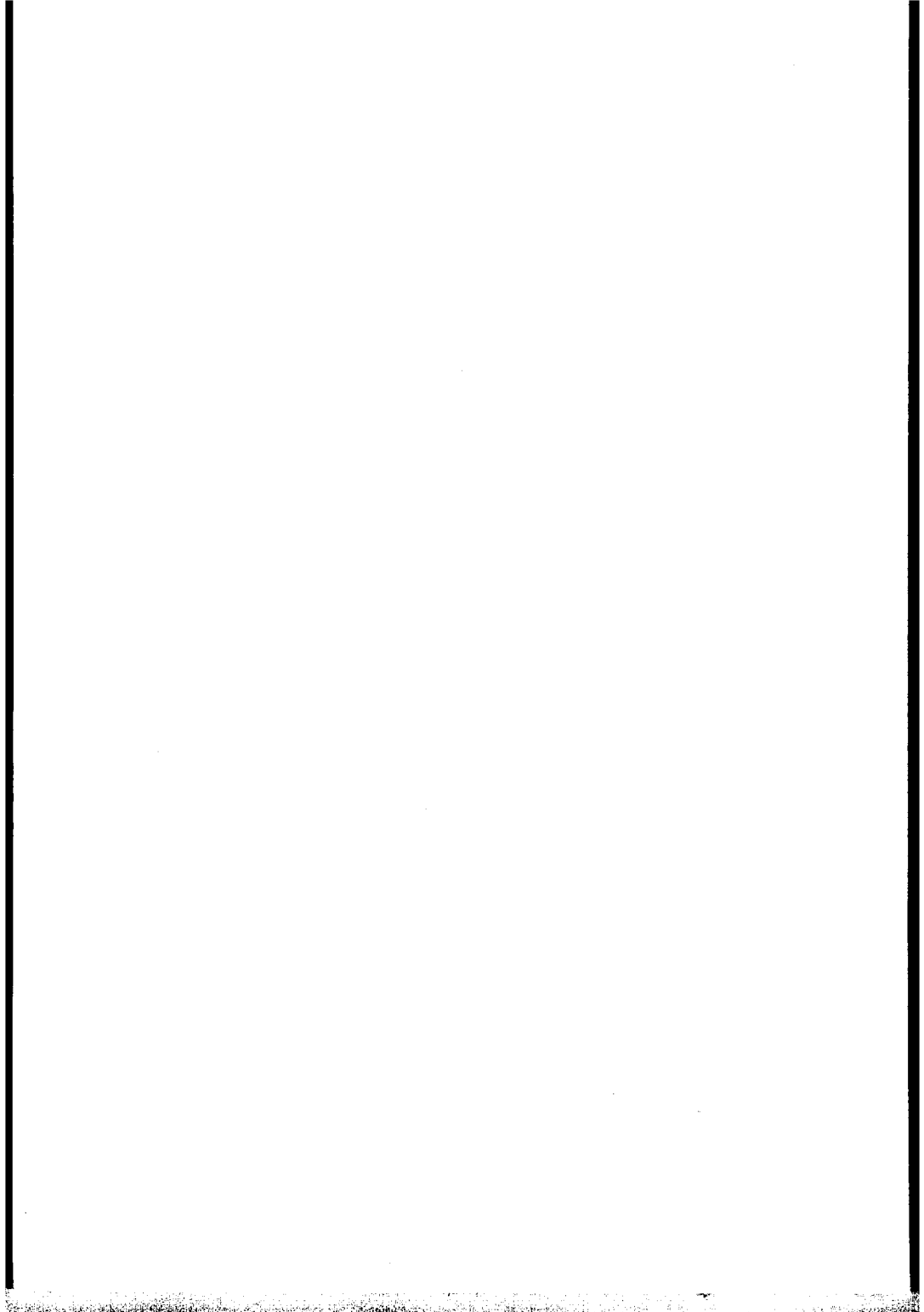




KOSMICKÉ ROZHLEDY

ROČNÍK 23 (1985) ČÍSLO 2

NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV



KOSMICKÉ ROZHLEDY, neperiodický věstník Československé astronomické společnosti při Československé akademii věd

ročník 23 (1985) číslo 2

Rozhovor pro Kosmické rozhledy s členem korespondentem

ČSAV M. Kopeckým z AsÚ ČSAV

1. Jaké je současné postavení astronomie v oblasti poznání a společenské praxi?

Astronomie a astrofyzika jsou neoddělitelnou součástí celého komplexu přírodních věd, celé přírodovědy. Z toho také vyplývá vztah astronomie a astrofyziky k ostatním přírodovědním oborům, k jejich výsledkům a k jejich poznávacímu procesu.

Astronomie a astrofyzika ve svém poznávacím procesu využívají poznatků a metod ostatních přírodních věd, především nejrůznějších oblastí fyziky (Fyzika plazmatu, elementárních částic, radiofyziky, relativistické fyziky atd.), ale i geografiky, geodézie a pod.

