



NEKONSTANTNÍ

JAK NEPŘEDSTAVITELNĚ DIVNÝ BY BYL SVĚT, kdyby měly přirozené konstanty jiné hodnoty! Tak zvaná konstanta jemné struktury, (α), se například rovná přibližně $1/137$. Kdyby měla jinou hodnotu, energie a hmota by reagovaly prapodivně; vlastně by se mohla smýt samotná hranice mezi hmotou a energií.

John D. Barrow a John K. Webb

Jsou věci, které se nikdy nemění. Fyzikové je nazývají přírodními konstantami. Veličiny jako rychlost světla c , Newtonova gravitační konstanta G a hmotnost elektronu m_e jsou podle našich představ vždy a všude ve vesmíru stejné. Tvoří kostru, kolem které jsou vybudovány fyzikální teorie, a definují látku, z které se náš vesmír skládá. Postupným stále přesnějším měřením jejich hodnot se fyzika vyvíjí kupředu.

Pozoruhodné přitom je, že dosud nikdo s úspěchem nepředpověděl nebo nevysvětlil žádnou z těchto konstant. Fyzikové nemají žádnou představu, proč mají zrovna takové speciální číselné hodnoty. V jednotkách SI je c rovno 299 792,458; G se rovná $6,67 \times 10^{-11}$ a hmotnost elektronu m_e je $9,10938188 \times 10^{-31}$ – čísla se neřídí žádným zřejmým pořádkem. Jediným společným pojítkem všech těchto hodnot je to, že pokud by byly jen maličko jiné, složitá uspořádání atomů, jako jsou třeba lidské bytosti, by nemohla existovat. Touha vysvětlit tyto konstanty byla jedním z hlavních motivů úsilí o vytvoření kompletního, sjednoceného popisu přírody, neboli „teorie všeho“. Fyzikové doufají, že by taková teorie ukázala, že každá přírodní konstanta má pouze jednu logicky možnou hodnotu. Odhalil by se skrytý řád ke zdánlivé nahodilosti přírody.

V nedávné době se ovšem v problému přírodních konstant udělal ještě větší zmatek. Vědci zjistili, že nejlepší kandidát na teorii všeho, varianta teorie strun zvaná M-teorie, bude self-konzistentní (nebudou v ní rozpory) pouze tehdy, když bude mít vesmír více než čtyři prostoročasové dimenze – až sedm dalších. Jedním z důsledků je, že konstanty, které pozorujeme, možná nejsou ve skutečnosti ty nejzákladnější. Ty existují jen v úplném vícerozměrném prostoru a my můžeme pozorovat jen jejich trojrozměrné „stíny“.

Fyzikové si mezitím také uvědomili, že hodnoty mnoha konstant mohou být důsledkem pouhé shody okolností, pocházející z náhodných událostí a z procesů s elementárními částicemi v raném stádiu vesmíru. Teorie strun ve skutečnosti

*Mění se s časem
pravidla
fungování
přírody?*

KONSTANTY

umožňuje ohromné množství – 10^{500} – možných „světů“ s různými self-konzistentními sadami fyzikálních zákonů a konstant [viz Krajina teorie strun, Raphael Bousso a Joseph Polchinski; Scientific American České vydání, únor 2006]. Vědci zatím nemají představu, proč byla zvolena právě naše kombinace. Pokračující studie mohou snížit počet logicky možných světů na jeden, ale nutně zůstává otevřená vzrušující možnost, že náš vesmír je pouze jedním z mnoha – je částí multivesmíru – a v jiných částech multivesmíru se nachází jiná řešení naší teorie. Námi pozorované přírodní zákony jsou pouze jedním vydáním místních zákonů [viz „Parallel Universes,“ Max Tegmark; Scientific American, květen 2003].

Pak by pro mnoho našich číselných konstant nebylo možné žádné jiné vysvětlení kromě toho, že tvoří vzácnou kombinaci, která umožňuje vznik myslícího života. Náš pozorovatelný vesmír by mohl být jednou z mnoha izolovaných oáz obklopených nekonečným prostorem bez života, kde vládou odlišné přírodní síly a kde jsou částice jako elektron nebo struktury jako uhlíkové atomy a molekuly DNA nemožné. Kdybyste se pokusili do takového vnějšího světa dostat, přestali byste existovat.

Teorie strun tedy pravou rukou dává a levou bere. Byla navržena částečně proto, aby vysvětlila zdánlivou náhodnost fyzikálních konstant, a její základní rovnice obsahují jen málo náhodných parametrů. Pro pozorované hodnoty

konstant však teorie strun zatím nenabízí žádné vysvětlení.

Pravítko, kterému lze věřit

SLOVO „KONSTANTA“ může být vlastně špatně označení. Naše konstanty se mohou měnit jak v čase, tak v prostoru. Pokud by se velikosti dodatečných prostorových dimenzí změnily, „konstanty“ v našem třírozměrném světě by se změnily s nimi. A pokud bychom se dívali dostatečně daleko do prostoru, mohli bychom začít nacházet oblasti, v kterých se „konstanty“ ustálily na jiné hodnotě. Už od 30. let minulého století vědci uvažují o tom, že konstanty nemusí být opravdu konstantní. Teorie strun tuto myšlenku teoreticky připouští. Proto je pro pozorovatele stále více důležité hledat odchylky od konstantnosti.

