

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jiří Grygar

Rudý posuv v astronomii

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 18 (1973), No. 1, 18--26

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138297>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1973

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>

Rudý posuv v astronomii

Jiří Grygar, Ondřejov

I. Úvod

Určování polohy spektrálních čar ve spektrech nebeských těles patří dnes k rutinní práci bezmála na každé observatoři. Získáváme tak neobyčejně cenné údaje, neboť měření vynikají vysokou přesností a systematické chyby jsou zanedbatelně malé. Polohy dobře definovaných čar na fotografické desce lze určit s přesností na 10^{-4} cm, což odpovídá přesnosti $\pm 0,01 \text{ \AA}$ pro vyšší a $\pm 0,1 \text{ \AA}$ pro nižší disperze. Označíme-li $\Delta\lambda$ posuv spektrální čáry a λ_0 vlnovou délku téže čáry, kterou naměříme za laboratorních podmínek, pak posuv

$$(1) \quad z = \Delta\lambda/\lambda_0$$

je pro daný objekt, resp. určitou fyzikálně definovanou část objektu nezávislý na laboratorní vlnové délce spektrální čáry λ_0 . Veličina z je tedy odvozena přímo z měření bez jakýchkoliv interpretačních omezení, až na to, že předpokládáme správnou identifikaci spektrální čáry. Pro malé hodnoty z bývá identifikace většinou bez problémů; pro větší hodnoty posuvu ($z > 0,002$) mohou někdy vzniknout nesnáze, zejména u spekter o nízké disperzi. Posuv (1) může nabývat kladných i záporných hodnot v závislosti na znaménku $\Delta\lambda$. Je-li z záporné, hovoříme o modrém posuvu, zatímco kladná hodnota z znamená rudý posuv.

Astronomická praxe ukazuje, že modrý a rudý posuv nejsou ve vesmíru zdaleka zastoupeny stejnoměrně. Modrý posuv zjišťujeme pouze u hvězd a některých velmi blízkých galaxií a jeho velikost nepřesahuje v optickém oboru hodnoty kolem $z = -0,03$. (Nejmenší měřitelný posuv pro hvězdná spektra je kolem $z = \pm 0,000001$.) Naproti tomu rudý posuv nalzáme pro nejrozmanitější typy těles a jeho hodnoty se nezdá blíží $z = 1$. Pro quasary byly již naměřeny rudé posuvy až $z = 2,9$. Proto je naše úvaha věnována právě rudému posuvu; druhým důvodem jsou poměrně nečekané změny v názorech na výklad rudého posuvu, k nimž došlo na přelomu let 1971–72.

II. Dopplerův princip

Nejběžněji vykládáme posuv spektrálních čar pomocí Dopplerova principu. V astronomických podmínkách princip zní

$$(2) \quad v = c \cdot z,$$

kde v je relativní rychlost zdroje vůči pozorovateli a c je rychlost světla. Vzorec (2)

lze ovšem užít jen pro malé hodnoty z , kdy rychlosti v jsou zanedbatelné vůči rychlosti světla. Obecně totiž platí

$$(3) \quad v = c[(1+z)^2 - 1]/[(1+z)^2 + 1].$$

Ze vztahu (3) je patrné, že pro libovolně velká z nedosáhne nikdy relativní rychlost v rychlosti světla.

Pomocí vztahů (2), resp. (3) určujeme veličinu, kterou v astronomii nazýváme radiální rychlostí. Zdánlivou radiální rychlost nebeského tělesa je třeba oprostit od známých systematických pohybů pozorovatele vůči středu Země (oprava na rotaci Země je největší na rovníku, kde může dosáhnout hodnoty až $\pm 0,47$ km/s), vůči barycentru soustavy Země – Měsíc (tato oprava se obvykle zanedbává, neboť činí nanejvýš $\pm 0,014$ km/s) a vůči Slunci (oprava na revoluci Země dosahuje až $\pm 30,3$ km/s). Pro tělesa mimo Galaxii uvažujeme též pohyb sluneční soustavy vůči jádru Galaxie (± 220 km/s). Teprve po těchto opravách obdržíme skutečnou radiální rychlost objektu.