Naproti tomu ostatní oblasti přírodovědy využívají poznatků astronomie a astrofyziky pro svůj vlastní rozvoj, a to až již přímo, kdy vycházejí z poznatků našich oborů, nebo kdy určité objevy astronomie, a v současné době především astrofyziky, nebo rozvoj určité oblasti astronomie a astrofyziky se stávají impulsem pro rozvoj některé oblasti ostatní přírodovědy. Jako příklad můžeme uvést třeba současnou kosmologii nebo relativistickou astrofyziku, jejichž význam pro současnou fyziku je nepopíratelný. Často pak dochází ke vzniku vlastně nové hraniční oblasti mezi astronomií nebo astrofyzikou a jinou vědní oblastí, kde už konec konců lze těžko říci, zda tato oblast je oblastí astronomie nebo jiného vědního oboru. Tak je tomu vlastně u již vzpomenuté relativistické astrofyziky nebo kosmologie, ale i u fyziky vztahů Slunce-Země u studia vysokých vrstev zemské atmosféry pomocí drah umělých družic Země, kosmické geodézie a pod.

Astronomie a astrofyzika se tedy rozvíjejí jako neodlučitelná součást přírodovědy. A tak jak nemůže astronomie a astrofyzika existovat bez celé přírodovědy, nemohou přírodní vědy existovat bez astronomie a astrofyziky. Rozvoj poznání v oblasti astronomie a astrofyziky je organickou součástí roz-

voje poznání celé přírodovědy.

Pokud se týká významu astronomie a astrofyziky pro společenskou praxi, je třeba především zdůraznit, že uplatnění astronomických poznatků ve společenské praxi probíhá v podstatě dvěma cestami.

První z nich je, abychom tak řekli, přímá cesta. Zde se jedná o poznatky nebo oblasti výzkumu, jejichž dopad ve společenské praxi je nablédni. Tak je to např. oblast vlivů sluneční činnosti na procesy probíhající na Zemi a s tím související problematika prognóz sluneční činnosti. Je to oblast určování, konservace a distribuce přesného času. Značný bezprostřední význam pro společenskou praxi má přesné určování drah umělých družic Země, včetně právních aspektů. Rovněž některá technická řešení, vyvinutá v souvislosti s vývojem astronomických přístrojů, ať již pro umělé družice Země nebo pro pozemská pozorování a zpracování pozorování, mohou nalézt uplatnění buď v jiných vědních oblastech nebo přímo ve společenské praxi.

Druhou cestou uplatnění astronomických poznatků ve společenské praxi je "transformace" těchto poznatků přes ostatní přírodní a technické vědy, kdy si často ani neuvědomujeme, že na počátku všeho stála astronomie a astrofyzika. Z historie můžeme např. uvést objev helia nebo zářivky, které ve své podstatě byly zkonstruovány na základě poznatků o záření řídkých hvězdných atmosfér. Konec konců celá kosmonautika, využívání umělých družic Země pro společenskou praxi, stojí na poznatech astronomie - od Kopernikova heliocentrického systému přes Keplerovy a Newtonovy zákony až k moderní nebeské mechanice.

Které ze současných poznatků astronomie a astrofyziky naleznou uplatnění ve společenské praxi touto cestou, cestou transformace přes ostatní přírodní a technické vědy, to dnes nemůžeme říct. To je proces, který může trvat desítky, ale i stovky let, než daný astronomický poznatek, doplněný poznatky ostatních vědních oborů a rozvojem technických možností, nalezne bezprostředního praktického použití v životě člověka. Zde je to otázka dozrání času.

V tomto případě se vlastně jedná o hlavní úkol základního výzkumu: přinášet nové poznatky, odhalovat nové zákonitosti a vztahy a ukládat je do světové pokladnice vědeckých poznatků, když celý komplex vědeckých a technických poznatků dospěje potřebné úrovně, je využit ve společenské praxi.

2. Které směry v současné světové astronomii a astrofyzice pokládáte za hlavní?

Odpověď na tuto otázku musí být určitým způsobem subjektivní. Je to do značné míry ovlivněno vlastním vědeckým zaměřením, a možnostmi hlouběji se seznámit s rozvojem astronomie v celé šíři.

Za velmi významný směr, rozvíjený v posledním období, pokládám výzkum hvězdné aktivity, který nám nejen může dát

mnoho nových poznatků o hvězdách, ale současně může umožnit správné zařazení sluneční činnosti do života hvězd a pomoci tak odhalit její příčiny. Současně je zde však třeba hvězdnou aktivitu chápat v širším pojetí, včetně hvězdného větru, interakce hvězd s mezihvězdným prostředím případně druhými složkami dvojhvězd a pod.

V celosvětovém měřítku je stále větší pozornost věnována fyzice vztahů Slunce-Země a vlivu kosmických procesů v nejbližším slova smyslu na naši Zemi. V současné době je Mezinárodní radou vědeckých unií (ICSU) připravován rozsáhlý mezinárodní program výzkumů pod názvem "Mezinárodní program geosféra-biosféry", často též nazývaný "Globální změny", v němž významnou úlohu bude mít i výzkum fyziky vztahů Slunce-Země a kosmických vlivů na procesy na Zemi vůbec.