Takové experimenty představují výzvu. Prvním problémem je to, že samotné laboratorní přístroje mohou být citlivé na změnu konstant. Velikost všech atomů se může zvětšovat, ale pokud se prodlužuje i pravítko, kterým ji měříte, nikdy nezjistíte nějakou změnu. Experimentátoři běžně předpokládají, že jejich referenční standardy – pravítka, váhy, hodiny – jsou stálé, ale to nelze předpokládat, pokud měříme konstanty. Experimentátoři musí svou pozornost soustředit na konstanty, které nemají žádné jednotky – jsou to čistě čísla – takže jejich hodnoty jsou stále stejné bez ohledu na systém jednotek. Příkladem může být například poměr dvou hmot, jako třeba hmoty elektrony a hmoty protonu.

Jeden konkrétní poměr, který nás zajímá, kombinuje rychlost světla c , elektrický náboj jednoho elektronu e , Planckovu konstantu h , a tak zvanou permitivitu vakua ϵ_0 . Tato slavná veličina $\alpha = e^2/2\epsilon_0hc$, která se nazývá konstanta jemné struktury, byla do fyziky poprvé zavedena v roce 1916 Arnoldem Sommerfeldem, průkopníkem využití teorie kvantové mechaniky v elektromagnetismu. Popisuje relativistické (c) a kvantové (h) vlastnosti elektromagnetických interakcí (e) nabitých částic v prázdném prostoru (ϵ_0). Podle měření má tato konstanta hodnotu rovnou $1/137,03599976$, neboli přibližně $1/137$. Konstanta α dodala číslu 137 mezi fyziky legendární pozici (obvykle toto číslo otvírá kombinační zámky na jejich kufříčích).

Pokud by měla α jinou hodnotu, změnily by se všechny možné životně důležité vlastnosti světa kolem nás. Pokud by byla její hodnota nižší, snížila by se hustota pevných látek (úměrně α^3), molekulární vazby by se trhaly při nižších teplotách (úměrně α^3) a počet stabilních prvků periodické tabulky by se mohl zvýšit ($1/\alpha$). Kdyby bylo α příliš velké, nemohla by existovat malá atomová jádra, protože elektrické odpuzování jejich protonů by převážilo silnou interakci, která je drží pohromadě. Při hodnotě 0,1 by se rozpadl i uhlík.

Nukleární reakce ve hvězdách jsou na hodnotu α obzvláště citlivé. Aby mohlo dojít k jaderné fúzi, musí gravitace hvězdy vytvořit dostatečně vysokou teplotu, která donutí jádra slučovat se dohromady navzdory jejich tendenci se odpuzovat. Kdyby α přesáhla 0,1, nebylo by slučování možné (pokud by se nezměnil jiný parametr, například poměr hmotností elektronu a protonu, který by to vykompenzoval). Změna hodnoty α o pouhých čtyři procenta by změnila energetické úrovně v jádru uhlíku natolik, že tvorba tohoto prvku v jádrech hvězd by ustala.

Nukleární indicie

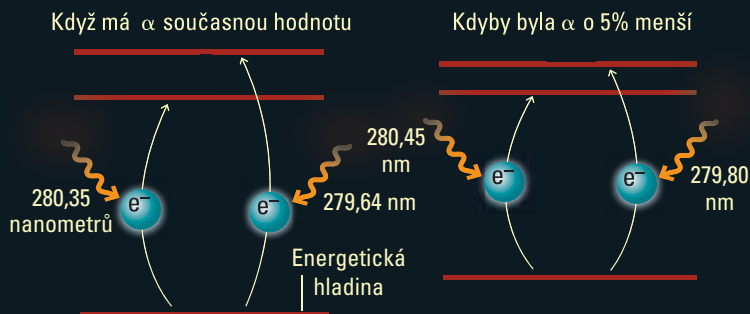
Druhým experimentálním problémem, který nelze tak snadno vyřešit, je to, že k měření fyzikálních změn je zapotřebí vysoce přesného vybavení, které navíc musí zůstat stabilní po dobu dostatečně dlouhou k zachycení nějakých změn.

ZÁKLADNÍ POJMY

- Fyzikální rovnice jsou plné veličin, jako je rychlost světla. Fyzikové běžně předpokládají, že jsou tyto veličiny konstantní: mají stále stejné hodnoty všude v čase i v prostoru.
- V průběhu minulých deseti let autoři a jejich spolupracovníci tyto předpoklady zpochybnili.
- V průběhu minulých deseti let autoři a jejich spolupracovníci tyto předpoklady zpochybnili.
- Srovnáním pozorování kvasarů s referenčními měřeními v laboratořích vyvozují, že chemické prvky ve vzdálené minulosti absorbovaly světlo jinak, než jak činí ty samé prvky dnes. Rozdíl může být vysvětlen změnou jedné z konstant, známé jako konstanta jemné struktury, o několik miliontin.
- Ač se to může zdát málo, tato změna, pokud se potvrdí, by znamenala revoluci. Pozorované konstanty by pak nebyly univerzální. Mohlo by to i znamenat, že prostor má dodatečné dimenze.

