividendami se zvláště hodí pro oblasti tak vzdálené, že jich lze dosáhnout jen pomocí „kosmického spamu“. Na úkor případných tamějších obyvatel je promění v jednoúčelový stroj, zatímco doma v mateřské skupině bude naopak usilovat o harmonický rozvoj, aby přetrvala co nejdéle.

JAK DLOUHO VYDRŽÍME?

O dlouhověkost usiluje většina ambiciózních lidí, organizací i národů. Jestli tedy ctižádostivá budoucí civilizace vyvine superinteligenci a bude si přát dlouhověkost, jak dlouho může vydržet?

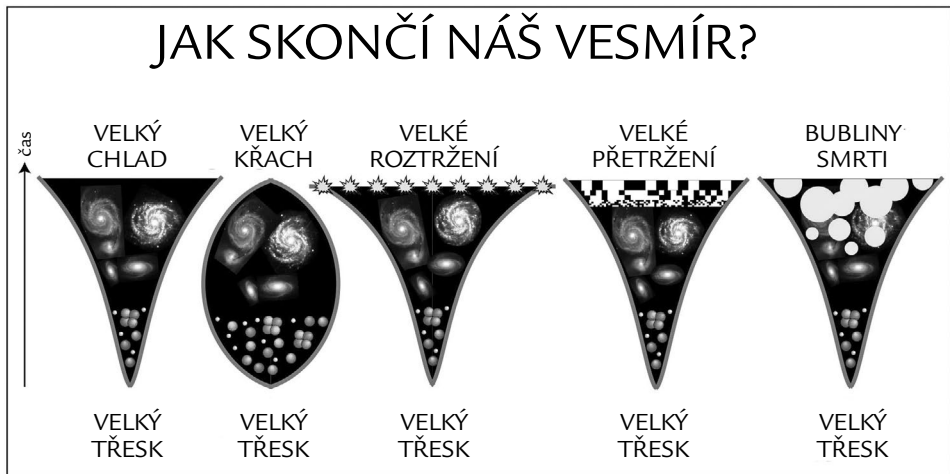
První důkladnou vědeckou analýzu naší vzdálené budoucnosti neprovedl nikdo menší než Freeman Dyson a v tabulce 6.3 je shrnuto několik jeho hlavních zjištění. Dospívá k závěru, že pokud nezasáhne inteligence, sluneční soustavy a galaxie postupně zaniknou a zůstane jen chladný mrtvý prázdný prostor vyplněný slábnoucím zářením. Freeman nicméně svou analýzu uzavírá v optimistickém duchu: „Máme dobré vědecky podložené důvody k tomu, abychom brali vážně možnost, že život a inteligence uspějí při přeformování vesmíru, aby vyhovoval jejich záměrům.“⁸

Myslím, že superinteligence by snadno mohla řadu problémů z tabulky 6.3 vyřešit, neboť umí přeskupovat hmotu do něčeho lepšího, než jsou sluneční soustavy a galaxie. Výzvy, o nichž se často diskutuje, jako je zánik našeho Slunce za několik miliard let, nebudou hlavním kamenem úrazu, jelikož se i technicky nepřilíš vyspělá civilizace dokáže snadno přemístit k málo hmotným hvězdám, které vydrží přes 200 miliard let. Za předpokladu, že superinteligentní civilizace postaví své vlastní elektrárny, které budou účinnější než hvězdy, mohou vlastně chtít fungování hvězd *potlačit*, aby nemrhaly energií. I kdyby Dysonovou sférou vytěžili veškerou energii, kterou hvězda vyzáří během hlavní fáze svého života, získají tak asi 0,1 % její celkové energie a těžko budou bránit promrhání zbývajících 99,9 % po jejím zániku, zejména v případě velmi hmotné hvězdy. Hmotné hvězdy totiž umírají jako supernovy, a při výbuchu většina energie unikne jako nepolapitelná neutrina, u velmi hmotných hvězd se navíc nesmírné množství hmoty vyplývá na vznik černé díry, ze které se energie pozvolna uvolňuje třeba až 10^{67} let.

Dokud superinteligentnímu životu nedojde hmota (čili energie), může udržovat své životní prostředí v požadovaném stavu. Snad se mu dokonce podaří nalézt způsob, jak zabránit protonům v rozpadu za pomoci takzvaného *kvantového Zenonova*

Událost	Čas
Současné stáří našeho vesmíru	10^{10} let
Temná energie vytlačí většinu galaxií mimo dosah	10^{11} let
Dohoří poslední hvězdy	10^{14} let
Planety se odpoutají od hvězd	10^{15} let
Hvězdy se odpoutají od galaxií	10^{19} let
Rozpad orbit působením gravitačního záření	10^{20} let
Zanikají protony (nejdřívější termín)	$> 10^{34}$ let
Odpařují se černé díry o hmotnosti hvězdy	10^{67} let
Odpařují se supermasivní černé díry	10^{91} let
Veškerá hmota skončí jako železo	10^{1500} let
Veškerá hmota vytváří černé díry, které se později odpaří	$10^{10^{26}}$ let

Tabulka 6.3: Odhady vzdálené budoucnosti, autorem všech kromě 2. a 7. je Freeman Dyson. Tyto výpočty provedl před objevem temné energie, která umožňuje několik typů „kosmokalypsy“ za 10^{10} – 10^{11} let. Protony mohou být zcela stabilní; pokud tomu tak není, nasvědčují výsledky experimentů, že potrvá alespoň 10^{34} let, než se rozloží polovina z nich.



Obrázek 6.9: Víme, že náš vesmír začal před zhruba 14 miliardami let žhavým velkým třeskem, potom expandoval, chladl a shlukoval své částice do atomů, hvězd a galaxií. Neznáme ale jeho konečný osud. Byly navrženy různé scénáře, mezi něž patří velký chlad (věčná expanze), velký křach (opětovný kolaps), velké roztržení (nekonečná rychlost rozpínání, která vše roztrhá), velké přetržení (když se prostor příliš roztáhne, objeví se v jeho předivu vražedná zrnitá struktura) a bubliny smrti (prostor náhle „zamrzne“ do smrtících bublin, které se budou rychlostí světa rozpínat).

paradoxu kvantové mechaniky, podle něhož se proces rozpadu zpomalí tím, že se v pravidelných intervalech provádějí pozorování. Jedna definitivní překážka by tu ovšem být mohla: *kosmokalypsa*, jež zničí celý náš vesmír, a to možná už za 10–100 miliard let ode dneška. Objev temné energie a pokrok teorie strun daly vzniknout novým kosmokalypstickým scénářům, o nichž Freeman Dyson při psaní svého zásadního článku nevěděl.

