

# Měření vzdáleností pomocí cefeid

TOMÁŠ HENYCH

Když chce fyziolog rostlin zkoumat řekněme určitý druh mechu, tak si ten mech donese do laboratoře (nebo si ho nechá poslat od svých kolegů ze zahraničí), vezme skalpel, nůžky, připraví si pomocí nich vzorky a ty potom zkoumá různými přístroji, snaží se nasimulovat vlivy prostředí, no zkrátka bádá si. Když si ale astronom vybere na obloze objekt, který chce zkoumat, tak než si pro něj zaletí ve své nové nablýskané raketě, musí vědět, jak je daleko (kvůli podání grantu na dostatek paliva).

Metod určování vzdáleností ve vesmíru je celá řada, od měření paralaxy, které se dá použít jen pro ty docela blízké objekty, až po určování červeného posuvu u objektů, ke kterým bychom nedoletěli ani nejnovější raketou značky Porsche. Mým cílem je stručně charakterizovat metodu založenou na pozorování světelných křivek proměnných hvězd typu  $\delta$  Cephei a určit touto metodou vzdálenost nějakého objektu. Před dalším čtením doporučuju něco k pití, protože bude následovat Trocha suché teorie.

**Trocha suché teorie** Nejprve si musíme vyjasnit co jsou hvězdy typu  $\delta$ Cephei (nebo prostě cefeidy) a jak nám mohou posloužit k určení vzdáleností ve vesmíru. Jsou to pulzující hvězdy, které kvůli změně svého poloměru mění svou jasnost. Názornou představu si můžeme udělat následujícím způsobem.

Vezmeme si nafukovací balónek, vložíme do úst (samozřejmě ne celý, jen jeho hrdlo) a trochu ho nafoukneme (stále držíme balónek v ústech). Pak ho trochu necháme vyfouknout (je to trochu nepříjemný pocit :) a znovu nafoukneme. Takhle to opakujeme dokud neupadneme do bezvědomí nebo nezískáme dost názornou představu o pulzujících proměnných hvězdách.

K pulzacím u cefeid samozřejmě nedochází proto, že by do nich někdo foukal (protože nemají to hrdlo, kterým by se do nich foukalo). Hlavní roli zde hraje ionizace a následná rekombinace atomů a iontů helia. V důsledku toho se mění opacita (neprůhlednost) materiálu v aktivních vrstvách, kde k těmto procesům dochází. Různá opacita materiálu potom znamená měnící se schopnost zadržet energii ve formě záření. Když je vysoká, vede to ke zvyšování teploty, na což hvězda reaguje zvětšením poloměru, když je naopak nízká, hvězda volně vyzařuje více energie a smšší se.

To že jsou cefeidy pulzující proměnné, nám ale ještě nepomůže k určování jejich vzdáleností. Podstatná je existence vztahu mezi jejich *zářivým*

*výkonem a periodou pulzací, resp. světelných změn.* Toho si všimla už Henrietta S. Leavittová, když zkoumala hvězdy z Malého Magellanova mračna. Dá se říci, že zářivý výkon těchto hvězd (absolutní hvězdná velikost) je funkcí periody jejich světelných změn. Tedy:

$$M_V = \alpha \log P + \beta, \quad (1)$$

kde  $M_V$  je vizuální absolutní hvězdná velikost v magnitudách,  $P$  je perioda ve dnech,  $\alpha$  a  $\beta$  konstanty. Tyto konstanty se nejdříve musí určit z pozorování cefeid, u kterých jsme schopni změřit vzdálenost nezávislou metodou.

Je také dobré říci, že hvězd, které se souhrně označují cefeidy, je celá řada. Liší se především periodou a také pro ně platí trochu odlišné vztahy zářivý výkon–perioda. Přímo  $\delta$  cefeidy zahrnují dvě skupiny hvězd, které mají různou konstantu  $\beta$ . Dalšími typy pulzujících hvězd jsou *W Virginis*, *RR Lyrae*, *\delta Scuti* a *ZZ Ceti*. Vzdálenější příbuzné jsou potom  $\beta$  cefeidy, jejichž pulzace mají poněkud odlišnou příčinu. Podrobnější rozbor problematiky cefeid i dalších proměnných hvězd lze nalézt například v [1].