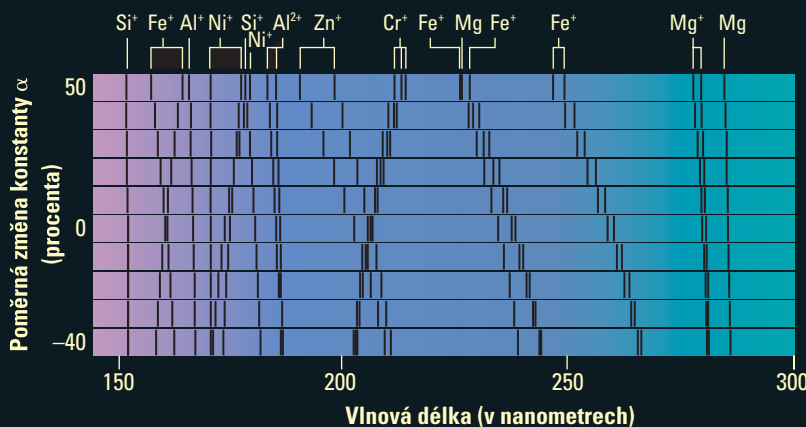
SVĚTLO A KONSTANTA JEMNÉ STRUKTURY

Několik z nejvíce prozkoumaných přírodních konstant, včetně rychlosti světla, se dá zkombinovat do konstanty jemné struktury (α) – čísla, které reprezentuje sílu interakcí částic s elektromagnetickými poli. Jednou takovou interakcí je absorpce fotonů atomy. Když atom osvítime světlem, pohlcuje atom jisté barvy, z nichž každá náleží jedné vlnové délce světla.



ENERGETICKÉ HLADINY elektronů v atomech popisují proces absorpce. Energie fotonu se předá elektronu, který pak vyskočí po „žebříčku“ na vyšší dovolenou hladinu. Každý možný skok odpovídá určité vlnové délce. Vzdálenosti mezi hladinami závisí na tom, jak silně je elektron přitahován k atomovému jádru a tedy na α . V případě iontů hořčíku (Mg^+), by malá α způsobila vzájemné přiblížení těchto hladin. Fotonům by stačilo na vyhození elektronu na vyšší příčku méně energie (a tedy delší vlnová délka).

SIMULOVANÁ SPEKTRA ukazují, jaký vliv má změna α na pohlcení světla z blízké ultrafialové oblasti pro různé prvky. Vodorovné černé čáry představují pohlcované vlnové délky. Každý typ atomu nebo iontu má jedinečnou sadu čar. Změna v konstantě jemné struktury ovlivní hořčík (Mg), křemík (Si) a hliník (Al) méně, než třeba železo (Fe), zinek (Zn), chrom (Cr) a nikl (Ni).



Dokonce i atomové hodiny mohou zjistit posun konstanty jemné struktury až po několika dnech či dokonce letech. Pokud by α se změnila o více než čtyři díly z 10^{15} v průběhu tří let, naše nejlepší hodiny by to zjistily. Nic však nepozorujeme. Může se to zdát jako působivý důkaz stálosti konstant, ale tři roky jsou pro vesmír jen okamžikem. Malých, ale podstatných změn v průběhu dlouhé historie vesmíru bychom si nevšimli.

Fyzikové našťásti objevili jiné testy. V 70. letech minulého století si vědci z Francouzské komise pro atomovou energii všimli jisté zvláštnosti ohledně izotopového složení rudy uranového dolu v Oklo v západoafrickém Gabonu: podobala se odpadovým produktům jaderného reaktoru. Asi dvěma miliardami

let se musel v Oklo nacházet přírodní jaderný reaktor [viz „A Natural Fission Reactor,” George A. Cowan; Scientific American, červenec 1976].

V roce 1976 si Alexandr Shlyakhter z Institutu jaderné fyziky v ruském Petrohradu uvědomil, že chod přirozeného jaderného reaktoru zásadně závisí na přesné energii konkrétního stavu samariového jádra, které usnadňuje zachycení neutronů. A že tato energie velmi citlivě závisí na hodnotě α . Pokud by byla tedy konstanta jemné struktury nepatrně odlišná, nemohla by nastat žádná řetězová reakce. K reakci však došlo, z čehož vyplývá, že konstanta se nezměnila o více než jeden díl z 10^8 za poslední dvě miliardy let. (Fyzikové stále diskutují o přesných kvantitativních výsledcích kvů-

li nevyhnutelné nejistotě ohledně podmínek v přirozeném reaktoru).