Předností měření radiálních rychlostí je, že výsledek obdržíme přímo v lineární míře, a to nezávisle na předpokladu o vzdálenosti objektu. Proto jsou měření radiálních rychlostí vrcholně důležitá pro mnohá odvětví astrofyziky, od studia pohybů dvojhvězd až k výzkumu rozdělení kinetické energie v kupách galaxií. Největší hodnoty radiálních rychlostí pro hvězdy v naší Galaxii se pohybují kolem $v = 400$ km/s. Daleko vyšší rychlosti byly naměřeny pro vzdálené galaxie. Rekordní rudý posuv $z = 0,46$ obdržel R. MINKOWSKI pro radiogalaxii 3C–295. Podle (3) se radiogalaxie vzdaluje rychlostí 109 000 km/s (36% rychlosti světla). S výjimkou několika nejbližších soustav pozorujeme u galaxií vesměs rudé posuvy, což se všeobecně považuje za důkaz rozpínání vesmíru. K tomu se ještě vrátíme v závěru článku.

III. Gravitační rudý posuv

Obecná teorie relativity předvídá rudý posuv spektrálních čar vlivem tíže. Známe-li hmotu M a poloměr R nebeského tělesa, pak na jeho povrchu budou spektrální čáry posunuty k červenému konci spektra podle vztahu

$$(4) \quad z = GM/c^2R,$$

kde G je gravitační konstanta. Na povrchu Slunce dosahuje gravitační posuv $z = 2,1 \cdot 10^{-6}$; je tedy právě na hranici měřitelnosti. V astronomii je obvyklé vyjadřovat gravitační rudý posuv jako „nadbytečnou“ radiální rychlost

$$(5) \quad v_g = 0,62M/R \quad (\text{km/s}).$$

Ve vztahu (5) jsou hmoty a poloměr vyjádřeny ve slunečních jednotkách.

Největší naději na astronomické ověření teoretické předpovědi skýtají hvězdy s poměrem M/R mnohem větším než 1. Hmoty hvězd jen zřídka přesahují desetinásobek sluneční hmoty (hmotné hvězdy však mají současně i větší poloměry), a tak zbývají pouze bílí trpaslíci jako vhodní kandidáti. Hmoty bílých trpaslíků se valně neliší od hmoty Slunce, avšak jejich poloměry jsou oproti Slunci řádově stokrát menší. Lze

tedy pro ně očekávat nadbytečné rychlosti kolem $+60$ km/s, tj. posuvy čar zhruba o 1 Å ve vizuální oblasti.

Druhou podmínkou pro ověřování vztahu (5) je znalost skutečné radiální rychlosti bílého trpaslíka. Astronom zde může postupovat dvojím způsobem. Buď zjistí rychlost přímo, je-li shodou okolností bílý trpaslík složkou dvojhvězdy, kde druhá složka je „normální“ hvězdou anebo změří radiální rychlost pro větší soubor bílých trpaslíků a průměrnou rychlost porovná s rychlostmi odvozenými pro soubor běžných hvězd, kde podle předpokladu je gravitační rudý posuv zanedbatelný.

Oba postupy vyzkoušel v posledních letech J. GREENSTEIN se svými spolupracovníky z Halových observatoří. V r. 1967 zjistili pro soubor 53 bílých trpaslíků nadbytečný rudý posuv $v_g = +51$ km/s, ve velmi příznivé shodě s našim řádovým odhadem. Konečně r. 1971 uveřejnil Greensteinův tým podrobný rozbor vysokodisperzních spektrogramů nejnámějšího bílého trpaslíka, Síría B. Spektra byla pořízena pětímetrovým Halovým reflektorem počátkem šedesátých let, kdy byl Síríův průvodce v největší úhlové vzdálenosti od jasného Síría A. Tehdy bylo technicky nejsnazší izolovat spektrum desetisíckrát slabšího průvodce od spektra hlavní hvězdy. Přesto byla analýza spekter velmi obtížná, neboť pro velkou tíži jsou spektrální čáry bílých trpaslíků mělké a široké a jejich počet je velmi omezený.

