Z čeho je vesmír?

Nepoučený dotázaný by asi dodnes odpověděl: Hlavně z hvězd. Po většinu minulého století by mu tato slova schválili i špičkoví vědci. Hvězdy jsou obrovské, jak je patrno z toho, na jakou vzdálenost nás dokáží upozornit na svou existenci. Prostor mezi nimi je sice ještě mnohem větší, ale ve srovnání s hvězdami také téměř prázdný, což vidíme z toho, jak málo ovlivňuje chod paprsků hvězd.

Z čeho jsou však hvězdy? Odpověď poskytl rozvoj pozorovací i teoretické astrofyziky minulého století. Spektrální rozbor světla hvězd ukazuje, že alespoň jejich povrch sestává ze stejných prvků, jaké známe i na Zemi. A teorie dokáže dobře vysvětlit i stavbu jejich nitra. Je nepochybné, že hvězdy jsou složeny převážně z baryonů – protonů a neutronů. Bylo proto považováno za téměř jisté, že viditelný vesmír je složen hlavně ze svítící baryonové hmoty. Ve vesmíru je pochopitelně i baryonová hmota, která nesvítí. Patří k ní například hmota naší zeměkoule a ostatních planet. Její podíl na hmotnosti Sluneční soustavy, kterou tvoří především Slunce, je sice malý, ve vesmíru jsou však postupně objevovány významnější nesvítící baryonové útvary: mezihvězdný plyn, neutronové hvězdy, černé díry. Současné odhady vedou k tomu, že jejich podíl asi trojnásobně přesahuje podíl svítících objektů.

Překvapivé je, že toto vše je jen malou částí hmotnostního – či energetického – obsahu vesmíru. Toto poznávání dozrávalo postupně a zakládalo se hlavně na zkoumání gravitačních účinků. Prvním, kdo si povšiml zdánlivé nesrovnalosti, byl patrně německý astronom Fritz Zwicky v třicátých letech minulého století. Zjistil, že pohyby v jisté kupě galaxií odpovídají daleko větším hmotnostem, než jaké dostaneme sečtením hmotností hvězd. Později se ukázalo, že i objekty na periferii jednotlivých galaxií se pohybují mnohem rychleji, než jak by to odpovídalo viditelným hmotnostem. Galaktické disky jsou tedy mnohem hmotnější než jejich svítící složka.

Další impulz pro úvahy o temné hmotě dodávala kosmologie. Úvahy o raných fázích vývoje vesmíru vedly k názoru, že vesmír, v němž žijeme, by měl mít prostorovou křivost velmi blízkou nule. (Není to v rozporu s Einsteinovou obecnou teorií relativity, která předpokládá křivost prostoročasu. Na možnost takovéhoto vesmíru upozornil právě Albert Einstein spolu s Willemem de Sitterem, podle nichž je dnes nazýván.) Viditelné – a ani předpokládané temné – baryonové hmoty se však k tomu nedostávalo.

Velký pokrok přinesla až kosmologická pozorování posledních desetiletí, která dovolila opravit a zpřesnit hodnoty základních kosmologických parametrů, mezi něž patří i hustota hmotnosti. Šlo zejména o výsledky projektů SCP (Supernova Cosmology Project), Boomerang (Ballon Observations of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics), COBE (Cosmic Background Explorer Satellite) či WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Bylo při nich využito nejmodernějších dalekohledů a možnosti pozorovat z balonů či kosmických sond. První uvedený projekt se soustředil na supernovy – kosmické katastrofy, ketré vedou k dočasnému objevení jasné hvězdy, pozorovatelné i ve vzdálených galaxiích. Supernovy jistého typu vykazují přesnou závislost mezi časovým průběhem jevu a absolutní svítivostí objektu. Slouží proto jako „standardní svíčky“ – ze svítivosti pozorované na Zemi je možno určit jejich vzdálenost a ze změřeného rudého posuvu spekter rychlost rozpínání vesmíru v dané vzdálenosti. Zbývající projekty se zaměřily na zkoumání anizotropie reliktního záření, které je „památkou“ na ranou fázi kosmologického vývoje, v nichž bylo dominantní složkou energie vesmíru elektromagnetické záření (čili jeho kvanta fotony).

Všechna tato pozorování umožnila mimořádně – a doufejme, že už definitivně – zpřesnit naši znalost kosmologických parametrů. Shodují se v tom, že vesmír je prostorově téměř

plochý a jeho stáří je asi 14 miliard let. Přímo šokující je však údaj o jeho složení. Baryonová hmota – svítící i nesvítící – tvoří pouze 4% celkové hmotnosti-energie vesmíru, na temnou nebaryonovou hmotu připadá 23 % a zbytek – 73 % – je třeba připsat „temné energii“, která se svými vlastnostmi podstatně liší od ostatních forem energie. Uvedené hodnoty se pokládají za zaručené s přesností na několik procent.

