

https://www.aldebaran.cz/bulletin/2018_18_dar.php

Týdeník věnovaný aktualitám a novinkám z fyziky a astronomie.

Vydavatel: [AGA & Štefánikova hvězdárna v Praze](#)

Číslo 18 (vyšlo 8. června, ročník 16 (2018))

© Copyright Aldebaran Group for Astrophysics

Publikování nebo šíření obsahu je **zakázáno**.

ISSN: 1214-1674,

Email: bulletin@aldebaran.cz

18/2018

Na úsvitu času – kdy vznikaly první hvězdy?

Petr Kulhánek

Naše znalosti o vesmíru v období těsně po velkém třesku jsou velmi omezené.

Ovšem znalosti o Vesmíru „před Třeskem“ jsou zcela definitivní : S.Howking řekl

jasně : PŘED TŘESKEM NEBYLO NIC. - A basta. Neznáme detaily chování plynu

po oddělení záření od látky, ani jak přesně vznikaly první hvězdy, galaxie a první obří

černé díry. Ba co dím, nezná fyzika - potažmo Kulhánek - proč Vesmír vznikl ?, jak

Vesmír vznikl ?, z čeho Vesmír vznikl ? a kde-z čehože se vzala ve „vzniklém“

Vesmíru „nevzniklá/vzniklá hmota“ ? Dlouhodobou touhou bylo zachytit absorpční

linie chladného vodíku z období kolem vzniku prvních hvězd čím se to „zachytává“ ?

a čím se „zachycení“ čehokoliv vyhodnocuje ??? Dal nám vesmír nezpochybnitelný

mechanismus vyhodnocování ???, anebo si „mechanismus“

sami lidé zvolili a tudíž nemusí být navěky Pravdivým !!!! a mnozí astronomové

předpokládali, že signál bude natolik slabý, že ho dnešními technologiemi polapit

nedokážeme. Polapit je jedna věc a vyhodnotit je jiná věc...kde berou fyzikové tu

super-jistotu, že vyhodnocují „příjem“ správně ??? V letošním roce přišlo několik překvapení naráz. Signál ožívajícího vodíku po období temného věku vesmíru byl skutečně zachycen, zachycen, ...ale jak byl vyhodnocen ? opravdu správně ??? a to speciální anténou o velikosti obyčejného stolu, kterou vymyslel a připravil Alan Rogers z MIT s profesorem Juddem Bowmanem z Arizonské státní univerzity. Anténu postavili v Murchisonové radioastronomické observatoři v západní Austrálii, v poušti, kde ji neruší žádné rádiové signály vytvořené člověkem. Rušení žádné vyhodnocení ovšem jaké ? správné ? Zachycená absorpční čára byla hlubší, než se očekávalo a odpovídá mladšímu vesmíru, než vychází z měření sondy Planck. Alespoň nějaké hvězdy musely být ve vesmíru už v čase 180 milionů roků. Právě tyto hvězdy probudily z letargie vodíkové atomy. V období 550 milionů roků, které plyne pro tvorbu prvních hvězd z měření polarizace reliktního záření sondou Planck, už musela být tvorba první generace hvězd v plném proudu, podpis v polarizaci reliktního záření zjevně přichází až později než podpis v absorpci vodíku. A je zde řada dalších otázek. Hloubka absorpční čáry odpovídá opravdu ??? mnohem chladnějšímu vesmíru, než jsme předpokládali. Proč byl vesmír krátce po velkém třesku tak chladný ? A proč vznikaly hvězdy tak záhy ? A jaká je souvislost tvorby hvězd, galaxií a vzniku prvních černých veleděří ? asi proto, že „představy vesmíru“ jsou jiné než „představy lidí“ ...; některé představy lidí jsou méně „mamrdovatější“, že pane Kulhánek (?) Každý průlom v poznání s sebou nese nové nezodpovězené otázky. Pak ovšem záleží jak mocně umíme představy laiků znásilnit, pohřbit násilím v PL a vynést na piedestal ty „pravé“ na věky nezpochybnitelné p ř e d s t a v y roty žáků Kulhánkovic.