Dvojhvězdný charakter Síría a poměrná blízkost soustavy (trigonometricky určená vzdálenost je pouhých 2,6 parseků) je neocenitelnou výhodou při stanovení hodnoty gravitačního rudého posuvu složky B, jejíž efektivní teplota $T_{\text{ef}} = (32\,000 \pm 1000)$ K, poloměr $R = (5400 \pm 140)$ km (85% poloměru Země) a střední hustota $\rho = 3 \cdot 10^6$ g cm^{-3} ji zařazují mezi typické bílé trpaslíky. Nadbytečný rudý posuv na spektrogramech z Mt. Palomaru činí $v_g = (81 \pm 16)$ km/s, což je v dobré shodě s teoretickou hodnotou $v_g = (83 \pm 3)$ km/s. EINSTEINOVU předpověď o gravitačním rudém posuvu lze tedy považovat v astronomických podmínkách za prokázanou.

Mnohem větší gravitační rudý posuv bychom měli pozorovat u neutronových hvězd a kolapsarů. Neutronové hvězdy jsou stabilní konfigurace hvězd o poloměru 5–20 km a hmotě nižší než 2 hmoty Slunce. Tyto hypotetické útvary se patrně projevují jako pulsary a případně jako galaktické zdroje Roentgenova záření. Podle vztahu (4) bychom zde mohli očekávat gravitační posuvy $z_g \leq 0,4$. Velmi pravděpodobně se však tyto posuvy nepodaří změřit, neboť spektra neutronových hvězd patrně neobsahují žádné spektrální čáry.

Pro kolapsary, tělesa zhroucená ke Schwarzschildově poloměru, by gravitační rudý posuv mohl nabýt libovolně velkých hodnot (vztahy (4), (5) zde nelze použít), ale poněvadž nevíme, zda vůbec bude možné pozorovat kolapsary v optickém oboru, nelze ani říci, zda je naděje na změření gravitačního rudého posuvu.

IV. Kosmologický rudý posuv

Ve třicátých letech našeho století ukázal E. HUBBLE, že rudý posuv galaxií je lineární funkcí jejich vzdálenosti D :

$$(6) \quad D = c \cdot z/H,$$

kde H je tzv. Hubblova konstanta. Tento jev se většinou vysvětluje Dopplerovým principem, tj. že galaxie se od nás všemi směry vzdalují, a to tím rychleji, čím jsou dále. Soudíme, že jde o projev všeobecné expanze vesmíru, předpověděné A. FRIEDMANEM (1925) a G. LEMAÎTREM (1927) při řešení rovnic obecné teorie relativity pro celý vesmír. Lze tedy Hubblův vztah považovat za nezávislý (čtvrtý) test obecné teorie relativity.

Celá záležitost je ovšem zkomplikována tím, že kalibrace škály vzdáleností není dosud uspokojivě dokončena, a že není vyjasněno, jak dalece je Hubblova konstanta nezávislá na prostoročasových souřadnicích. Vzdálenost galaxií ve vztahu (6) musíme totiž znát nezávisle na rudém posuvu z , abychom mohli stanovit velikost konstanty H . Určování vzdáleností je ovšem složitý řetězec, v němž se uplatňují rozmanité metody vnášející do výsledku systematické chyby.

Vzdálenosti blízkých galaxií jsou odvozeny z pozorování proměnných hvězd, zvaných cefeidy. Předpokládáme, že tamější cefeidy jsou shodné s cefeidami v naší Mléčné dráze, pro něž platí jednoznačný vztah mezi periodou světelných změn a skutečnou svítivostí. Změříme-li periodu a zdánlivou jasnost cefeidy v cizí galaxii, určíme její vzdálenost z rozdílu mezi skutečnou a zdánlivou jasností (předpokládá se dokonalá průzračnost mezigalaktického prostoru). Naneštěstí ani Halův reflektor nerozliší cefeidy ve vzdálenostech nad 20 Mpc, takže rozmezí, v němž lze přesně kalibrovat Hubblův vztah, je neobyčejně úzké. Spodní hranicí pro kalibraci jsou 3 Mpc; při menších vzdálenostech se příliš uplatňují náhodné pohyby galaxií, které se překládají přes Hubblův vztah.