Postupme nyní dál na cestě k našemu cíli – určení vzdálenosti dané proměnné hvězdy. Jsme už jen krůček od pochopení podstaty metody založené na pozorování světelných křivek proměnných hvězd typu  $\delta$  Cephei. Z něj totiž můžeme odvodit periodu světelných změn hvězdy a jestliže známe konstanty  $\alpha$  a  $\beta$ , z rovnice (1) můžeme vypočítat její absolutní hvězdnou velikost. Pak už si jen stačí vzpomenout na definici absolutní hvězdné velikosti a spočítat hledanou vzdálenost. Modul vzdálenosti je:

$$m_V - M_V = 5 \log r - 5 + A(V). \quad (2)$$

Odtud a z rovnice (1) dostáváme vzdálenost objektu  $r$  v pc:

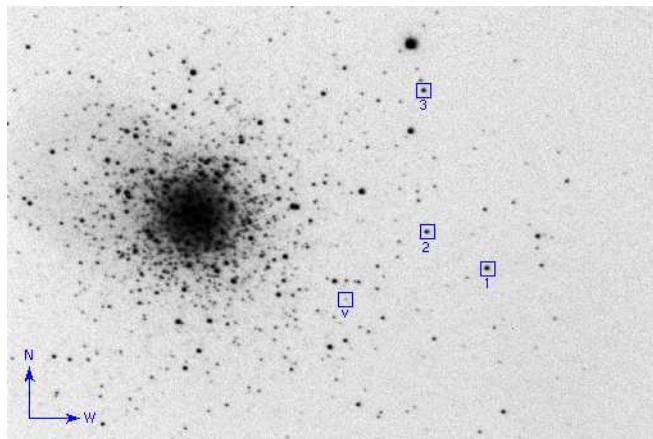
$$r = 10^{\frac{1}{5}(m_V - \alpha \log P - \beta + 5 - A(V))}, \quad (3)$$

kde  $m_V$  a  $M_V$  jsou pozorovaná a absolutní hvězdná velikost ve filtru  $V$  a člen  $A(V)$  vyjadřuje mezihvězdnou extinkci ve vizuálním oboru. Všechny vztahy platí také pro jiné obory elmag. záření, jen konstanty v rovnici (1) budou odlišné.

**Koule je základem všeho** Nyní už k vlastnímu pozorování a jeho výsledkům. Kulové hvězdokupy jsou jistě velmi pohledné a fotogenické objekty, a tak jsem na radu doktorovu zamířil brněnskou šedesátku právě na jednu z nich, konkrétně M3 v souhvězdí Honících psů.

Kulovky jsou velmi staré objekty, které obsahují poměrně hodně hvězd typu RR Lyrae. To jsou obří hvězdy sluneční hmotnosti, ovšem v pokročilém

věku a tak není divu, že jich je v kulových hvězdokupách tolik. S jejich vztahem zářivý výkon–perioda je to ovšem složité. Některé prameny uvádějí, že jejich zářivý výkon na periodě nezávisí, a pokud ano, tak jen v infračerveném oboru K, ale např. v [2] jsou teoreticky odvozeny závislosti ve všech běžných oborech od U až po K. Pro obor V je uvedena především závislost na obsahu kovů ve hvězdě. Informace o této problematice je možné nalézt také v [3].



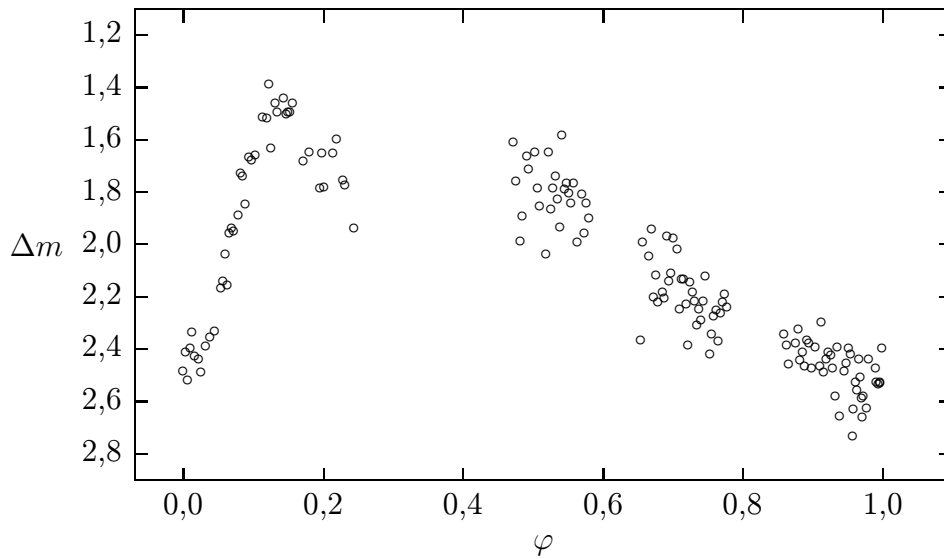
OBRÁZEK 1 Jeden ze snímků hvězdokupy M3 s proměnnou RR Lyr označenou písmenem v; srovnávací a kontrolní hvězdy.

