

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Jiří Švestka

Nobelova cena za fyziku za objev reliktního záření

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 24 (1979), No. 4, 202--205

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137797>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1979

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## Nobelova cena za fyziku za objev reliktního záření

Pozorování naznačují, že ve velkých měřítkách je Vesmír homogenní a izotropní. Aplikujeme-li na něj Einsteinovy rovnice obecné teorie relativity, dospíváme k závěru, že Vesmír jako celek nemůže být statický, ale musí se rozpínat nebo smršťovat. Hubbleův vztah vyjadřující lineární závislost rudého posuvu záření galaxií (interpretovaného jako posuv Dopplerův, a tedy úměrného rychlosti vzdalování) na jejich vzdálenosti svědčí o rozpínajícím se Vesmíru.

Z Einsteinových rovnic dále plyne, že rozpínání Vesmíru bylo před zhruba  $10^{10}$  lety zahájeno mohutnou explozí ze stavu o velmi vysoké hustotě. (V počátečních fázích rozpínání na rozdíl od dnešního stavu převyšovala hustota hmoty ve formě záření hustotu látky.) Předpokládáme-li navíc, že hmota v tomto období měla vysokou teplotu, byla veškerá látka ionizována a záření se při vysoké teplotě a hustotě tak často rozptylovalo na volných elektronech, že získalo charakter rovnovážného záření černého tělesa. (Rychlost rozpínání v té době nebyla již natolik vysoká, aby vytvoření rovnováhy mezi látkou a zářením zabránila.)

Během dalšího rozpínání teplota klesala, plazma rekombinovalo, tepelný kontakt mezi látkou a zářením se prakticky přerušil. Výpočty ukazují, že proces rekombinace znatelně nenarušil spektrum záření černého tělesa a ukazuje se dále, že spektrum záření „odtrženého“ od látky i během dalšího rozpínání Vesmíru odpovídá záření černého tělesa, pouze jeho teplota postupně klesá.

Záření černého tělesa (často nazývané reliktní nebo zbytkové) by tedy mělo zaplňovat veškerý vesmírný prostor i dnes.

První, kdo poukázal na možnou existenci reliktního záření, byl v roce 1948 G. GAMOV, který se zabýval tvorbou prvků těžších než vodík v horkých počátečních fázích rozpínajícího se Vesmíru. Na základě znalosti disociační teploty deuteria, které je mezistupněm při tvorbě těžších prvků (hélium a těžší prvky mohou začít vznikat až v době, kdy teplota záření klesla pod tuto hodnotu, protože jinak by fotony záření vzniklé deuterium opět „rozrušily“), předpokládané hustoty nutné pro účinný průběh příslušných jaderných reakcí a dnešní hustoty nukleonů, odhadl současnou teplotu reliktního záření na zhruba 10 K.

Maximum spektra takového záření leží v daleké infračervené oblasti, kde je záření silně pohlcováno zemskou atmosférou. Ve vizuální oblasti klesá spektrum přibližně exponenciálně, takže samo „světelné pozadí“ noční oblohy je podstatně silnější. Nejnadějnější by bylo pozorování v radiové oblasti, avšak v roce 1948 byla radioastronomie ještě v plenkách a potřebné přístroje nebyly ještě vyvinuty. Časem se radioastronomické metody podstatně zdokonalily, avšak současně opadl zájem o teorii původně „horkého Vesmíru“, protože nemohla objasnit vznik prvků těžších než hélium. Jejich vznik se dal naopak snadno vysvětlit jadernými reakcemi v nitrech hvězd, a nehledě na to, že těmito reakcemi nebylo možné vysvětlit velmi vysoké zastoupení hélia, upadla Gamovova teorie v zapomnutí.

Až teprve v roce 1964 došlo ke vzkříšení teorie „horkého Vesmíru“ skupinou pracovníků univerzity v Princetonu v čele s R. H. DICKEM. Dicke nevycházel ovšem z detailního výpočtu tvorby hélia v počátečních fázích rozpínání Vesmíru, ale čistě z předpokladu, že Vesmír musel být mnohem žhavější v počátečních fázích

rozpínání, protože buď vyšel ze singulárního stavu, v němž se teplota limitně blíží nekonečnu, nebo současněmu rozpínání předcházelo smršťování, během něhož musela teplota stoupnout alespoň natolik, aby došlo k disociaci těžkých prvků dříve vzniklých jadernými reakcemi v nitrech hvězd.

Dicke se svými spolupracovníky se rozhodli prověřit svoji hypotézu a na podzim roku 1964 začali konstruovat radiometr pracující v centimetrovém oboru, kde by intenzita reliktního záření měla převyšovat všechny ostatní mimozemské zdroje. (V roce 1964 přišlo s myšlenkou existence reliktního záření více vědců, jako např. ZELDOVIČ v SSSR, HOYLE a TAYLER ve Velké Británii. Hlavní zásluhou Dickeho skupiny však je to, že poprvé překročili k experimentálnímu potvrzení hypotézy „horkého Vesmíru“.)