Hubble sám stanovil hodnotu konstanty H na 530 km/s/Mpc. Četné revize během uplynulých 35 let, z nichž poslední dosud probíhá pod vedením A. SANDAGE na Mt. Palomaru, vedou k hodnotám 30 až 47 km/s/Mpc. Nepřímo úměrně tomu se pak mění vzdálenosti galaxií, a proto i rozměry poznané části vesmíru, jakož i odhady stáří vesmíru od okamžiku velkého třesku (big bang).

Pro velké vzdálenosti i časové intervaly však nevystačíme s jednoduchým vztahem (6). Do problému vstupuje jednak „světelná rovnice“, neboť vzdálené objekty vidíme zdánlivě tam, kde byly před miliardami let, a jednak otázka výběru modelu vesmíru, neboť na něm závisí určení vzdálenosti. Symbolicky to lze zapsat takto:

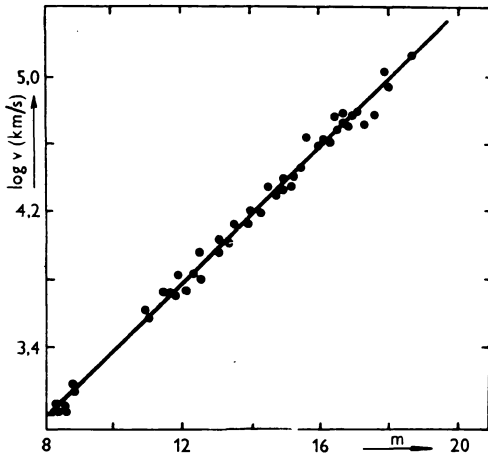
$$(7) \quad D_0 = D(z, H_0, q_0),$$

kde D_0 je současná vzdálenost galaxie, H_0 je současná hodnota Hubblovy konstanty a q_0 je tzv. decelerační parametr daného modelu vesmíru. Zatímco H_0 lze určit z měření vzdáleností blízkých galaxií, lze q_0 odhadnout jedině z pozorování nejvzdálenějších objektů. Podle A. Sandage je $q_0 = (1,2 \pm 0,4)$, což zhruba odpovídá původnímu Friedmannovu modelu vesmíru (obr. 1).

Kdyby bylo $q_0 = +1$, pak by vzdálenost galaxie s posuvem z byla přibližně dána vztahem

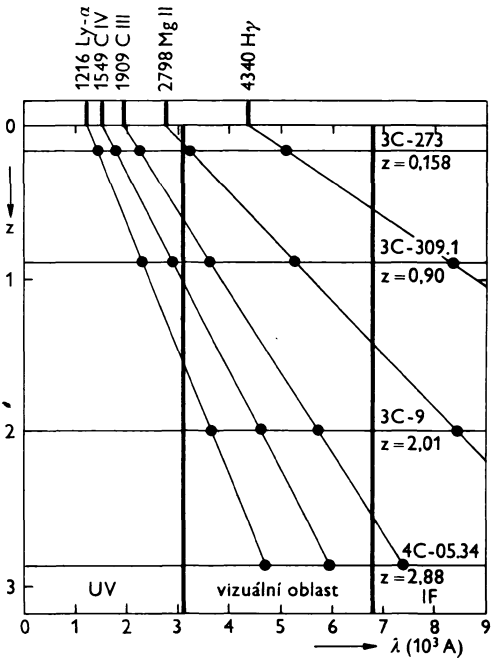
$$(8) \quad D_0 \doteq c \cdot z / H_0 (1 + z).$$

Nejvzdálenější známá galaxie 3C-295 je pak vzdálena 3200 Mpc a nejvzdálenější quasar 4C 05.34 dokonce 7400 Mpc, jestliže předpokládáme $H_0 = 30$ km/s/Mpc. Nejbližší



Obr. 1. Hubblův diagram udávající vztah mezi rudým posuvem (rychlostí vzdalování v logaritmické míře) a vzdáleností (vyjádřené pomocí opravené zdánlivé hvězdné velikosti) galaxií. Přímka odpovídá Friedmannovu modelu vesmíru pro $q_0 = +1$. (Podle A. Sandage.)