Beze sporu významnou oblastí, bouřlivě se rozvíjející, je kosmologie a relativistická astrofyzika. Jejich význam spočívá nejen ve vlastní funkci poznávací v oblasti astronomie, ale současně i v jejich vlivu na rozvoj řady oblastí fyziky.

Hvězdá radioastronomie, rentgenovská a γ -astronomie a pozorování v infračervené a UV oblasti spektra jsou obory, které v poslední době přinesly nejvíce nových významných poznatků získaných přímými pozorováními. Lze říci, že tyto pozorovací metody a především komplexnost pozorování v celé oblasti spektra elektromagnetického záření byly v posledním období hybnou pákou poznání světa hvězd a galaxií. V souvislosti s těmito pozorovacími metodami vzrůstá význam diagnostických a interpretačních metod, které současně nacházejí aplikaci i v řadě dalších oborů (laboratorní plazma, řízená termionukleární reakce, dálkový průzkum Země, metalurgie a pod.).

Znovu vzrůstá zájem o studium meziplanetární hmoty, a to z řady důvodů. Je to nejen ta skutečnost, že asteroidy, komety a meteorická hmota jsou základní stavební bloky původní sluneční mlhoviny, ale stále více se ukazují zcela nedostatečné znalosti o populaci těchto malých těles v souvislosti s možnostmi jejich srážek se Zemí a kosmickými sondami. Výzkum průletu meteoroidů zemskou atmosférou se ukázal významným pro studium střední atmosféry Země a byl proto zařazen do mezinárodního programu výzkumu střední atmosféry (MAP).

Pochopitelně v popředí celosvětového zájmu zůstávají otázky dynamiky a gravitačních polí těles sluneční soustavy včetně umělých družic Země, o významu široké palety jejich praktických aplikací není snad třeba blíže hovořit.

3. Které z těchto směrů budou rozvíjeny v Československu a jak se odrážejí v plánu základního výzkumu na příští období?

Dnešní astronomie a astrofyzika jsou tak rozsáhlými vědními disciplinami, že není v silách našeho státu podílet se na jejich vývoji v celé šíři. To mu jeho ekonomické i kádrové podmínky prostě nedovolují. Proto v průběhu posledních třiceti let se v ČSSR rozvíjelo pouze několik směrů astronomie

a astrofyziky, které navazovaly na tradici, měly vhodné kádrové a přístrojové podmínky, vhodné uplatnily nejnovější přístrojové metody (radio, kosmonautika, výpočetní technika) a dosáhly významných výsledků z hlediska světového rozvoje astronomie a astrofyziky.

V rámci přípravy příštího pětiletého Státního plánu základního výzkumu byl vypracován prognostický rozbor v oblasti astronomie a astrofyziky, který obsahoval rozbor současného stavu a prognóz celosvětového vývoje, rozbor dosavadní úrovně československého výzkumu a na základě toho návrhy na úkoly příští pětiletky.

Na základě tohoto materiálu bylo rozhodnuto, že i v příští pětiletce by základní směry výzkumu měly být soustředěny do dosavadních tradičních směrů, a to:

- Výzkum sluneční aktivity
- Výzkum meziplanetární hmoty
- Výzkum ve vybraných oblastech hvězdné astronomie, a to:
 - horké a pekulární hvězdy
 - diagnostické metody v astrofyzice
 - vývoj galaktické struktury
 - mezihvězdná látka
 - relativistická astrofyzika
- Výzkum dynamiky sluneční soustavy, a to:
 - dynamiky a gravitačních polí těles sluneční soustavy
 - dynamiky umělých družic Země

V současné době není Státní plán základního výzkumu na příští pětiletku ještě zcela zpracován. V oblasti astronomie jsou zatím schváleny čtyři hlavní směry výzkumu, tak jak jsem je uvedl. Půjde nyní o to, tyto čtyři hlavní úkoly rozpracovat do dílčích úkolů a kontrolovatelných etap, a to tak, aby jejich konkrétní náplň odpovídala současným aktuálním potřebám astronomického a astrofyzikálního výzkumu, světovým trendům, potřebám státu a našim reálným možnostem.

Význačnou novou skutečností příštího pětiletého plánu je schválení cílového projektu "Vztahy Slunce-Země", na jehož řešení se budou podílet hlavní úkoly Státního plánu základního výzkumu z oblasti astronomie, geofyziky, meteorologie, hydrologie a fyziky. Je třeba poznamenat, že cílové projekty řeší úkoly prvořadého významu a v hierarchii Státního plánu stojí nejvýše.

Je samozřejmé, že při konkretizaci náplně Státního plánu základního výzkumu v oblasti astronomie bude významnou měrou přihlíženo jak k celosvětovým programům řízeným mezinárodními nevládními organizacemi jako je IAU, SCOSTEP, COSPAR, tak především k mnohostranným spolupracím socialistických zemí, v první řadě INTERKOSMOS, KAPG a Fyzika a vývoj hvězd, které jsou neoddělitelnou součástí našeho astronomického výzkumu.