Jak tedy náš vesmír za miliardy let skončí? Podle mne existuje pět možností, jak asi bude vypadat naše budoucí kosmická apokalypsa (čili „kosmokalypsa“). Tyto možnosti jsou ilustrovány na obrázku 6.9: velký chlad (*Big Chill*), velký křach (*Big Crunch*), velké roztržení (*Big Rip*), velké přetržení (*Big Snap*) a bubliny smrti (*Death Bubbles*). Náš vesmír se rozpíná už asi 14 miliard let. Velký chlad nastane, jestliže vesmír bude expandovat navěky, čímž se rozředí do podoby chladného, temného a mrtvého místa. V době, kdy Freeman Dyson pracoval na svém článku, se tato možnost jevila jako nejpravděpodobnější varianta. Připomíná básnický obraz T. S. Eliota: „Tak takhle končí svět: velkým zklamáním.“ Pokud stejně jako Robert Frost preferujete svět, který nekončí v ledu, ale v ohni, pak držte palce teorii velkého křachu, podle níž se expanze vesmíru jednou zastaví a přejde ve smršťování, jež vyústí ve všeobecný kataklyzmatický kolaps připomínající velký třesk puštěný pozpátku. A pak je tu ještě velké roztržení vesmíru, které je cosi jako velký chlad pro nedočkavé: naše galaxie, planety, a dokonce i atomy se ve velkém finále rozervou, a to

už v dohledné době. Na který z těchto tří scénářů byste si měli vsadit? To záleží na tom, jak se bude při expanzi prostoru chovat temná energie, jež tvoří zhruba 70 % celkové hmotnosti našeho vesmíru. V závislosti na tom, jestli hustota temné hmoty zůstane neměnná, bude se zmenšovat do záporných hodnot, anebo naopak bude růst, čeká náš vesmír chlad, křach, anebo roztržení. Protože zatím netušíme, co temná energie je, řeknu vám jenom, jak bych si vsadil já: 40 % na velký chlad, 9 % na velký křach a 1 % na velké roztržení.

A na co vsadím zbylých 50 % svých peněz? Ty si schovávám pro možnost „nic z uvedeného“, protože se domnívám, že my lidé musíme být pokorní a připustit, že existují zcela fundamentální věci, o nichž ještě vůbec nic nevíme. Například o podstatě prostoru. Chlad, křach i roztržení přitom předpokládají, že prostor sám je stabilní a nekonečně roztažitelný. Kdysi jsme si mysleli, že prostor je jen nudné statické jeviště, na němž se odehrává kosmické divadlo. Pak nás Einstein poučil, že prostor je ve skutečnosti jedním z hlavních herců: dokáže se zakřivit do černých děr, dokáže se rozvlnit gravitačními vlnami a dokáže se natahovat jako expandující vesmír. A že třeba dokáže i zamrznout do nového skupenství, podobně jako voda. Tím by vznikly smrtící, rychle expandující bubliny nového skupenství prostoru. To je další divoký kandidát na kosmokalypsu. Pokud jsou bubliny smrti skutečně možné, pravděpodobně by se rozpínaly rychlostí světla, tak jako explodující koule kosmického spamu od mimořádně agresivní civilizace.

Einsteinova teorie navíc říká, že roztahování prostoru může pokračovat navěky, takže objem našeho vesmíru poroste i do nekonečna, jako v případě scénářů s velkým chladem a velkým roztržením. To zní až příliš pěkně, než aby to byla pravda, a myslím, že tak tomu také není. Obyčejná gumička vypadá pěkně spojitě, stejně jako prostor, ale když ji příliš natáhnete, tak se přetrhne. Proč? Protože je poskládána z atomů a při dostatečně velkém natažení se zrnitá atomická struktura gumičky stane podstatnou vlastností. Co kdyby i náš prostor měl podobnou zrnitost na rozměrových škálách, které jsou příliš malé na to, abychom si ji všimli? Výzkum kvantové gravitace napovídá, že na měřítkách menších než 10^{-34} metru nedává valný smysl hovořit o tradičním třírozměrném prostoru. Je-li skutečně pravda, že prostor nelze roztahovat donekonečna, aniž by došlo ke kataklyzmatickému velkému přetržení, mohly by si budoucí civilizace přát přesídlit do co největšího prostoru, který nebude expanzí tolik postižen (gravitačně svázaná skupina galaxií).

KOLIK TOHO MŮŽEME VYPOČÍTAT?

Poté, co jsme prozkoumali, jak dlouho budoucí život *může* vydržet, podívejme se nyní, jak dlouho *chtít* vydržet. Přestože se touha žít co nejdéle zdá přirozená, Freeman Dyson přišel s kvantitativním argumentem ve prospěch tohoto přání: u pomalejších výpočtů klesají náklady, pokud tedy dostatečně zpomalíte, nakonec zvládnete výpočtů více. Freeman dokonce spočítal, že jestli se vesmír bude rozpínat a ochlazovat navždy, může být dosažitelný i nekonečný počet výpočtů.

Na nízké rychlosti ale není nic špatného - v situaci, kdy život obývá simulovaný svět, nemusí jeho subjektivně vnímaný čas mít nic společného s hlemýždím tempem, jímž simulace běží ve vnějším světě. Vyhlídku na nekonečný výpočet znamená pro simulované formy života subjektivní nesmrtelnost. Kosmolog Frank Tipler na základě této myšlenky spočítal, že subjektivní nesmrtelnosti byste mohli dosáhnout v posledních okamžicích před velkým krachem tím, že spolu s prudce se zvyšující teplotou a hustotou budete výpočty urychlovat až do nekonečna.

Jelikož se zdá, že temná energie kazí vyhlídky Freemanových a Frankových snů o nekonečném výpočtu, může superinteligence dát v budoucnu přednost tomu, že spálí své zásoby energie poměrně rychle, aby se přeměnily ve výpočty dříve, než narazí na problémy jako horizont vesmíru a rozpad protonů. Jestli je nejvyšším cílem maximalizace celkových výpočtů, bude nejlepší strategií kompromis mezi přílišnou pomalostí (jež umožňuje vyhnout se výše zmíněným problémům) a přílišnou rychlostí (kdy se spotřebuje více energie, než by na výpočet bylo třeba).

Když dáme dohromady vše, co jsme si v této kapitole řekli, zjistíme, že maximálně účinné elektrárny a počítače by umožnily superinteligentnímu životu provádět neuvěřitelné množství výpočtů. K pohonu vašeho třináctiwattového mozku po dobu sta let je potřeba energie z asi půl miligramu hmoty - to je méně než běžný krystalek cukru. Práce Setha Lloyda napovídá, že mozek by se dal udělat biliardkrát energeticky účinnějším, díky čemuž by krystalek cukru mohl pohánět simulaci všech životů, které kdy lidé žili, a ještě tisíckrát více. Kdyby se dala veškerá hmota našeho vesmíru použít k simulování lidí, vystačila by na více než 10^{69} životů - nebo čehokoli, čeho by se superinteligentní AI s tímto výpočetním potenciálem zachtělo udělat. A kdyby se simulace pouštěly pomaleji, bylo by těch životů ještě více.⁹ Naproti tomu Nick Bostrom ve své knize *Superintelligence* odhaduje, že lidských životů by se dalo simulovat „jen“ 10^{58} - vychází z konzervativnějších předpokladů o energetické účinnosti. Ať už však ta čísla přearanžujeme jakkoli, pořád jsou obrovská, stejně jako naše zodpovědnost za to, že takový potenciál života bude nějakým způsobem využit, a nikoli promarněn.