Kosmologický posuv – posuv spektrálních čar k červenému konci spektra díky rozpínání vesmíru. Anebo díky pootáčení soustav ??? čili díky tomu že globální vesmír je křivý a od Třesku se jeho vysoká křivost dodnes postupně rozbaluje (nikoliv že se čp axiálně rozpíná) Kde je důkaz že „se vesmír rozpíná axiálně a kde je důkaz že se nerozbalují jeho křivé dimenze ???!!???) To musí vědět titulovaný fyzik – Kulhánek, a nemůže to vědět laik – Navrátil. Pravda se řídí titulama u jména. Při rozpínání dochází nejen ke vzájemnému vzdalování galaxií, ale i k prodlužování vlnových délek záření. Spektrum vzdálených objektů ve vesmíru se tak jeví posunutě směrem k červené až infračervené oblasti. Efekt pootáčení globální křivosti čp

vesmíru ...a ta se mění s časem tím, že se křivost věkem rozbaluje... Kosmologický červený posuv je definován předpisem $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$, kde λ_0 je vlnová délka spektrální čáry v okamžiku vyslání paprsku, λ je vlnová délka téže spektrální čáry v okamžiku zachycení paprsku. Co když ne ?? ((v prostředí čp, které už je nesmírně hodně narovnáno z původních vysokých křivostí v plasmě, se dá těžko určit zda je rozpínání !axiálně přímkové“ anebo se jedná o „narovnávaní křivosti, která už je hodně narovnaná“ ???????))

Gravitační křivost čp v blízkosti velkých těles (hvězdy anebo galaxie coby celek) je dost vysoká, aby se tu rudý posuv čar dal vyhodnotit jako lineární vztah, ale...ale u objektů nesmírně vzdálených v globálně křivém čp, asi ne !! Malé kosmologické červené posuvy lze interpretovat pomocí Dopplerova jevu. lineárně U velkých posuvů závisí vzdálenost objektu na parametrech expanze vesmíru a ty nemusí být lineární „v čase“ (Hubbleově konstantě, křivosti, procentuálním zastoupení temné energie atd.) a není jednoduché z naměřeného kosmologického posuvu vzdálenost přesně určit.

Temný věk – období mezi vznikem atomárních obalů (380 000 let po Velkém třesku) a reionizací plynu v důsledku vzniku prvních megahvězd (550 milionů let po Velkém třesku). V tomto období látka ve vesmíru nezářila a byla temná.

Reliktní záření – záření, které se od látky oddělilo přibližně 400 000 let po vzniku vesmíru, v době, kdy se vytvářely atomární obaly prvků a končilo plazmatické období vesmíru. Počáteční horkou (plazmatickou) fází existence vesmíru nazýváme Velký třesk a reliktní záření tedy pochází z období konce Velkého třesku. Dnes má teplotu 2,73 K a vlnovou délku v milimetrové oblasti. Je jedním ze základních zdrojů informací pro naše poznání raného vesmíru. V anglické literatuře se označuje zkratkou CMB (Cosmic Microwave Background, mikrovlnné záření pozadí).

Historie na vlně 21 centimetrů

Datace různých období v raném vesmíru silně závisí na použitém kosmologickém modelu. Proto se často v kosmologických publikacích namísto času používá [červený kosmologický posuv](#) spektrálních čar, tedy relativní změna vlnové délky

elektromagnetického záření $z = \Delta\lambda/\lambda$, **to je ovšem jenom „stop-stav“** která je snadno měřitelná a objektivní. Velký třesk končí tvorbou atomárních obalů, první vznikaly pro $z \sim 1\ 000$ a proces formování atomárních obalů skončil pro $z \sim 150$ (temný věk byl v plném proudu). V tomto období je ve vesmíru dominantní neutrální vodík (proton vázaný s elektronem) a reliktní záření, které s látkou interaguje minimálně. Přirozená čára vodíku je v klidové soustavě 21 centimetrů. Jde o přechod mezi stavem, v němž je spin protonu a elektronu souhlasný, a stavem, v němž mají opačný směr. Probíhající adiabatická expanze vesmíru ale neutrální vodík ochladila natolik, že není schopen ani zářit, ani jakékoli záření absorbovat a na vlně 21 centimetrů se nijak neprojevuje.