Za redakci Kosmických rozhledů hovořil M. Karlický,
Ondřejov, listopad 1984

O původu sil (2. část)

Rozměry a hmotnosti organizovaných objektů (vázaných struktur)

(Převzato hlavně z článku B. Carra a M. Reese "The Anthropic Principle")

Z výše definované gravitační vazbové konstanty α_G vytvoříme číslo

$$N_{\odot} = \alpha_G^{-3/2} \approx 10^{57} .$$

Nazýváme "hvězdou" těleso, ve kterém gradient tepelného tlaku všude kompenzuje přitažlivou sílu gravitace; těleso, ve kterém je centrální teplota dostatečně vysoká k dlouhodobému udržování termonukleárních reakcí, která však není natolik vysoká, aby došlo k rozpadu struktury v důsledku tlaku záření. Celkem lehce lze ukázat, že počet atomů v takovém objektu se v mezích jednoho či dvou řádů musí rovnat N_{\odot} . Tento požadavek je ve hvězdách dobře splněn, jelikož N_{\odot} se blíží počtu částic N ve Slunci a hvězdách hodných toho jména podle právě uvedené definice; tento počet N je v intervalu

$$10^{-2} N_{\odot} < N < 10^2 N_{\odot} .$$

Tuhé těleso je struktura, ve které je elektrostatická přitažlivost mezi elektrony a protony kompenzována efektivním odpuzováním vytvářeným v důsledku Pauliho vylučovacího principu, nebo, jinými slovy, tlakem degenerovaných elektronů, stejně jako je tomu v samotných elektronových obalech atomů. V daném případě je hustota atomovou hustotou

$$\rho = m_p / a_0^3 \approx 1 \text{ g/cm}^3 .$$

Velmi velké tuhé těleso je nazýváno planetou. Jak velká může být planeta? Nad určitou hmotností začne hrát dominantní roli gravitační síla; těleso bude nuceno získat sférický tvar (v případě rotace půjde o rotační elipsoid). Při ještě větší hmotnosti gravitační síla rozruší chemické vazby. To povede k vytvoření "černého trpaslíka", chladného tělesa, ve kterém je gravitační síla vyvážena tlakem degenerovaných elektronů. Jednoduché výpočty ukazují, že limitní počet částic odlišující planety od černých trpaslíků je dán vztahem

$$N_p \leq (\alpha_{em} / \alpha_G)^{3/2} \approx 10^{54} ,$$

$$M_p \approx 10^{-3} M_{\odot} .$$

Výsledek se přibližně rovná právě hmotnosti Jupitera. Maximální rozměry planet jsou $\sim N_p^{1/3}$ (tj. při konstantní hustotě) $\sim 10^5$ km.

Co říci o tělesech s vysokým stupněm vnitřní organizace (intelligence)? K tomu, aby byl dosažen maximální počet cerebrálních interkonexí (neuronů) a současně aby byly k dispozici všechny orgány nezbytné k péči o tento mozek, uvedená tělesa by měla mít tolik atomů, kolik je jen možné. Můžeme pro tento počet stanovit horní limitu? Ano, pokud budeme dále předpokládat, že takové vysoce organizované těleso vyžaduje v zájmu udržení své organizace nepřetržitou výměnu hmoty a energie s okolním prostředím (negentropie). Tato výměna se uskutečňuje zčásti s energeticky bohatou atmosférou, udržovanou při teplotách vhodných pro molekulární reakce ($kT \sim 10^{-2}$ až 10^{-1} eV). K udržení takové atmosféry potřebuje nositelská planeta organizovaných struktur vhodnou hmotnost (a také vhodnou vzdálenost od příslušné hvězdy). Je to právě gravitační pole planety, které určuje mez velikosti vysoce organizovaných těles. Zvíře o velikosti několika set metrů by se při hledání potravy pohybovalo jen velmi obtížně a při pádu by se snad přímo rozlomilo. Pro hmotnost vysoce organizovaných těles je tak rozumné uvažovat horní limitu

$$M \propto (\alpha_{em}/\alpha_G)^{3/4} \approx 100 \text{ kg a pro výšku } h \sim (\alpha_{em}/\alpha_G)^{1/4} \sim$$

1 m (vždy v rozmezí přibližně jednoho řádu). Velryby mohou být o něco větší, jelikož jsou v důsledku vztlakové síly vody méně ovlivňovány zemskou gravitací. Ptáci budou naopak menší, jelikož musí létat ...

