

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum III

Úloha č. 8

Název: Interferometry

Pracoval: Jiří Kratochvíl stud.sk.:11 dne: 14. 30.3.

Odevzdal dne: 1.4. 2011

*Připomínky v textu. Kéřlivě změřeno,
nejasněji ve zpracování. Podívejte se na
připomínky.*

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	5
Teoretická část	0 - 1	1
Výsledky měření	0 - 8	8
Diskuse výsledků	0 - 4	3
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	19

Posuzoval: *Peter Mojzes*

dne: *6.4. 2011*

Pracovní úkol:

1. Změřte vlnovou délku zelené čáry spektra rtuti Michelsonovým interferometrem. Totéž proveďte pro vlnovou délku He-Ne laseru.
2. Změřte vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu Fabryho – Perotovým interferometrem.
3. Všechna měření proveďte metodou postupných měření a zpracujte lineární regresí.
4. Stanovte chybu vlnové délky získané v úkolu 1 a 2 lineární regresí.
V úkolu 1 diskutujte vliv zadaného převodního koeficientu pro posuv zrcadla u Michelsonova interferometru na systematickou chybu vlnové délky a hledejte jeho vhodnější velikost.

1. Úvod

1.1 Statistické zpracování

Chyby nepřímého měření sčítány metodou přenosu chyb dle vzorce

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (\sigma_i)^2} \quad (s1)$$

σ - výsledná chyba měření, f - fyzikální vztah, x_i - jednotlivé veličiny ze vztahu f ,
 σ_i - chyby jednotlivých veličin ze vztahu f

Chyba statistická a chyba měřidla sečtena vzorcem

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_m^2 + \sigma_s^2)} \quad (s2)$$

σ - výsledná chyba měření, σ_m - chyba měřidla, σ_s - statistická chyba

Chyba aritmetického průměru počítána dle vztahu

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x)^2}{n}} \quad (s3)$$

σ - výsledná chyba měření, x_i - hodnota jednotlivých měření, x - průměrná hodnota,
 n - počet měření

[2]

Regrese v počítána v programu gnuplot, asymptotická chyba fitu sečtena ve čtverci s chybou měření.

1.2 Michelsonův interferometr

Obrázek č.1: Michelsonův interferometr

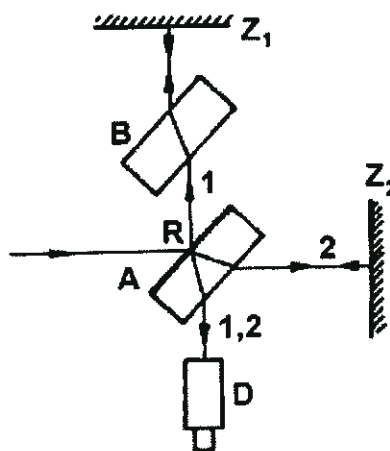


Schéma Michelsonova interferometru je zobrazeno na **obrázku č.1**, Posunem zrcátka Z_1

měníme *dráhový rozdíl* Δ mezi paprsky 1 a 2. Pro interferenční maxima platí podmínka $\Delta = k\lambda$, kde k je celé číslo a λ je vlnová délka. Pro minima platí vztah $\Delta = (2k+1)\lambda/2$.

Zrcátko jsme posouvali mikrometrickým šroubem přes pákový převod - l je vzdálenost posunutí zrcátka. Tato vzdálenost se projevuje v dráhovém rozdílu $2x$. Platí tedy následující vztah pro vlnovou délku

$$2l = \lambda k \quad \checkmark \quad (1)$$

1.3 Fabry-Perotův interferometr

Obrázek č.2: Fabry-Perotův interferometr

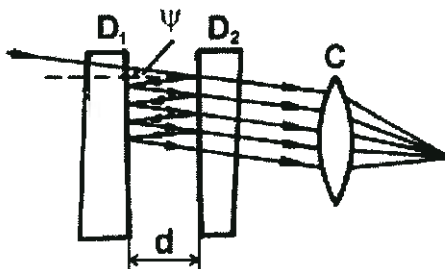


Schéma Fabry-Perotova interferometru je zobrazeno na *obrázku č.2*. D_1 a D_2 jsou polopropustná zrcadla. Princip interferometru spočívá v mnohosvazkové interferenci. Pro minima a maxima platí podmínky uvedené pro Michelsonův interferometr, ale zde je dráhový rozdíl

$$\Delta = 2d \cos \psi$$

Pokud máme dostatečnou odrazivost zrcadel, můžeme docílit mnohonásobného odrazu až 50krát, závisí na tom přesnost přístroje kvůli ostrosti minim a maxim.

