

Jiří Švestka

Mezegalaktická látka v kupách galaxií

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 26 (1981), No. 1, 41--45

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137719>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1981

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>

$$\bar{g}(u, v) = \sum_{i,j=1}^n (R(u, e_i) e_j, R(v, e_i) e_j),$$

kde  $u, v \in M_x$  a  $\{e_1, \dots, e_n\}$  je libovolná ortogonální báze v  $M_x$ .

Pro poslední typ prostorů zvolili Gray a Willmore název „supereinsteinovský“ (o vhodnosti tohoto názvu by se ovšem dalo diskutovat).

Další původní výsledky uvedeného typu byly získány autorem; viz [9].

(Pokračování)

## Literatura

- [1] BERGER M., GAUDUCHON P., MAZET E.: *Le Spectre d'une Variété Riemannienne*. Lecture Notes in Mathematics Vol. 194, Springer-Verlag, 1971.
- [2] BISHOP R. L., CRITTENDEN R. J.: *Geometry of Manifolds*. Academic Press, New York, 1964. (Ruský překlad: *Geometrie mnohoobrazij*, MIR, Moskva 1967.)
- [3] GRAY A.: *The volume of a small geodesic ball of a Riemannian manifold*. Michigan Math. J. 20 (1973), 329–344.
- [4] GRAY A., WILLMORE T. J.: *Mean-value theorems for Riemannian manifolds*. Preprint, 1978.
- [5] GROMOLL D., KLINGENBERG W., MEYER W.: *Riemannsche Geometrie im Großen*. Lecture Notes in Mathematics 55, Springer Verlag, 1968. (Ruský překlad: *Rimanova geometrie v celom*, MIR, Moskva 1971.)
- [6] HELGASON S.: *Differential Geometry and Symmetric Spaces*. Academic Press, New York, 1962. (Ruský překlad: *Diferencial'naja geometrie i simmetričeskije prostranstva*, MIR, Moskva 1964.)
- [7] KOBAYASHI S., NOMIZU K.: *Foundations of Differential Geometry I, II*. Wiley (Interscience), New York 1963 a 1969.
- [8] KOWALSKI O.: *Základy matematické analýzy na varietách*. Universita Karlova 1973 a 1975 (skriptum).
- [9] KOWALSKI O.: *The second mean-value operator on Riemannian manifolds*. Sborník konference o diferenciální geometrii a jejích aplikacích ČSSR—NDR—Polsko, Universita Karlova 1981.
- [10] RUSE H. S., WALKER A. G., WILLMORE T. J.: *Harmonic Spaces*. Edizioni Cremonese, Roma 1961.

# Mezegalaktická látka v kupách galaxií

Jiří Švestka, Praha

Aplikace věty o viriálu na pravděpodobně stabilní kupy galaxií vede k závěru o existenci „skryté hmoty“ v kupách galaxií. (Součet hmotností jednotlivých galaxií v kupě je menší než hmotnost kupy vyplývající z věty o viriálu.) Analogicky s naší galaxií, kde je značná část látky ve formě mezihvězdného prachu a plynu, můžeme předpokládat, že difúzní látka mezi galaxiemi je odpovědná alespoň za část „skryté hmoty“. Kdyby

veškerá „skrytá hmota“ v nejlépe prozkoumané kupě galaxií ležící v souhvězdí Vlasu Bereniky byla v takovéto formě, rovnala by se hustota mezigalaktické látky ve středu kupy zhruba  $2 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . (Za předpokladu obdobného prostorového rozložení galaxií a mezigalaktické látky v kupě, což je v případě stabilního gravitačně vázaného útvaru nutné.) Mezigalaktická látka by měla být observačně zjistitelná i za mnohem menší prostorové hustoty.