Jednou z nejslavnějších a nejvíce fascinujících "koincidencí" je fakt, že současný poloměr R pozorovatelného vesmíru jednoduše souvisí s gravitační a elektromagnetickou vazbou konstantou prostřednictvím vztahu

$R = 10^{28} \text{ cm} \approx (\alpha_{em}/\alpha_G) \cdot a_0 = \alpha_G^{-1} \lambda_c$ (elektronu),
nebo ekvivalentně a snad významnější, věk vesmíru $T \sim 10^{10}$ let jednoduše souvisí s fundamentální elektromagnetickou časovou jednotkou $t_e = \hbar/m_e c^2 \approx 10^{-20}$ s prostřednictvím vztahu

$$T = (\alpha_G^{-1}) \cdot t_e.$$

Tato koincidence byla observačním základem Diracovy teorie tzv. "velkých čísel", jejímž důsledkem je měnící se G. Tuto teorii je však těžké uvést v soulad s takovými fakty, jako je např. zjevná konstantnost střední teploty Země v průběhu posledních čtyř miliard let. Stejná koincidence později vedla Dickeho k první formulaci antropického principu: "Vesmír musí být starší než několik miliard let, aby mohl být obýván inteligentními bytostmi". Skutečně, nejdříve je nutné vytvořit galaxie a hvězdy; v těchto hvězdách musí být vytvořeny atomy těžkých prvků, přičemž tyto atomy musí být následně vyvrženy do chladného mezihvězdného prostoru; z těchto atomů musí být kolem hvězd pozdějších generací vytvořeny mj. také planety, na jejichž povrchu s z prvotních jednoduchých molekul musí vyvinout komplexní organismy.

Ačkoliv tuto poslední fázi skutečně detailně nechápeme, můžeme s rozumným stupněm spolehlivosti stanovit, pro délku celého procesu dolní mez 10^8 let. Horní mez $\sim 10^{12}$ let může být stanovena na základě faktu, že život podporující hvězdy (hlavně s určitou UV emisí pro fotosyntézu) mají omezenou životnost a že samotný proces tvoření hvězd je omezen výskytem mezihvězdné hmoty, která je z galaxií postupně odčerpávána a ukládána do podoby trpaslíků, neutronových hvězd a černých děr. Doba $T = \alpha_G^{-1} t_e$ (s přípustným rozmezím jednoho nebo dvou řádů) je tak dobrým odhadem věku vesmíru vnímaného pozorovatelem. Situace se stává ještě dramatičtější v důsledku zavedení přirozené časové jednotky aplikovatelné na vesmír jako celek: Planckova času $t_{pl} = (\hbar G / c^3)^{1/2} = \sim 10^{-43}$ s. V těchto jednotkách musí být vesmír mimořádně starý ($T / t_{pl} \approx 10^{60}$), a to ještě předtím, než se objeví nějaký pozorovatel. Ekvivalentní formulace může být provedena na pomoci úvah o energetické rovnováze vesmíru. V současnosti se energie expanze vesmíru (člen kinetické energie) téměř rovná přitažlivé síle kosmologické gravitace působící opačným směrem (člen potenciální energie). Kosmologický model (založený na Einsteinově obecné relativitě) však předvídá, že relativní rozdíl mezi těmito dvěma členy narůstá s časem. Vyplývá z toho implikace, že v raných dobách vesmíru byly tyto dva členy extrémně blízké. Tato skutečnost bývá často označována jako problém "plochosti". Evoluce vesmíru započala ze stavu charakterizovaného fantasticky vysokým stupněm plochosti prostoru. To se jeví jako podmínka pro to, aby mohl vesmír existovat tak dlouho bez opětovné kontrakce, resp. bez přechodu do stavu nehostinného chladu. V kontextu antropického principu by bylo možné říci, že jde o nutnou podmínku pro to, aby byl vesmír "pozorovatelný" (t.j. aby se v něm mohl zrcdit pozorovatel).

Mnoho dalších koincidence nutných k zrození pozorovatele bylo diskutováno celou řadou lidí. Některé z nich jsou problematické nebo přinejmenším nedokázané. Mohli bychom snad hovořit o "antropickém programu", který je však dosud v plenkách. Nakolik unikátní je náš Vesmír v tomto ohledu? Jak odlišný by mohl být, aby ještě mohl podporovat zrod inteligentního života? Život, samozřejmě tak, jak jej doposud známe, je založený na biochemii uhlíku a specifictěji, na DNA (překladačel se přidržuje modernější české terminologie a pro nukleové kyseliny nepoužívá české zkratky, t.j. DNK a RNK, nýbrž mezinárodně užívané angl. označení DNA resp. RNA, viz např. nedávný český překlad skvělé monografie J. D. Watsona Molecular Biology of the Gene - Molekulární biologie genu, Academia, Praha, 1982 - pozn. překl.). Celá řada autorů spekulovala o velmi odlišných formách života, např. o životě, jehož informace je založena na dislokacích krystalů (Schneider, soukromé sdělení). Nicméně doposud nebylo přesvědčivě ukázáno, zdali takové systémy vůbec mohou reálně existovat.

Jak již bylo diskutováno na začátku této práce, na základě našeho současného poznání může být vesmír popsán určením hodnot určitého počtu fyzikálních konstant a zavedením

těchto konstant do rámce kalibračních teorií s lokální invariancí. Mezi tyto konstanty zahrnujeme rovněž hmotnosti a náboje interagujících částic. Počet volných parametrů je stále velký (několik desítek), je tu však naděje, že tento počet bude v budoucnu redukován.