Bostrom k tomu říká: „Pokud si představíme veškerou radost prožitou během jednoho takového života jako jedinou slzičku štěstí, pak štěstí těchto duší by každou vteřinu naplnilo a přeplnilo všechny oceány Země - a tak by to šlo stovku miliard miliard tisíciletí. Je opravdu důležité, abychom se postarali o to, že to budou slzy štěstí.“

KOSMICKÉ HIERARCHIE

Rychlost světla neomezuje jen šíření života, ale také jeho povahu. Silně omezuje komunikaci, vědomí i řízení. Pokud tedy značná část našeho vesmíru nakonec oživne, jaký tento život bude?

HIERARCHIE MYŠLENEK

Pokoušeli jste se někdy plácnout mouchu a nepovedlo se vám to? Dokáže reagovat rychleji než vy proto, že je menší, a tak u ní trvá kratší dobu, než se informace dostanou z očí přes mozek do svalů. Tento princip „větší = pomalejší“ neplatí pouze v biologii, kde je časový limit dán rychlostí šíření nervového vzruchu, ale je určující i pro budoucí kosmický život - pokud se žádná informace nemůže šířit rychleji než světlo. Pro inteligentní systém zpracovávající informace je to zajímavý kompromis, který má svá pro i proti. Na jednu stranu mu zvětšení umožní obsáhnout více částic, díky čemuž je schopen komplexnějších myšlenek. Na stranu druhou to zpomaluje tempo, jímž může uvažovat opravdu globálně - trvá totiž déle, než relevantní informace doputují do všech jeho částí.

Jakou formu zvolí život, pokud se rozhodne kolonizovat náš vesmír? Rychlou a jednoduchou, nebo pomalou a komplexní? Moje předpověď zní, že se rozhodne stejně jako život na Zemi: obojí! Starousedlíci zemské biosféry dorůstají ohromujícího rozpětí velikostí, od gargantuovských dvousettunových (2×10^5 kilogramových) plejtváků obrovských po miniaturní, 10^{-16} kilogramovou bakterii *Pelagibacter*, která údajně tvoří více biomasy než všechny ryby na světě dohromady. Velké, složité a pomalé organismy navíc často zmírňují svou pomalost tím, že zahrnují menší moduly, jež jsou jednoduché a rychlé. Například váš rohovkový reflex je tak bleskový právě proto, že ho realizuje malý a prostý systém, do něhož není zapojena většina vašeho mozku. Když ta těžko polapitelná moucha náhodou míří směrem k vašemu oku, mrknete během desetiny vteřiny, daleko dříve, než se relevantní informace rozšíří po vašem mozku a na vědomé úrovni vás upozorní, co se děje. Naše biosféra dokáže organizováním svého zpracování informací do hierarchie modulů dosáhnout obou krajností zároveň: uchová si jak rychlost, tak komplexnost. Tutéž strategii používáme už i my lidé, abychom optimalizovali paralelní výpočty.

Protože je dálková komunikace pomalá a nákladná, pokročilý kosmický život v budoucnu se nejspíše zachová stejně, takže výpočty budou probíhat co nejlokálněji. Je-li výpočet zvládnutelný na jednokilogramovém počítači, je kontraproduktivní zpracovávat ho na počítači o rozměrech galaxie, protože čekání na přenos informace po každém kroku výpočtu znamená kvůli rychlosti světla absurdní zpoždění asi 100 000 let na jediný krok.

Co - pokud vůbec něco - z tohoto zpracování informací bude vědomé v tom smyslu, že bude zahrnovat subjektivní prožitek, je kontroverzním a fascinujícím tématem, jímž se budeme zabývat v následující kapitole. Pokud vědomí vyžaduje, aby různé části systému mohly vzájemně komunikovat, budou myšlenky větších systémů mnohem pomalejší. Zatímco vy nebo budoucí superpočítač o velikosti Země můžete mít několik myšlenek za sekundu, mysl galaktických rozměrů by mohla mít jen jednu myšlenku za sto tisíc let. A kosmická mysl zvící miliardy světelných let by měla čas na nanejvýš tak deset myšlenek, než ji temná energie roztříští na oddělené části. Na druhou stranu ony cenné myšlenky a prožitky s nimi spojené by mohly být mimořádně hluboké!

HIERARCHIE ŘÍZENÍ

Pokud je myšlenka samotná organizovaná hierarchicky a rozprostírá se na široké škále rozměrů, jak to vypadá s mocí? V kapitole 4 jsme sledovali, jak se inteligentní entity přirozeně organizují do hierarchií moci v souladu s Nashovou rovnováhou – kdyby kterákoli entita změnila svou strategii, pohoršila by si. Čím více se komuniční a dopravní technologie vylepšují, tím větší se tyto hierarchie mohou stát. Jestli se superinteligence jednoho dne rozroste do kosmických měřítek, jaká bude její hierarchie moci? Bude decentralizovaná a neregulovaná, nebo naopak vysoce autoritářská? Bude se spolupráce zakládat především na oboustranném prospěchu, nebo na nátlaku a výhrůžkách?

Abychom na tuto problematiku vrhli trochu světla, zamysleme se nad cukrem a bičem: jaké existují pobídky ke spolupráci v kosmickém měřítku a jaké hrozby lze použít k jejich vynucení?

OVLÁDÁNÍ CUKREM

Na Zemi je tradičním motorem spolupráce *obchod*, neboť relativní obtížnost výroby různých věcí se napříč planetou liší. Pokud na jednom místě stojí vytěžení kilogramu stříbra 300krát více než vytěžení kilogramu mědi, zatímco na jiném jen 100krát více, pak na směně 200 kg mědi za 1 kg stříbra vydělají obě strany. Má-li jedna oblast mnohem vyspělejší technologii než jiná, mohou podobně obě strany mít prospěch z výměny technicky náročného zboží za suroviny.

Nicméně jestli superinteligence vyvine technologii, která snadno dokáže přeuspořádat elementární částice do zcela libovolné podoby hmoty, zmizí většina motivace pro dálkový obchod. Proč se obtěžovat s přepravou stříbra mezi vzdálenými slunečními soustavami, když se měď transmutoje na stříbro jednodušeji a rychleji tím, že přeuspořádáte částice? Proč se namáhat s posíláním vyspělých strojů mezi galaxiemi, když jsou znalosti i suroviny (postačí jakákoli hmota) dostupné na obou místech? Hádal bych, že ve vesmíru překypujícím superinteligencí budou takřka jedinou komoditou, kterou se vyplatí posílat na velké vzdálenosti, *informace*. Jedinou výjimkou může být přeprava hmoty pro projekty vesmírné infrastruktury – třeba na potlačení výše zmíněné destruktivní tendence temné energie, která trhá civilizace na kusy. Na rozdíl od tradičního lidského obchodu lze tuto hmotu přepravovat po libovolně dělitelných částech, snad i jako paprsky energie, protože ty může superinteligence na příjmu bleskurychle přeuspořádat do libovolného tělesa.

