

ZÁKLADY ASTRONOMIE 2

Praktikum 1.

VZDÁLENOST CEFEID

1 Úvod

Určování vzdáleností ve vesmíru patří sice k základním úkolům astronomie, ale v praxi se rozhodně nejedná o jednoduchou úlohu. Zásadní problém tkví v tom, že neexistuje jediná univerzální metoda, která by nám pomohla určovat vzdálenosti ke všem objektům ve vesmíru. Využíváme proto mnoha nejrozličnějších metod, kdy jedna metoda slouží jako základ pro jinou, navazují na sebe, a proto někdy mluvíme o tzv. kosmickém žebříku vzdáleností. Zásadním požadavkem samozřejmě je, aby všechny příčky tohoto žebříčku byly náležitě přesné a zkalibrované.

Jednou z nejrozšířenějších metod určování vzdáleností ve světě hvězd je využití jednoho typu pulsujících hvězd, tzv. cefeid. Jsou pozorovatelné na velkou vzdálenost, takže s jejich pomocí lze určovat nejen vzdálenosti v naší Galaxii, ale i v jiných hvězdných soustavách. Význam cefeid objevila v roce 1912 Henrietta Swan Leavittová. U cefeid v sousední galaxii Malém Magellanově oblaku (Small Magellanic Cloud – SMC) zjistila, že existuje závislost mezi jejich střední hvězdnou velikostí a periodou světelných změn. Čím jsou periody delší, tím jsou cefeidy jasnější. Hvězdy v Malém Magellanově mračnu můžeme považovat za stejně vzdálené od Země, takže jasnější cefeidy jsou i ve skutečnosti zářivější než cefeidy méně jasné. Pozdější výzkumy potvrdily, že jde o obecnou vlastnost cefeid.

V tomto praktiku využijeme také cefeidy z Malého Magellanova mračna. Dnes už je identifikováno v SMC mnoho cefeid, známe hvězdné velikosti a periodu světelných změn. Na základě těchto údajů pak můžeme stanovit jejich vzdálenost a tím i určit vzdálenost Malého Magellanova mračna.