V průběhu temného věku nejsou ve vesmíru volné elektrony, vesmír je v plynném skupenství a neinteraguje se zářením. První jednotlivé hvězdy by se podle posledních výzkumů měly objevit už v období, kterému odpovídá $z \sim 17$ (cca 180 milionů roků). Hmotnosti prvních hvězd by měly být řádově stovky Sluncí, což znamená vysoký tlak a teplotu v jejich nitru a velmi účinnou termojadernou syntézu, která život těchto prvních gigantů zkrátí na pouhých několik milionů roků, snad desítek milionů roků. Mezihvězdné prostředí je obohaceno o těžší prvky a černé díry, jejichž akreční disky svítí v rentgenovém oboru a dále přispívají k ohřevu okolního prostředí. Spící atomární vodík se probouzí a začíná pohlcovat záření na vlně 21 centimetrů (je jím excitován). V elektromagnetickém záření pozadí by se proto měla objevit charakteristická **absorpční čára** (21 cm, 1,4 GHz), která odpovídá probuzení vodíku vlivem vzniku prvních hvězd. Tato čára je ale expanzí vesmíru prodloužena na vlnovou délku téměř 4 metry (nakonec byla nalezena na 78 MHz).

Tvorba první generace hvězd kulminuje v období $z \sim 12$ až 15. Silně excitovaný vodík (svitem hvězd, rentgenovým zářením černých děr atd.) začne samostatně zářit a namísto absorpční čáry se na vlně 21 centimetrů objeví **emisní čára** vodíku. Současně dochází i k ionizaci vodíku, procentuální podíl ionizovaných atomů roste, a s tím i počet volných elektronů, které ovlivňují polarizaci reliktního záření. Právě toto období bylo detekováno sondou Planck na základě měření polarizace reliktního záření. Tvorba prvních hvězd už běží naplno a je zde i mnoho černých děr, pozůstatcích po rychlém vývoji prvních hvězd, které svým rentgenovým zářením přispívají k ohřevu vesmíru.

Poslední fází je většinová ionizace volného vodíku. Vodík bez elektronu v obalu už samozřejmě nezáří, takže na vlně 21 centimetrů **období emise končí** s reionizací vesmíru. V anglické literatuře se tato epocha označuje zkratkou EoR (*Epoch of Reionization*), červený kosmologický posuv by na konci éry reionizace měl být kolem hodnoty 6, kdy svit neutrálního vodíku utichá. Vesmír je plný prvních hvězd a galaxií, včetně pozůstatků po životě prvních hvězd.

Projekt EDGES

Nalezení absorpční čáry vodíku, která je způsobena jeho zahřátím prvními hvězdami (říkáme jim první generace nebo třetí populace), bylo snem radioastronomů, ale veškeré předpovědi poukazyvaly na to, že signál bude natolik slabý, že šance ho zachytit jsou minimální. Alan Rogers z [MIT](#) se ale nevzdal a navrhl vlastní anténu, která umožňovala příjem rádiových vln v oblasti frekvencí 100 až 200 megahertzů (anténa je na levém horním snímku). Jeho skupina získala prostředky na stavbu antény od nadace [NSF](#) (ta například financovala hledání gravitačních vln detektory [LIGO](#)). Nová anténa získala název EDGES (*Experiment to Detect Global EoR Signature*). Anténu vědci testovali na observatoři Haystack, která patří MIT, a nachází se 60 kilometrů severozápadně od Bostonu. Poté ji instalovali v australské poušti na půdě Murchisonové radioastronomické observatoře v západní Austrálii. Anténa byla výsledkem mnohaleté práce a její tvar byl navržen tak, aby šlo snadno oddělit parazitní signály popředí. Nejvýraznějším je [synchrotronní emise](#) elektronů pohybujících se v galaktickém magnetickém poli (70 %), dále srážky volných elektronů a diskrétní galaktické i mimogalaktické zdroje, které září v kontinuu. Nad frekvencí 30 MHz ([plazmová frekvence](#) ionosféry) je signál navíc výrazně ovlivněn průchodem atmosférou Země. Se všemi těmito vlivy bylo nutné počítat a odstranit je matematickými postupy. Navržená anténa měla přibližně tvar obdélníku s delší hranou dva metry, zem pod ní byla pokrytá vodivou sítí.