Pokud se sdílení informací a obchodování s nimi ukáže jako hlavní hybatel kosmické spolupráce, o jaký druh informací se bude jednat? Cenná bude jakákoli informace, jejíž získání vyžaduje masivní a časově náročné výpočetní procesy. Superinteligence může dejme tomu chtít odpovědi na komplikované vědecké otázky týkající se podstaty fyzikální reality, na těžké matematické otázky ohledně teorie i optimálních algoritmů, obtížné konstrukční problémy při tvorbě převratných technologií. Hědonistické formy života mohou bažit po špičkové digitální zábavě

a simulovaných zážitcích, zatímco kosmický obchod může podněcovat poptávku po nějakém druhu vesmírné kryptoměny na způsob bitcoinů.

Takové příležitosti ke sdílení mohou motivovat tok informací nejen mezi entitami přibližně stejně silnými, ale také ve směru nahoru a dolů v hierarchii moci - například mezi uzly velikosti Sluneční soustavy a hlavním uzlem galaxie nebo mezi uzly o rozměru galaxie a vesmírnou centrálou.

Podřízené uzly za to mohou čerpat potěšení, že jsou součástí něčeho většího - a mimoto budou zásobovány informacemi a technologiemi, které by samy nedokázaly vyvinout, případně získají i ochranu před vnějšími hrozbami. Mohou si také cenit praktické nesmrtelnosti prostřednictvím backupu. Tak jako se řada lidí utěšuje vírou, že jejich mysl budou žít i po smrti jejich fyzických těl, může umělá inteligence oceňovat, že její mysl a znalosti budou existovat v superpočítači centrálního uzlu i poté, co její původní fyzický hardware vyčerpá své zásoby energie.

Centrální uzel může naopak zase chtít, aby mu podřízené uzly pomáhaly se zdoluhavými výpočetními úkoly, u nichž nejsou výsledky urgentní a vyplatí se počkat si na odpovědi tisíce nebo miliony let. Také jsme už viděli, že centrum může po svých uzlech vyžadovat, aby mu pomáhaly realizovat rozsáhlé projekty vesmírné infrastruktury, které by vyvážily destruktivní působení temné hmoty přesunem galaktické hmoty do menšího prostoru. Pokud se prokáže, že červí díry mohou být stabilní a že je lze vytvořit, stane se hlavní prioritou takového centrálního uzlu pravděpodobně výstavba jejich sítě, jež by zhatila plány temné energie a civilizace zůstala propojená navěky. Fascinujícími a kontroverzními otázkami, jaké nejvyšší cíle by mohla mít vesmírná superinteligence, se budeme blíže zabývat v kapitole 7.

OVLÁDÁNÍ BIČEM

Pozemská impéria obvykle nutí své podřízené ke spolupráci metodou cukru i biče současně. Poddaní Římské říše si sice cenili technologií, infrastruktury a obrany, které jim nabízel za spolupráci, současně se ale báli neblahých následků, které by přineslo povstání či neplacení daní. Jelikož vyslání jednotek z Říma do odlehlých provincií vyžadovalo mnoho času, delegovala se část zastrašování na místní vojenské posádky a oddané úředníky, kteří měli pravomoc udílet takřka okamžité tresty. Superinteligentní centrální uzel by se mohl uchýlit k obdobné strategii a rozeslat po svém kosmickém impériu síť věrných strážců. Protože superinteligentní poddaní se kontrolují obtížně, může být nejjednodušší proveditelnou strategií použít strážce s umělou inteligencí, kteří jsou naprogramováni, aby byli naprosto loajální, ovšem za cenu, že budou relativně hloupí. Jednoduše budou sledovat, jestli se dodržují všechna pravidla, a pokud ne, automaticky spustí řízené kataklyzma.

Předpokládejme třeba, že AI centrálního uzlu zařídí, aby se do blízkosti sluneční soustavy s civilizací, kterou hodlá ovládat, dostal bílý trpaslík - tedy vyhořelý zbytek nepřiliš hmotné hvězdy, který se skládá převážně z uhlíku, na obloze se podobá obrovskému diamantu a je tak kompaktní, že může vážit více než Slunce, přestože svými rozměry nedosahuje ani velikosti Země. Indický fyzik Subrahmanyan

Chandrasekhar proslul důkazem, že když bílému trpaslíkovi dodáte hmotu tak, aby překročil *Chandrasekharovu mez* (přibližně 1,4násobek hmoty našeho Slunce), nastane kataklyzmatický termonukleární výbuch známý jako supernova typu Ia. Pokud AI centrálního uzlu zařídí, aby byl tento bílý trpaslík dost blízko své Chandrasekharově mezi, může být lokální AI v roli strážce velmi efektivní, i kdyby byla výjimečně tupá (a vlastně převážně proto). Lze ji naprogramovat, aby jen ověřovala, zda podrobená civilizace dodala svou měsíční kvótu kosmických bitcoinů, matematických důkazů nebo čehokoli, v čem odvádí své daně, a pokud nedodá, AI prostě do bílého trpaslíka vhodí dost hmoty, aby vzplanul jako supernova a celou oblast spálil na prach.

Civilizace galaktických rozměrů lze kontrolovat podobným způsobem. Na blízké oběžné dráhy okolo obří černé díry v jejím středu centrála umístí velké množství objektů s vysokou hustotou a pohrozí, že jejich hmotu přemění na plyn – například srážkou. Tento plyn by pak začal „krmit“ černou díru a proměnil ji v silný kvazar, čímž by se velká část galaxie mohla stát neobyvatelnou.

Lze tedy říct, že existují silné motivy, proč by měl život v budoucnu spolupracovat napříč vesmírem, otevřená ale zůstává otázka, jestli by se tato spolupráce zakládala na oboustranných výhodách nebo na brutálních výhrůžkách. Fyzikální hranice patrně umožňují oba scénáře, výsledek proto bude záviset na převládajících cílech a hodnotách. Možnosti, jak tyto cíle a hodnoty budoucího života ovlivnit, rozebereme v kapitole 7.

KDYŽ SE CIVILIZACE STŘETNOU

Zatím jsme analyzovali jen scénáře, v nichž život expanduje do našeho vesmíru z jediné inteligenční exploze. Co se však stane, pokud se život vyvíjí nezávisle na sobě na více než jednom místě a dvě civilizace se potkají?