Obr. 2. Rudý posuv ve spektru quasarů. Nahoře jsou vyznačeny laboratorní hodnoty vlnových délek některých významných emisí ve spektru quasarů. Šikmé čáry naznačují, jak se mění polohy uvedených čar vlivem rudého posuvu. Vodorovnými úsečkami jsou naznačeny rudé posuvy pro konkrétní quasary. Stupnice vlnových délek v angströmech je uvedena dole. Dvěma svislými úsečkami je vymezena vizuální oblast, v níž můžeme ze Země fotografovat spektra quasarů. Ultrafialová (uv) oblast je pozorovatelná pouze nad hranicí zemského ovzduší. Infračervená oblast (IF) je pozorováním nedostupná s výjimkou nejjasnějších quasarů: detektory infračerveného záření jsou poměrně méně citlivé. (Podle M. Schmidta a F. Bella.)



spirální galaxie, známá mlhovina v Andromedě, je vzdálena 0,83 Mpc a vůbec nejbližší cizí hvězdná soustava, Malé Magellanovo mráčko, je vzdálena pouhých 0,046 Mpc.

V. Rudý posuv quasarů

V. r. 1963 zjistil M. SCHMIDT, že spektrum quasaru 3C-273 lze vyložit bez nesnází, předpokládáme-li pro něj rudý posuv $z = 0,158$. Poněvadž na snímcích oblohy mají quasary hvězdný vzhled, soudilo se předtím, že náleží do naší Galaxie, kde však, jak víme, se nevyskytují rudé posuvy větší než $z = 0,002$. Od té doby bylo opticky identifikováno přes 200 quasarů. Změřené posuvy jsou bez výjimky vždy k červenému konci spektra. Zvláště často se vyskytuje posuv $z = 1,95$. Tuto anomálii nedávno vysvětlili R. ROEDER a nezávisle teěž A. KRUSZEWSKI a I. SEMENIUKOVÁ jako výběrový efekt. Při posuvu $z = 1,95$ se totiž ve viditelné části spektra ocitá řada emisních čar – přede-

vším význačná čára vodíku Lyman-alfa – a to usnadňuje měření. Celkem bylo ve spektrech quasarů dosud identifikováno 42 emisních čar; určení jednotlivého rudého posuvu se opírá nejméně o dvě a nejvíce o sedm emisí (obr. 2).

Pro výklad rudého posuvu quasarů bylo navrženo několik hypotéz. Z nich je prakticky vyvrácena domněnka, že jde o gravitační rudý posuv. Intenzita a výskyt emisních čar by totiž znamenaly, že při hmotě quasaru rovné hmotě Slunce by toto těleso muselo být ve vzdálenosti 14 km(!) od Země, a to je zjevně absurdní. Dokonce i při hmotě quasaru 10^5 Slunci by se objekt nalézal teprve na okraji sluneční soustavy, takže by byl hmotným středem celého systému. Obdobně by, pro případ kdybychom ho umístili na okraj místní soustavy galaxií, jeho hmota stokrát převyšovala hmotu naší Mléčné dráhy, což by se projevilo gravitačním působením na stabilitu místní soustavy galaxií.

Vynecháme-li prozatím hypotézy, jež tvrdí, že příčinu rudého posuvu quasarů nelze objasnit dosavadními fyzikálními principy, zbývají v zásadě dvě možnosti. Tzv. lokální hypotéza tvrdí, že posuv je dopplerovský, avšak není mírou vzdálenosti podle vztahu (7). Naproti tomu kosmologická hypotéza užívá vztahu (7) k určování vzdáleností quasarů. Obtíže lokální domněnky spočívají ve vysvětlení naprosté nepřítomnosti quasarů s modrými posuvy. To by totiž znamenalo, že všechny pozorované quasary byly vyvrženy z jádra naší vlastní Galaxie. Zdá se být neuvěřitelné, že by pouze naše Galaxie produkovala tak pozoruhodné objekty. Je zřejmé, že jsou-li quasary vyvrhovány i jinými galaxiemi, museli bychom pozorovat řadu quasarů, jež se díky explozi k nám blíží, tj. modrý posuv. I když však připustíme, že quasary pocházejí z naší Galaxie, není nikterak snadné si představit, jakým procesem byly quasary z jádra soustavy vymrštěny. Velké rychlosti (až 260 000 km/s), a tedy i celková kinetická energie vyvržených objektů jsou hlavním problémem: patřičnou energii bychom nezískali ani při anihilaci veškeré hmoty v jádře Galaxie.