Při měření sodíkového dubletu vytváří obě vlnové délky svůj interferenční obrazec. Pokud tedy najdem polohu, kdy se překryjí tyto interferenční obrazce, zvětšíme vzdálenost mezi deskami o hodnotu l , aby nastala stejná situace, tak jsme schopni dopočítat vzdálenost spektrálních čar tohoto dubletu. Platí

$$2l = \Delta = k\lambda_1 = (k-1)\lambda_2 \quad (2)$$

z toho odvodíme

$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2l} \approx \frac{\lambda_s}{2l} \quad \checkmark \quad (3)$$

,kde λ_s je průměr obou čar dubletu, který je dle tabulek 589,3nm.

[1]

2 Měření

2.1 Michelsonův interferometr

Postupovali jsme metodou postupných měření. Vzdálenost l , jsme nastavovali mikrometrickým šroubem, který měl přesnost $5\mu\text{m}$. Tento šroub hýbal s pákovým převodem s převodním koeficientem *šroub:posuv* = $(5,1 \pm 0,1)$ na interferometru bylo napsáno, že převodní koeficient se pohybuje mezi hodnotami $5,0$ až $5,2$. Chyba počítání proužků je u rtuti ± 5 proužků na 500 proužků u laseru ± 3 proužky. Hlavní podíl na chybě měl tedy pákový převod a přesnost šroubu.

Chybu počítání proužků, která je řádově menší jsme nezapočítali. Naměřené hodnoty jsou zapsány v *tabulce č.1*, proměnná *šroub* je hodnota vytočení šroubu, tmavá pole jsou měření zelené čáry rtuti, světlá jsou měření He-Ne laseru. $\Delta = 2l$ je optická dráha. Dráhu zrcátka l dostaneme tak, že hodnotu *šroub* vydělíme převodním koeficientem pákového převodu.

Neprve jsme zkalibrovali interferometr potočením zrcadlem Z_2 , tak abycho viděli max 3 proužky kvůli přesnosti počítání a nastavili jsme proužky do svislé roviny. Počítali jsme do

(*) nejmenší dělení stupnice. Odčítat měřeno s přesností rovinně nejmenšího dělení

chyba v počítání počtu proužků není zanedbatelná! Když si vyčítáme slis dnylo v počtu proužků pomocí šroubu z pítale 1,7 to je 21 dnylo 2000 ??