Když uvažujete náhodnou sluneční soustavu, existuje jistá pravděpodobnost, že se na jedné z jejích planet vyvine život, vytvoří vyspělou technologii a bude expandovat do vesmíru. Zdá se, že tato pravděpodobnost je vyšší než nula, jelikož technologický život se vyvinul i tady v naší Sluneční soustavě a fyzikální zákony podle všeho osidlování vesmíru umožňují. Je-li vesmír dostatečně velký (a inflační teorie skutečně naznačuje, že je obrovský, ne-li nekonečný), pak tu bude mnoho rozpínajících se civilizací, jak ukazuje obrázek 6.10. Výše zmíněný článek Jaye Olsona obsahuje elegantní analýzu takto expandujících kosmických biosfér a Toby Ord s kolegy z Institutu budoucnosti lidstva (Future of Humanity Institute) provedl podobný rozbor. Z třírozměrného pohledu se tyto kosmické biosféry doslova jeví jako sféry. Pokud civilizace expandují do všech směrů stejnou rychlostí, v prostoročasovém diagramu vypadají jako vršek sklenice na šampaňské na obrázku 6.7 – temná energie totiž nakonec omezí, na kolik galaxií může která civilizace dosáhnout.

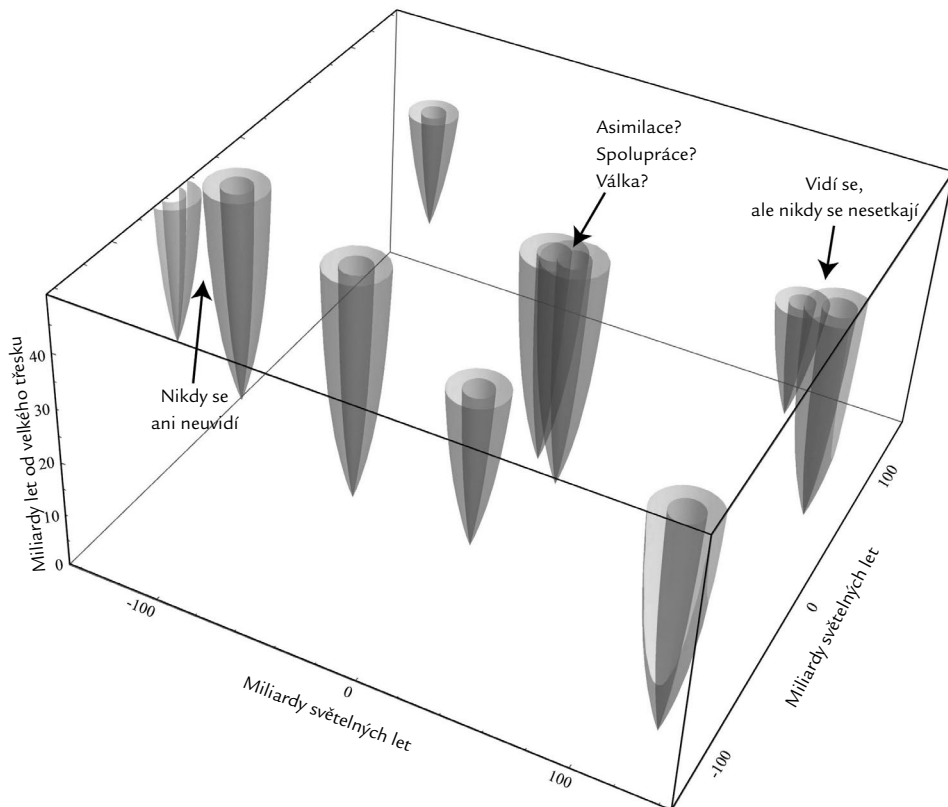
Pokud je vzdálenost mezi sousedními kolonizujícími civilizacemi mnohem větší, než kam jim temná energie dovolí se rozpínat, nikdy spolu nenavážou kontakt, dokonce se ani navzájem nedozvědí o své existenci, a tak mohou mít pocit, že jsou

ve vesmíru sami. Je-li ale náš vesmír plodnější a sousedé se nacházejí blíže k sobě, nakonec se některé civilizace setkají. Co se stane v těchto oblastech překryvu? Dojde ke spolupráci, soupeření, nebo válce?

Evropané dokázali dobýt Afriku a obě Ameriky díky své pokročilejší technologii. Zde se nicméně zdá pravděpodobné, že dlouho před tím, než se spolu setkají dvě superinteligentní civilizace, ustálí se jejich technologie na téže úrovni, omezení jim budou klást jedině fyzikální zákony. Nevypadá to tedy, že by si jedna superinteligence mohla snadno podmanit druhou, ani kdyby chtěla. Navíc pokud se jejich cíle vyvinuly tak, že jsou si poměrně blízké, nemusejí mít důvod přát si podrobení té druhé. Například pokud obě usilují o nalezení důkazů co největšího počtu krásných matematických vět a vymyšlení co možná nejefektivnějších algoritmů, mohou se podělit o svá zjištění a obě strany na tom vydělají. Koneckonců informace se velmi liší od zdrojů, o něž lidé většinou bojují: můžete je někomu předat a přitom vám zůstanou.

Některé expandující civilizace mohou mít cíle, které jsou prakticky nezměnitelné, tak jako cíle fundamentalistických sekt nebo cíle virové nákazy. Je ale také dost dobře možné, že některé vyspělé civilizace budou otevřenější novým myšlenkám než lidé a tváří v tvář pádným argumentům své cíle ochotně uzpůsobí. Když se dvě takové civilizace setkají, nebude to střetnutí zbraní, ale idejí, kde zvítězí ten přesvědčivější. Jeho cíle se potom budou šířit rychlostí světla po území, které ovládá druhá civilizace. Asimilace sousedů je rychlejší strategií expanze než osidlování, neboť vaše sféra vlivu se může rozšiřovat rychlostí, jíž se šíří myšlenky (tedy rychlostí světla), zatímco fyzické osidlování nutně postupuje rychlostí značně podsvětelnou. Tato asimilace nemusí být násilná, jakou uplatňovali nechvalně známí borgové ve *Star Treku*, nýbrž dobrovolná, založená na převaze idejí, přičemž si asimilovaná strana polepší.