2 Pracovní postup

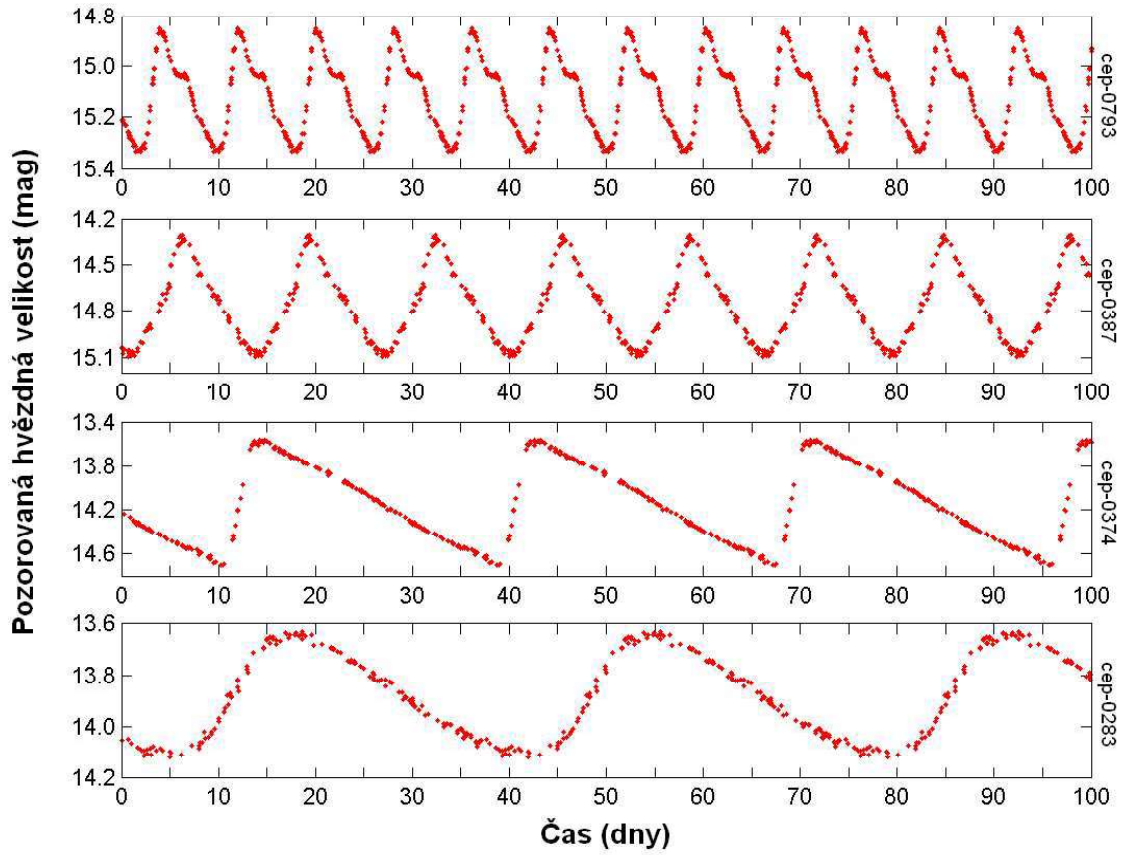
1. Cefeidy jsou velmi zářivé hvězdy. Mnoho jich bylo objeveno počátkem minulého století na fotografických deskách Harvardské observatoře. Do tabulky 1 jsme zapsali 17 cefeid, které tam objevila na snímcích SMC Leavittová. V tabulce jsou uvedeny jejich periody P a hvězdné velikosti m . Vypočítejte logaritmus periody a doplňte do tabulky. Do grafu (obr. 2) vynesete veličiny $\log P$ a m . Lineární závislost mezi oběma proměnnými by měla být patrná již na první pohled.
2. Na obrázku 1 jsou zakresleny světelné křivky dalších čtyř cefeid z SMC, které byly pořízeny v rámci přehlídkového projektu OGLE (<http://ogle.astrouw.edu.pl/>). Z obrázku odečtete jejich periody světelných změn a určete střední hvězdné velikosti $m_{\text{str}} = (m_{\text{max}} + m_{\text{min}})/2$. Jednotlivé hvězdné velikosti odečítejte s přesností na desetinu magnitudy. Výsledky zapisujte do tabulky 3 a vynesete do grafu (obr. 2).
3. Vynesenými body v grafu na obr. 2 proložte přímkou. Dostanete tak nekalibrovanou závislost perioda – hvězdná velikost pro cefeidy. Ale vzhledem k tomu, že vzdálenost všech cefeid v SMC od nás je přibližně stejná, je pozorovaná hvězdná velikost zároveň mírou zářivého výkonu těchto hvězd.
4. Kalibraci závislosti perioda – hvězdná velikost na obrázku 2 provedeme tak, že do téhož

grafu vyneseme absolutní hvězdné velikosti M a logaritmy period P pro 20 cefeid, jejichž vzdálenost byla určena jinak. Příslušné hodnoty M a $\log P$ v tabulce 2 jsou převzaty z práce R. P. Krafta (1961). Také těmito novými body proložíte přímkou.

5. Z obr. 2 určete vertikální rozdíl $(m - M)$ mezi oběma přímkami. Bohužel proložené přímký nejsou rovnoběžné, takže je třeba odečíst rozdíl na několika místech a zprůměrovat. Vezměte v úvahu i rozdíl škál m a M . Získaný rozdíl $(m - M)$ se označuje jako modul vzdálenosti a platí pro něj

$$m - M = 5 \log r - 5. \quad (1)$$

Výpočet vzdálenosti r už je pak snadnou záležitostí.



Obr. 1: Světelné křivky čtyř cefeid v SMC z přehlídky OGLE.