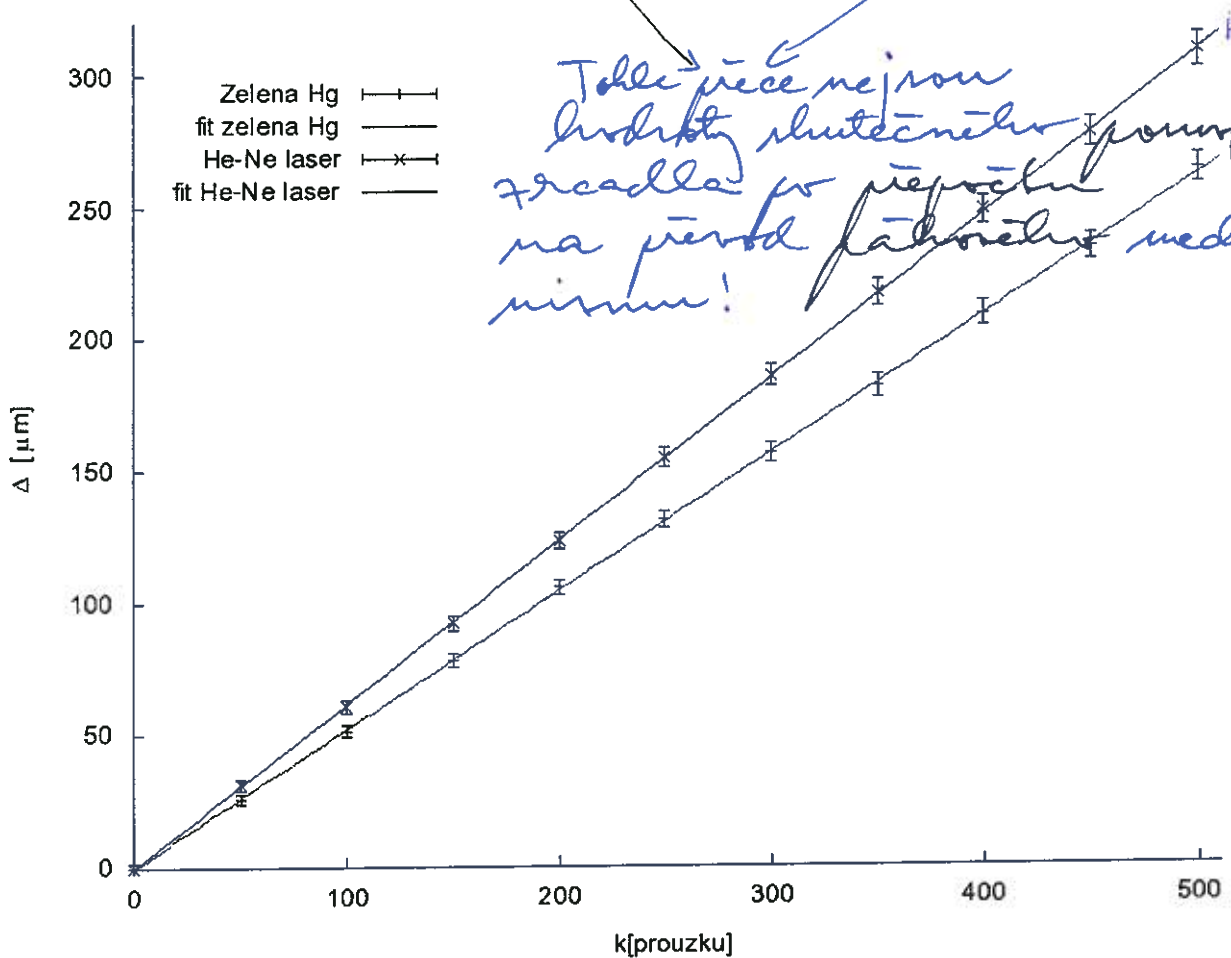
500proužků po padesáti. Měření jsme prováděli dvakrát, ale vzhledem k téměř stejným hodnotám jsme vybrali pro zpracování měření s lépe padnoucím fitem. Měřili jsme vždy na stejném rozsahu šroubu (1cm a výš).

2. Čím odpovídají tyto hodnoty?

Tabulka č.1: Michelsonův interferometr

k[řád]	Hg		He-Ne		Hg		He-Ne	
	šroub[μm]	šroub[μm]	Δ [μm]	$\sigma(\Delta)$ [μm]	Δ [μm]	$\sigma(\Delta)$ [μm]	Δ [μm]	$\sigma(\Delta)$ [μm]
0	0	0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0
50	65	80	25,5	2,0	31,4	2,1	25,5	2,1
100	130	155	51,0	2,2	60,8	2,3	51,0	2,3
150	200	235	78,4	2,5	92,2	2,7	78,4	2,7
200	270	315	105,9	2,9	123,5	3,1	105,9	3,1
250	335	395	131,4	3,2	154,9	3,6	131,4	3,6
300	400	475	156,9	3,7	186,3	4,2	156,9	4,2
350	465	555	182,4	4,1	217,7	4,7	182,4	4,7
400	535	635	209,8	4,6	249,0	5,3	209,8	5,3
450	600	710	235,3	5,0	278,4	5,8	235,3	5,8
500	675	790	264,7	5,6	309,8	6,4	264,7	6,4

Graf č.1: Michelsonův interferometr



Takle přece nejsou hodnoty skutečného zrcadla po přeřítu na převod párovětlivých medium!

Lineární regresí dle vztahu (1), viz **graf č.1**, jsme spočítali vlnové délky:

Zelené čáry rtuti: $\lambda_{\text{Hg}} = (526 \pm 11) \text{ nm}$

He-Ne laseru: $\lambda_{\text{He-Ne}} = (620 \pm 13) \text{ nm}$

Chyby odpovídají předpokladu že při počítání se dopustíme chyby ±1 proužek na 50 proužků, což je reálné.