Viděli jsme, že vesmír může v budoucnu obsahovat překotně expandující bubliny dvou druhů: jednak rozrůstající se civilizace, jednak ony bubliny smrti, které se šíří rychlostí světla a činí vesmír neobyvatelným tím, že ničí všechny elementární částice. Ambiciózní civilizace se tak může setkat se třemi druhy oblastí: s neobydlenými, s bublinami života a s bublinami smrti. Pokud se obává nespolupracujících soupeřících civilizací, je silně motivována ke spuštění bleskového „zábory země“ a osídlení neobydlené oblasti dříve, než tak učiní její konkurenti. Týž expanzionistický stimul by ovšem měla, i kdyby žádné jiné civilizace neexistovaly, jednoduše proto, aby získala zdroje, než je temná energie dostane mimo její dosah. Právě jsme sledovali, jak srážka s jinou expandující civilizací může být lepší i horší, než když se setkáte s neobydleným prostorem. Záleží na tom, jak kooperativní a otevřený novým myšlenkám onen soused je. Je ale lepší narazit na jakoukoli rozpínavou civilizaci (dokonce i takovou, která se snaží změnit vaši civilizaci na kancelářské sponky) než na bublinu smrti, která se bude dál zvětšovat rychlostí světla bez ohledu na to, jestli s ní budete bojovat nebo se domlouvat. Naši jedinou ochranou před bublinami



Obrázek 6.10: Pokud se život nezávisle vyvíjí na mnoha místech prostoročasu (místech a časech) a začne osidlovat vesmír, bude vesmír obsahovat síť rozpínajících se kosmických biosfér, které se všechny budou podobat vrchní části sklenice na šampaňské z obrázku 6.7. Spodek každé biosféry představuje místo a čas začátku kolonizace. Neprůhledný a průhledný kužel odpovídají kolonizaci 50 % a 100 % rychlosti světla, překryvy ukazují, kde se nezávislé civilizace potkávají.

smrti je temná energie, která těm vzdáleným zabraňuje, aby se k nám někdy dostaly. Pokud jsou bubliny smrti častým fenoménem, pak není temná energie náš nepřítel, ale naopak spojenec.

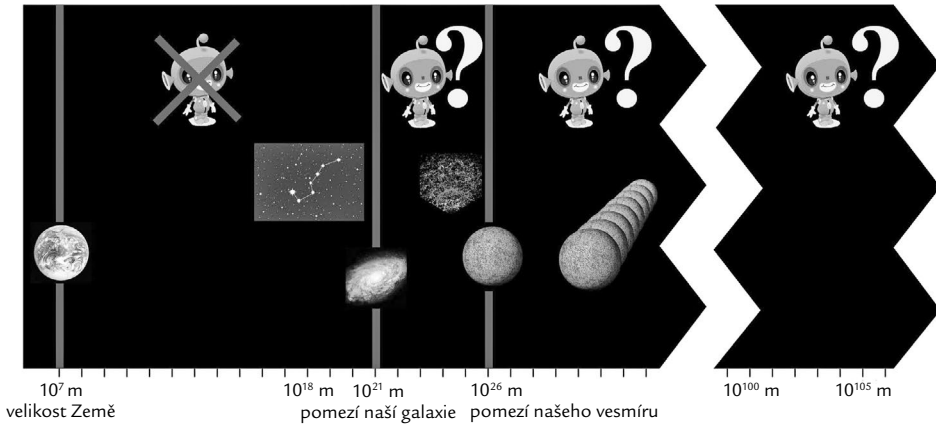
JSME SAMI?

Mnoho lidí pokládá za samozřejmé, že ve značné části našeho vesmíru existují pokročilé formy života, a že proto z kosmického pohledu příliš nezáleží na tom, zda lidstvo vymře. Proč bychom si vlastně měli dělat starosti se svým vyhlazením, když sem nějaká civilizace jako ze *Star Treku* stejně brzy vtrhne a znovu v naší Sluneční soustavě zaseje život? Možná dokonce použije svou vyspělou technologii k tomu, aby nás zrekonstruovala a opět oživila? Tuto startrekovskou domněnku považují

za nebezpečnou, protože nás může ukolébat do falešného pocitu bezpečí a změnit naši civilizaci na apatickou a lehkomyšlnou. Předpoklad, že ve vesmíru nejsme sami, je podle mne nejen nebezpečný, ale pravděpodobně také chybný.

Je to menšinový názor* a klidně se mohou mýlit, ale přinejmenším je to možnost, kterou v této chvíli musíme brát v úvahu. Proto máme morální povinnost chovat se bezpečně a svou civilizaci k zániku nedovést.

Na přednáškách o kosmologii obvykle vyzývám posluchače, aby zvedl ruku každý, kdo si myslí, že někde jinde v našem vesmíru (v té části vesmíru, odkud k nám za oněch 13,8 miliardy let od velkého třesku dorazilo světlo) existuje inteligentní život.** Spolehlivě ji zvednou skoro všichni, ať už jsou to děti v mateřské školce nebo univerzitní studenti. Zeptám-li se proč, hlavní odpovědí bývá zpravidla argument, že prostor je tak obrovský, že někde nějaký život být musí, už kvůli statistice. Podívejme se na tento argument podrobněji a ukažme si jeho slabiny.



Obrázek 6.11: Jsme sami? Ohromná nejistota ohledně vývoje života a inteligence naznačuje, že vzdálenost k nejbližší civilizaci se může nacházet prakticky kdekoli na vodorovné ose, takže je dosti nepravděpodobné, že by ležela zrovna mezi pomezím naší galaxie (zhruba 10^{21} metrů od nás) a hranicí našeho vesmíru (zhruba 10^{26} metrů). Kdyby se nacházela blíže než 10^{21} metrů, pak by jenom v naší galaxii existovalo tolik pokročilých civilizací, že bychom si jich už všimli, z čehož asi plyne, že jsme v našem vesmíru nejspíše osamoceni.

Všechno to záleží na jediném čísle: typické vzdálenosti mezi civilizacemi z obrázku 6.10. Kdyby to bylo více než 20 miliard světelných let, je to pro nás stejně, jako bychom byli ve vesmíru sami a do styku s mimozemšťany nikdy nepřijdeme.

* Ovšem John Gribbin dochází ve své knize z roku 2011 *Sami ve vesmíru (Alone in the Universe)* k téměř závěru. Kvůli širokému spektru fascinujících pohledů na tuto otázku také doporučuji knihu Paula Daviese *Podivné ticho*, která také vyšla v roce 2011.

** Max Tegmark: *Matematický vesmír. Moje pátrání po nehlubší podstatě reality*. Přel. Jiří Podolský. Praha: Argo/Dokořán, 2016, s. 342.

Jaká je však tato vzdálenost doopravdy? Nemáme ani tušení. Řekněme, že vzdálenost od našich sousedů je v řádu 1 000 ... 000 metrů, kde celkový počet nul může být 21, 22, ..., 101, 102 nebo více. Pravděpodobně však nebude nižší než 21, protože to bychom jen v naší galaxii museli mít tisíce sousedů a dosud jsme žádný přesvědčivý důkaz o existenci mimozemského života neviděli (viz obrázek 6.11). Aby se nejbližší sousední civilizace nacházela uvnitř našeho vesmíru (o poloměru asi 10^{26} metrů), nemůže počet nul přesáhnout 26, a tak je poměrně nízká pravděpodobnost, že se počet nul vměstná do úzkého intervalu mezi 21 a 26. Proto se domnívám, že jsme v našem vesmíru nejspíše osamoceni.