V roce 1962 využili P. James, E. Peebles a Robert Dicke z Princetonské univerzity jako první podobný princip u meteoritů: poměry četnosti různých izotopů vyplývající z radioaktivního rozpadu v těchto starých kusech kamene závisí na α . Nejprísnější omezení se týká beta-rozpadu rhenia na osmium. Podle nedávných prací, publikovaných Keithem Olivem z Minnesotské univerzity, Maximem Pospelovem z Univerzity Victoria v Britské Kolumbii a jejich kolegy, byla hodnota α v době vytvoření kamenů v rozmezí 2 dílů z 10^6 od dnešní hodnoty. Tento výsledek není tak přesný, jako údaje z Oklo, avšak sahá dále do minulosti, k době vzniku

HLEDÁNÍ ZMĚN VE SVĚTLE KVASARŮ

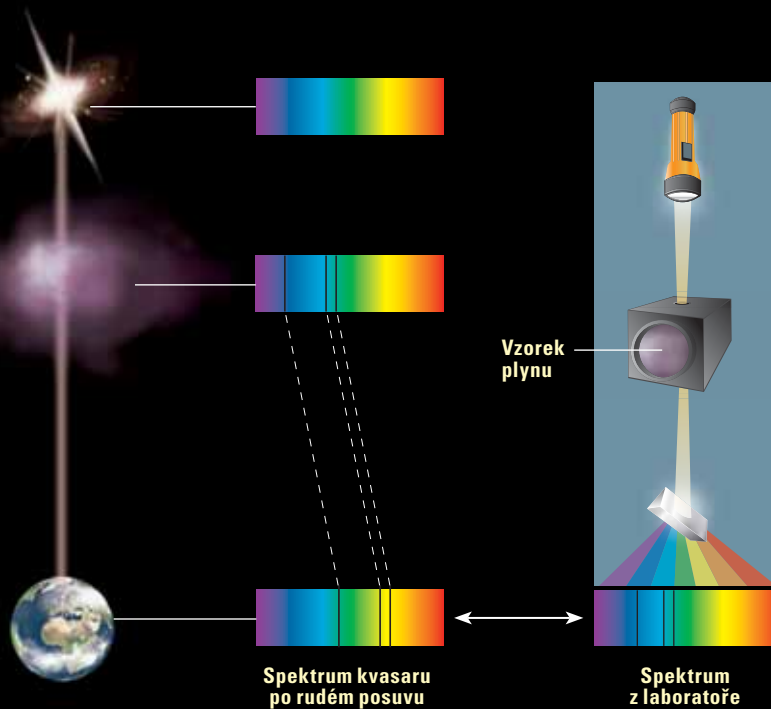
Vzdálené mračno plynu, prosvícené kvasarem, dává astronomům možnost zkoumat proces absorpce světla – a tudíž hodnotu konstanty jemné struktury – v raném stádiu vývoje vesmíru.

1 Světlo z kvasaru začíná svou pouť k Zemi před miliardami let, se spojitým spektrem.

2 Na své cestě světlo projde jedním nebo více plynovými mračny. Plyn blokuje jisté vlnové délky, čímž ve spektru vytváří sérii černých čar. Při studiu konstanty jemné struktury se astronomové zaměřují na pohlcování atomy kovů.

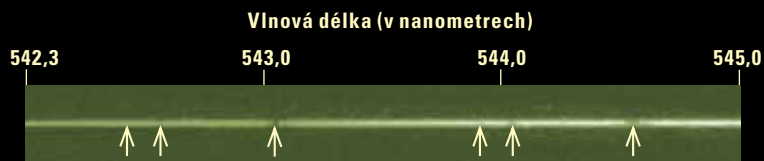
3 Když světlo dorazí k Zemi, vlnové délky čar jsou posunuté v důsledku rozpínání vesmíru. Velikost posuvu indikuje vzdálenost mračna, a tudíž jeho stáří.

4 Vzdálenosti mezi jednotlivými čarami lze porovnat se známými hodnotami změřenými v laboratořích. Z nesouladu hodnot se dá usuzovat, že konstanta jemné struktury mávala jinou hodnotu.



SPÉKTRUM KVASARU

(European Southern Observatory s Very Large Telescope) ukazuje absorpční čáry vytvářené plynými mračny mezi kvasarem (šipka vpravo) a námi. Poloha čar (dále vpravo) ukazuje, že světlo prošlo mračny asi před 7,5 miliardami let.



sluneční soustavy před 4,6 miliardami let.

Aby mohli vědci zkoumat možné změny přes ještě delší časová období, musí se dívat k nebesům. Světlu trvá miliardy let, než doletí od vzdálených hvězdných zdrojů k našim teleskopům. Nese si s sebou obrázek zákonů a fyzikálních konstant z doby, kdy započalo svou cestu, nebo kdy po cestě potkalo nějakou hmotu.

Editování řádků

ASTRONOMOVÉ se s příběhem konstant poprvé setkali brzy po objevu kvasarů v roce 1965. Myšlenka byla jednoduchá. Kvasary byly právě objeveny a identifikovány jako jasné zdroje světla nacházející se někde velmi daleko od Země. Protože cesta světla od kvasarů k nám je tak dlouhá, nevyhnutelně protíná plynné okraje

mladých galaxií. Tento plyn absorbuje světlo z kvasaru na určitých frekvencích, a tak označí spektrum kvasarového záření svým čárovým kódem z tenkých absorpčních čar [viz rámeček výše].