Najít proměnné hvězdy, po kterých prahneme, blízko centra kulových hvězdokup je nelehké. Lze toho docílit třeba tak, že nejdříve provedeme astrometrii snímku a pomocí souřadnic potom tuto hvězdu nalezneme. Naštěstí se pár takových hvězd vyskytuje také v okrajových partiích takového objektu. K identifikaci mi posloužila přehlídka hvězd typu RR Lyrae v kulové hvězdokupě M3 z [4]. Jedna z těchto proměnných je na obrázku 1 spolu se srovnávací (1) a kontrolními hvězdami.

Nalezení periody je možné několika způsoby, já jsem zvolil osvědčené prokládání trigonometrického polynomu metodou nejmenších čtverců. Po výpočtu periody světelných změn hvězdy jsem ještě sestrojil její fázovou křivku, kterou ukazuje obrázek 2. Nalezená perioda je  $P = (12,9 \pm 0,1)$  h a dobře se shoduje s periodou uvedenou např. v [4].

**Problémy. . . a kdo je nemá?** Hlavní úkol této práce tedy zůstává nesplněn – vzdálenost kulové hvězdokupy se mi určit nepodařilo. Důvodů je celá řada, některé z nich právě následují.

Jak jsem uvedl výše, pro nalezení absolutní magnitudy RR Lyrky není až tak podstatná perioda světelných změn, ale hlavně podíl obsahu kovů ve hvězdě. Tuto informaci z našich pozorování nezjistíme. Dalším problémem



OBRÁZEK 2 Fázová křivka proměnné typu RR Lyr z kulové hvězdokupy M3, vykreslená s periodou 12,86 h.

by bylo určení pozorované hvězdné velikosti. Naše pozorování by bylo nutné dobře zkalibrovat vůči standardním hvězdám, ze snímků můžeme přímo určit jen instrumentální hvězdnou velikost.

Kalibrace je v městských podmínkách dost obtížná a nebyla by asi přesnější než 0,1 mag. Protože se jedná o proměnnou hvězdu, mohli bychom za pozorovanou magnitudu vzít buď průměrnou jasnost nebo například koeficient trigonometrického polynomu nultého řádu. Poslední věcí, která může dělat problémy je mezihvězdná extinkce. Ta se ale u kulových hvězdokup příliš neprojeví, protože leží poměrně vysokou nad galaktickou rovinou.

I přes neúspěch při určení vzdálenosti hvězdy typu  $\delta$  Cephei věřím, že tento text poslouží k hrubému náhledu na jednu z metod určování vzdáleností ve vesmíru a problémy s ní spojené, případně někoho motivuje k dalšímu bádání v této oblasti.

## Reference

- [1] Mikulášek, Z.; Krtička, J., 2005. *Základy fyziky hvězd* ÚTFA PřF MU, Brno.
- [2] Catelan, M.; Pritzl, Barton J.; Smith, Horace A., 2004. *The RR Lyrae Period-Luminosity Relation. I. Theoretical Calibration* The Astrophysical Journal Supplement Series **154**, 633–649.
- [3] Di Criscienzo, M.; Marconi, M.; Caputo, F., 2004. *RR Lyrae Stars in Galactic Globular Clusters. III. Pulsational Predictions for Metal Content  $Z=0.0001$  to  $Z=0.006$*  The Astrophysical Journal **612**, 1092–1106.
- [4] Hartman, J. D. et al., 2005. *BVI Photometric Variability Survey of M3* The Astronomical Journal **129**, 1596–1606.