Kosmologická hypotéza klade quasary na samý okraj poznané části vesmíru. To by znamenalo, že quasary jsou až 10^3 krát svítivější než galaxie. Jejich záření však pochází z oblasti o charakteristickém průměru jen 0,1 pc (běžná galaxie má rozměry řádu 10^4 pc), a tím se opět dostáváme do nesnázi s energetickou bilancí.

Jistou obměnou kosmologické domněnky je hypotéza o gravitačních čočkách. Z teorie relativity vyplývá totiž také ohyb paprsků vzdáleného zdroje v blízkosti těžkých hmot. Pro okraj Slunce činí odchylka $1,75''$ a byla již mnohokrát změřena jak ve viditelném světle, tak i v rádiovém oboru. Je-li tedy quasar vzdálenou kompaktní galaxií, jejíž paprsky procházejí v blízkosti těžké neviditelné hmoty (kolapsaru?) dříve, než je zachytíme na Zemi, pozorujeme zmenšení úhlového rozměru quasarů (odtud jeho bodový vzhled) a značné zvýšení zdánlivé jasnosti, podobně jako je tomu v ohnisku spojné čočky. Ačkoliv popsany efekt je fyzikálně přípustný, nestačí k vysvětlení povahy quasarů, neboť pravděpodobnost projekce quasarů na kolapsar či obdobné kompaktní těleso je příliš malá. Četnost quasarů je přinejmenším o čtyři řády vyšší, než abychom to mohli svést na gravitační čočky.

Spor mezi zastánci lokální a kosmologické hypotézy by byl patrně rozřešen, kdybychom mohli určit jejich vzdálenost nezávisle na rudém posuvu. Protože se až dosud nepochybuje o kosmologické povaze rudého posuvu pro běžné galaxie, postačilo by

nalézt quasary, jež jsou v těsné blízkosti galaktických hnízd, jejichž vzdálenost je známa. J. GUNN z Halových observatoří vskutku nalezl quasary Ton 256 ($z = 0,131$) a PKS 2251+11 ($z = 0,323$), jež souvisí s kupami galaxií, které jeví tytéž rudé posuvy. To by svědčilo ve prospěch kosmologické hypotézy. Naproti tomu H. ARP z téže hvězdárny určil rudý posuv quasaru M 205 jako $z = 0,070$, zatímco blízká kupa soustředěná kolem galaxie NGC 4319 má posuv pouze $z = 0,006$. Jinou dvojici je quasar 3C-455 ($z = 0,543$) a galaxie NGC 7413 ($z = 0,0332$), což obojí samozřejmě zase podporuje lokální hypotézu. Proto není vyloučeno, jak navrhuje M. ROWAN-ROBINSON, že pod pojmem quasary se skrývají dva fyzikálně odlišné typy objektů.

Ve spektru quasarů; jejichž rudý posuv se blíží nebo překračuje $z = 2$, pozorujeme zpravidla navíc též absorpční čáry. Čáry se obvykle hromadí kolem několika hodnot rudého posuvu na rozdíl od emisního posuvu, který je pro daný quasar vždy jedinečný. Absorpční posuvy jsou zpravidla menší než emisní rudý posuv a lze je vykládat buď jako absorpci světla quasaru v bližší galaxii, která se náhodně promítá do stejného směru, anebo jako absorpci v plynných obalech, jež se rozpínají z vlastního jádra quasaru. Podrobný rozbor prokázal, že toto druhé vysvětlení je správné. Označíme-li rychlost expanze plynného obalu v_{rel} , označíme-li dále indexy a , e absorpční, resp. emisní parametry, a počítáme-li rychlosti v_a , v_e z posuvů z_a , z_e pomocí vztahu (3), platí ($\beta = v/c$):

$$(9) \quad \beta_{rel} = (\beta_a - \beta_e)/(1 - \beta_a\beta_e).$$

Největší $\beta_{rel} = 0,5$ ($v_{rel} = 150\,000$ km/s) bylo zjištěno pro jeden z pěti absorpčních systémů quasaru PHL 938. Rychlosti kolem 50 000 km/s jsou zcela časté. Vesměs jde o hodnoty nejméně o řád vyšší, než kolik činí pozorované expanzní rychlosti v obalech nov a supernov. Nedovedeme je zatím přijatelně vysvětlit.