První snahy byly neúspěšné a přes veškeré úsilí se týmu vědců pod vedením Alana Rogerse nepodařilo absorpční čáru vodíku detekovat. Naštěstí se nevzdali a vyrobili další verzi antény pro příjem signálu v oblastech frekvencí 50 až 100 megahertzů. Jejich

úsilí se vyplatilo a nejenom, že absorpční čáru vodíku našli (na frekvenci 78 MHz), ale dokonce byla mnohem hlubší, než předpovídala teorie. Hloubka čáry souvisí s teplotou vodíkového plynu, ukázalo se, že v období zrodu prvních hvězd byl plyn ve vesmíru chladnější (kolem tří kelvinů), než se předpokládalo. Datace vzniku těch opravdu prvních hvězd vychází na období 180 milionů roků. Tento údaj není v rozporu s hodnotami ze sondy Planck, která měří polarizaci reliktního záření. Tu ovlivňují volné elektrony, které vznikají až později v důsledku pokročilé reionizace prostředí. V období 550 milionů roků tvorba prvních hvězd kulminovala a počet volných elektronů v důsledku reionizace narůstal. V tomto období už byla absorpční čára nahrazena emisní čárou (excitovaný vodík samostatně zářil), která s postupující ionizací prostředí slábla, neboť neutrálních vodíkových atomů ubývalo.

Dlouho hledaná absorpční čára vodíku. Jednotlivé křivky odpovídají různým uspořádáním experimentu. Zdroj: EDGES/ASU/MIT.

Proč byl vesmír chladnější?

V období 180 milionů roků po vzniku vesmíru byl podle nových měření vesmír nečekaně chladný, dokonce se zdá, že byl chladnější než reliktní záření. Rozumné vysvětlení dosud schází, ale o pokusy není nouze. A jak už to bývá, vyrojila se řada i značně obskurních nápadů. S jedním z nich přišli Julian Muñoz a Abraham Loeb z Harvardu. Ukázali, že pokud by částice temné hmoty měly nepatrný zlomkový elektrický náboj (milionkrát menší než náboj elektronu), došlo by k atypické interakci temné hmoty s látkou, která by mohla být zodpovědná za ochlazení vodíku. Že je to šílené? Ano, ale to zdaleka není jediné vysvětlení. Rennan Barkana z Tel Avivské univerzity se s tím nepáral a rovnou prohlásil, že za ochlazení vodíku by mohla být zodpovědná další interakce, která funguje mezi temnou hmotou a normální látkou. Obě dvě „šílené“ teorie spojuje to, že řešení hledají v atypické interakci normální látky s temnou hmotou v období, kdy její hustota byla extrémní. Zda mají tyto hypotézy nějakou naději na úspěch je sporné, ale další měření absorpční čáry vodíku na vlně 21 centimetrů by mohlo tyto teorie poslat na propadliště dějin, pokud se neukáže, že v oblastech zvýšené hustoty temné hmoty je absorpční čára ještě hlubší, a tedy vesmír díky větší interakci s temnou hmotou ještě chladnější. Celé to

připomíná jednoduché pravidlo: „*Když něčemu nerozumíme, šoupneme tam temnou hmotu a bude klid.*“

Naše velmi omezená znalost fyzikálních procesů za extrémních podmínek raného vesmíru může samozřejmě znamenat, že k ochlazení plynu došlo nějakým jiným způsobem a většina fyziků je k avantgardním vysvětlením skeptická. V každém případě je nalezení absorpční čáry vodíku na vlně 21 centimetrů významným krokem experimentální kosmologie a její podrobné studium nám umožní pochopit procesy, které probíhaly na konci temného období vesmíru.