*dělení nejmenší skupice
F-P interferometr odpovídá $\frac{\lambda}{100} \approx \frac{1}{100} \text{ mm}$
t.j. 0.1 μm !*

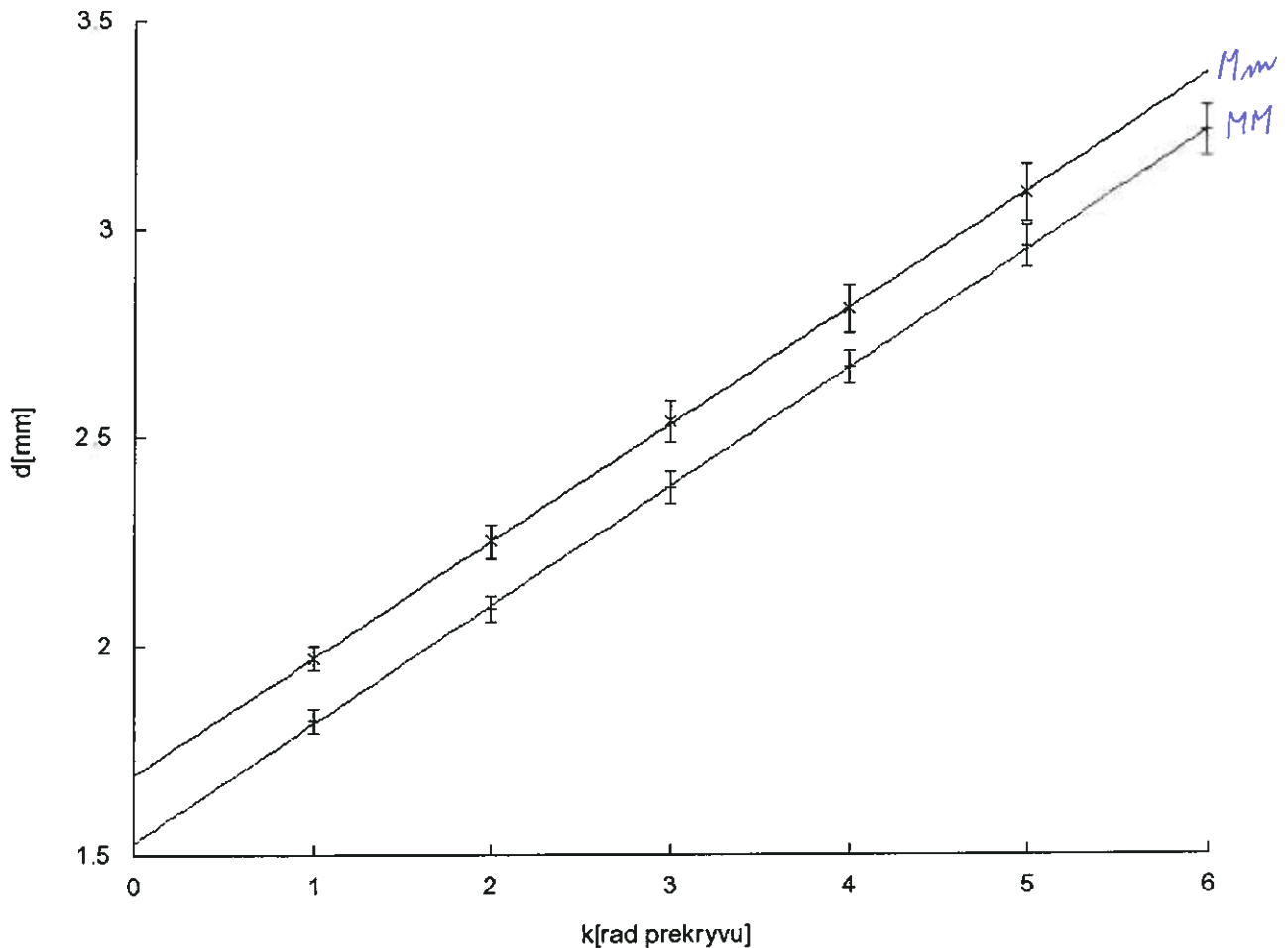
2.2 Fabry-Perotův interferometr

Nejprve jsme interferometr zkalibrovali. Interferometr byl nastavitelný s přesností 0,01 mm, větší chybu tvořilo nalezení překryvů minim a maxim tyto chyby jsou sečteny ve čtverci. Naměřené hodnoty metodou postupných měření jsou v *tabulce č.2*. Hodnoty **MM** značí překryv dvou maxim, hodnoty **Mm** jsou překryv maxima s minimem. Hodnotu $k=6$ pro **Mm** se nám už nepodařilo naměřit z důvodu rozmazání interferenčních obrazců.