Tento argument je podrobně rozveden v mé knize *Matematický vesmír* a nebudeme ho zde dál rozebírat, ale hlavním důvodem, proč o vzdálenosti od sousedů nic nevíme, je skutečnost, že nemáme jediné vodítko, jaká je pravděpodobnost vzniku inteligentního života na daném místě. Jak upozornil americký astronom Frank Drake, tuto pravděpodobnost lze spočítat jako součin pravděpodobnosti, že v onom místě je obyvatelné prostředí (například vhodná planeta), s pravděpodobností, že se tam vyvinul život, a dále s pravděpodobností, že se tento život vyvinul až do inteligentní formy. Když jsem byl ještě student, nebyly o těchto třech pravděpodobnostech vůbec žádné relevantní údaje. V posledních dvou desetiletích však došlo k fascinujícím objevům planet obíhajících jiné hvězdy, a nyní se tedy zdá, že obyvatelných planet je vysoké množství: jenom v naší vlastní galaxii jich mohou být miliardy. Pravděpodobnosti vzniku života a vývoje inteligence však zůstávají nadále krajně nejisté. Někteří odborníci se domnívají, že jedno i druhé je víceméně nevyhnutelné, takže inteligenci najdeme na většině obyvatelných planet, zatímco jiní si myslí, že jedno či druhé je extrémně vzácný jev, a to kvůli řadě evolučních překážek, jejichž překonání vyžaduje velmi šťastnou shodu okolností. Některé z těchto překážek se týkají otázky „vejce či slepice“ v počátečních stadiích sebereprodukujícího se života. Aby například moderní buňka produkovala ribozom, velmi složitý molekulární stroj, jenž čte náš genetický kód a syntetizuje z něj naše bílkoviny, potřebuje jiný ribozom, a není vůbec zřejmé, zda se úplně první ribozom mohl vyvinout postupně z něčeho jednoduššího. Jiné překážky se týkají vzniku vyšší inteligence. Například dinosauři obývali Zemi více než 100 milionů let, tedy tisíckrát déle než my moderní lidé, evoluce je však nijak výrazně neposunula směrem k vyšší inteligenci, takže dalekohledy ani počítače nevymysleli.

Někteří na tento argument namítají, že inteligentní život by pravda *mohl* být velmi vzácný, ale ve skutečnosti tak zřídka není - naše galaxie překypuje inteligentním životem, kterého si prostě obyčejní vědci nevšímají. Možná už mimozemšťané Zemi navštívili (tvrdí UFO nadšenci). Možná mimozemšťané na Zemi ještě nezavítali, ale někde tam venku jsou a záměrně se před námi skrývají (tu myšlenku nazýval americký astronom John A. Ball „hypotéza zoo“ a figuruje v klasických sci-fi, jako například v knize *Star Maker* Olafa Stapledona). Možná se ani neskrývají, jen je nezajímá osidlování vesmíru ani velké projekty, kterých bychom si všimli.

Samozřejmě si musíme udržet otevřenou mysl i vůči těmto možnostem, ale jelikož neexistuje žádný obecně přijímaný důkaz žádné z nich, musíme brát vážně i jejich alternativu, že jsme sami. Navíc bychom neměli podceňovat rozmanitost vyspělých civilizací a předpokládat, že všechny sdílejí stejné cíle, kvůli nimž zůstávají nepovšimnuti. Už jsme viděli, že získávání zdrojů je pro civilizaci poměrně přirozeným cílem a že bychom si ho všimli. Stačí, aby se *jediná* civilizace rozhodla otevřeně osídlit vše, co půjde, aby zaplavila celou galaxii a pokračovala ještě dál. V naší galaxii existují miliony obyvatelných planet podobných Zemi, které jsou o miliardy let starší než Země, a jejich ambiciózní obyvatelé by tedy měli dostatek času galaxii osídlit, a proto nemůžeme zavrhnout nejjednodušší vysvětlení: prostě že vznik života vyžaduje šťastnou shodu okolností, která je tak nepravděpodobná, že jsou všechny neobydlené.

Pokud život přece jen výjimečný *není*, brzy se to dozvíme. Ambiciózní astronomické průzkumy hledají v atmosférách planet podobných Zemi důkazy o přítomnosti volného kyslíku, který by byl nejspíše vytvořen životem. Souběžně s tímto hledáním *jakéhokoli* života podpořil nedávno částkou 100 milionů dolarů ruský filantrop Jurij Milner hledání *intelligentního* života v projektu „Breakthrough Listen“.

Při pátrání po vyspělém životě je důležité nebýt přehnaně antropocentrický: pokud objevíme mimozemskou civilizaci, pravděpodobně už bude superinteligentní. Martin Rees to nedávno ve svém eseji formuloval následovně: „Dějiny lidské technologické civilizace se počítají na staletí – a může trvat jen sto či dvě stě let, než lidi předstihne nebo překročí anorganická inteligence. Ta pak přetrvá a bude se dál vyvíjet po miliardy let. ... S mizivou pravděpodobností bychom ji ‚zastihli‘ v tom krátkém okamžiku, kdy měla organickou formu.“¹¹ Osobně souhlasím se závěrem Jaye Olsona z výše zmíněného článku o kolonizaci vesmíru: „Možnost, že pokročilá inteligence bude využívat zdroje vesmíru k tomu, aby jednoduše osídlila stávající planety podobné Zemi vyspělejšími verzemi lidí, považujeme za nepravděpodobný výsledek technologického vývoje.“ Když si tedy představujete mimozemšťany, nemyslete na malé zelené mužíčky se dvěma rukama a dvěma nohama, ale raději na superinteligentní život cestující vesmírem, jímž jsme se zabývali v této kapitole.

Ačkoli velmi podporuji všechny probíhající projekty na hledání mimozemského života, které vrhají světlo na jednu z nejvíce fascinujících otázek vědy, tajně doufám, že do jednoho selžou a nic neobjeví. Zjevný rozpor mezi nezměrným množstvím obyvatelných planet v naší galaxii a absencí mimozemských návštěvníků (známý jako *Fermiho paradox*) naznačuje existenci toho, co ekonom Robin Hanson nazývá „velký filtr“, což je evoluční či technologická překážka kdesi na vývojové cestě od neživé hmoty k životu kolonizujícímu vesmír. Jestli někde jinde objevíme život, který se vyvinul nezávisle, naznačovalo by to, že primitivní život není nic vzácného a že se ona překážka nalézá za současným stupněm vývoje lidstva. Možná je jí fakt, že je osídlování vesmíru nemožné, nebo téměř všechny vyspělé civilizace zničí samy sebe, než se vůbec mohou dostat dál do kosmu. Proto doufáme, že žádné hledání mimozemského života nebude úspěšné. Bylo by to konzistentní se scénářem, podle

něhož je vznik inteligentního života vzácný jev, ale my lidé jsme měli štěstí, překážka už je za námi, a tak máme před sebou neobyčejnou budoucnost.

VÝHLED

Dosud jsme popisovali historii života v našem vesmíru od jeho skromných počátků před miliardami let až po velkolepou budoucnost za miliardy let od této chvíle. Pokud náš současný vývoj umělé inteligence nakonec zažehne inteligenční explozi a optimalizovanou kolonizaci vesmíru, bude to exploze vsutku kosmická. Po miliardách let strávených coby takřka zanedbatelně malá odchylka ve lhostejném vesmíru bez života náhle život „exploduje“, vtrhne na kosmické jeviště jako sférická tlaková vlna, která se rozpíná bezmála rychlostí světla, nikdy nezpomaluje a zapaluje vše, co jí přijde do cesty, jiskrou života.