Příkladem podobné redukce, jak již bylo zmíněno dříve, je splnutí α_N , α_{em} a α_e do jedné konstanty α_{GUT} s hodnotou přibližně $1/42$ v oblasti velmi vysokých energií. Ellis (soukromé sdělení) se zmínil o možnosti, že α_{GUT} je sama o sobě odvozena z hodnoty "jedna" v oblasti ještě vyšších energií. "Jedna" je stále ještě libovolné číslo, ale jde snad o "přirozenější" číslo nežli $1/42$. Vyhovuje tak více z estetického hlediska. Důležitým bodem je zde však, že (například) poměr $\alpha_N/\alpha_{em} \sim 100$ se zdá být ve vesmíru zabudován od počátku a může být pochopen v rámci pojmu relativní multiplicity grupy silných interakcí ($N = 3$) a elektromagnetické protony ($N = 1$). Na druhé straně, společně s poměrem hmotností protonu a elektronu $m_p/m_e \simeq 2000$ (tento poměr pravděpodobně rovněž souvisí s poměrem α_N/α_{em} , ačkoliv přesná forma souvislosti je dosud záhadná (velká hodnota poměru α_N/α_{em} určuje strukturu atomů a molekul. Jádra, malá a hmotná, slouží jako "kotvy", od kterých zasahují daleko do prostoru elektronové oblaky. Extrémně velký počet možných prostorových konfigurací oblaků, který je přitom k dispozici, vede k fundamentální vlastnosti stereospecificity, která určuje celou biochemii a zajišťuje její nespočetné možnosti. Jako extrémní protiklad může být uveden případ $\alpha_N = \alpha_{em}$; v takovém případě by vzniklo něco na způsob Thomsonova atomu (oba náboje rovnoměrně rozložené), což je s největší pravděpodobností daleko méně přijatelné. Hypotetické změny hodnoty poměru α_N/α_{em} by měly mít dramatické vlivy na historii vesmíru. Diproton je vzhledem ke dvěma volným protonům nestabilní (resp. netvoří vázanou strukturu) jen o několik málo set keV, rozdíl v poměrné vazbové energii $\Delta M/M \sim 10^{-4}$. Jádro ${}^8\text{Be}$ je vzhledem ke dvěma částicím alfa nestabilní ještě v menší míře, $\Delta M/M \sim 3 \cdot 10^{-5}$. Mírný vzrůst hodnoty poměru α_N/α_{em} by vedl ke vzniku vázané struktury diprotonu (společně s tripletovým stavem deuteronu, kterému chybí ke stabilitě pouze 40 keV, a s ${}^8\text{Be}$). Big-bangová nukleosyntéza by byla značně urychlena v důsledku dvou rozdílných efektů: a) stability diprotonu a ${}^8\text{Be}$, b) redukce v Coulombově bariéře (α_{em} se objevuje v exponentu Gamowova vztahu). V standardním big-bangu jsou v podstatě všechny neutrony, které jsou k dispozici, zachyceny do ${}^4\text{He}$. V námi uvažovaném případě by do ${}^4\text{He}$ "mohly jít" přímo protony. Je nutné předpokládat, že všechny protony by byly konvertovány na ${}^4\text{He}$ a těžší jádra (C, O, atd. ...), konečný výsledek by však závisel na konkrétním výběru změny hodnoty poměru α_N/α_{em} (příslušné výpočty jsou plánovány). Vesmír bez vodíku by se od našeho Vesmíru značně lišil. Většina potenciální nukleární energie hmoty by byla v takovém vesmíru spotřebována v prvních minutách jeho existence. Neexistovaly by žádné hvězdy hlavní posloupnosti umožňující dlouhodobé epochy planetárního života. Dokonce i kdyby v daném vesmíru nějaký

vodík zůstal, rozsah reakce $4p \rightarrow {}^4\text{He}$ by byl enormně zvýšen v důsledku stability diprotonu vedoucí k mnohem chladnějším (ne více horkým ...) hvězdám hlavní posloupnosti, což by pravděpodobně vedlo k redukci emise ultrafialového záření pod prahovou hodnotu podmiňující rozsáhlejší fotosyntézu. Nepřítomnost vodíku by znamenala rovněž nepřítomnost vody a tedy i neexistenci prvotního oceánu, podporujícího vznik buněčného života. Obecněji, slavná "vodíková vazba", tak fundamentální pro biochemii, by neexistovala.

Snižme nyní hodnotu poměru α_N / α_{em} . Deuteron by byl nevázaný ($\Delta M/M \sim 10^{-3}$). Hvězdná transformace $4p \rightarrow {}^4\text{He}$ by mohla probíhat pouze prostřednictvím deuteronové (nebo snad diprotonové) rezonance a to ve značně menším rozsahu. Jen velmi hmotné hvězdy by byly dostatečně horké na to, aby v nich probíhaly termonukleární reakce. Nukleosyntéza by tak před ochlazením do stadia trpaslíků proběhla jen ve velmi málo hvězdách. Navíc, jelikož jádro uhlíku je ve vztahu k třem částicím alfa relativně slabě vázáno ($\Delta M/M = 10^{-3}$), přičemž jádro kyslíku je vázáno jen mírně více, produkty podobné nukleosyntézy by pro konvenční biochemii nemusely být zajímavé.