Jiným otevřeným problémem je výklad pozorování quasaru 3C-279 pomocí rádiového interferometru na základě Goldstone (Kalifornie) – Haystack (Massachusetts) o délce 3900 km. Díky dlouhé základně a krátké vlnové délce 3,8 cm bylo zde dosaženo formálního rozlišení kolem 6×10^{-6} obl. vteřiny. Interferenční obrazec quasaru lze vyložit tak, že zdroj je přinejmenším dvojitý. Po čtyřech měsících ukázala další pozorování, že úhlová vzdálenost mezi složkami quasaru se zvětšila z původních 0,00155" o $(0,00014" \pm 0,00004")$. Poněvadž samotný quasar má rudý posuv $z = 0,538$, pak při platnosti kosmologické hypotézy (vzdálenost až 3500 Mpc) vychází lineární rychlost vzájemného vzdalování složek řádově na desetinasobek světelné rychlosti. Pozorování vzbudilo zájem v široké astronomické a fyzikální veřejnosti (bylo dokonce komentováno v denním tisku), neboť je na první pohled v příkrém rozporu se základním postulátem teorie relativity.

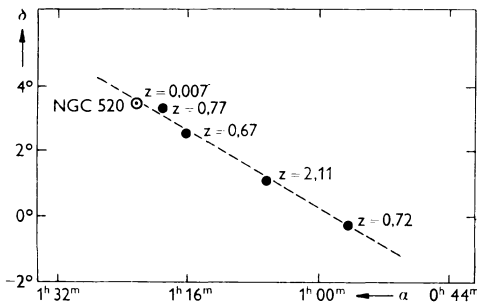
Současné názory na význam pokusu se ovšem různí. Musíme si především uvědomit, že číselné údaje závisejí na rozboru interferometrických měření, jež v principu dovolují mnohoznačný výklad. Záleží tedy na přijatém modelu quasaru. Počátkem r. 1972 ukázal W. DENT, že příčná rychlost složek quasaru 3C-279 se stane podsvětelnou (při zachování platnosti kosmologické hypotézy) v modelu, jenž sestává z proměnné centrální komponenty a dvou oddělených stálých složek, jež se od centra symetricky vzdalují. Model je v dobré shodě s ostatními pozorováními tohoto zajímavého objektu.

VI. Nerychlostní složka kosmologického rudého posuvu

Od doby, kdy byl objeven Hubblův vztah, rozvíří se bezmála periodicky diskuse o tom, zda kosmologický rudý posuv nemá dosud neznámou fyzikální příčinu. Obdobné úvahy nepopírají, že kosmologický rudý posuv je mírou vzdáleností ve smyslu vztahu (7) (stupnice vzdáleností ve vesmíru se nebere v pochybnost), ale zavrhuji dopplerovský výklad neboli expanzi vesmíru. Obecně lze takové hypotézy shrnout pod intuitivní představu o „stárnutí“ světla během dlouhého letu prostorem. Je přirozeně nesnadné hodnotit hypotézy, jež argumentují fyzikálním mechanismem, který neznáme. Lze však poznamenat, že teorie o stárnutí světla musí vyumělkovaně vysvětlovat tak prostou skutečnost jako že pro daný objekt je posuv z , definovaný vztahem (1), nezávislý na vlnové délce. Jinou obtíž je kvantový charakter degradace energie fotonu. Jakékoliv srážky a následný rozptyl fotonů by měly mít za následek značné zvětšení úhlových rozměrů velmi vzdálených objektů, což prokazatelně nepozorujeme. V poslední době byly sice vytvořeny modely, založené na Comptonově rozptylu, které obcházejí uvedené námitky, ale příslušné předpoklady jsou natolik bizarní, že se zdráháme uvěřit jejich oprávněnosti.