Takto optimistické názory na význam života v naší budoucnosti vesmíru elegantně formulovala řada myslitelů, s nimiž jsme se v této knize setkali. Jelikož autoři sci-fi bývají často přehlíženi jako nerealističtí a romantičtí snílci, je ironické, že většina vědecko-fantastické a vědecké literatury o kolonizaci vesmíru se nyní ve světle superinteligence jeví jako příliš *pesimistická*. Například jsme viděli, o kolik se mezigalaktické cestování zjednoduší, jakmile půjde lidi i jiné inteligentní entity přenášet v digitální podobě. Teoreticky to z nás může učinit pány našeho osudu nejen v naší Sluneční soustavě nebo v galaxii Mléčné dráhy, ale dokonce i v celém kosmu.

Již dříve jsme zvažovali velmi reálnou možnost, že jsme jedinou technologicky vyspělou civilizací v našem vesmíru. Věnujme zbytek této kapitoly zkoumání tohoto scénáře a obrovské morální odpovědnosti, kterou to přináší. Znamená to, že po 13,8 miliardy let dospěl život v našem vesmíru na rozcestí a stojí před volbou, zda vzkvétat po celém kosmu, nebo vyhnout. Pokud nebudeme neustále vylepšovat svou technologii, nezní otázka, *zda* lidstvo vymře, nýbrž *jak* k tomu dojde. Co nás dostane dříve? Asteroid, supervulkán, spalující žár stárnoucího Slunce, nebo nějaká jiná katastrofa (obrázek 5.1)? Až zmizíme, bude se vesmírné drama předpovězené Freemanem Dysonem odvíjet bez diváků - nastane kosmokalypsa, hvězdy vyhoří, galaxie zaniknou a černé díry se vypaří nebo zakončí svou existenci obrovským výbuchem. Jak napsal: „Chladný rozpínající se vesmír bude velmi dlouho osvětlován občasnými ohňostroji.“ Žel tyto ohňostroje budou nesmyslným plýtváním, protože nebudou mít žádného diváka.

Bez technologie je záhuba lidstva bezprostřední hrozbou - v kosmickém měřítku desítek miliard let - a celé drama života v našem vesmíru se tak stává jen krátkým a prchavým zábleskem krásy, zánícení a smyslu ve věčnosti beze smyslu a diváků. Jak promarněná příležitost by to byla! Když se místo vyhýbání technologii rozhodneme ji přijmout, vyjdeme z toho lépe - získáme totiž obrovský potenciál k přežití a prosperitě. Na druhé straně ovšem také k tomu, aby život zanikl ještě dříve, neboť zničí sám sebe vinou špatného plánování (obrázek 5.1). Já osobně hlasuji pro

přijetí technologie a současně pro to, abychom nepostupovali se slepou vírou v to, co vytvoříme, ale obezřetně, prozíravě a s pečlivě promyšlenými plány.

Po 13,8 miliardy let kosmických dějin se nacházíme ve vesmíru, který svou krásou vyráží dech, ve vesmíru, který díky nám lidem ožil a začal si uvědomovat sám sebe. Viděli jsme, že možná budoucnost života v našem vesmíru je velkolepější než ty nejdivočejší sny našich předků, zároveň je tu ale i stejně reálná možnost, že inteligentní život navždy zanikne. Naplní život v našem vesmíru svůj potenciál, nebo ho prohýří? To do značné míry záleží na tom, co my dnešní lidé během svého života uděláme. Optimisticky věřím, že pokud učiníme ta správná rozhodnutí, můžeme zařídit, aby budoucnost života byla vskutku skvělá. Co bychom měli chtít a jak těchto cílů dosáhnout? Věnujme zbytek knihy zkoumání některých výzev, které s tím souvisí, a způsobů, jak si s nimi poradit.

SHRNUTÍ ZÁKLADNÍCH FAKTŮ:

- Ve srovnání s časovým rámcem vesmíru - v řádu miliard let - je inteligenční exploze náhlou událostí, po níž se technologie rychle ustálí na úrovni, jejíž hranice je dána fyzikálními zákony.
- Tato ustálená úroveň technologie je nesrovnatelně vyšší než technologie dnešní. Bude dovolovat, aby určité množství hmoty generovalo asi desetmiliardkrát více energie (díky sfaleronům nebo černým děrám), uchovávalo o 12-18 řádů více informací nebo počítalo o 31-41 řádů rychleji - nebo aby ona hmota byla přeměněna na libovolnou jinou formu hmoty.
- Superinteligentní život by tak nejen o poznání účinněji využíval své existující zdroje, ale také by mohl zvětšit dnešní biosféru o přibližně 32 řádů tím, že získá další zdroje kolonizací vesmíru, jež může probíhat bezmála rychlostí světla.
- Temná energie omezuje vesmírnou expanzi superinteligentního života a přitom ho chrání před vzdálenými rozpínajícími se bublinami smrti i před nepřátelskými civilizacemi. Hrozba, že temná energie roztrhává velké kosmické civilizace na menší části, je motivací k obrovským projektům vesmírné infrastruktury, k nimž patří mimo jiné vytváření červích děr (pokud se ukáže, že je to proveditelné).
- Hlavní komoditou, s níž se bude obchodovat napříč vesmírem, patrně budou informace.
- Odhlédneme-li od červích děr, představuje omezení rychlosti komunikace na rychlost světla náročné výzvy pro koordinaci a kontrolu v rámci kosmické civilizace. Vzdálený centrální uzel může motivovat své superinteligentní podřízené „uzly“ ke spolupráci buď odměňováním, nebo výhrůžkami. Může třeba vyslat lokální AI, která bude naprogramována ke zničení podřízeného uzlu odpálením supernovy nebo kvazaru, pokud nebude dodržovat pravidla.
- Setkání dvou rozpínajících se civilizací může skončit asimilací, spoluprací nebo válkou, přičemž poslední varianta je méně pravděpodobná než v případě dnešních civilizací.
- Navzdory populární představě je naopak dost dobře možné, že jsme jedinou formou života schopnou vnuknout v budoucnu život našemu pozorovatelnému vesmíru.

- Pokud svou technologii nevylepšíme, nezní otázka, *zda* lidstvo zanikne, ale *jak* k tomu dojde. Dostane nás dříve asteroid, supervulkán, spalující žár stárnoucího Slunce nebo nějaká jiná katastrofa?
- Pokud svou technologii skutečně budeme vylepšovat s dostatečnou péčí a prozíravostí a budeme plánovat tak, abychom se vyhnuli skrytým nástrahám, má život potenciál vzkvétat na Zemi i daleko od ní po mnoho miliard let, přičemž překoná i ty nejdivočejší sny našich předků.