Co můžeme říci o slabé interakci? V našem ohledu je její hlavní funkcí určovat rychlost reakce $p + p$ ve Slunci a hvězdách hlavní posloupnosti; relativní slabost této interakce zaručuje dlouhou dobu existence těchto hvězd. Nejde zde ani tak o hodnotu α_p , jako o hmotnost výměnné částice W_1 . Životní podmínky na Zemi závisí jak na střední teplotě zemského povrchu, tak i na délce existence Slunce, přičemž ty jsou funkcemi intenzity a dosahu slabé interakce.

K zakončení této části se zmíním o diskusi týkající se možného rozsahu změn hodnoty α_{em} v rámci Velkých sjednocených teorií GUTe (Ellis, soukromé sdělení). Výsledky jsou mimořádně dramatické, částečně však závisí na výběru modelu a nejsou tak zcela přesvědčivé. Pokles hodnoty α_{em} pod $1/200$ by zkrátil dobu existence protonu na méně než 10^6 let, zatímco vzrůst hodnoty α_{em} nad $1/80$ by "vytlačil" teorii znovusjednocení nad Planckovu hmotnost, což by vedlo k nemožnosti aplikovat celou teorii. Zbývá jen čekat, zdali tato omezení přežijí budoucí rozvoj fyziky elementárních částic. K jakému závěru však na základě uvedených skutečností můžeme dospět? Jsme zde zanechání uprostřed celé řady otázek. Hodnoty vazbových konstant zjevně nemohou "volně" být libovolnými hodnotami. Tyto hodnoty jsou omezeny dvěma zcela odlišnými soubory argumentů: podstatou fundamentální fyziky a existencí pozorovatele.

V jakém rozsahu podstata fundamentální fyziky omezuje fyzikální konstanty na takové hodnoty, jaké mají? Dnes již můžeme některé z těchto konstant (α_N , α_{em} , α_p) uvést v souvislost s multiplicitou různých s nimi souvisejících grup. Proč však tyto grupy mají právě takové multiplicity? Může být $\alpha_{GUT} = 1/42$ odvozena z "jedné"? A co se týká gravitace? Co můžeme říci o hmotnostech? A co o \hbar , c , atd.? ... A proč by všechny tyto teorie fundamentální fyziky měly být kalibračními teoriemi s lokální invariancí? Proč jsou určité teorie spontánně narušené, zatímco jiné ne? Na některé

z těchto otázek již máme předběžné a částečné odpovědi, na jiné však zatím ne. V naší neznalosti nám zůstávají dvě možnosti. Může se ukázat, že vše ve fyzikálních teoriích je závazné a může být odvozeno z nějakého prapůvodního základního principu. V tomto případě, co se týče zákonů, by neexistovala žádná možnost výběru resp. volby jiného vesmíru. Může se však též ukázat, že neexistují žádné striktní požadavky. Například, fyzika by zahrnovala určitý počet numerických parametrů, u kterých by bylo možné volně předpokládat libovolnou numerickou hodnotu (snad v mezích určitých intervalů). Vesmír by pak byl definován souborem těchto čísel, nebo, což je ekvivalentní, bodem v příslušném parametrickém prostoru. Takových vesmírů by mohl existovat velký počet. Z antropického principu pak vyplývá, že pozorovatelný vesmír musí patřit k malé podmnožině všech bodů, které mohou vést ke vzniku pozorovatele. Všechny jiné vesmíry jsou pro nás nedostupné ...

Ať již ve skutečnosti platí kterákoli z těchto možností, můžeme tvrdit a posteriori, že náš Vesmír splňuje všechny podmínky potřebné a nutné k objevení se života. Již od svých počátků byl náš Vesmír potenciálně schopný zrodit inteligentní bytosti. Jak se však tato potenciálnost změnila ve skutečnost? K ilustraci tohoto "zrození" je potřebná celá kosmologie, astronomie, geofyzika a biochemie. Toto "zrození" spočívá na komplexním historickém vzájemném vztahu mezi expanzí a ochlazením vesmíru, na chování volné energie hmoty a na intervenci náhody na mnoha úrovních. Na dalších stránkách se pokusíme tento složitý scénář ilustrovat.