Provést absolutní měření intenzity reliktního záření není nikterak jednoduché. V radioastronomii se obvykle provádějí relativní měření, při kterých se intenzita záření jedné části oblohy (jednoho diskrétního zdroje) srovnává s intenzitou záření druhé části oblohy (druhého diskrétního zdroje). V tomto případě není třeba kalibrovat přijímač v absolutních jednotkách. U reliktního záření však jde o měření absolutní. Kromě toho je třeba vzít v úvahu záření zemské atmosféry a samotné Země, ztráty v přijímací aparatuře a fakt, že hledaný signál bude zřejmě nejméně tisíckrát slabší než šumy v přijímači.

Poslední potíž je charakteristická pro mnohá radioastronomická měření a obvykle se překonává způsobem, který již v roce 1945 navrhl Dicke. Přijímač se periodicky připojuje buď k anténě nebo ke srovnávacímu zdroji – v případě měření za nízkých teplot například k odporu ponořenému v tekutém heliu. Pomocí

filtrů se na východu z přijímače snímá pouze ta část signálu, která se mění s frekvencí přepínání mezi anténou a srovnávacím zdrojem, jeho amplituda je mírou rozdílu teplot záření dopadajícího na anténu a srovnávacího zdroje.

Záření atmosféry je způsobeno hlavně molekulami kyslíku a vody a lze je měřit, namíříme-li anténu na různá místa na obloze, což odpovídá různým délkám dráhy radiových vln atmosférou. Teoretické výsledky souhlasí s výsledky pozorování, a započítání vlivu záření atmosféry na pozorovaný signál není tedy přílišným problémem.

Větší potíže činí záření Země. Nejlepší je eliminovat toto záření použitím zvláštní antény trubkovitého tvaru (místo obvyklé antény parabolické).

Zcela nezávisle na Dickeho skupině ve stejné době radioastronomové A. A. PENZIAS a R. W. WILSON z Bellových laboratoří v New Jersey zkoumali pomocí takového šestimetrové antény radiové záření Galaxie. (Anténa byla původně určena pro hledání nejhodnější oblasti – oblasti nejmenšího šumu, pro příjem signálů odražených od telekomunikační družice Echo.) Na vlnové délce 7,35 cm byli udiveni zářením, jehož intenzita převyšovala intenzitu všech známých zdrojů. Zjistili dále, že záření je izotropní (jeho intenzita nezávisí na směru pozorování) s přesností několika procent a není polarizováno. Ještě před zveřejněním svých pozorování sdělili své výsledky skupině v Princetonu, která interpretovala jejich „nadbytečné“ záření jako hledané reliktní záření – princeton-ský radiometr měl být uveden do provozu již za několik týdnů. Teplota záření černého tělesa odpovídající pozorované intenzitě na příslušné vlnové délce činila zhruba 3,5 K.

V červenci 1965 se objevil v časopise

Astrophysical Journal krátký článek s názvem *Měření nadbytku anténí teploty na 4080 MHz*. Ve stejném čísle uveřejnil rovněž Dicke se svými kolegy teoretickou interpretaci objevu.

Původní měření Penzias a Wilsona bylo ovšem provedeno pouze na jedné vlnové délce. V dalších letech byla proměřena řada jiných vlnových délek, a i když měření i jejich interpretace jsou značně složité, zdá se, že existence mikrovlnného reliktního záření, jehož teplota byla postupně upřesněna na 2,7 K, je nyní s dostatečnou jistotou prokázána.

Jde o nejdůležitější kosmologický objev od Hubbleova objevu všeobecné expanze Vesmíru. Objev reliktního záření je nejenom v současné době nejsilnějším argumentem ve prospěch teorie „horkého Vesmíru“ (alternativní teorie „chladného Vesmíru“, která předpokládá rozšiřování látky ze superhustého degenerovaného stavu, musí zavádět pro interpretaci naporozovaných dat řadu umělých předpokladů a existenci reliktního záření nemůže vysvětlit), ale zcela nezávisle na jeho původu jeho vysoká izotropie omezuje jakékoliv anizotropie Vesmíru ve velkém, a je tedy silným podkladem pro platnost tzv. kosmologického principu (Vesmír je ve velkých měřítkách homogenní a izotropní), jež je základem klasických modelů Vesmíru.

Význam reliktního záření je však podstatně širší. Hustota energie reliktního záření činí zhruba  $1 \text{ eV} \cdot \text{cm}^{-3}$  a je srovnatelná s hustotami jiných druhů energie v mezihvězdném prostředí (světlo hvězd, kosmické záření, magnetické pole, energie turbulentních pohybů plynných oblaků). Tedy dokonce v prostoru Galaxie je reliktní záření v mnohých ohledech stejně důležité jako jiné dobře známé lokální zdroje energie. V mezigalaktickém prostoru bude

zřejmě ještě mnohem důležitější. (Hustota energie reliktního záření např. zhruba stokrát převyšuje průměrnou hustotu energie všeho ostatního elektromagnetického záření ve Vesmíru.)