Současně se však množí důkazy, že jistá část kosmologického rudého posuvu je přece jen nerychlostní povahy. F. ZWICKY, G. DE VAUCOULEURS, T. JAAKOLA a další dokázali během posledních dvaceti let, že v dané kupě galaxií mají spirální soustavy systematicky vyšší rudý posuv (řádově o $10^2 - 10^3$ km/s) než soustavy eliptické. Přitom přesnost měření rudých posuvů je řádu $\pm 10^1$ km/s. H. Arp našel, že galaxie NGC 7603, jejíž $v = 8800$ km/s, má složku, kde $v = 16\,900$ km/s. Také u galaxií NGC 772, 2403, 7331 a VV 172 byly objeveny satelitní soustavy s rychlostmi o $6000 - 21\,000$ km/s vyššími, než jsou rychlosti hlavních galaxií. Poblíž galaxie NGC 520 ($z = 0,007$) leží téměř na přímce čtyři quasary s rudými posuvy 0,77; 0,67; 2,11 a 0,72. (obr. 3). Stěží lze považovat všechny uvedené příklady za pouhou náhodu.

Kdyby byly satelitní galaxie vyvrhovány z jader galaxií, nelze nadbytečný rudý posuv rozumně vysvětlit, neboť takové výbuchy by se patrně děly izotropně anebo přinejmenším s náhodnou orientací vůči směru k nám. Kromě toho by tak velké rychlosti rozpínání znamenaly nepřipustně krátkou životnost celých kup galaxií řádu 10^8 let. Ve skutečnosti



Obr. 3. Čtyři quasary (plné kroužky) s různými rudými posuvy, ležící téměř na přímce, probíhající blízkou galaxií NGC 520. Samotná galaxie je explodujícím objektem neobyčejného (pekulárního) vzhledu. (Podle H. Arpa.)

se životnosti těchto soustav dají odhadnout na 10^{10} let. Snad je jistá naděje, že tento přídavný rudý posuv by mohl být gravitačního původu, tj. že v satelitních galaxiích je větší počet kompaktních těles (neutronových hvězd neboli kolapsarů), a proto pozorujeme nerychlostní posuv. Pokud ani toto vysvětlení nepostačí, má nadbytečný rudý posuv vsutku neznámou fyzikální příčinu a nová astronomická pozorování by nás měla přivést na stopu patričného fyzikálního zákona.

Literatura

ARP, H.: *Science* 174 (1971), 1189.

GRYGAR, J.: *Říše hvězd* 53 (1972), 46.

SANDAGE, A.: *Physics Today* 23 (1970), 34.

SCHMIDT, M., BELLO, F.: *Scientific American* 224 (1971), No. 5, 55.

Metastabilní kovové fáze

Miloš Matyáš, Praha

1. Úvod

Jedním z perspektivních směrů fyziky pevných látek je výzkum nových typů látek, u kterých lze očekávat nové vlastnosti nebo nové jevy a z nichž mnohé bude možno využít i pro technickou praxi. Dá se tedy předpokládat, že tyto látky vedle příspěvku k hlubšímu poznání fyzikálních vlastností systémů atomů a jevů v nich se odehrávajících přinesou i společenský užitek. V poslední době se zdá, že mezi těmito látkami mají význačné místo metastabilní fáze. To proto, že tyto fáze jsou přes svoji metastabilitu poměrně stabilní a že tyto látky mají nové, neočekávané vlastnosti.

Až dosud jim fyzika pevných látek nevěnovala příliš pozornosti a zabývala se převážně rovnovážnými fázemi. Ukazuje se však, že i metastabilní fáze mohou být relativně stabilní po dlouhou dobu a důkazem toho je např. diamant nebo okenní sklo.

Metastabilní fáze mohou být krystalické i nekrystalické. Předmětem tohoto sdělení je pokus o vylíčení stavu výzkumu v oblasti kovových nestabilních fází, který by ukázal, že vhodnou technologií lze získat nejen amorfni kovové fáze, nýbrž i metastabilní krystalické fáze neočekávaných vlastností a struktury.