První, kdo poukázal na možnou existenci slabě svítící mezigalaktické látky v této kupě, byl Zwicky [1]. Tentýž autor později vyslovil rovněž předpoklad o existenci absorbující mezigalaktické látky v téže kupě. Zjistil totiž, že počet vzdálených kup galaxií pozorovaných „za“ kupou je menší než počet vzdálených kup pozorovaných v jejím okolí. Tento fakt interpretoval jako mezigalaktickou extinkci na mezigalaktickém prachu v kupě rovnající se ve viditelném oboru spektra ve vzdálenosti  $1^\circ$  od středu kupy  $0,3^m$ . Stejný efekt v kupě galaxií v souhvězdí Vlasu Bereniky pozorovali později Karasentsev a Lipovetskij [2], kteří odvodili extinkci v modré oblasti spektra rovnou  $0,34 \pm 0,08^m$  a v červené oblasti  $0,20 \pm 0,11^m$ . To odpovídá selektivní extinkci obdobné mezihvězdné extinkci způsobené mezihvězdným prachem. Podobné výsledky autoři získali i u řady jiných kup galaxií. Z naměřených hodnot vyplývá extinkce ve vizuální oblasti spektra v prostoru kupy zhruba  $1^m \text{ Mpc}^{-1}$ . Předpokládáme-li charakteristický rozměr prachových zrn  $10^{-7} \text{ m}$  (viz dále) a průměrnou hustotu materiálu zrn analogicky mezihvězdnému prachu  $2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , dostáváme průměrnou hustotu prachu v kupách galaxií  $5 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Zajímavé je, že extinkce ve středu kupy není podstatně vyšší než v oblastech vnějších. Gravituující hmota by totiž měla být, jak jsme se již zmínili, rozložena v kupách galaxií podobným způsobem jako galaxie – se silnou koncentrací k centru. Je ovšem možné, že prachová zrna v centru kup mají krátkou životní dobu, neboť jsou rozrušována srážkami s horkým relativně hustým plynem, který se zde pravděpodobně vyskytuje.

Jiný náznak existence mezigalaktické látky v kupách galaxií plyne nepřímě ze studia radiových galaxií v kupách. Oblaka relativistických elektronů vyzařujících synchrotronové záření v radiové oblasti jsou totiž v některých kupách položena ve stejném směru od mateřské opticky pozorovatelné galaxie, z níž byla zřejmě mohutnou explozí vyvržena. Přirozeným vysvětlením je „vítr“ v důsledku pohybu galaxie v mezigalaktické látce, která je v kupě v klidu anebo se v ní radiálně pohybuje a strhává oblaka elektronů. U galaxie NGC 1265 v kupě galaxií v souhvězdí Persea například výpočty ukazují, že pozorovaný efekt může být vysvětlen přítomností mezigalaktického plynu o hustotě částic  $10^3 \text{ m}^{-3}$  [3].

Nejpřesvědčivějším důkazem existence mezigalaktické látky v kupách galaxií je pozorované rentgenové záření některých kup [4]. Rozbor pozorování ukazuje, že pravděpodobně jde o brzděné záření horkého plynu o teplotě  $10^8 \text{ K}$ . Pozorování dříve zmíněné kupy galaxií v souhvězdí Vlasu Bereniky vede k celkové hmotnosti horkého mezigalaktického plynu v kupě  $5 \cdot 10^{14} M_\odot$ , což odpovídá 10% hmotnosti kupy určené z věty o viriálu. To dostáváme za předpokladu, že plyn je rozložen v kupě homogenně – nevyskytují se v něm zhuštění. V opačném případě je požadované množství plynu menší v důsledku kvadratické závislosti intenzity brzděného záření na hustotě vyzařujícího plazmatu. Předpokládaná prostorová hustota částic horkého plynu ve středu kupy

je rovna  $3 \cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$  a řádově souhlasí s výsledkem získaným prostřednictvím radiových galaxií.

Hledání chladnějšího plynu v kupách galaxií nepřineslo prozatím pozitivní výsledky. Neúspěch radiových měření záření neutrálního vodíku ve spektrální čáře o vlnové délce 21 cm ukazuje na zanedbatelné množství plynného vodíku o teplotě menší než  $10^4 \text{ K}$ . Raketová měření ultrafialové emise vodíku v čáře Lyman- $\alpha$  vylučují podstatné množství vodíku o teplotě  $1 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4 \text{ K}$  stejně tak jako měření měkkého rentgenového záření vodíků o teplotě větší než  $3 \cdot 10^5 \text{ K}$  [5]. Pozorované radiové záření je pravděpodobně synchrotronového původu a je produkováno rychlými elektrony radiových galaxií v kupách. Pozorované viditelné záření pochází pravděpodobně z vnějších oblastí galaxií. I za předpokladu, že je způsobeno rozptylem světla galaxií na volných elektronech, dostáváme silné omezení na možné množství mezigalaktického plynu.

Souhrnně tedy plyne z pozorování, že ačkoli hmotnost mezigalaktické látky může být dosti značná (srovnatelná s hmotností galaxií v kupě), požadovaná hmotnost „skryté hmoty“ je podstatně větší.

Jaký je původ mezigalaktické látky v kupách galaxií? Existují v podstatě dvě možnosti – buď byl plyn dopraven do prostoru kupy z jednotlivých galaxií, nebo naopak z prostoru vně kupy.