Kdykoliv plyn absorbuje světlo, elektrony uvnitř atomů přeskočí z nízké energetické hladiny na vyšší. Tyto energetické hladiny jsou určeny tím, jak pevně si atomové jádro drží elektrony, a to zase závisí na síle elektromagnetických sil mezi ním a elektrony – a tudíž na konstantě jemné struktury. Kdyby v době absorpce světla nebo v konkrétním místě vesmíru, kde k absorpci došlo, byla konstanta jiná, energie potřebná k excitaci elektronu by se lišila od té dnešní, známé z laboratorních experimentů, a vlnové délky přechodů pozorované ve spektru by se lišily. Způsob, jakým se vlnové délky liší, kriticky závisí na orbitální konfigu-

raci elektronů. Při určité změně konstanty α se některé vlnové délky zkrátí, zato jiné se zvětší. Komplexní vzor těchto jevů se nedá snadno zaměnit s chybami kalibrace dat, což z tohoto testu dělá pozoruhodně silný nástroj.

Než jsme začali před deseti lety svou práci, trpěly pokusy provést toto měření dvěma vážnými omezeními. Za prvé, vědci v laboratořích neměli změřené vlnové délky mnoha relevantních spektrálních čar s dostatečnou přesností. Je ironií osudu, že vědci věděli více o spektrech kvasarů vzdálených miliardy světelných let, než o spektrech vzorků zde na Zemi. Potřebovali jsme vysoce přesná laboratorní měření, s kterými bychom mohli srovnávat kvasarová spektra, takže jsme přemluvili experimentátory, aby je naměřili. Počáteční měření provedli Anna Thorne a Juliet Pickering z Imperial Col-

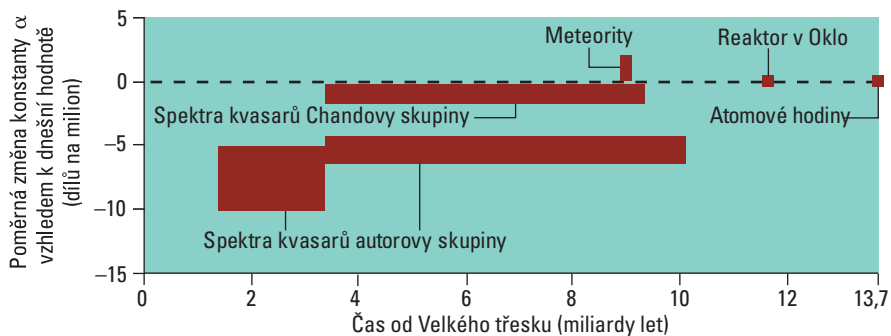
lege London a dále je následovali skupiny vedené Svenericem Johanssonem z Lund Observatoriy ve Švédsku a Ulfem Griessmannem a Rainerem Klingem z Národního institutu pro standardy a technologie v Marylandu.

Druhý problém byl, že předchozí pozorovatelé používali takzvané absorpční čáry alkalického dubletu – dvojice absorpčních čar pocházející ze stejného plynu, například z uhlíku nebo křemíku. Porovnávali vzdálenosti mezi těmito čarami ve spektrech kvasarů s laboratorními měřeními. Tato metoda však nevyužila jednoho konkrétního jevu: změna α neposune jen vzájemné vzdálenosti mezi energetickými hladinami atomů vzhledem k nejnižší energii, ale také polohu samotného základního stavu. Tento druhý efekt je ve skutečnosti ještě výraznější než první. Nejlepší přesnost dosažená experimentátory byla v důsledku toho jen kolem 1 dílu z 10^4 .

V roce 1999 přišel jeden z nás (Webb) a Victor V. Flambaum z Univerzity Nového Jižního Walesu v Austrálii s metodou, jak započíst vlivy obou těchto jevů. To byl průlom: znamenalo to 10krát větší citlivost. Tato metoda navíc umožňuje porovnání různých prvků (například hořčíku a železa), čímž můžeme provést křížové testy. K uvedení této myšlenky do praxe bylo zapotřebí mnoha komplikovaných numerických výpočtů, které udávaly, jak přesně závisejí pozorované vlnové délky na hodnotě α ve všech možných typech atomů. Spolu s moderními teleskopy a detektory umožnil tento nový přístup, známý jako „metoda mnoha multipletů“, testovat stálost konstanty α s nebyvalou přesností.

Změna myšlení

KDYŽ JSME tento projekt začínali, očekávali jsme, že hodnota konstanty α určené pro dávné časy, bude stejná, jako je dnes. Náš příspěvek by byl jednoduše jen zlepšení přesnosti. K našemu překvapení ukázaly první výsledky v roce 1999 malé, ale statisticky významné odchylky. Další údaje tyto nálezy potvrdily. Na základě celkem 128 kvasarových absorpčních čar jsme zjistili, že α narostla v průběhu posledních 6 až 12 miliard let v průměru o téměř 6 miliontin.



MĚŘENÍ konstanty jemné struktury jsou neprůkazná. Některá naznačují, že konstanta bývala menší, jiná zase ne. Je možné, že konstanta se v raném stadiu vesmíru měnila, ale nyní se nemění. (V rámečku je rozsah dat).