Co se týče nebaryonové hmoty, můžeme zatím mluvit pouze o „kandidátech“ na její místo. Z částic, jejichž existence je prokázána, mohou tuto roli sehrát pouze neutrina, „neutrinové“ vysvětlení temné hmoty však naráží na značné teoretické potíže. Snad nadějnější možnost nabízejí teorie formulované na předním okraji současné fyziky, např teorie supersymetrie, podle níž je mezi bozony a fermiony vztah partnerství. Teorie předvídá existenci partnerů známých bozonů a fermionů, ale také dalších částic. Pro nejlehčí z částic o nenulové klidové hmotnosti je rezervován název neutralino. A právě neutralina by mohla tvořit podstatnou část temné hmoty. Jinou možnost dávají axiony, částice předvídané kvantovou teorií silné interakce. Zatím však laboratorní experimenty ani kosmologická pozorování nejsou schopna podstatu a původ temné hmoty vyjasnit.

Kořeny „temné energie“ sahají až k Albertu Einsteinovi a roku 1917. Tehdy Einstein na základě rovnic obecné teorie relativity navrhl první matematický model vesmíru. Aby dosáhl jeho statičnosti, jež se zdála být vhodným přiblížením ke skutečnému vesmíru, musel doplnit své rovnice vyjadřující vztah mezi geometrií prostoročasu a hmotou, která jej vyplňuje, „kosmologickým členem“ obsahujícím „kosmologickou konstantu“. Později de Sitter ukázal, že kosmologické řešení (tj. všude a ve všech směrech stejný vesmír) rovnic s kosmologickým členem existuje i pro prázdný vesmír. Toto řešení není statické, ale stacionární – to znamená, že vesmír se rozpíná, ale přitom se nemění. Moderní pohled na kosmologický člen je takový, že by mohl vyjadřovat základní vlastnosti vakua. To znamená, že i vakuu je třeba připsat hustotu energii. Temná energie by tedy mohla být dána právě kosmologickým členem. „Hmota-energie“ vakua má ovšem podstatně odlišné vlastnosti od jiných druhů hmoty. Vládne v ní napětí, které se rovná hustotě energie (v běžné soustavě jednotek jde o veličiny stejné dimenze) a je tedy velmi velké (v obyčejné hmotě jsou tlak či napětí zcela zanedbatelné ve srovnání s hustotou klidové energie). To má za následek, že vakuum se chová „antigravitačně“ – zrychleně se rozpíná svou vlastní gravitací.

A právě na první pohled zcela paradoxní zrychlování rozpínání vesmíru vyplývá z nových pozorování. (Donedávna se předpokládalo, že gravitace rozpínání vesmíru postupně zpomaluje.) Einsteinovy rovnice s kosmologickým členem to vysvětlují: jak se vesmír rozpíná, všechny druhy hmoty s výjimkou vakua se rozptylují a jejich gravitační vliv klesá, pouze vakuum zůstává rozpínáním nedotčeno a dnes již jeho antigravitační vliv ve vesmíru převládl. Vesmír by se podle toho měl asymptoticky blížit ke stavu, který předpověděl de Sitter. V dané vzdálenosti rychlost jeho rozpínání konverguje ke stálé hodnotě, ale jednotlivé elementy vesmíru se od nás vzdalují zrychleně, jako např. voda padá splavem zrychleně, i když splav vypadá stále stejně. Proti této analogii by se dalo namítnout, že splav je napájen stále novou vodou. Temná energie se však rovněž v jistém smyslu doplňuje, a to prací, kterou koná její napětí.

„Einsteinovské“ vysvětlení temné energie není ovšem jediná možnost. Není vyloučeno, že „kosmologická konstanta“ není ve skutečnosti konstantní, ale její hodnota závisí na stavu vesmíru. Temná energie je pak něčím zcela novým, „pátým elementem“ (narážka na čtyři živly antiky a zároveň na čtyři interakce dosavadní fyziky), quintesencí. Další pozorování možná tuto otázku rozhodnou. V tom případě by se mohlo stát, že rozpínání vesmíru se bude zrychlovat i při pozorování v dané vzdálenosti, až dosáhne na úroveň atomů a částic a vesmír počatý velkým třeskem skončí „velkým roztrhem“.

Tuto informaci můžeme stěží zakončit jinak než konstatováním, že naše neznalost povahy naprosté většiny energie ve vesmíru je znepokojivá. Možná budeme časem nuceni zrevidovat naše představy o základech fyziky víc, než si dnes dovedeme představit.

Bližší informace si čtenář může vyhledat v řadě textů na internetu. Vynikajícím přehledem je kniha Roberta P. Kirschnera Výstřední vesmír, kterou nedávno vydalo v češtině nakladatelství Paseka.