V prvním případě se předpokládá, že část látky vyvržená některými typy galaktických objektů v průběhu jejich vývoje do mezihvězdného prostoru (hvězdami typu T Tauri, rudými obry, planetárními mlhovinami, novami a zvláště supernovami) může být při srážce s dostatečně hustou mezihvězdnou látkou zahřata na takovou teplotu, že rychlost částic plynu přesáhne únikovou rychlost z gravitačního pole galaxie a plyn unikne do mezigalaktického prostoru [6]. V eliptických galaxiích, kde neexistuje podstatné množství mezihvězdné látky, může být překročena úniková rychlost při srážce látky vyvržené velkými rychlostmi při vzplanutích supernov s látkou vyvrženou jinými objekty (např. planetárními mlhovinami). Odhad ukazuje, že eliptické galaxie mohou takto vyvrhnout 10 až 30% své hmoty, což v případě kupy galaxií v souhvězdí Vlasu Bereniky vede k existenci mezigalaktického plynu o hmotnosti  $6 \cdot 10^{13} - 2 \cdot 10^{14} M_{\odot}$ . Tato hodnota souhlasí s rentgenovými pozorováními za předpokladu, že se v plynu vyskytují oblasti o nestejně hustotě. Relativní rychlosti proudů plynů vyvržených z jednotlivých galaxií činí zhruba  $1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  a při jejich vzájemné srážce dojde k zahřátí plynu na teplotu  $10^8 \text{ K}$ . Plyn této teploty může v daných podmínkách setrvat v horkém stavu po dobu  $10^{10}$  let a tak jej můžeme prostřednictvím rentgenového záření pozorovat i dnes.

Část plynu vyvrženého z galaxií může ovšem uniknout do prostoru vně kup. Plyn může být například zahřát na teplotu, kdy rychlosti jeho částic převyšují únikovou rychlost z gravitačního pole kupy při průchodu galaxie okolím plynného oblaku. Galaxie prostřednictvím gravitačních sil přitáhne blízký plyn a tím ho stlačí a zahřeje. Po průchodu galaxie zahřátý plyn expanduje a může v dosti značném množství opustit kupu.

Alternativní teorie objasňující původ mezigalaktického plynu předpokládá, že jisté množství látky zůstalo mezi kupami galaxií z období formování galaxií a kup galaxií a tato látka je gravitačně přitahována kupou – dochází k akreci mezigalaktického plynu na kupy galaxií [7].

Klíčovým bodem umožňujícím rozlišení mezi dvěma uvedenými možnostmi je pravděpodobně relativní zastoupení těžkých prvků v mezigalaktickém plynu v kupě. Plyn dopadající zvně by neměl zřejmě obsahovat větší množství těžkých prvků. Vysoká ionizace všech relativně hojně zastoupených prvků v plynu o teplotě  $10^8$  K zamezuje však možnost existence většiny charakteristických spektrálních čar. V poslední době byly v oblasti kup detekovány spektrální čáry vysoce ionizovaného železa, což spolu s velmi pravděpodobnou existencí mezigalaktického prachu svědčí spíše o možnosti první.

Co se týče původu tohoto mezigalaktického prachu, existují v současné době v podstatě rovněž dvě hypotézy. První z nich vychází z předpokladu o existenci hmotných „prahvězd“ o hmotnostech  $5-10 M_{\odot}$ , v něž zkonduzovala v raných fázích vývoje vesmíru většina vesmírné látky. Tyto hvězdy by uvolnily většinu své energie v době odpovídající rudým posuvům  $z = 25-50$  a během explozivní fáze svého vývoje by vyvrhly do okolního prostoru těžké prvky, z nichž by se mohla formovat prachová zrna [8]. Tato teorie vznikla v souvislosti s hypotézou objasňující reliktní záření jako záření těchto „prahvězd“ pohlcené a znovu vyzážené mezigalaktickým prachem.

Druhá, pravděpodobnější teorie, předpokládá obdobně jako u mezigalaktického plynu, že mezigalaktická prachová zrna jsou dopravována do oblasti kupy z jednotlivých galaxií. Buď jsou prachová zrna vyvrhována z galaktického prostoru při vzplanutích supernov nebo tlakem záření ve spirálních ramenech galaxií [9]. Je rovněž možné, že jisté množství prachových zrn se dostává do mezigalaktického prostoru v důsledku urychlování elektricky nabitých prachových částic na nehomogenitách galaktického magnetického pole. Lze ukázat, že v mezigalaktickém prostoru mohou být takovýmto mechanismem nabitá prachová zrna urychlena až na rychlosti rovné několika desetinám rychlosti světla.

Poměr tlakové síly záření hvězd a síly gravitační mezi zrny a galaxií je největší pro zrna o rozměru  $10^{-7}$  m, a proto zrna takovýchto rozměrů mají největší naději na únik do mezigalaktického prostoru. Zářivý výkon galaxií v raných fázích jejich vývoje byl pravděpodobně podstatně vyšší než dnes, vyšší byl i tlak záření, a proto většina prachových zrn mohla být do mezigalaktického prostoru dopravena v tomto období.