Objev reliktního záření nám dále otevírá fantastickou možnost měřit rychlost Země vůči vztažnému systému, ve kterém by se záření mělo jevit přesně izotropní, tj. vůči tzv. fundamentálnímu pozorovateli, pro něhož je průměrný pohyb blízkých galaxií roven nule a pohybujícího se vůči druhému takovému pozorovateli pouze v důsledku všeobecné expanze Vesmíru. Lze totiž ukázat, že v případě obecného pozorovatele bude sice ze všech směrů přicházet záření černého tělesa, jeho teplota však bude záviset na směru pozorování. (Ze směru vstříc fundamentálnímu pozorovateli bude v důsledku Dopplerova efektu přicházet záření posunuté do oblasti kratších vlnových délek, z opačného směru naopak.) Prozatímní měření ukazují, že rychlost Galaxie vůči „kosmickému pozadí“ činí asi  $600 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Detailní studium anizotropie reliktního záření v různých úhlových měřítkách a odchylek jeho spektra od přesně planckovského může navíc přinést cenné informace např. o perturbacích hustoty, pekuliárních rychlostech, anihilaci látky v raných fázích rozpínání Vesmíru. Prostřednictvím reliktního záření „vidíme“ nesrovnatelně dále do minulosti Vesmíru než jinými prostředky.

Americkým vědcům Arno A. Penziasovi a Robertu W. Wilsonovi byla udělena za objev reliktního záření Nobelova cena za fyziku pro rok 1978.

Dr. PENZIAS, narozený 29. 4. 1933 v Mnichově, žije od roku 1940 v USA, kde studoval na Columbijské universitě v New Yorku. Od roku 1961 pracuje v Bellových laboratořích, od roku 1974 je

ředitelem Radiofyzikálního ústavu. Objev reliktního záření není jeho prvním úspěchem v „mimozemské“ vědě. Dříve již významně přispěl k identifikaci některých mezihvězdných molekul.

Dr. WILSON, dnes jeden z hlavních spo-

lupracovníků dr. Penziase, se narodil 18. 1. 1938 v Hustonu. Studoval techniku a elektroniku na Kalifornském technologickém ústavu v Pasadeně, v Bellových laboratořích pracuje od roku 1963.

Jiří Švestka

## Co publikovat\*)

*Paul R. Halmos*

Když jsem přijal účast v tomto panelu\*\*), hovořil jsem o tom téměř s každým matematikem, kterého jsem potkal, a ptal jsem se na radu a žádal o pomoc; ve skutečnosti jsem sám podnikl jakýsi průzkum veřejného mínění. Některé připomínky, které jsem vyslechl, nebyly příliš povzbudivé. „Kamaráde, nadrobil sis pěknou věc.“ „To je nemožný námět.“

První, oč jde, je zřejmé: *Jak zní otázka?* Porozumět dobře smyslu otázky *Co publikovat?* vyžaduje odpovědět alespoň částečně na otázku *Proč publikovat?*. Odpověď může být různá podle sebevědomí, cti a idealismu toho, kdo ji dává. Může jít o snahu zlepšit si vlastní finanční, akademické nebo společenské postavení nebo o snahu spoluposunout hranice poznání o kus dál.

Při dalším předběžném zkoumání otázky *Co publikovat?* by mělo být jasno, kdo se ptá. Je to autor na začátku své kariéry, tázající se na radu, jak oddělit zrno od plev? Je to recenzent nebo redaktor tázající se, který článek přijmout? Je to nakladatel nebo matematická společnost, tázající se, která témata jsou obchodně nebo vědecky výnosná? Autoři, redaktoři a nakladatelé si kladou takové otázky denně a denně na ně odpovídají a po každé se nějak rozhodují. To *nějak* je, řekl bych, páté přes deváté, prostě nesoustavně. Je snad smyslem panelových diskusí, jako je tato diskuse, ukázat na několik

---

\*) *What to Publish*. In: *Four Talks on Publishing* (presented at Annual Meeting, Dallas, Texas, January 1973). The American Mathematical Monthly, vol. 82 (1975) N° 1, pp. 14–17. Copyright © by The Mathematical Association of America.

\*\*) Panelem se v tomto smyslu rozumí skupina tří nebo více osob zběhlých v navzájem různých oborech, které před posluchači diskutují (panelová diskuse) na námět politického, hospodářského nebo společenského významu s cílem podnítit o něj zájem a spíše uvést různá hlediska, než dospět k jedinému řešení nebo prokázat nadřazenost jednoho hlediska. Pozn. překl.