Tabulka č.2: Fabry-Perotův interferometr

k	MM[mm]	$\sigma(\text{MM})\text{mm}$	Mm[mm]	$\sigma(\text{Mm})\text{mm}$
1	1,82	0,03	1,97	0,03
2	2,09	0,03	2,25	0,04
3	2,38	0,04	2,54	0,05
4	2,67	0,04	2,81	0,06
5	2,96	0,05	3,09	0,07
6	3,24	0,06		

Graf č.2: Fabry-Perotův interferometr



Provedli jsme lineární regresi dle vztahu (2) viz *graf č.2* s výsledky pro hodnotu l :

$$l_{MM} = (0,285 \pm 0,011)\text{mm}$$

$$l_{Mm} = (0,281 \pm 0,011)\text{mm}$$

chyby měření jsou přeceněny.
Z aritmetického průměru těchto hodnot jsme dopočítali dle vzorce (3) výsledný rozdíl obou spektrálních čar $\Delta\lambda = (0,613 \pm 0,024)\text{nm}$

2.3 Převodní koeficient pro posuv zrcadla u Michelsonova interferometru

Tabelovaná hodnota pro zelenou čáru rtuti je $546,1\text{nm}$ [3]. Z lineární regrese dle vzorce (1) jsme získali správný převodní koeficient $(4,944 \pm 0,056)$

Tabelovaná hodnota vlnové délky He-Ne laseru je $632,8\text{nm}$ [4]. Pokud provedeme také lineární regresi dle vzorce (1) dostaneme $(4,962 \pm 0,032)$ obě hodnoty se shodují z čehož vyplývá, že naše nesedící výsledky jsou způsobeny právě tímto pákovým převodem.

Výsledný převodní koeficient získáme váženým aritmetickým průměrem těchto hodnot $(4,955 \pm 0,044)$ pokud opravíme tento koeficient vyjde nám z lineární regrese pro vlnovou délku zelené čáry rtuti $\lambda_{\text{Hg}} = (542 \pm 6)\text{nm}$ a pro He-Ne laser $\lambda_{\text{He-Ne}} = (639 \pm 7)\text{nm}$.

3 Diskuse

3.1 Michelsonův interferometr

Hodnota zelené čáry emisního spektra rtuti nám vyšla $\lambda_{\text{Hg}} = (526 \pm 11)\text{nm}$, což se neshoduje s tabelovanou hodnotou $546,1\text{nm}$ [3] ale v rámci chyby 2σ ano.

Vlnová délka laseru nám vyšla $\lambda_{\text{He-Ne}} = (620 \pm 13)\text{nm}$, což se těsně shoduje s tabelovanou hodnotou $632,8\text{nm}$.

(*) Tyto odchylky jsou způsobeny systematickou chybou pákového převodu, který měl špatně napsaný rozsah převodního koeficientu $5,0-5,2$. Námí naměřený převodní koeficient $(4,955 \pm 0,044)$ se s tímto údajem shoduje v rámci 2σ chyby to vysvětluje posuv hodnot výše směrem k menším hodnotám.

Když jsme použili námí naměřený převodní koeficient, dostali jsme shodné hodnoty s tabelovanými $\lambda_{\text{Hg}} = (542 \pm 6)\text{nm}$ a $\lambda_{\text{He-Ne}} = (639 \pm 8)\text{nm}$.

Měření naším Michelsonovým interferometrem pokládám za přesné, jelikož relativní chyba výsledků je pod 2%. Rozlišovací schopnost tohoto přístroje je v rámci desítek nanometrů. Tím, že nám vyšla shoda hodnot naměřených a tabelovaných můžeme říci, že jsme správně odhadli chyby měření.