S původem mezigalaktických prachových zrn úzce souvisí otázka jejich životní doby. V důsledku většinou velmi nízké hustoty mezigalaktického plynu nepřipadá zřejmě v úvahu podstatný růst zrn v mezigalaktickém prostoru. Na druhé straně bude zřejmě na zrna působit řada destruktivních procesů, z nichž je ve většině případů nejdůležitější vypařování zrn při jejich srážkách s částicemi kosmického záření. Protože o existenci a původu mezigalaktického kosmického záření máme prozatím velmi málo informací, kolísají odhady životních dob prachových částic o několik řádů a není prozatím možné provést určitější závěry. V horkém relativně hustém plynu v centrálních oblastech kup galaxií budou zřejmě účinnějším destruktivním procesem srážky prachových částic s rychlými částicemi plynu.

Je patrné, že problémy týkající se mezigalaktické látky úzce souvisí s vývojem a vznikem kup galaxií i jednotlivých galaxií, s vývojem jednotlivých objektů v galaxiích apod. Výsledky výzkumu mezigalaktické látky mohou proto značnou měrou přispět k objasnění řady klíčových astrofyzikálních a kosmologických problémů.

- [1] ZWICKY, F.: Publ. Astron. Soc. Pacific 63 (1951), 61.  
[2] KARAŠENTSEV, I. D. a LIPOVETSKIJ, V. A.: Astron. ž. 45 (1968), 1148.  
[3] MILEY, G. K., WELLINGTON, K. J. a VAN DER LAAN, H.: Astron. a Astrophys. 38 (1975), 381.  
[4] KELLOG, E.: V *X-Ray Astronomy*, edit. R. GIACCONI a H. GURSKY 1974, str. 321, Reidel, Dordrecht -Holland, Boston, Mass.  
[5] FIELD, G. B.: Ve *Frontiers of Astrophysics*, 1976, str. 523, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. a London, England.  
[6] FIELD, G. B.: V *Atomic and Molecular Physics and the Interstellar Matter* (1975), str. 467, American Elsevier, New York.  
[7] GUNN, J. E. a GOTT, J. R.: Astrophys. J. 176 (1972), 1.  
[8] LAYZER, D. a HIVELEY, R.: Astrophys. J. 179, (1973), 361.  
[9] CHIAO, R. Y. a WICKRAMASINGHE, N. C.: Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 160 (1972), 407.
- 

# vyučování

KAPESNÍ KALKULÁTOR  
— NĚKTERÉ DŮSLEDKY PRO ŠKOLY\*)

E. C. Jacobsen, UNESCO, Paříž

## Úvod

Co můžeme říci o vlivu kalkulátoru na matematické vzdělávání? K otázce přistoupíme tak, že budeme zkoumat některé zkušenosti z vybraných zemí\*\*), budeme

---

\*) E. C. JACOBSEN: *The pocket calculator — some implications for schools*. Informatics and Mathematics in Secondary Schools, Johnson/Tinsley (eds.)

© IFIP, North-Holland Publishing Company, 1978.

Jde o sborník referátů z konference, která se konala ve Varně ve dnech 19.—23. 9. 1977. Se souhlasem autora a vydavatele přeložili PAVEL KVĚTOŇ a JAROSLAV ŠEDIVÝ.

diskutovat o problémech a naznačíme ty změny osnov, které se zdají žádoucí, chceme-li dosáhnout efektivnější matematiky pomocí kalkulátorů. Uvažujme nejdříve o některých důvodech, proč se o kalkulátoru diskutuje tak horlivě.

V přehledné Suydamově zprávě o kalkulátorech (1976) Shumway odhadl, že prodej kalkulátorů v USA dosáhne v r. 1977 úrovně 72 miliónů kusů. Ve Velké Británii jich byly v r. 1976 prodány 4 milióny. Prof. Hebenstreit předpověděl, že ve Francii bude mít během tří let každý školák svůj kalkulátor. Obdobné předpovědi byly vysloveny i v jiných evropských zemích. Většina expertů se shoduje v tom, že cena kalkulátoru je nyní přijatelná a že v příštím desetiletí budou na trhu miniaturní kalkulátory, výkonnější a za stejnou cenu. Časopis „Science“ ve svém

---

\*\*) Autor pracuje v oddělení pro přírodní vědy a technické vzdělání UNESCO; na konferenci přednesl informace týkající se výhradně nesocialistických zemí (je to zřejmé i z citované literatury). (Pozn. překl.)