Použité zdroje a další materiály ke studiu

Kraft, R. P. 1961, *Astrophysical Journal* 133, 39

Pasachoff J. M., Goebel R. W., 1979, *Laboratory Exercises in Astronomy – Cepheid Variables and the Cosmic Distance Scale*, *Sky and Telescope* 57, č. 3, 241-244

Pokorný, Z., *Vademecum. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně*, 2006

Skarka, M., osobní sdělení

Stránky projektu OGLE <http://ogle.astrouw.edu.pl/>

<http://www.julda.cz/2009/04/milimetrovy-papir-k-vytisknuti-vzor-ke-stazeni/>

Úloha: Vzdálenost cefeid

Jméno: . . . Plšek Tomáš, 461281 . . .

Datum odevzdání: 8.3.2017 . . .

Shrnutí úkolů:

1. Pro hvězdy v tabulce 1 spočítejte logaritmus periody a doplňte do tabulky. Do grafu na obrázku 2 vynesete veličiny $\log P$ a m z tabulky 1. Samozřejmě je možné pro splnění úkolu použít příslušné programy, kde bude výpočet logaritmů i vykreslení grafu dílem okamžiku. Nezapomeňte v každém případě správně popsat osy grafu. Pokud budete pracovat v prostředí nějakého tabulkového procesoru vytiskněte výsledné tabulky a grafy a přiložte k protokolu.
2. Prozkoumejte a oměřte světelné křivky na obrázku 1 a výsledky zaneste do tabulky 3.
3. Ke zjištění periody změřte vzdálenosti mezi minimy nebo maximy. Měření proveďte několikrát a výsledky запиšte do tabulky. Spočítejte průměrnou hodnotu a chybu. Podobně postupujte při měření hvězdných velikostí a určení střední hvězdné velikosti m_{str} . Výsledné hodnoty pro čtyři cefeidy vynesete do společného grafu s výsledky z bodu 1 (grafu na obrázku 2 případně do grafu vytvářeném na počítači). Tyto čtyři body označte odlišně od ostatních (prázdným kroužkem, křížkem apod.).
3. Vynesenými body v grafu na obrázku 2 proložte přímkou.
4. Do grafu na obrázku 2 doplňte údaje z tabulky 2. Stupnice $\log P$ zůstane stejná. Škálu M zvolte tak, aby se nově vynášené body nepřekrývaly s předchozími, protože by to znemožňovalo dostatečně přesné proložení přímkou vynesenými body. Stupnici M vynášejte na pravou svislou osu, měřítko musí zůstat stejné! Nicméně je výhodné zvolit posun o celistvý počet magnitud. Nově vynesenými body také proložte přímkou.
5. Odečtěte vertikální rozdíl ($m - M$) mezi oběma přímkami a doplňte následující údaje:
 - a) Rozdíl škál m a M : .0. V jakých jednotkách? .[mag] . . .
 - b) Průměrná vzdálenost obou přímek v obr. 2 je neměřil jsem (spočteno z výstupních hodnot pro fitované přímky)
 - c) Zjištěný modul vzdálenosti ($m - M$) = .18,93 mag. . . .
 - d) Vzdálenost Malého Magellanova mračna r = .61094,2 pc. . .
6. Diskutujte přesnost určení vzdálenosti. Odhadněte, jak se jednotlivé kroky řešení (měření v grafu, určení vzdálenosti přímek atd.) podílely na nejistotě určení vzdálenosti SMC.

Nejménší podíl na výsledné nejistotě vzdálenosti má nejistota spojená s měřením změn pozované hvězdné velikosti v závislosti na periodě z OGLE (nejistota měřidla + průměrování hodnot), neboť se jedná pouze o 4 hodnoty. Avšak pokud bychom takto získávaly všechna naše data, výsledná nepřesnost vzdálenosti by byla značná.

Hlavní podíl na nejistotě určení vzdálenosti má tedy nejistota aritmetického průměru 9 měření (pro 9 různých hodnot proměnné x). Do jisté míry se mohla projevit i chyba při zaokrouhlování. Největším problémem co do nejistoty však představuje výsledný výpočet vzdálenosti - chyba, které se dopustíme při výpočtu modulu vzdálenosti ($m - M$) je následně umocněna.

$$m - M = 5 \cdot \log(r) - 5 \Rightarrow r = 10^{(m - M + 5) / 5}$$

+ příloha

Tabulka 1: Cefeidy v SMC.