Při měření se měnila i geometrie přístroje, jelikož se při oddalování zrcátka natáčely interferenční proužky byl to ale zanedbatelný jev. Několikrát se nám stalo, že jsme se přepočítali o několik proužků, to jsme započítali také do chyby měření. Proužky jsme tedy počítali s přesností 1%.

Když jsme pozorovali rtuťovou výbojku proužky byly hladké, to bylo dáno nekoherencí světla. U laseru se projevovali interferenční jevy způsobené nerovnostmi na optických součástkách, což se projevovalo zrnitostí obrazu.

3.2 Fabry-Perotův interferometr

Námí naměřený rozdíl vlnových délek dubletu $\Delta\lambda = (0,613 \pm 0,024)\text{nm}$ se shoduje s tabelovanou hodnotou $(0,60 \pm 0,01)\text{nm}$ (vlnové délky dubletu $589,16\text{nm}$ $589,76\text{nm}$ [5]).

Na takto jednoduchý přístroj má tato metoda velmi dobrou rozlišovací schopnost, a to v řádu desetin nanometru. S většími vzdálenostmi d rostla i chyba měření, jelikož proužky velmi splývaly.

Po zkalibrování přístroje jsme si všimli, že se obrazce postupem času nepatrně rozjíždí, nemělo to ale vliv na přesnost měření jelikož jsme se dívali do interferometru vždy ze stejného úhlu.

(*) K převodnímu mechanismu a koeficientu: nejedná se o chybu, ale o fakt, že v různých rozsazích mikrometrického šroubu se díky konstrukci pákového mechanismu převod trojnásobně odlišuje. Ve vašem případě jste správně uradil, že převod bude ca 5.

4. Závěr

Změřili jsme vlnovou délku zelené čáry spektra rtuťi Michelsonovým interferometrem
 $\lambda_{Hg} = (526 \pm 11) \text{ nm}$. Totéž jsme provedli pro vlnovou délku He-Ne laseru s výsledkem
 $\lambda_{He-Ne} = (620 \pm 13) \text{ nm}$.

Změřili jsme vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu Fabryho – Perotovým interferometrem $\Delta\lambda = (0,613 \pm 0,024) \text{ nm}$.

Našli jsme správný převodní koeficient posuvu zrcadla $(4,955 \pm 0,044)$. ✓

5 Literatura

*hodnoty zaderoubujeme
soubadu s velikostí chyby!*

- [1] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>, Studijní texty k Fyzikálnímu praktiku
- [2] Brož, J. a kol., **Základy fyzikálních měření I**, SPN, Praha 1983
- [3] J.J. Damelincourt, *Journal of Physics*, <http://iopscience.iop.org> článek: volume 11 number 16, 1978
- [4] J. Reichl, <http://fyzika.jreichl.com> *Encyklopedie fyziky*
- [5] Mao-Hong, www.springerling.com článek: volume 48 number 5, 1989

1:5 - 1:52
 PRAVKA PRAVKA

CITAN ZA RADA V MICRROSKOPU

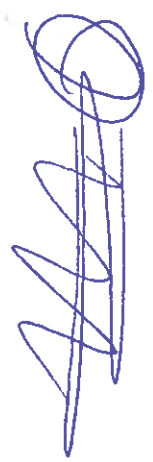
Ag N₂ - Lamen - tel - Ne

0	1,0050	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
50	1,0050	1,0058	1,0068	1,0080	1,0075
100		1,0138	1,0140	1,0155	1,0155
150		1,0200	1,0200	1,0238	1,0237
200		1,0270	1,0270	1,0318	1,0310
250		1,0338	1,0338	1,0398	1,0390
300		1,0400	1,0400	1,0478	1,0470
350		1,0460	1,0463	1,0558	1,0550
400		1,0538	1,0538	1,0638	1,0635
450		1,0600	1,0600	1,0710	1,0710
500		1,0678	1,0678	1,0790	1,0790
		±0,0005			

± 3 pravki

± 3 pravki

[CENTIMETRI
 cm]



KRATCEMI

2 min
R A

1.80	1.80	
1.90	1.90	± 0.2
2.09	2.25	
4.38	2.535	
2.60	2.80	2.81
2.90		
2.96	3.09	

3.24 ± 0.4

~~scribble~~

62
48
1.96

RTDMS	HVSTB
2.09	1.96
	2.24

~~scribble~~

30. 3. 2011
JPL 50000