Inteligentní život vyžaduje organizovaná těla, která sama o sobě vyžadují k zajištění své stability existenci vázaných struktur. Při vysokých teplotách nemohou existovat žádné vázané struktury. V průběhu ochlazení vesmíru, a pro libovolný typ fyzikální vazby, jelikož $kT/Mc^2 < \Delta M/M$, se vázané struktury stávají mnohem pravděpodobnějšími, nežli volné částice. Toto lze nejlépe diskutovat pomocí pojmu "volné energie" (v Helmholtzově smyslu). Fyzikální procesy budou směřovat k redukci volné energie systému. Při vysokých teplotách tento princip favorizuje disociovaný stav, při nižších teplotách podporuje asociovaný stav. S ochlazením vesmíru bude po vazbě kvarků do nukleonů následovat nukleární vazba do atomových jader (prvotní nukleosyntéza) a po ní elektrostatická vazba do atomových stavů (rekombinace). Posledním krokem bude gravitační vazba hmoty do galaxií a hvězd. O podobných fázových přechodech se předpokládá, že probíhají vratným způsobem, pokud při každé energii pohybu částic, t.j. teplotě, probíhají rovněž při konstantní volné energii. Jinými slovy, reakce mezi složkami jsou vždy v rovnováze. V takovém případě přechod vede ke stavu s nejnižší možnou stabilitou. To platí pro případ přechodu kvarků na nukleony; kvarková vazba dosahuje nejnižší možný stav: všechny kvarky jsou vázány v nukleonech. Nukleární vazba - v kosmickém měřítku - se však zastavila před dosažením nejnižšího stavu. Big-bangová nukleosyntéza by v principu mohla vytvořit svět celý ze železa. Ve skutečnosti jsme však stěží dosáhli stadia hélia, stále ještě s více než

70 % nukleonů v podobě vodíku. Proč? Věci by probíhaly jinak, pokud by byl počet relativistických částic v jednotce objemu vyšší, nebo pokud by byl vyšší počet baryonů připadajících na jeden foton (nebo, pokud by byly jaderné síly dostatečně silné, aby mohly vázat jádra s $A = 5$ a 8). V reálném vývoji, kolem $t = 100$ s, rychlost jaderných reakcí poklesla pod rychlost expanze vesmíru. Rovnováha byla narušena. Celková jaderná vazbová energie v hmotě je úměrná téměř 1 % její hmotnosti. Doposud bylo uvolněno méně než 1/4 této energie. Tento neúspěch nukleárního vývoje je v snaze o dosažení nejnižšího stavu je v mnoha ohledech šťastnou okolností. Na jedné straně hlavně proto, že umožňuje dlouhodobou existenci hvězd. Na druhé straně proto, že železo lze jen stěží považovat za vhodný prvek podporující život ...

Další fázový přechod, při teplotě $T \sim 3000$ K, však dosáhl nejnižšího stavu: elektrony a protony vytvořily atomy vodíku, elektrony a částice alfa vytvořily atomy hélia. Těžší atomy nebyly zformovány jednoduše v důsledku nepřítomnosti odpovídajících jader.

Nakonec přichází gravitační vazba hmoty do galaxií a hvězd; k tomu došlo v čase $t \sim 10^8$ až 10^9 let. Zde jsou nejnižšími vázanými stavy planety, bílí trpaslíci, neutronové hvězdy a černé díry. Nicméně, v této oblasti jsme opět daleko od konečného nejnižšího stavu. Konverze hmoty na tato mrtvá tělesa probíhá pomalu v průběhu aeonů (t.j. miliard let - pozn. překl.). Není jasné, zda bude tento proces vůbec někdy zcela završen. Gravitační vazba je však speciální v mnoha ohledech. Zaprvé, její speciálnost spočívá ve faktu, že na rozdíl od nukleární a elektromagnetické vazby není omezena na konkrétní interval hodnot poměrného defektu masy $\Delta M/M$ (viz tabulku 1). Navíc, podobně jako v případě dalších sil, část uvolněné potenciální energie se mění na kinetickou energii vázaných částic (zatímco zbytek je vyzářen do prostoru). V případě gravitace může mít odpovídající teplo libovolnou teplotu podle množství uvolněné hmotnosti ($kT/Mc^2 \approx \Delta M/M$). Toto rostoucí teplo může nakonec vyvolat reaktivaci ostatních sil, když T dosáhne jejich intervaly poměrných vazbových hmotností.

Vstupujeme tak do druhé kapitoly organizace hmoty. První kapitola, od big-bangu ke zrození prvních hvězd, je kapitolou globální organizace následující po poklesu kosmické teploty. Druhá kapitola je kapitolou rostoucí komplexnosti v lokálním měřítku kolem velkého počtu hvězd, s jejich horkými nitry a zahříváním okolím. Je zajímavé, uvědomíme-li si, že hvězdy mohou vznikat pouze pokud mohou vyzářovat světlo (teplo) a emise světla může probíhat pouze v chladném vesmíru (bez nahřívání tohoto vesmíru). Tento důležitý bod je zaručen samotnou expanzí. Ve skutečnosti každý fyzikální proces vedoucí k vázané struktuře (hvězdy, jádra, atomy) spočívá na expanzi vesmíru zaručující její stabilitu v dlouhém časovém měřítku. Pokud by vesmír zastavil expanzi a začal se naopak smršťovat, všechny struktury by zanikly ... Prázdnota a expandující prostor mezi galaxiemi je v jistém smyslu "skládkou" všech fotonů, které musí být "ztraceny", pokud má být vesmír organizován.