Hvězda	m [mag]	P [dny]	$\log P$
HV 2019	16,8	1,62	0,20952
HV 2035	16,7	2,00	0,30103
HV 844	16,3	2,24	0,35025
HV 2046	16,0	2,57	0,40993
HV 1809	16,1	2,82	0,45025
HV 1987	16,0	3,16	0,49969
HV 1825	15,6	4,27	0,63043
HV 1903	15,6	5,13	0,71012
HV 1945	15,2	6,46	0,81023
HV 2060	14,3	10,2	1,00860
HV 1873	14,7	12,9	1,11059
HV 1954	13,8	16,6	1,22011
HV 847	13,8	27,5	1,43933
HV 840	13,4	33,1	1,51983
HV 1182	13,6	39,8	1,59988
HV 1837	13,1	42,7	1,63043
HV 1877	13,1	50,1	1,69984

Tabulka 2: Vybrané klasické cefeidy dle Krafta (1961).

Hvězda	$\log P$	M [mag]	Hvězda	$\log P$	M [mag]
SU Cas	0,29	-1,7	U Sgr	0,83	-3,5
EV Sct	0,49	-2,4	η Aql	0,86	-3,5
SS Sct	0,56	-2,4	RX Cam	0,90	-3,7
SU Cyg	0,58	-2,8	DL Cas	0,90	-3,7
Y Lac	0,64	-2,8	S Nor	0,99	-3,7
FF Aql	0,65	-3,1	Z Lac	1,04	-4,1
CF Cas	0,69	-3,4	RW Cas	1,17	-4,5
V350 Sgr	0,71	-3,0	Y Oph	1,23	-5,3
CV Mon	0,73	-3,0	T Mon	1,34	-5,6
RR Lac	0,81	-3,4	SV Vul	1,65	-6,4

Tabulka 3: Cefeidy v SMC. Data dle měření z projektu OGLE.

Hvězda	Měření	m_{\max} [mag]	m_{\min} [mag]	m_{str} [mag]	P [dny]	$\log P$
Cep-0793		14,8	15,3	15,07	8,33	0,92
		14,9	15,4	15,11	7,50	0,88
		14,8	15,3	15,07	7,50	0,88
		14,9	15,4	15,11	8,33	0,92
		14,8	15,4	15,08	7,50	0,88
	průměr	$14,83 \pm 0,05$	$15,35 \pm 0,05$	$15,09 \pm 0,03$	$7,83 \pm 0,34$	$0,89 \pm 0,02$
Cep-0387		14,2	15,1	14,65	13,33	1,12
		14,3	15,0	14,65	14,16	1,15
		14,3	15,1	14,70	13,33	1,12
		14,2	15,1	14,65	13,33	1,12
		14,3	15,1	14,70	14,16	1,15
	průměr	$14,26 \pm 0,05$	$15,08 \pm 0,03$	$14,67 \pm 0,02$	$13,66 \pm 0,39$	$1,14 \pm 0,02$
Cep-0374		13,5	14,8	14,15	28,32	1,45
		13,6	14,7	14,15	29,99	1,48
		13,6	14,8	14,20	29,16	1,46
		13,5	14,8	14,15	28,32	1,45
		13,6	14,7	14,15	29,16	1,46
	průměr	$13,56 \pm 0,05$	$14,76 \pm 0,05$	$14,16 \pm 0,02$	$28,99 \pm 0,54$	$1,46 \pm 0,01$
Cep-0283		13,6	14,1	13,85	38,32	1,58
		13,6	14,1	13,85	37,49	1,57
		13,7	14,1	13,90	39,15	1,59
		13,7	14,2	13,95	38,32	1,58
		13,6	14,1	13,85	37,49	1,57
	průměr	$13,64 \pm 0,05$	$14,12 \pm 0,03$	$13,88 \pm 0,04$	$38,15 \pm 0,53$	$1,58 \pm 0,01$