Mimořádná tvrzení vyžadují mimořádné důkazy, proto se naše první myšlenky stočily k možným problémům s údaji nebo s metodami analýzy. Tyto nejistoty lze rozdělit na dva typy: systematické a náhodné. Náhodné nejasnosti se dají snáze pochopit; jsou prostě náhodné. Liší se pro každé jedno měření, ale nakonec se ve velkém vzorku dat zprůměrují téměř k nule. Systematické nejistoty, které se nezprůměrují, jsou větším oříškem. Jsou pro astronomii typické. Laboratorní měření se dají upravit, aby se systematická nejistota minimalizovala, ale astronomové nemohou změnit vesmír, a tak jsou nuceni přijmout fakt, že všechny jejich metody sběru dat budou nevyhnutelně předpojaté. V jakémkoliv přehledu galaxií budou například dominovat jasné galaxie, protože je lze snáze pozorovat. Identifikace a rozpoznávání těchto předpojatostí je neustálá výzva.

První, na co jsme se zaměřili, byla deformace měřítka vlnových délek, vzhledem ke kterému jsme spektrální čáry kvasarů měřili. Taková deformace může

být například způsobená při zpracování dat z kvasaru z jejich surové podoby v teleskopu na kalibrované spektrum. I když by prosté lineární prodloužení nebo zkrácení stupnice vlnových délek nemohlo přesně imitovat změnu v α , ani přibližná imitace by nevysvětlila naše výsledky. Abychom otestovali možnost problémů tohoto typu, zaměnili jsme data z kvasaru za kalibrační data a ta jsme analyzovali, jako by to byla data z kvasaru. Tento experiment vyloučil chybu prosté deformace měřítka s vysokou mírou jistoty.

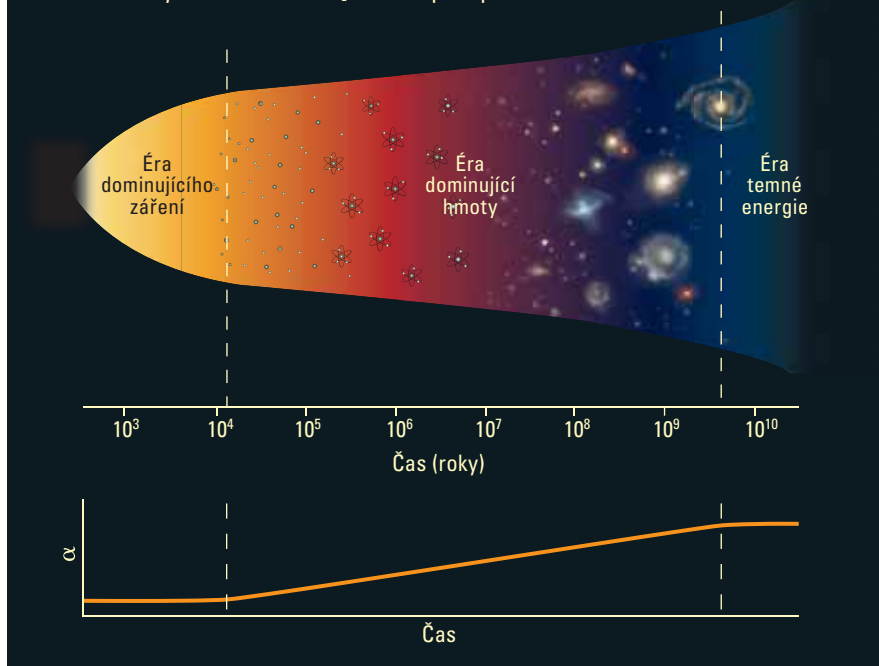
Po více než dva roky jsme vymýšleli jednu možnou předpojatost za druhou, jen abychom ji po důkladném zkoumání vyloučili jako zanedbatelně malou. Doposud jsme identifikovali jen jeden potenciálně vážný zdroj předpojatosti měření. Týká se absorpčních čar vytvářených hořčíkem. Každý ze tří stabilních izotopů hořčíku absorbuje jinou vlnovou délku, ale tyto tři vlnové délky jsou si velmi blízké a v kvasarovém spektru obecně pozorujeme tyto tři čáry jako jednu roz-

[AUTOŘI]

JOHN D. BARROW a JOHN K. WEBB začali společně pracovat na prozkoumání přírodních konstant v roce 1996, kdy Webb strávil vědeckou dovolenou s Barrowem na univerzitě v Sussex ve Velké Británii. Barrow se zabýval zkoumáním nových teoretických možností proměnlivosti konstant a Webb byl ponořen do studia spekter kvasarů. Jejich projekt si brzy získal další fyziky a astronomy, především Victora V. Flambauma z univerzity v New South Wales v Austrálii, Michaela T. Murphyho z univerzity v Cambridge a João Magueijo z Imperial College London. Barrow je nyní profesorem na Cambridge a členem Královské společnosti a Webb je profesorem v New South Wales. Oba jsou známí svými popularizačními aktivitami. Barrow napsal 17 populárních knih; jeho hra, Nekonečnosti, se hraje na scénách v Itálii; také měl projevy na místech tak rozmanitých, jako je Benátský filmový festival, Downing Street 10 a Vatikán. Webb vede pravidelně mezinárodní přednášky a pracuje na více než tuctu rozhlasových a televizních programů.

NĚKDY SE MĚNÍ, NĚKDY NE

Podle teorie autora článku by konstanta jemné struktury měla být konstantní v určitých obdobích vývoje vesmíru, v jiných by zase rostla. Data souhlasí [viz rámeček na předchozí straně] s touto předpovědí.



mazanou. Na základě laboratorních měření relativních četností těchto tří izotopů vědci usuzují na jejich individuální příspěvky. Kdyby se tyto relativní četnosti výskytu v raném vesmíru podstatně lišily – což se mohlo stát, pokud byly hvězdy chrlící do galaxií hořčičk v průměru těžší, než jejich protějšky dnes – mohly by tyto rozdíly simulovat změnu v α .

Studie publikovaná v roce 2005 však naznačuje, že naše výsledky se nedají takto snadno interpretovat. Yeshe Ferner a Brad k. Gibson ze Swinburne University of Technology v Austrálii a Michael T. Murphy z univerzity v Cambridge zjistili, že vysvětlení změny α pomocí četností izotopů v raném vesmíru by také znamenalo nadprodukcí dusíku – a to je v přímém rozporu s pozorováním. Je-li tomu skutečně tak, musíme se připravit na možnost, že se α skutečně mění.

Vědecká komunita si rychle uvědomila ohromný potenciál významu našich výsledků. Spektroskopici kvasarů po celém světě jsou nám v patách a rychle přišli s vlastními měřeními. V roce 2003 prozkoumali týmy vedené Sergeiemi Levšakovem z Ioffeova fyzikálně-technického ústavu v Petrohradě a Ralfem

Quastem z Hamburgské univerzity v Německu tři nové kvasarové systémy. V roce 2004 Hum Chand a Raghunathan Sriamand z Inter-University Center for Astronomy a Astrophysics v Indii, Patrick Petitjean z Institute of Astrophysics a Bastien Aracil z LERMA v Paříži analyzovali dalších 23 kvasarů. Žádná z těchto skupin nepozorovala změnu v α . Chand namítl, že případná změna by musela být menší, než jedna miliontina za posledních 6 až 10 miliard let.

Jak může v podstatě podobná analýza, jen s jinou sadou dat, způsobit tak radikální rozpor? Odpověď je zatím neznámá. Data těchto skupin mají výbornou úroveň, ale jejich vzorky jsou podstatně menší než naše a nejdou tak daleko do minulosti. Chandova analýza nevyhodnotila plně všechny experimentální a systematické chyby – a protože je založená na zjednodušené verzi metody mnoha multiplanetů, může zavádět chyby vlastní.

Jeden významný astrofyzik, John Bahcall z Princetonu, kritizoval samotnou metodu mnoha multiplanetů, ale problémy, jež uváděl, spadají do kategorie náhodných nejistot, které by se měly ve velkém

vzorku rozmazat. Spolu se svými kolegy, podobně jako další tým vedený Jeffreyem Newmannem z Lawrenceovy Národní laboratoře v Berkeley, se zaměřil na emisní čáry místo na absorpční. Tento přístup je zatím mnohem méně přesný, ale v budoucnosti by mohl přinést užitečnou omezení.

Reforma zákonů

POKUD SE UKÁŽE, že jsou naše zjištění pravdivá, budou důsledky enormní, byť zatím jen částečně prozkoumané. Až donedávna dopadaly všechny pokusy o odhadnutí, co se stane vesmírem, pokud se konstanta jemné struktury mění, nespokojivě. Omezily se pouze na předpoklad, že α se stane proměnnou v těch samých vzorcích, které byly odvozeny za podmínky, že je konstantní. To je ale pochybná praktika. Pokud se α mění, pak musí její projevy zachovávat energii a momenty a musí ve vesmíru ovlivňovat gravitační pole. V roce 1982 Jacob D. Bekenstein z Hebrejské univerzity v Jeruzalémě jako první zevšeobecnil zákony elektromagnetismu, aby důsledně začlenily proměnné konstanty. Teorie pozvedá α z pouhého čísla na takzvané skalární pole, dynamickou složku přírody. Jeho teorie ovšem nezahrnuje gravitaci. V roce 2001 ji jeden z našeho týmu (Barrow) spolu s Harvardem Sandvikem a João Magueijo z Imperial College v Londýně upravil, aby gravitaci začleňovala.

Tato teorie dává příjemně jednoduché předpovědi. Variace α o pár miliontin by měly na rozpínání vesmíru naprosto zanedbatelný vliv. Pramení to z toho, že elektromagnetismus je na kosmickém měřítku mnohem slabší než gravitace. Ale i když změny konstanty jemné struktury neovlivní výrazně rozpínání vesmíru, rozpínání ovlivňuje α . Změny α jsou způsobeny nevyvážeností mezi energií elektrického pole a magnetického pole. Během prvních desítek tisíc let historie vesmíru dominovalo záření nad nabitými částicemi a drželo elektrické a magnetické pole v rovnováze. Jak se vesmír rozpínal, radiace se stávala řidší a dominujícím prvkem vesmíru se stala hmota. Elektrické a magnetické pole přestaly být v rovnováze a α se začala pomalu

zvyšovat, s logaritmickým nárůstem v čase. Před asi šesti miliardami let převzala iniciativu temná energie a zrychlila rozpínání, čímž ztížila šíření všech fyzikálních vlivů napříč prostorem. Tak se stala α opět téměř konstantou.

Tento předpovídaný průběh je ve shodě s našimi pozorováními. Spektrální čáry kvasarů reprezentují vesmírnou éru dominující hmoty, kdy se α zvyšovala. Výsledky z laboratoří a Oklo spadají do éry dominované temnou energií, kdy je α konstantní. Probíhající studie vlivu změny α na radioaktivní prvky v meteoritech je obzvláště zajímavá, protože se časově týká přechodu mezi těmito dvěma érami.

Alfa je jen začátek

JAKÁKOLIV TEORIE stojící za pozornost nesmí jen reprodukovat pozorování; musí dávat nové předpovědi. Výše uvedená teorie naznačuje, že změny v konstantě jemné struktury způsobují, že předměty jinak padají. Galileo předpovídal, že tělesa ve vakuu padají stejnou rychlostí bez ohledu na hmotu, ze které se skládají – myšlenka známá jako slabý princip ekvivalence, slavně předvedená, když astronaut Apolla 15 David Scott upustil kladivo a pírko a oba předměty se dotkly povrchu Měsíce v jeden okamžik. Ale pokud se α mění, tento princip již přesně neplatí. Odchytky generují sílu na všechny nabitě částice. Čím více má atom v jádře protonů, tím silněji tuto sílu pocítí. Pokud jsou naše pozorování kvasarů správná, pak se skutečná zrychlení různých materiálů liší o přibližně jeden díl z 10^{14} – asi 100krát méně, než kolik můžeme změřit v laboratoři, ale dost výrazně na to, aby se to objevilo v plánovaných misích jako je například STEP (Vesmírný Test Principu Ekvivalence).

V příběhu je ještě jeden zvrát. Předchozí studie α zanedbávaly jednu zásadní úvahu: hrudkovitost vesmíru. Jako všechny galaxie je i naše Mléčná dráha asi milionkrát hustší, než je průměr ve vesmíru, takže se nerozpíná spolu s vesmírem. V roce 2003 spočítali Barrow a David F. Motta z Cambridge, že se α může uvnitř galaxie chovat jinak než v prázdných oblastech vesmíru.



Jakmile mladá galaxie z kondenzuje a zrelaxuje do gravitační rovnováhy, přestane se uvnitř ní α téměř měnit, ale mění se dál mimo ni. Proto trpí pozemské experimenty zkoumající stálost α předpojatým výběrem. Potřebujeme tento jev více prostudovat, abychom zjistili, jak ovlivní testy slabého principu ekvivalence. Zatím nebyly pozorovány žádné prostorové odchylky α . Na základě reliktního záření Barrow nedávno ukázal, že α se mezi oblastmi vzdálenými na obloze o 10 stupňů nemění o více než jeden díl z 10^8 .

Tak v jakém stavu nám tento záchvat aktivity zanechává fyziku, co se α týče? Očekáváme nová data a nové analýzy, které potvrdí nebo vyvrátí změny v α na udávané úrovni. Vědci se ze všech přírodních konstant soustředí na α protože

její vliv lze prostě snadněji pozorovat. Pokud by ale α podléhala změnám, další konstanty by se měly také měnit, čímž by činily vnitřní zákonitosti přírody ještě vrtkavějšími, než si kdy fyzikové představovali.

Konstanty jsou palčivým tajemstvím. Každá fyzikální rovnice je jimi napěchovaná a zdají se tak prosté, že lidé mají tendence zapomínat, jak nezodpovědné jejich hodnoty jsou. Jejich původ je spojen s největšími otázkami moderní vědy, od teorie sjednocení po rozpínání vesmíru. Mohou být tím povrchním odleskem struktury větší a složitější, než je náš trojrozměrný vesmír, který kolem sebe vnímáme. Určení, zda jsou konstanty skutečně konstantní, je jen prvním krokem na cestě vedoucí k hlubšímu a širšímu pochopení pohledu na vesmír. SA

CHCETE-LI VĚDĚT VÍCE:

Further Evidence for Cosmological Evolution of the Fine Structure Constant. J. K. Webb, M. T. Murphy, V. V. Flambaum, V. A. Dzuba, J. D. Barrow, C. W. Churchill, J. X. Prochaska a A. M. Wolfe ve *Physical Review Letters*, Svazek 87, č. 9, Článek č. 091301; 27. srpen, 2001. Přetisk dostupný online na arxiv.org/abs/astro-ph/0012539

A Simple Cosmology with a Varying Fine Structure Constant. H. B. Sandvik, J. D. Barrow a J. Magueijo ve *Physical Review Letters*, Svazek 88, Článek č. 031302; 2. ledna, 2002. [astro-ph/0107512](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0107512)

The Constants of Nature: From Alpha to Omega. John D. Barrow. Jonathan Cape (London) a Pantheon (New York), 2002.

Are the Laws of Nature Changing with Time? J. Webb ve *Physics World*, Svazek 16, Díl 4, strany 33–38; duben 2003.

Limits on the Time Variation of the Electromagnetic Fine-Structure Constant in the Low Energy Limit from Absorption Lines in the Spectra of Distant Quasars. R. Srianand, H. Chand, P. Petitjean and B. Aracil in *Physical Review Letters*, Svazek 92, Článek č. 121302; 26. března, 2004. [astro-ph/0402177](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0402177)